СПРАВОЧНИК технолога-машиностроителя

В двух томах

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Дальский А.М.
(Председатель и главный редактор)
Суслов А.Г.
(зам. Председателя редсовета)
Жесткова И.Н.
(зам. главного редактора)
Безъязычный В.Ф.
Васильев А.С.
Горленко О.А.
***Ильицкий* В.Б.**
Покровский В.П.
Румянцева О.Н.
Стародубов В.С.
Смелянский В.М.

МОСКВА "МАШИНОСТРОЕНИЕ" 2003
"ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ-1"

СПРАВОЧНИК технолога-машиностроителя

Том 2

Под редакцией
А.М. Дальского, А.Г. Косиловой,
Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова

Пятое издание, исправленное

МОСКВА "МАШИНОСТРОЕНИЕ" 2003
"ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ-1"

УДК 621.906 – 529 (03)
ББК 34.5
С74

Авторы тома: **А. М. Дальский, А. Г. Суслов, А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков, Ю. А. Абрамов, В. В. Агафонов, В. Н. Андреев, В. Ф. Безъязычный, Э. М. Берлинер, В. С. Булошников, Ю. А. Быков, Д. В. Виноградов, И. В. Гововов, А. О. Горленко, О. А. Горленко, Б. И. Горбунов, Р. М. Гоцеридзе, Э. Г. Грановский, В. И. Гузеев, Г. В. Гурьянов, Б. Д. Даниленко, О. И. Дарымов, Ю. И. Дворов, Г. И. Добровольский, А. Е. Древаль, Ю. В. Жестик, Е. А. Заставный, Н. Ф. Зеленцова, А. В. Игнатов, В. Б. Ильицкий, В. П. Инютин, А. С. Калашников, С. Н. Калашников, Ю. Г. Козырев, О. Я. Константинов, В. С. Корсаков, С. Н. Корчак, Г. Г. Лебяжьев, А. В. Литвиненко, Ю. А. Макаров, Г. Н. Мельников, А. И. Мещеряков, Е. А. Памфилов, В. М. Панченко, В. П. Покровский, С. А. Попов, А. Н. Прокофьев, О. А. Розенберг, Л. А. Рождественский, В. Ф. Романов, В. М. Смелянский, В. П. Смоленцев, Ю. М. Соломенцев, В. С. Стародубов, Ю. С. Степанов, А. Е. Стешков, В. И. Тавров, А. В. Тотай, А. П. Улашкин, О. Н. Федонин, А. В. Хандожко, В. С. Харченков, А. Г. Холодкова, Л. М. Червяков, А. А. Шатилов, Ю. А. Шачнев, Ю. Г. Шнейдер, А. И. Якушев**

В справочнике использованы стандарты, действующие на 1 июля 2003 г.

Справочник технолога – машиностроителя. В 2-х т.
С74 Т. 2 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Суслова, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 5-е изд., исправл. – М.: Машиностроение–1, 2003 г. 944 с., ил.

Во 2-м томе приведены сведения о металлорежущих станках, станочных приспособлениях, режущих инструментах, режимах резания, допусках и посадках, методах и средствах измерения, обработке поверхностей пластическим деформированием и технологии сборки.

Пятое издание (4-е изд. 1985 г.) переработано в соответствии с действующими стандартами; дополнено новыми главами по смазочно-охлаждающим средам, электрофизической, электрохимической и лазерной обработкам, технологии нанесения покрытий, термической обработке, нормированию и функционально-стоимостному анализу процессов. Расширены главы по технико-экономическим расчетам, режимам резания, режущему инструменту, технологии сборки, станочным приспособлениям.

Для инженерно-технических работников всех отраслей машиностроения, может быть полезен преподавателям и студентам втузов.

УДК 621.906 – 529 (03)
ББК 34.5
6П5.4

ISBN 5–217–03083–6 (общ.)
ISBN 5–217–03085–2 (Т. 2)
ISBN 5–94275–013–0 (общ.)
ISBN 5–94275–015–7 (Т. 2)

© Издательство "Машиностроение", 1985 г.
© Издательство "Машиностроение", 2003 г.
© Издательство "Машиностроение–1", 2003 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава **1.**
МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ (*В. С. Стародубов, Г. Г. Лебяжьев*) .. 9
Классификация и система обозначения станков 9
Технические характеристики 12
Токарные станки 12
Сверлильные и расточные станки (*О. И. Дарымов, В. В. Агафонов*) 28
Шлифовальные станки 42
Электрофизические и электрохимические станки (*Е. А. Заставный*) 57
Зубо- и резьбообрабатывающие станки 63
Фрезерные станки 75
Строгальные и долбежные станки 87
Протяжные и отрезные станки ... 92

Глава **2.**
СТАНОЧНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ 96
Общие сведения (*А. А. Шатилов*) ... 96
Составные части и механизмы СП (*А. А. Шатилов*) 98
Опоры и распространенные схемы установки заготовок 98
Зажимные механизмы и их расчет 113
Приводы приспособлений (*А. А. Шатилов*) 125
Магнитные приспособления (*О. Я. Константинов*) 127
Приспособления для станков с ЧПУ (*В. Б. Ильицкий*) 137
Приспособления к станкам токарной группы 137
Приспособления к станкам фрезерно-сверлильно-расточной группы 148
Оправки (*Ю. С. Степанов*) 159
Классификация оправок 159
Выбор оправок 160
Методика проектирования кулачковых оправок 165
Примеры конструкций специальных кулачковых оправок 171
Список литературы 172

Глава **3.**
МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ 174
Общие сведения (*В. П. Покровский, А. Е. Древаль*) 174
Геометрические и конструктивные элементы режущих инструментов 174
Инструментальные материалы и области их применения (*В. П. Покровский*) 177
Резцы (*В. Н. Андреев*) 186
Резцы из быстрорежущей стали и с пластинами из твердого сплава ... 186
Резцы с механическим креплением многогранных пластин из твердого сплава и керамики 195
Резцы с лезвиями из композита ... 211
Сверла, зенкеры, цековки, зенковки (*А. И. Мещеряков, Б. Д. Даниленко*) ... 214
Сверла 214
Зенкеры, цековки и зенковки 230
Развертки (*Д. В. Виноградов, А. Е. Древаль, А. И. Мещеряков*) 233
Комбинированные инструменты (*А. И. Мещеряков, А. В. Литвиненко*) 242
Протяжки и прошивки (*Ю. И. Дворов, В. П. Покровский*) 245
Фрезы (*В. Н. Андреев*) 256
Зубообрабатывающие инструменты (*С. Н. Калашников, А. С. Калашников*) 275
Резьбонарезные инструменты (*В. П. Покровский, Г. И. Добровольский*) 299
Резьбонакатные инструменты (*В. П. Покровский, А. Е. Стешков, А. В. Хандожко*) 318
Инструменты для накатывания наружных резьб 318
Инструменты для накатывания внутренних резьб 326
Лезвийный инструмент из искусственных алмазов и сверхтвердых материалов (*В. Ф. Романов, А. В. Тотай, В. Н. Андреев*) 328
Абразивные инструменты (*С. А. Попов, В. С. Булошников*) 337
Шлифовальные материалы и области их применения 337
Зернистость и зерновой состав шлифовальных материалов 339

Связка абразивных инструментов. Твердость ... 342
Структура абразивного инструмента и относительная концентрация шлифовального материала ... 344
Классы точности абразивных инструментов ... 345
Классы неуравновешенности шлифовальных кругов ... 345
Абразивные инструменты на гибкой основе ... 345
Классификация и обозначение форм абразивных кругов ... 346
Правка абразивного инструмента 355
Список литературы ... 357

Глава **4.**
РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ
(*В. Ф. Безъязычный, В. П. Покровский, М. А. Рождественский*) ... 358
Общие сведения ... 358
Точение (*О. Н. Федонин*) ... 363
Точение труднообрабатываемых материалов ... 374
Строгание, долбление ... 380
Сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание ... 381
Сверление, зенкерование труднообрабатываемых материалов ... 386
Фрезерование ... 402
Фрезерование труднообрабатываемых материалов ... 413
Разрезание ... 424
Резьбонарезание (*А. Н. Прокофьев*) .. 428
Протягивание ... 435
Шлифование ... 438
Список литературы ... 442

Глава **5.**
СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ
(*Д. В. Виноградов, Э. М. Берлинер*) ... 443
Действия СОТС при резании ... 443
Основные виды СОТС ... 452
Жидкие СОТС ... 453
Твердые СОТС ... 459
Пластичные СОТС ... 459
Газообразные СОТС ... 460
Классификация СОТС ... 461
Применение СОТС при различных видах обработки резанием ... 461
Технологические среды для электроэрозионной обработки ... 467
Технология производства и применения СОТС ... 469
Подача СОТС в зону резания ... 472
Регенерация, рекуперация, замена и утилизация СОТС ... 479
Список литературы ... 479

Глава **6.**
ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ ... 481
Обкатывание и раскатывание (*А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков, В. М. Смелянский*) ... 482
Калибрование отверстий (*Р. К. Мещеряков, О. А. Розенберг, Ю. А. Макаров*) ... 495
Алмазное выглаживание (*Р. К. Мещеряков, Э. Г. Грановский*) ... 506
Вибронакатывание (*А. Г. Суслов, А. П. Улашкин, Ю. Г. Шнейдер*) ... 508
Обработка дробью (*В. М. Смелянский*) ... 515
Виброударная обработка (*В. М. Смелянский*) ... 521
Ударно-импульсная обработка (*В. М. Смелянский*) ... 523
Накатывание рифлений и клейм (*А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков*) ... 525
Накатывание и раскатывание резьбы (*А. Е. Стешков, А. Н. Прокофьев, Р. К. Мещеряков*) ... 527
Список литературы ... 535

Глава **7.**
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ, ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ, ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ И ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА ... 536
Электрохимическая обработка (*Е. А. Заставный, В. П. Смоленцев*) ... 536
Электрофизическая обработка (*Е. А. Заставный, В. П. Смоленцев*) ... 544
Электромеханическая обработка (*А. Г. Суслов, А. О. Горленко*) ... 553
Лазерная обработка (*И. В. Гововов, Ю. В. Жестик, В. П. Инютин*) ... 562
Список литературы ... 582

Глава **8.**
ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ
(*Г. В. Гурьянов, Е. А. Памфилов, В. С. Харченков*) ... 584
Классификация покрытий и основы выбора технологии их нанесения ... 584
Нанесение приработочных и антифрикционных покрытий ... 590
Нанесение твердосмазочных покрытий (ТСП) ... 596
Нанесение износостойких покрытий 600
Нанесение защитных и жаростойких покрытий ... 616
Нанесение многофункциональных комплексных покрытий ... 620
Список литературы ... 625

Глава **9.**
ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
(*Ю. А. Быков*) ... 626
Общие сведения ... 626
Виды термической обработки ... 626
Химико-термическая и термомеханическая обработки ... 630
Термическая обработка сталей ... 633
Термическая обработка сталей конструкционных углеродистых качественных ... 633
Термическая обработка сталей конструкционных легированных .. 635
Термическая обработка сталей конструкционных теплоустойчивых ... 647
Термическая обработка сталей конструкционных подшипниковых ... 648
Термическая обработка сталей конструкционных рессорно-пружинных ... 648
Термическая обработка сталей коррозионно-стойких, жаростойких и жаропрочных ... 649
Термическая обработка цветных сплавов ... 650
Термическая обработка сплавов алюминия ... 650
Термическая обработка сплавов алюминиевых деформируемых ... 650
Термическая обработка сплавов алюминиевых литейных 652
Термическая обработка сплавов меди ... 654
Термическая обработка бронз ... 654
Термическая обработка латуней ... 655
Список литературы ... 655

Глава **10.**
ДОПУСКИ И ПОСАДКИ
(*Ю. А. Шачнев*) ... 657
Основные термины ... 657
Допуски и посадки гладких элементов деталей и соединений ... 659
Нормирование точности формы и расположения поверхностей ... 664
Нормирование точности углов, конусов и конических соединений ... 673
Взаимозаменяемость резьбовых соединений ... 676
Взаимозаменяемость шпоночных и шлицевых соединений ... 680
Нормирование точности зубчатых колес и передач ... 681
Список литературы ... 684

Глава **11.**
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ
(*А. И. Якушев, Ю. А. Шачнев*) ... 685
Виды и методы измерений. Погрешности измерений ... 685
Виды и методы контроля ... 686
Технологии и методики измерения размеров, отклонений формы и расположения поверхностей ... 688
Контроль шероховатости и волнистости поверхностей (*А. Г. Суслов*) .. 689
Обработка результатов наблюдений 705
Концевые меры длины. Угловые меры 715
Универсальные средства измерений 716
Средства автоматизации измерений и контроля ... 732
Контроль типовых элементов деталей машин ... 735
Список литературы ... 735

Глава **12.**
ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ МАШИН
(*В. С. Корсаков, А. М. Дальский*) ... 736
Разработка технологических процессов сборки машин ... 736
Роботизация сборочных работ (*В. С. Корсаков, А. Г. Холодкова*) ... 750

Применение ПР на сборочных работах (*Ю. Г. Козырев*) 762
Сборочный инструмент ПР 763
Сборочные ПР 770
Компоновки сборочных РТК 780
Примеры применения ПР при сборке 781
Механизированный сборочный инструмент (*В. И. Тавров*) 787
Инструмент для пригоночных работ 787
Инструмент для сборки резьбовых соединений 798
Инструмент для сборки клепаных соединений 801
Сборочные приспособления (*В. С. Корсаков*) 802
Технологическое оборудование сборочных цехов (*В. И. Тавров*) 810
Транспортное оборудование 810
Подъемные устройства 814
Прессы 815
Технология выполнения сборочных соединений (*В. С. Корсаков, А. В. Игнатов*) 816
Сборка узлов с подшипниками качения (*Г. Н. Мельников*) 832
Сборка узлов с подшипниками скольжения (*Ю. А. Макаров*) 841
Упругие деформации деталей при сборке (*А. М. Дальский*) 846
Технологическая оснастка и технология балансировки (*Б. И. Горбунов, Р. М. Гоцеридзе*) 851
Размерный анализ в технологии машиностроения (*О. А. Горленко, Ю. М. Соломенцев, Л. М. Червяков*) 863
Список литературы 873

Глава **13.**
НОРМИРОВАНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ 874
Нормирование операций, выполняемых на металлорежущих станках (*С. Н. Корчак, В. И. Гузеев*) 874
Норма времени и ее составляющие .. 874
Функционально-стоимостной анализ технологических процессов (*В. М. Панченко*) 877
Пример проведения ФСА технологического процесса 882
Список литературы 891

Глава **14.**
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ВАРИАНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА (*Ю. А. Абрамов*) 892
Методики оценки экономической эффективности 892
Методика А (Методика ЮНИДО) 892
Методика Б (Методика-88) 894
Методика В 899
Исходные данные для экономических расчетов (*Н. Ф. Зеленцова*) 902
Определение себестоимости методом прямого калькулирования (поэлементный метод) 902
Определение себестоимости нормативным методом 914
Расчет капитальных вложений 921
Список литературы 927
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ 928
Замеченные опечатки 942

Глава 1 МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ

КЛАССИФИКАЦИЯ И СИСТЕМА ОБОЗНАЧЕНИЯ СТАНКОВ

Металлорежущие станки в зависимости от вида обработки делят на девять групп (табл. 1), а каждую группу – на десять типов (подгрупп), характеризующих назначение станков, их компоновку, степень автоматизации или вид применяемого инструмента. Группа 4 предназначена для электроэрозионных, ультразвуковых и других станков.

Обозначение модели станка состоит из сочетания трех или четырех цифр и букв. Первая цифра означает номер группы, вторая – номер подгруппы (тип станка), а последние одна или две цифры – наиболее характерные технологические параметры станка. Например, 1Е116 означает токарно-револьверный одношпиндельный автомат с наибольшим диаметром обрабатываемого прутка 16 мм; 2Н125 означает вертикально-сверлильный станок с наибольшим условным диаметром сверления 25 мм. Буква, стоящая после первой цифры, указывает на различное исполнение и модернизацию основной базовой модели станка. Буква в конце цифровой части означает модификацию базовой модели, класс точности станка или его особенности.

Классы точности станков обозначают: Н – нормальной; П – повышенной; В – высокой; А – особо высокой точности и С – особо точные станки.

Принята следующая индексация **моделей станков с программным управлением**: Ц – с цикловым управлением; Ф1 – с цифровой индикацией положения, а также с предварительным набором координат; Ф2 – с позиционной системой ЧПУ; Ф3 – с контурной системой ЧПУ; Ф4 – с комбинированной системой ЧПУ. Например, 16Д20П –токарно-винторезный станок повышенной точности; 6Р13К-1 – вертикально-фрезерный консольный станок с копировальным устройством; 1Г340ПЦ – токарно-револьверный станок с горизонтальной головкой, повышенной точности, с цикловым программным управлением; 2455АФ1 – координатно-расточный двухстоечный станок особо высокой точности с предварительным набором координат и цифровой индикацией; 2Р135Ф2 – вертикально-сверлильный станок с револьверной головкой, крестовым столом и с позиционной системой числового программного управления; 16К20ФЗ – токарный станок с контурной системой числового программного управления; 2202ВМФ4 – многоцелевой (сверлильно-фрезерно-расточный) горизонтальный станок высокой точности с инструментальным магазином и с комбинированной системой ЧПУ (буква М означает, что станок имеет магазин с инструментами).

Станки подразделяют на широкоуниверсальные, универсальные (общего назначения), специализированные и специальные.

Специальные и специализированные станки обозначают буквенным индексом (из одной или двух букв), присвоенным каждому заводу, с номером модели станка. Например, мод. МШ-245 – рейкошлифовальный полуавтомат повышенной точности Московского завода шлифовальных станков.

1. Классификация металлорежущих станков

Станки	Группа	Типы станков				
		0	1	2	3	4
Токарные	1	Автоматы и полуавтоматы: специализированные	одношпиндельные	многошпиндельные	Токарно-револьверные	Токарно-револьверные полуавтоматы
Сверлильные и расточные	2		Настольно- и вертикально-сверлильные	Полуавтоматы: одношпиндельные	многошпиндельные	Координатно-расточные
Шлифовальные, полировальные, доводочные, заточные	3		Круглошлифовальные, бесцентрово-шлифовальные	Внутришлифовальные, координатно-шлифовальные	Обдирочно-шлифовальные	Специализированные шлифовальные
Электрофизические и электрохимические	4			Светолучевые		Электрохимические
Зубо- и резьбообрабатывающие	5	Резьбонарезные	Зубодолбежные для цилиндрических колес	Зуборезные для конических колес	Зубофрезерные для цилиндрических колес и шлицевых валов	Для нарезания червячных колес
Фрезерные	6	Барабанно-фрезерные	Вертикально-фрезерные консольные	Фрезерные непрерывного действия	Продольные одностоечные	Копировальные и гравировальные
Строгальные, долбежные, протяжные	7		Продольные: одностоечные	двухстоечные	Поперечно-строгальные	Долбежные
Разрезные	8		Отрезные, работающие: резцом	абразивным кругом	гладким или насечным диском	Правильно-отрезные
Разные	9		Трубо- и муфтообрабатывающие	Пилонасекательные	Правильно- и бесцентрово-обдирочные	

Продолжение табл. 1

Станки	Группа	Типы станков				
		5	6	7	8	9
Токарные	1	Карусельные	Токарные и лоботокарные	Многорезцовые и копировальные	Специализированные	Разные токарные
Сверлильные и расточные	2	Радиально- и координатно-сверлильные	Расточные	Отделочно-расточные	Горизонтально-сверлильные	Разные сверлильные
Шлифовальные, полировальные, доводочные, заточные	3	Продольно-шлифовальные	Заточные	Плоско-шлифовальные	Притирочные, полировальные, хонинговальные, доводочные	Разные станки, работающие абразивом
Электрофизические и электрохимические	4			Электроэрозионные, ультразвуковые прошивочные	Анодно-механические, отрезные	
Зубо- и резьбообрабатывающие	5	Для обработки торцов зубьев колес	Резьбофрезерные	Зубоотделочные, проверочные и обкатные	Зубо- и резьбошлифовальные	Разные зубо- и резьбообрабатывающие
Фрезерные	6	Вертикально-фрезерные бескосольные	Продольные двухстоечные	Консольно- фрезерные операционные	Горизонтально-фрезерные консольные	Разные фрезерные
Строгальные, долбежные, протяжные	7	Протяжные горизонтальные	Протяжные вертикальные для протягивания: внутреннего	наружного		Разные строгальные станки
Разрезные	8	Ленточно-пильные	Отрезные с дисковой пилой	Отрезные ножовочные		
Разные	9	Для испытания инструментов	Делительные машины	Балансировочные		

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Токарные станки

2. Токарно-револьверные и фасонно-отрезные одношпиндельные прутковые автоматы

Размеры, мм

Параметры	1Е110; 1Е110П	1Е116; 1Е116П	1Е125; 1Е125П	1Е140; 1Е140П	1Е165; 1Е165П	11Ф16	11Ф25	11Ф40
Наибольший диаметр обрабатываемого прутка	10	16	25	40	65	16*	25	40
То же, с применением устройства для наружной подачи	16	22	30	45	73	22	30	45
Наибольшая длина подачи прутка за одно включение	70	70	110	110	125	70	110	110
Наибольший размер нарезаемой резьбы по стали:								
плашкой	М10×1,5	2 ×1,7	М18×2,5	М27×3	М30×3,5	М12×1,75	М12×1,75	М18×2,5
метчиком	М8×1,25	М10×1,5	М16×2	М24×3	М27×3	–	–	–
Диаметр револьверной головки	125	125	160	160	200	–	–	–
Диаметр отверстия для крепления инструмента в револьверной головке	20	20	32	32	40	–	–	–
Наибольший ход револьверного продольного суппорта	60	60	100	100	120	70	120	120
Расстояние от торца шпинделя до периферии револьверной головки	50 – 130	50 – 130	75 – 235	75 – 235	00 – 30	–	–	–
Число поперечных суппортов	4	4	4	4	4	3	3	3
Наибольший ход:								
поперечных суппортов	32	32	45	45	60	32	45	45
продольной каретки переднего крестового суппорта	–	–	80	80	100	–	80	80
Частота вращения шпинделя, об/мин								
левого вращения	112-5000	90-4000	125-4000	80-2500	40-1600	180-3550	200-4000	125-2500
правого вращения	56-630	45-500	63-500	40-315	20-250	180-1800	200-2000	125-1250

Продолжение табл. 2

Параметры	1Е110; 1Е110П	1Е116; 1Е116П	1Е125; 1Е125П	1Е140; 1Е140П	1Е165; 1Е165П	11Ф16	11Ф25	11Ф40
Наибольшее число автоматически переключаемых частот вращения шпинделя в одном цикле:								
левого вращения	4	4	4	4	4	2 или 1	2 или 1	2 или 1
правого вращения	2	2	2	2	2	0 или 1	0 или 1	0 или 1
Время одного оборота распределительного вала, с	2,7-302	2,7-302	6,1-602	6,1-602	8-791	2,6-261	3-465	3-465
Число ступеней частот вращения распределительных валов	84	84	82	82	82	81	88	88
Мощность главного привода, кВт	2,2	3,0	4,0	5,5	7,5	3,0	4,0	5,5
Габаритные размеры:								
длина	1690	1760	2160	2160	2160	1315	1775	1775
ширина	775	775	1000	1000	1200	780	1000	1000
высота	1585	1585	1510	1510	1700	1460	1600	1600
Масса (без электрошкафа и поддерживающего устройства для прутка), кг	1330	1330	2200	2210	2855	970	1760	1790

* На фасонно-отрезном автомате 11Ф16 возможна обработка прутков диаметром 18 мм.

3. Токарные одношпиндельные автоматы продольного точения

Размеры, мм

Параметры	1103; 1103А	1Б10В	1М06В; 1М06А	1М10В; 1М10Д	11Т16В	1М32В
Наибольший диаметр:						
обрабатываемого прутка	4	6	6	10	16	32
сверления:						
по стали	2	4	3,4	6	7	12
по латуни	2,5	5	4,5	7	9	14
нарезаемой резьбы:						
по стали	М2	М4	М3, М4	М2, М5	М6, М8	М14
по латуни	М3	М5	М4, М5	М2, М6	М10, М12	М18
Наибольшая длина:						
подачи прутка за цикл	50	60	60	80; 100	80,140	100; 180
сверления	30	40	30-40	40	35-40	75
нарезаемой резьбы	25	40	30-40	40	40-50	75

Продолжение табл. 3

Параметры	1103; 1103А	1Б10В	1М06В; 1М06А	1М10В; 1М10Д	11Т16В	1М32В
Частота вращения, об/мин:						
шпинделя	1600-12500	1400-10000	1400-10000	900-8000	450-6300	280-3550
распределительного вала	1,4-4,0	0,254-50,8	0,016-16,9	0,099-33,78	0,049-20,4	0,035-22,4
Число суппортов	5	5	–	6	5	5
Рабочий ход суппортов:						
балансиров № 1 и № 2	8*	8*	–	10*	18	28
стойки № 3	20	20	–	15	40	15-30
стоек № 4 и № 5	12	10	–	20	20	15-45
Число скоростей шпинделя	19	18	18	20	24	2**
Мощность главного привода, кВт	1	1,5	1,5	2,2	3,0	3,1/4,7
Габаритные размеры (без поддерживающей трубы):						
длина	1050	1250	1250	1460	1900	2360
ширина	690	810	810	870	945	1150
высота	1345	1430	1450	1450	1520	1630
Масса, кг	400	630	650	840	1200	1700

* На оба резца.

** Имеется два диапазона частот вращения шпинделя, переключаемых в каждом диапазоне бесступенчато.

4. Токарные многошпиндельные горизонтальные прутковые автоматы

Размеры, мм

Параметры	1216-4К	1Б240-4К	1Б265-4К	1Б290-4К	1216-6К	1В225-6К	1Б240-6К
Наибольший диаметр обрабатываемого прутка	20	50	80	125	16	25	40
Наибольшая длина подачи прутка	100	180	200	250	100	150	180
Число шпинделей	4	4	4	4	6	6	6
Наибольший ход поперечных суппортов:							
нижних	40	80	80	125	40	40	80
верхних	40	80	90	100	40	40	80
заднего среднего	–	–	–	–	40	40	80
отрезного	–	–	–	–	30	30	50
Наибольший ход продольного суппорта	80	180	200	275	80	160	180
Число скоростей шпинделя	21	39	27	40	21	25	39
Частота вращения шпинделей, об/мин:							
нормальное исполнение	279-1995	125-1230	61-755	50-508	370-2650	280-3000	140-1600
быстроходное исполнение	–	125-1600	61-1050	50-810	600-4400	600-4400	140-2500

Продолжение табл. 4

Параметры	1216-4К	1Б240-4К	1Б265-4К	1Б290-4К	1216-6К	1В225-6К	1Б240-6К
Число ступеней подач	36	30	34	48	36	35	30
Наибольшая подача, мм/об:							
продольного суппорта	1,7	6,6	3,2	8,4	1,7	2,3	6,6
поперечных суппортов	0,4	0,33	1,4	2,0	0,4	0,7	3,3
Длительность быстрого хода, с	1,5	2,5	3,9	3,7	1,5	1,5	2
Мощность главного привода, кВт	7,5	13	30	30-40	7,5	11	15
Габаритные размеры:							
длина	5385	6170	5460	7945	5385	5700	6170
ширина	1000	1750	1830	2130	1000	1276	1750
высота	1520	1985	2170	2425	1520	1700	1985
Масса, кг	4000	10000	14500	20900	4000	6000	10000

Продолжение табл. 4

Параметры	1Б265-6К	1Б290-6К	1Б225-8К	1Б240-8К	1Б265-8К	1Б290-8К
Наибольший диаметр обрабатываемого прутка	65	100	20	32	50	80
Наибольшая длина подачи прутка	200	250	150	180	200	250
Число шпинделей	6	6	8	8	8	8
Наибольший ход поперечных суппортов:						
нижних	80	125	55	80	70	125
верхних	80	100	55	80	80	100
заднего среднего	70	125	55	70	70	100
отрезного	70	65	30	50	70	65
Наибольший ход продольного суппорта	200	275	125	180	200	275
Число скоростей шпинделя	29	40	25	9	8	40
Частота вращения шпинделей, об/мин:						
нормальное исполнение	73-1065	70-660	320-3200	140-1720	97-1176	80-706
быстроходное исполнение	73-1590	70-930	400-4000	140-2800	97-1810	80-1200
Число ступеней подач	20	48	35	30	26	48
Наибольшая подача, мм/об:						
продольного суппорта	3,2	5,9	2,5	4,6	3,2	5,3
поперечных суппортов	1,4	1,4	0,7	3,3	1,4	1,2
Длительность быстрого хода, с	3,5	3,7	1,34-1,6	1,8-2,5	3,5	3,7
Мощность главного привода, кВт	30	30-40	15	13	30	30-40

Продолжение табл. 4

Параметры	1Б265-6К	1Б290-6К	1Б225-8К	1Б240-8К	1Б265-8К	1Б290-8К
Габаритные размеры:						
длина	6265	7945	5828	6170	6130	7985
ширина	1830	2465	1336	1750	1830	2475
высота	2170	2425	1920	1985	2170	2425
Масса, кг	14500	22000	6500	10000	14500	22500

Примечания: 1. Все автоматы повышенной точности.

2. Четырехшпиндельные автоматы имеют четыре поперечных и один продольный суппорты, остальные автоматы имеют шесть поперечных и один продольный суппорты.

3. Шести- и восьмишпиндельные автоматы выпускают также с двойной индексацией, т.е. они могут работать соответственно как два трехшпиндельных или два четырехшпиндельных автомата.

5. Токарные многошпиндельные горизонтальные патронные полуавтоматы

Размеры, мм

Параметры	1Б240П-4К	1Б265П-4К	1Б290П-4К	1Б225П-6К	1Б240П-6К	1Б265П-6К	1Б290П-6К	1Б225П-8К	1Б240П-8К	1Б265П-8К	1Б290П-8К
Наибольший диаметр патрона	160	200	250	100	150	160	200	80	125	150	160
Наибольшая длина обработки	160	190	200	105	160	175	200	105	160	150	160
Число шпинделей	4	4	4	6	6	6	6	8	8	8	8
Число поперечных суппортов	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6	6
Наибольший ход поперечных суппортов:											
нижних	80	80	125	65	80	80	125	55	80	70	125
верхних	80	90	123	65	80	80	100	55	80	80	100
заднего среднего	–	–	–	65	80	80	125	55	70	80	100
Наибольший ход продольного суппорта	180	200	275	125	180	200	275	125	180	200	275
Число скоростей шпинделя	39	27	40	25	39	27	40	25	39	25	46
Частота вращения шпинделей, об/мин:											
нормальное исполнение	63-1048	62-755	42-553	120-1700	80-1140	78-805	42-617	140-2000	85-1400	97-814	48-800

Продолжение табл. 5

Параметры	1Б240П-4К	1Б265П-4К	1Б290П-4К	1Б225П-6К	1Б240П-6К	1Б265П-6К	1Б290П-6К	1Б225П-8К	1Б240П-8К	1Б265П-8К	1Б290П-8К
быстроходное исполнение	63-1320	62-900	42-800	200-2800	80-1610	78-1160	42-900	210-2800	85-1820	97-1290	48-100
Число ступеней подач	30	34	48	35	30	27	48	35	30	25	48
Наибольшая подача, мм/об:											
продольного суппорта	6,6	3,2	8,4	2,6	6,6	2,5	5,9	2,5	4,6	3,2	5,3
поперечных суппортов	0,33	1,4	2,0	0,7	3,3	1,1	1,4	0,7	3,3	1,4	1,2
Длительность быстрого хода, с	2,5	3,5	3,7	1,34-1,6	2	3,06-4,86	3,7	1,34-1,61	1,5-2,5	3,06-4,86	3,7
Мощность главного привода, кВт	13	30	30-40	15	17	30	30-40	15	17	30	30-40
Габаритные размеры:											
длина	4330	4675	4785	4105	4330	4675	4785	4105	4330	4675	4785
ширина	1600	1690	2160	1320	1600	1690	2160	1320	1600	1690	2160
высота	1985	2170	2475	1920	1985	2170	2475	1920	1985	2170	2475
Масса, кг	9000	14500	18100	5800	9000	1450	18400	5800	9000	1450	18500

Примечание. Все полуавтоматы повышенной точности.

6. Токарные многошпиндельные вертикальные полуавтоматы

Размеры, мм

Параметры	1К282	1283	1Б284	1286-8; 1А286-8	1А286-6
Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки	250	400	360	500	630
Число шпинделей	8	8	6	8	6
Число скоростей шпинделя	50	50	22	21	21
Частота вращения шпинделя, об/мин:					
при нормальном исполнении	42-628	28-410	20-224	20-200	12,5-250
при быстроходном исполнении	66-980	43-635	–	63-630	25-500
Число суппортов	7	7	5	7	5
Наибольшее перемещение суппортов (вертикальное и горизонтальное)	350	350	200	400	450; 200
Подача, мм/об	0,041-4,053	0,064-4,002	0,08-5,0	0,0315-4,0	0,028-4,0
Мощность главного привода, кВт	22, 30, 40, 5	20, 30, 40, 55, 75, 100	22 или 30	40, 55, 75, 100	110
Габаритные размеры:					
длина	3070	3252	3285	4140	4790
ширина	2945	3065	2987	4270	4790
высота	3872	3942	4040	4905	4925
Масса, кг	19000	20500	15000	32000	35500

7. Токарно-револьверные станки и полуавтоматы

Размеры, мм

Параметры	1Е316	1Д316П; 1Д316	1Г325	1Г325П	1Г340; 1Г340П	1В340Ф30
Наибольший диаметр обрабатываемого прутка	18	18	25	25	40	40
Наибольшая длина подачи прутка	50	–	80	80	100	120
Наибольший диаметр изделия, устанавливаемого над станиной	–	250	320	320	400	400
Наибольшие размеры обточки штучных заготовок в патроне:						
диаметр	80	80	–	120	200	–
длина	50	50	–	50	–	–
Расстояние от торца шпинделя до передней грани револьверной головки	350 (наиб.)	75-250	70-400	70-500	120-630	220-530
Наибольшее рабочее перемещение поперечного суппорта (ручное)	120	–	80	–	–	110
Частота вращения шпинделя, об/мин	100-4000	100-4000	80-3150	80-3150	45-2000	45-2000
Продольная подача револьверного суппорта (шпиндельной бабки), мм/об (мм/мин)	0,04-0,4	0,04-0,4	–	0,04-0,5	0,035-1,6	(1-2500)
Круговая (поперечная) подача револьверной головки (поперечного суппорта), мм/об (мм/мин)	–	–	–	0,028-0,315	0,02-0,8	(1-2500)
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	1,7 или 2,2	1,7 или 2,2	2,6 или 3	3,2 или 5,3	6,0 или 6,2	6,0 или 6,2
Габаритные размеры:						
длина	3662	1770	3980	4015	5170	2840
ширина	751	800	1000	1000	1200	1770
высота	1610	1500	1555	1500	1400	1670
Масса с приставным оборудованием, кг	1900	1028	1300	1690	3000	3600

Продолжение табл. 7

Параметры	1Е65ПФ3	1365	1416Ц	1П41Ф3	1А425	1П426Ф3
Наибольший диаметр обрабатываемого прутка	65	65	–	–	–	–
Наибольшая длина подачи прутка	–	200	–	–	–	–
Наибольший диаметр изделия, устанавливаемого над станиной	500	500	–	–	–	500
Наибольшие размеры обточки штучных заготовок в патроне:						
диаметр	–	–	160	160	250	400
длина	200	–	110	80	175	200

Продолжение табл. 7

Параметры	1Е65ПФ3	1365	1416Ц	1П41Ф3	1А425	1П426Ф3
Расстояние от торца шпинделя до передней грани револьверной головки	–	275-1000	260-430	–	365-610	–
Наибольшее рабочее перемещение поперечного суппорта (ручное)	–	310	–	–	–	–
Частота вращения шпинделя, об/мин	315-2000	34-1500	50-2000	45-2000	50-1250	12,5-2500
Продольная подача револьверного суппорта (шпиндельной бабки), мм/об (мм/мин)	(3-2500)	0,09-2,7	(20-300) б/с	(0,1-1200) б/с	(15-300)	(1-1600) б/с
Круговая (поперечная) подача револьверной головки (поперечного суппорта), мм/об (мм/мин)	(2-1200)	(0,045-1,35)	(25-200) б/с	(0,1-1200) б/с	(15-200)	(0,5-3000) б/с
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	15	13	5,5	1,2 или 6,3	7,5	22
Габаритные размеры:						
длина	3400	5360	2105	1970	2570	3550
ширина	1700	1500	1405	1150	1650	2400
высота	1530	1530	1875	2040	2150	–
Масса с приставным оборудованием, кг	4200	4500	3250	-4500	4850	4900

Примечания: 1. Габаритные размеры станка мод. 1Д316П без приставного оборудования и устройства ЧПУ; станок мод. 1П416Ф3 – вертикальной компоновки.

2. Станки с ЧПУ мод. 1В340Ф30, 1Е365ПФ3, 1П416Ф3, 1П426Ф3 выполняются с двумя управляемыми координатами по программе.

3. В таблице обозначено: б/с – бесступенчатое регулирование подач.

8. Токарно-карусельные станки

Размеры, мм

Параметры	1512	1А512МФ3	1516	1516Ф1	1А516МФ3	1525	1А525МФ3	1А532ЛМФ3
Наибольшие параметры обрабатываемой заготовки:								
диаметр	1250	1450	1600	1600	1800	2500	2500	3150
высота	1000	1000	1000	1000	1600	1600	1600	2400
масса, кг	4000	6300	5000	6300	10000	13000	20000	25000
Наибольшее перемещение вертикального (револьверного) суппорта:								
горизонтальное	775	1315	950	950	1315	1390	1585	1910
вертикальное	700	800	700	700	1250	1200	1100	1100
Диаметр планшайбы	1120	1120	1400	1400	1400	2250	2240	2800

Продолжение табл. 8

Параметры	1512	1А512МФ3	1516	1516Ф1	1А516МФ3	1525	1А525МФ3	1А532ЛМФ3
Частота вращения планшайбы, об/мин	5-250	1,0-335,	4-200	4-200	0,9-280	1,6-80	Бесступенчатое регулирование	
Подача суппорта вертикальная и горизонтальная, мм/мин	5-180	0,1-1000 (бесступенчатая)	5-1800	0,1-1000	0,1-1000 (бесступенчатая	0,1-1280	0,1-1000	0,1-1000
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	30	55	30	30	75	40	55*	100*
Габаритные размеры:								
длина	2875	5050	3190	3170	5200	5065	7330	8090
ширина	2660	3950	3360	3025	3950	5280	6475	6935
высота	4100	4790	4100	4100	4790	4910	5300	5300
Масса, кг	16500	26000	19200	21000	27000	35500	47000	55000

Продолжение табл. 8

Параметры	1540	1550	1580Л	1Л532	1563	1580Л	1А592
Наибольшие параметры обрабатываемой заготовки:							
диаметр	4000	5000	8000	3200	6300	8000	12500
высота	2000	2500	3200	1600	3200	3200	5000
масса, кг	63000	63000	125000	16000	125000	125000	320000
Наибольшее перемещение вертикального (револьверного) суппорта:							
горизонтальное	2300	2800	4400	1720	3720	4370	–
вертикальное	1250	1600	2000	1200	2000	2000	3200
Диаметр планшайбы	4000	4500	7100	2800	6300	7100	11200
Частота вращения планшайбы, об/мин	0,52-48,7	0,34-31,2	0,22-20,1	1,25-63	0,28-25,5	0,22-20,1	0,28-23,2
Подача суппорта вертикальная и горизонтальная, мм/мин	0,059-470	0,044-352	0,0352-285	0,1-1000	0,0352-285	0,0352-285	0,022-160
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	125	125	125	55	125	125	125
Габаритные размеры:							
длина	5920	6560	8615	5485	8213	8615	16935
ширина	10144	11410	17600	6040	14200	17600	25300
высота	7200	8400	9765	4910	9765	9765	18775
Масса, кг	100000	140500	248000	43000	223000	248000	780000

56. Электродвигатели постоянного тока.

Примечания: 1. Станки 1512, 1А512МФ3, 1516, 1516Ф1, 1А516МФ3 – одностоечные, остальные модели двухстоечные. 2. Станки с ЧПУ мод. 1А512МФ3, 1А516МФ3, 1А525МФ3, 1А532ЛМФ3 выполняют с четырьмя, а мод. 1516Ф1 – с двумя управляемыми координатами по программе: дискретность системы управления (цифровой индикации) 0,01 мм.

9. Токарно-винторезные и токарные станки

Размеры, мм

Параметры	16Т02А	16Б04А	16Б05П	16Б16А	16А20Ф3	16Л20; 16Л20П	16К20: 16К20П
Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки:							
над станиной	125	200	250	320	320	400	400
над суппортом	75	115	145	180	200	210	220
Наибольший диаметр прутка, проходящего через отверстие шпинделя	8	14	16	36	50	34	53
Наибольшая длина обрабатываемой заготовки	250	350	500	750	900	1500	710; 1000; 1400; 2000
Шаг нарезаемой резьбы:							0,5-112
метрической	–	0,2-28	0,2-28	0,25-56	–	0,25-56	56-0,5
дюймовой, число ниток на дюйм	–	96-5	96-5	112-0,5	–	56-0,25	0,5-112
модульной, модуль	–	0,1-14	0,1-14	0,25-56	–	0,5-112	56-0,5
питчевой, питч	–			112-0,5	–	112-0,5	12,5-1600
Частота вращения шпинделя, об/мин	320-3200	320-3200	30-3000	20-2000	20-2500	16-1600	
Число скоростей шпинделя	6	б/с	б/с	21	–	21/18	22
Наибольшее перемещение суппорта:							
продольное	65	–	540	700	905	1440	645-1935
поперечное	60	–	160	210	210	240	300
Подача суппорта, мм/об (мм/мин):							
продольная	–	0,01-0,175	0,02-0,35	0,01-0,7	–	0,05-2,8	0,05-2,8
поперечная	–	0,005-0,09	0,01-0,175	0,005-0,35	–	0,025-1,4	0,025-1,4
Число ступеней подач	–	–	–	–	б/с	–	24
Скорость быстрого перемещения суппорта, мм/мин:							
продольного	–	–	–	–	–	4000	3800
поперечного	–	–	–	–	–	2000	1900
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	0,27	1,1	1,5	2,8; 4,6	7,5/11	3,8; 6,3	11
Габаритные размеры (без ЧПУ):							
длина	695	1310	1510	2280	3700	2920	2505-3795
ширина	520	690	725	1060	2260	1035	1190
высота	300	1360	1360	1485	1650	1450	1500
Масса, кг	350	1245	715	2100	4000	2050	2835-3685

Продолжение табл. 9

Параметры	16К20Ф3	16К20Т1	16К25	1М63БФ101	16К30Ф305	16К40П	16К50П	1А660	1А670
Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки:									
над станиной	400	500	500	630	630	800	1000	1250	2000
над суппортом	220	215	290	350	320	450	600	900	1600
Наибольший диаметр прутка, проходящего через отверстие шпинделя	53	53	53	65	70	85	100	–	–
Наибольшая длина обрабатываемой заготовки	1000	900	710; 1000; 1400; 2000	2800	1400	2000; 2800; 4000; 6000	–	6000; 8000; 10000	10000
Шаг нарезаемой резьбы:									
метрической	До 20	0,01-40,959	0,5-112	1-224	До 10	1-288	1-224	1-96	2-384
дюймовой, число ниток на дюйм	–	–	56-0,5	56-0,2	–	56-0,25	28-1/8	20-3/8	–
модульной, модуль	–	–	0,5-112	0,5-11	–	0,25-88	0,25-56	–	–
Шаг нарезаемой резьбы:									
питчевой, питч	–	–	56-0,5	112-0,5	–	224-1	112-1/2	–	–
Частота вращения шпинделя, об/мин	2,5-200	10-2000	12,5-1600	10-1250	6,3-1250	6,3-1250	2,5-500	1,6-200	1-125
Число скоростей шпинделя	22	24	22	22	24	24	24	б/с	б/с
Наибольшее перемещение суппорта:									
продольное	900	900	645-1935	2520	1250	–	2600	–	10400
поперечное	250	250	300	400	370	–	650	–	715
Подача суппорта, мм/об (мм/мин):									
продольная	(3-1200)	0,01-2,8	0,05-2,8	0,06-1,0	(1-1200)	0,055-1,2	0,08-27,9	0,06-3,4	0,04-84,7
поперечная	(1,5-600)	0,005-1,4	0,025-1,4	0,024-0,31	(1-600)	0,023-0,5	0,04-13,95	0,03-1,7	0,02-42,4
Число ступеней подач	б/с	б/с	–	32	б/с	–	48	12	–
Скорость быстрого перемещения суппорта, мм/мин:			3800						
продольного	4800	6000	1900	4500	4800	–	2940	2000	2400
поперечного	2400	5000	11	1600	2400	–	1970	2000	2400
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	10	11		15	22	18,5	22	55	100

Продолжение табл. 9

Параметры	16К20Ф3	16К20Т1	16К25	1М63БФ101	16К30Ф305	16К40П	16К50П	1А660	1А670
Габаритные размеры (без ЧПУ):									
длина	3360	3700	2505-3795	4950	4350	4655	5750	12200	22200
ширина	1710	1770	1240	1780	2200	5465	2157	2400	4300
высота	1750	1700	1500	1550	1600	6665	1850	2070	2850
Масса, кг	4000	3800	2925-3775	5620	6300	5800	11900	41700	120000

Примечания: 1. Станки с ЧПУ мод. 16Б16Т1, 16К20Ф3, 16К20Т1, 16К30Ф305 выполняют с двумя управляемыми координатами по программе. Дискретность системы управления при задании размеров: продольных – 0,01 мм; поперечных – 0,005 мм.

2. В таблице обозначено: б/с – бесступенчатое регулирование.

10. Токарные многорезцовые копировальные полуавтоматы и станки с ЧПУ

Размеры, мм

Параметры	1716Ц	1Н713	1П717Ф3	1719	1П752МФ3	1Б732	1Б732Ф3
Наибольшие размеры обрабатываемой заготовки:							
устанавливаемой над станиной	400	400	400	500	500	590	630
устанавливаемой над суппортом	200	250	–	320	250	320	400
длина	750	500	100	1000	250; 600	1000; 2000	1000; 2000
Наибольшее перемещение суппорта:							
продольное или вертикальное	820	350	420	1250	1035	985; 1985	1025; 1985
поперечное или горизонтальное	100	200	160	138	350	161	200
Наибольшее перемещение поперечного суппорта:							
поперечное или горизонтальное (продольное установочное или вертикальное)	100 (554)	200 (395)	–	160	–	153	–
Частота вращения шпинделя, об/мин	100-2000	63-1250	16-2000	80-1600	6,3-1250	56-900	25-1250
Рабочая подача суппорта, мм/мин							
копировального (в продольном или вертикальном направлении	5-1250	25-400	1-1200*	0,109-1,84**	1-1200	20-450*	5-512
поперечного (в поперечном или горизонтальном направлении)	10-600	25-400	1-600*	–	1-600*	10-240*	5-512

Продолжение табл. 10

Параметры	1716Ц	1Н713	1П717Ф3	1719	1П752МФ3	1Б732	1Б732Ф3
Скорость быстрого перемещения суппорта, м/мин:							
копировального (в продольном или вертикальном направлении)	4,5	3,5	4,8	–	4,8	4,0	4,8
поперечного (в поперечном или горизонтальном направлении)	4	3,5	2,4	–	2,4	1,0	2,4
Дискретность задания размеров:							
продольных (или в вертикальном направлении)	–	–	0,01	–	0,01	–	0,01
поперечных (или в горизонтальном направлении)	–	–	0,005	–	0,005	–	0,005
Число позиций поворотной револьверной головки	–	–	6	–	–	–	6
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	18,5	5	5,5; 8,5	40	22	40; 55	22; 40
Габаритные размеры (без устройства ЧПУ):			3020				
длина	3000	2450	3330	3798	3565	3760; 4760	4245; 5245
ширина	1480	1250	1860	1390	2078	2170	2140
высота	2200	1980	3185	2320	2195	2665	2835
Масса, кг	4500	4700		9600	9000	10250; 12750	9600; 12100

Продолжение табл. 10

Параметры	1740РФ3	РТ-777Ф3	1П756ДФ3	1723	1723Ф3	1А734; 1А734П	1734Ф3	1А751; 1А751П
Наибольшие размеры обрабатываемой заготовки:								
устанавливаемой над станиной	630	630	630	–	–	560	–	710
устанавливаемой над суппортом	400	400	500	–	–	320	–	500
длина	1400; 2000	1600	320	–	–	–	–	–
диаметр	–	–	–	200	200	–	320	–
высота в патроне / в центрах	–	–	–	160/360	160	–/500	200	–/500
Наибольшее перемещение суппорта:								
продольное или вертикальное	1440; 2026	1010	720	420	400	600	500	600
поперечное или горизонтальное	385	365	480	110	160	240	220	320

Продолжение табл. 10

Параметры	1740РФ3	РТ-777Ф3	1П756ДФ3	1723	1723Ф3	1А734; 1А734П	1734Ф3	1А751; 1А751П
Наибольшее перемещение поперечного суппорта:								
поперечное или горизонтальное (продольное установочное или вертикальное)	–	–	–	180 (420)	–	–	–	–
Частота вращения шпинделя, об/мин	16-1600	20-2400	8-1600	50-630	63-1410	45-1000	45-1000	45-710
Рабочая подача суппорта, мм/мин:								
копировального (в продольном или вертикальном направлении)	0,01-10000*	–	1-2000*	–	1-1200*	10-2000*	1-1200*	10-2000*
поперечного (в поперечном или горизонтальном направлении)	0,01-10000*	–	1-2000*	–	1-1200*	10-2000*	1-1200*	10-2000*
Скорость быстрого перемещения суппорта, м/мин:								
копировального (в продольном или вертикальном направлении)	10,0	–	10,0	4,4	4,8	6,0	4,8	6,0
поперечного (в поперечном или горизонтальном направлении)	10,0	–	10,0	3,1	2,4	4,0	2,4	4,0
Дискретность задания размеров:								
продольных (или в вертикальном направлении)	0,001	0,001	0,002	–	0,01	–	0,01	–
поперечных (или в горизонтальном направлении)	0,001	0,001	0,002	–	0,005	–	0,005	–
Число позиций поворотной револьверной головки	12	–	4; 6	–	–	–	–	–
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	37	45	30	7	7; 10	24; 34	13,5; 19,5	34; 50,6
Габаритные размеры (без устройства ЧПУ):								
длина	4930; 5530	5500	3200	2065	1700	4400	2200	4700
ширина	2310	2750	2000	1490	2000	2500	2250	2600
высота	3050	2470	2600	2300	2665	3020	3035	3030
Масса, кг	11600; 13100	9000	8000	6400	6000	12700	8000	16200

* Изменение подачи бесступенчатым регулированием.
** Подача в мм/об.

Примечание. Станки 1723, 1723Ф3, 1А734, 1А734П, 1734Ф3, 1А751 и 1А751П вертикальной компоновки.

11. Токарные многоцелевые станки

Размеры, мм

Параметры	ИТР180ПМФ4	СТМ220К	1П420ПФ40	СТМ320К	1740РФ4
Наибольший диаметр заготовки:					
устанавливаемой над станиной	320	400	450	500	680
устанавливаемой над суппортом	–	220	–	320	400
прутка	50	–	50	–	–
Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки	200	–	200	–	630
Наибольшая длина обрабатываемой заготовки	160	500	130	450	1500; 2000
Наибольшее перемещение суппорта:					
продольное, ось Z	400	600	670	600	1010
поперечное, ось X	245	280	240	335	365
Дискретность задания перемещений (точность позиционирования):					
по оси X, мм/импульс	0,0005	,001 (0,01)	0,0005	0,001	0,005
по оси Z, мм/импульс	0,001	,001 (0,02)	0,001	0,001	0,01
по координате С, град/импульс	0,001	0,001	0,01	0,001	–
Индексируемый поворот шпинделя, координата С	0,001°× ×360000	0,001°× ×360000	0,01°× ×360000	0,001°× ×360000	–
Конец шпинделя по ГОСТ 12595–85	1-6М	–	2-6Ц	–	1-11М
Число позиций револьверной головки или инструментального магазина	12	12	12	12	12
Частота вращения шпинделя, об/мин	20...4000	12...2800	20...4000	10...2000	16...2500
Частота вращения инструментальных шпинделей, об/мин	40...4000	30...3000	20...2500	30...3000	1500
Рабочие подачи:					
по осям X и Z, мм/мин	1...5000	1...10000	2...3000	1...10000	1...10000
по координате С, об/мин	0,02...20	–	0,008...5,5	–	–
Скорости быстрых перемещений:					
по оси X, мм/мин	12000	10000	10000	10000	10000
по оси Z, мм/мин	12000	10000	15000	10000	10000
по координате С, об/мин	40	–	20	–	–
Наибольшее усилие подачи по осям Z, X, к	6; 4	16	12; 6	23	–
Мощность электродвигателя, кВт:					
главного двигателя (шпинделя)	22	18,5	22	22	40; 60
инструментальных шпинделей	3,7	3,0	–	3,0	–
Габаритные размеры без приставного оборудования (с приставным оборудованием):					
длина	167 (4200)	4700	3150	5000	3990
ширина	900 (2800)	2010	2260	1710	2490
высота	650 (1800)	2520	2300	2750	3100
Масса без приставного оборудования (с приставным оборудованием), кг	500 (5500)	6100	5900	7000	12800

Продолжение табл. 11

Параметры	1757Ф4	СТМ450	1В540МФ4-01	1А550МФ4-01
Наибольший диаметр заготовки:				
устанавливаемой над станиной	750	800	–	–
устанавливаемой над суппортом	560	450	–	–
прутка			–	–
Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки	650	–	4000	5000
Наибольшая длина обрабатываемой заготовки	1000	630	2500 (высота)	3150 (высота)
Наибольшее перемещение суппорта:				
продольное,ось Z	1100, 1600, 2100	700	2500 (вертик.)	3090 (вертик.)
поперечное, ось X	420	450	2000	2250
Дискретность задания перемещений (точность позиционирования):				
по оси X, мм/ импульс	0,001	0,001	0,001	0,001
по оси Z, мм/ импульс	0,001	0,001	0,001	0,001
по координате С, град/ импульс	0,001	0,001	0,001	0,001
Индексируемый поворот шпинделя, координата С	,001°×3600 00	0,001°×360000	0,001°×360000	0,001°×360000
Конец шпинделя по ГОСТ 12595–85	–	–	–	–
Число позиций револьверной головки или инструментального магазина	12	16	10	10...12
Частота вращения шпинделя, об/мин	10...2500	6...1400	0,63...63	0,45...45
Частота вращения инструментальных шпинделей, мин $^{-1}$	10...2200	30...3000	6...600 1500 (шлиф. головка)	4...400
Рабочие подачи:				
по осям X и Z, мм/мин	1...4000	1...10000	0,1...1000	0,1...1000
по координате С, об/мин	0,1...10	–	0,0002...1,0	0,0002...0,8
Скорости быстрых перемещений:				
по оси X, мм/мин	10000	10000	6000	6000
по оси Z, мм/мин	10000	10000	6000	6000
по координате С, об/мин	14 (20)	–	–	–
Наибольшее усилие подачи по осям Z, X, кН:	20	–	80	90
Мощность электродвигателя, кВт:				
главного двигателя (шпинделя)	30 (60)	37	125	140
инструментальных шпинделей	–	3,0	–	–
Габаритные размеры без приставного оборудования (с приставным оборудованием):				
длина	5300	5900	10140 (14200)	(16400)
ширина	2620	2040	5140 (8560)	(9500)
высота	2900	2460	11150 (11150)	(12370)
Масса без приставного оборудования (с приставным оборудованием), кг	11200	11200	130000 (132000	(156000)

Примечания: 1. 20 ... 4000 - бесступенчатое регулирование.
2. Станки мод.1В540МФ4-01,1А550МФ4-1 - многоцелевые токарно-карусельные.

Сверлильные и расточные станки

12. Вертикально-сверлильные станки

Размеры, мм

Параметры	2Н106П	2М112	2Н118	2Н125Л	2Н125	2Н135
Наибольший условный диаметр сверления в стали	6	12	18	25	25	35
Рабочая поверхность стола	200 × 200	250 × 250	320 × 360	Диаметр 400	400 × 450	450 × 500
Наибольшее расстояние от торца шпинделя до рабочей поверхности стола	250	400	650	700	700	750
Вылет шпинделя	125	190	200	250	250	300
Наибольший ход шпинделя	–	100	150	150	200	250
Наибольшее вертикальное перемещение:						
сверлильной (револьверной) головки	130	300	300	215	170	170
стола	–	–	350	525	270	300
Конус Морзе отверстия шпинделя	1	28	2	3	3	4
Число скоростей шпинделя	7	5	9	9	12	12
Частота вращения шпинделя, об/мин	1000-8000	450-4500	180-2800	90-1420	45-2000	31-1400
Число подач шпинделя (револьверной головки)	–	–	–	3	9	9
Подача шпинделя (револьверной головки), мм/об	Ручная			0,1-0,3	0,1-1,6	0,1-1,6
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	0,4	0,6	1,5	1,5	2,2	4,0
Габаритные размеры:						
длина	560	770	870	770	915	1030
ширина	405	370	590	780	785	825
высота	625	820	2080	2235	2350	2535
Масса, кг	80	120	450	620	880	1200

Продолжение табл. 12

Параметры	2Р135Ф2-1	2Н150	2Г175	2Г175М
Наибольший условный диаметр сверления в стали	35	50	75	8
Рабочая поверхность стола	400 × 710	500 × 560	560 × 630	710 × 1250
Наибольшее расстояние от торца шпинделя до рабочей поверхности стола	600	800	850	828
Вылет шпинделя	450	350	400	200-760
Наибольший ход шпинделя	–	300	–	–
Наибольшее вертикальное перемещение:				
сверлильной (револьверной) головки	560	250	710	500
стола	–	360	–	–
Конус Морзе отверстия шпинделя	4	5	6	1, 2 или 3

Продолжение табл. 12

Параметры	2Р135Ф2-1	2Н150	2Г175	2Г175М
Число скоростей шпинделя	12	12	12	12
Частота вращения шпинделя, об/мин	45-2000	22-1000	18-800	22-1000
Число подач шпинделя (револьверной головки)	18	12	33	12
Подача шпинделя (револьверной головки), мм/об	10-500 мм/мин	0,05-2,24	0,018-4,5	0,05-2,24
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	3,7	7,5	11	11
Габаритные размеры:				
длина	1800	1355	1420	1500
ширина	2170	890	1920	1800
высота	2700	2930	3385	3650
Масса, кг	4700	1870	4250	5000

Примечания: 1. На базе станка 2Н106П выпускают станки 2Н106П-2, 2Н106П-3 и 2Н106П-4 соответственно с двумя, тремя и четырьмя одинаковыми сверлильными головками с индивидуальными электродвигателями.

2. Станки 2Н106П и 2М112 настольные, а станок 2Н125Л облегченно-упрощенный.

3. Станок 2Р135Ф2-1 с шестипозиционной револьверной головкой, крестовым столом и числовым программным управлением.

4. Станок 2Г175М имеет 28 одновременно работающих раздвижных шпинделей с наименьшим расстоянием между шпинделями по диаметру 65 мм.

13. Радиально-сверлильные станки

Размеры, мм

Параметры	2М55	2554	2Ш55	2Р53	2М57	2М58-1
Наибольший условный диаметр сверления в стали	50	50	50	50	75	100
Расстояние от оси шпинделя до образующей (направляющей) колонны (вылет шпинделя)	375-1600	350-1600	850-1600	750-3150	500-2000	500-3150
Расстояние от нижнего торца шпинделя до рабочей поверхности плиты (или до головки рельса)	450-1600	200-1600	150-1800	815-2265	400-2000	370-2500
Наибольшее перемещение:						
вертикальное, рукава на колонне	750	1000	1250	1050	1100	1500
горизонтальное, сверлильной головки по рукаву (или рукав на колонне)	1225	1250	750	–	1500	2650
Наибольшее вертикальное перемещение шпинделя	–	400	400	400	–	630
Конус Морзе отверстия шпинделя	5	5	5	–	6	6

Продолжение табл. 13

Параметры	2М55	2554	2Ш55	2Р53	2М57	2М58-1
Число скоростей шпинделя	21	–	21	21	22	22
Частота вращения шпинделя, об/мин	20-2000	18-2000	10-1000	20-2000	12,5-1600	10-1250
Число подач шпинделя	12	–	8	12	18	18
Подача шпинделя, мм/об	0,056-2,5	0,05-5,0	0,1-1,12	0,056-2,5	0,063-3,15	0,063-3,15
Наибольшая сила подачи, МН	20	20	16	16	32	50
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	5,5	5,5	4	5,5	7,5	13
Габаритные размеры:						
длина	2665	2685	4280	5585	3500	4850
ширина	1020	1028	1650	1930	1630	1830
высота	3430	3390	3550	3470	4170	4885
Масса, кг	4700	4750	8000	12600	10500	18000

Примечания: 1. Станок 2Ш55 переносной, рукав станка перемещается в вертикальном и горизонтальном направлениях, сверлильная головка может поворачиваться в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

2. Станок 2Р53 передвижной (по рельсам).

14. Координатно-расточные и координатно-шлифовальные станки

Размеры, мм

Параметры	2421	2431	2Д450	2Д450АФ2	2Е450АФ1
Размеры рабочей поверхности стола	250 × 450	320 × 560	630 × 1100	630 × 1120	630 × 1120
Вылет шпинделя/расстояние между стойками	280/–	375/–	710/–	710/–	710/–
Расстояние от торца шпинделя (вертикального) до рабочей поверхности стола	100-400	120-500	200-830	200-750	200-770
Наибольшая масса обрабатываемого изделия, кг	150	250	600	600	600
Наибольшее перемещение:					
стола:					
продольное	320	400	1000	1000	1000
поперечное	200	250	630	630	630
гильзы шпинделя (или шпинделя)	100	150	270	260	260
шпиндельной бабки вертикальное	200	230	330	–	310
Наибольший диаметр:					
сверления в стали	10	18	30	30	30
растачивания (или шлифования)	80	125	250	250	250

Продолжение табл. 14

Параметры	2421	2431	2Д450	2Д450АФ2	2Е450АФ1
Частота вращения шпинделя (или шлифовального круга), об/мин	135-3000	75-3000	50-2000	32-2000	10-2000
Подача, мм/мин (мм/об):					
шпинделя	(0,015-0,06)	(0,02-0,2)	(0,03-0,16)	2-250	1,2-1000
стола	–	22-600	30-300	20-400	0,4-6000
Скорость быстрого перемещения, мм/мин:					
стола	–	1600	1500	2200	–
шпиндельной бабки	–	–	–	3000	3150
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,0	1,9; 2,2	2,0	2,0	7,2
Габаритные размеры:					
длина	1790	1780	3305	5490	3028
ширина	900	1330	2705	4430	3765
высота	2020	2430	2800	2800	3000
Масса, кг	1985	3435	7800	9178*	7990

Продолжение табл. 14

Параметры	2Е440А	2455	2Б460А; 2Е460А	2Е470А	3283С
Размеры рабочей поверхности стола	400 × 710	430 × 900	1000 × 1600	1400 × 2240	320 × 560 × × 100
Вылет шпинделя/расстояние между стойками	630/–	–/1000	–/1400	–/2000	390/–
Расстояние от торца шпинделя (вертикального) до рабочей поверхности стола	158	80–800	60–1100	170–1400	115–520
Наибольшая масса обрабатываемого изделия, кг	320	800	2000	2500	300
Наибольшее перемещение:					
стола:					
продольное	630	800	1400	2000	400
поперечное	400	–	–	–	250
гильзы шпинделя (или шпинделя)	200	220	360	360	100
шпиндельной бабки:					
вертикальное	270	–	720	920	280
горизонтальное (поперечины)	–	630 (500)	1000 (720)	1400 (900)	–
Наибольший диаметр:					
сверления в стали	25	30	40	40	–
растачивания (или шлифования)	250	250	320	320	3–220
Частота вращения шпинделя (или шлифовального круга), об/мин	50–2000	–	20–2000	20–2000	12000–96000

Продолжение табл. 14

Параметры	2Е440А	2455	2Б460А; 2Е460А	2Е470А	3283С
Подача, мм/мин (мм/об):					
шпинделя	(0,03-0,16)	2,5-500	–	–	0-5000
стола	20-315	2,5-500	0,8-630	0,8-630	1-600
шпиндельной бабки	–	2,5-500	0,8-630	0,8-630	750
Скорость быстрого перемещения, мм/мин:					
стола	1600	1500	2500	2500	2000
шпиндельной бабки	–	1500	1600	1600	750
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	4,5	4,5	2,3; 3,9	2,3; 3,9	0,5
Габаритные размеры:					
длина	2440	2910	4665	6015	1600
ширина	2195	2240	3440	4060	1580
высота	2385	2680	4170	4610	2340
Масса, кг	3400	7000	17000	33000	3850

* С приставным оборудованием.

Примечания: 1. Станки 2455, 2Б460А, 2Е460А, 2Е470А, 3289 двухстоечные, остальные – одностоечные.

2. Станки 3Б282, 3289 и 3283С координатно-шлифовальные.

3. Станки 2421, 2431 и 3283С особо точные.

4. Станки 2Е460А и 2Е470А с двумя шпиндельными головками (вертикальной и горизонтальной) и люнетом.

5. Цена деления отсчетных устройств перемещения стола для всех станков 0,001 мм.

15. Многоцелевые вертикальные станки

Размеры, мм

Параметры	2254ВМФ4	400V	ГФ2171С6	ГДВ500	2С150ПМФ4	СЦ2В05ПМ1Ф4
Размеры рабочей поверхности стола (палеты)	400 × 630	400 × 900	400×1600	500 × 630	500 × 1000	(500 × 1000)×2
Наибольшая масса обрабатываемой заготовки, кг	300	400	400	400	700	600 × 2
Программируемые перемещения по осям:						
X	500	560	1010	710	800	1075 (2150)
У	500	400	400	540	500	450
Z	500	460	250	530	750	400

Продолжение табл. 15

Параметры	2254ВМФ4	400V	ГФ2171С6	ГДВ500	2С150ПМФ4	СЦ2В05ПМ1Ф4
Точность позиционирования (дискретность задания перемещений)	0,012	0,005	(0,01)	0,02	0,025; (0,01)	0,02
Расстояние от торца шпинделя до рабочей поверхности стола	110-610	650	250-500	170-700	200-950	200-950
Конус шпинделя (по ГОСТ 15945–82)	50	40	50	40	40	40
Вместимость инструментального магазина (по заказу), шт.	30	20	12	30	16 (32)	24
Наибольший диаметр инструмента, загружаемого в магазин:						
без пропуска гнезд	100	80	50	85	90	90
с пропуском гнезд	160	–	125	125	125	125
Наибольший диаметр сверления	–	25	30	40	40	50
Время смены инструмента ("от реза до реза"), с	5	2,5	(15)	(12)	16	12
Частота вращения шпинделя, об/мин	40...2500	80...8000	50-2500 (Z = 18)	20...6000	28...3500	28...6000
Рабочие подачи по осям X, У, Z, мм/мин	1...10000	–	3...6000	1...10000	1...5000	1...5000
Скорость быстрых перемещений по осям X, У, Z, мм/мин	10000	30000; Z-25000	9000	15000	12000	12000
Наибольшее усилие подачи по осям X, У, Z, кН	10		15,7; Z-9,8		6; Z-15	6; Z-15
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	6,3	5,5; 7,5	7,5; 11	9	11; 15	11
Габаритные размеры (с приставным оборудованием):						
длина	4300; (5000)	2330	3350	(5015)	3100; (3785)	3100; (4040)
ширина	3500; (4900)	2620	4170	(3900)	2700; (3035)	2800; (3660)
высота	3800; (3800)	2640	3150	(3052)	3500; (3500)	3500; (3500)
Масса (с приставным оборудованием), кг	6500; (8750)	3700	6580	(10500)	5600; (6130)	6200 (10300)

Примечание: 40 ... 2500 – бесступенчатое регулирование; 50 – 2500 (Z = 18) – ступенчатое регулирование.

Продолжение табл. 15

Параметры	600V	65А80ПМФ4М-11	65А90ПМФ4М	6М612МФ4	6М616МФ7	2570ПМФ4
Размеры рабочей поверхности стола (палеты)	600 × 1250; 600 × 1600	800 × 1000	1000 × 1600	1250 × 4000	1600×5000	2000×4000
Наибольшая масса обрабатываемой заготовки, кг	800	3000	5000	4000 кг/м	5000 кг/м	7500
Программируемые перемещения по осям (по заказу):						
X	1000 (1400)	1250	1590	4500	5600	4000
У	600	800	990	2800	3150	2000
Z	600	775	690 (990)	1000	1000	630
Точность позиционирования (дискретность задания перемещений)	0,02	(0,001)	(0,001)	–	–	0,06
Расстояние от торца шпинделя до рабочей поверхности стола	800	125-900	50-1000	275-1275	275-1275	270-800
Конус шпинделя (по ГОСТ 15945–82)	40	50	50	60 (50)	60 (50)	50
Вместимость инструментального магазина (по заказу), шт.	20 (40)	24 (40)	24	40	40	24
Наибольший диаметр инструмента, загружаемого в магазин:						
без пропуска гнезд	125	125	125	–	–	135
с пропуском гнезд	–	250	250	350	350	200
Наибольший диаметр сверления	40	–	50	75	75	50
Время смены инструмента ("от реза до реза"), с	2,5 (7)	18	18	20	20	–
Частота вращения шпинделя, об/мин$^{-1}$	80...8000	5...2000	5...2000	10...1600	10...1600	15...3000
Рабочие подачи по осям X, У, Z, мм/мин	–	1...10000	1...7000	3...10000 Z-3...6000	3...10000 Z-3...6000	5...3000
Скорость быстрых перемещений по осям X, У, Z, (по заказу), мм/мин	10000 (15000)	10000	12000	10000 Z-6000	10000 Z-6000	10000 Z-6000
Наибольшее усилие подачи по осям X, У, Z, кН	–	–	18	50	50	6; Z-20
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	11; 15	20	20	37; 45	37; 45	7,5; 20
Габаритные размеры:						
длина	2700	3755	5370	12100	13800	6500
ширина	2900	3890	5320	7800	8200	5200
высота	3100	4100	4380	5800	5800	4300
Масса, кг	7500	17500	24000	54000	70000	26000

16. Горизонтально-расточные станки

Размеры, мм

Параметры	2М615	2620ВФ1; 2620ГФ1	2636Ф1	2637ГФ1	2622ВФ1	2А620Ф1-1; 2А620Ф2-1	2А622Ф1-1; 2А622Ф2-1
Тип компоновки станка	А	А	А	А	А	А	А
Диаметр выдвижного шпинделя	80	90	125	160	110	90	110
Конус для крепления инструментов в выдвижном шпинделе	Морзе 5	Морзе 5	Метрический 80	Метрический 80	Морзе 6	–	–
Размеры встроенного (или съемного) поворотного стола	900 × × 1000	1120 × × 1250	1600 × × 1800	1600 × × 1800	1120 × × 1250	1120 × × 1250	1120 × × 1250
Наибольшая масса обрабатываемой заготовки, кг	1500	3000	8000	8000	3000	4000	4000
Наибольшее перемещение:							
вертикальное шпиндельной бабки	800	1000	1400	1400	1000	1000	1000
продольное выдвижного шпинделя	500	710	1000	1000	710	710	710
радиального суппорта	125	160	200	–	–	160	–
планшайбы стола:							
продольное	1000	1120	1600	1120	1120	1000	1000
поперечное	1000	1000	1800	1800	1000	1250	1250
поперечное передней стойки	–	–	–	–	–	–	–
Число скоростей:							
шпинделя	20	22	б/с	б/с	21	23	22
планшайбы	15	15	б/с	–	–	15	–
Частота вращения, об/мин:							
шпинделя	20-1600	12,5-1600	6,3-1000	5-800	12,5-1250	10-1600	10-1250
планшайбы	8-200	8-200	4-200	–	–	6,3-160	–
Подача, мм/мин:							
шпинделя	2,5-2000	2,2-1760	1,6-1600	1,6-1600	2,2-1760	2-2000	2-2000
шпиндельной бабки	1,6-1280	1,4-1100	1-1000	1-1000	1,4-1110	1,25-1250	1,25-1250
стола (продольная и поперечная)	1,6-1280	1,4-1110	1-1000	1-1000	1,4-1110	1,25-1250	1,25-1250
радиального суппорта	1,0-800	0,88-700	0,63-630	–	–	0,8-800	–
планшайбы							
Дискретность задания размеров	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,001	0,001
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	4,5; 6,7	8,3; 10,2	19	19	8,3; 10,2	11	11
Габаритные размеры:							
длина	4330	5700	8160	6960	5700	6070	6070
ширина	2590	3650	5070	5070	3650	3970	3950
высота	2585	3100	4805	4805	3100	3200	3200
Масса, кг	8500	12900	35700	32000	12600	17500	17000

Продолжение табл. 16

Параметры	2636ГФ2; 2637ГФ2	2650Ф1; 2650Ф2	2Е656Р	2651Ф1; 2651Ф2	2Б660Ф1	2459
Тип компоновки станка	А	В	Б	В	В	–
Диаметр выдвижного шпинделя	160	160	160	200	220	100
Конус для крепления инструментов в выдвижном шпинделе	Метрический 80	Метрический 80	Метрический 80	–	Метрический 120	Специальный 10
Размеры встроенного (или съемного) поворотного стола	1600 × × 1800	2240 × × 2500	2000 × × 2500	2240 × × 2500	Плита из трех секций 5000 × 8100	1250×1000
Наибольшая масса обрабатываемой заготовки, кг	8000	16000	15000	16000	50000*	1500
Наибольшее перемещение:						
вертикальное шпиндельной бабки	1400	2500; (560 продольное)	2000	2500; (560 продольное)	3000	800
продольное выдвижного шпинделя	1000	1250	1250	1250	1800	630
радиального суппорта	–	250	200	–	550	–
планшайбы стола:						
продольное	1120	1250	1000	1250	–	1000
поперечное	1600	–	–	–	–	–
поперечное передней стойки	–	4000	3200	4000	6000	630
Число скоростей:						
шпинделя	23	24	22	24	б/с	22
планшайбы	–	19	15	–	б/с	–
Частота вращения, об/мин:						
шпинделя	5-1000	4-800	7,5-900	4-800	1-510	12,5-1600
планшайбы	–	2,5-160	7,5-190	–	1-135	–
Подача, мм/мин:						
шпинделя	1,6-1600	1,25-1250	2-150	1,25-1250	1-2500	2-2000
шпиндельной бабки	1-1000	0,8-800	1-750	0,8-800	1,25-2500	2-2000
стола(продольная и поперечная)	1-1000	0,8-800	1-750	0,8-800	–	2-2000
радиального суппорта	–	0,8-800	1-750	–	0,2-400	–
планшайбы передней стойки	–	0,8-800	1-750	0,8-800	0,2-400	2-2000
Дискретность задания размеров	0,01	0,01	0,01; 30**	0,01	0,01	0,001
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	19	37	18,5	37	55	6,3

Продолжение табл. 16

Параметры	2636ГФ2; 2637ГФ2	2650Ф1; 2650Ф2	2Е656Р	2651Ф1; 2651Ф2	2Б660Ф1	2459
Габаритные размеры:						
длина	6960	11600	11500	11600	11350	3640
ширина	5070	11650	8100	11650	11280	3515
высота	4805	6700	5300	6700	7800	2895
Масса, кг	32000	76400	48600	76400	141600	16000

* Со столом ПС-3А.
** Для поворотного стола.

Примечания: 1. б/с – бесступенчатое регулирование.

2. Станки типа компоновки А – с неподвижной передней стойкой и поворотным столом, имеющим продольное и поперечное перемещения: типа компоновки Б – с поперечно-подвижной передней стойкой и продольно перемещающимся столом; типа компоновки В – с поперечно-подвижной передней стойкой, неподвижной плитой и с дополнительными продольными перемещениями передней стойки или шпиндельной бабки, или пиноли (возможно также сочетание перемещений этих узлов). Станки одного типоразмера изготовляют со шпиндельной бабкой с выдвижным шпинделем и радиальным суппортом на встроенной планшайбе или с выдвижным шпинделем без радиального суппорта.

3. Все станки модификации Г, а также станки типоразмеров 2А620, 2А622 без задней стойки и с укороченной станиной, остальные станки имеют переставляемые задние стойки с регулируемыми по высоте люнетами.

4. Станок 2459 координатно-расточный горизонтальный.

17. Горизонтальные отделочно-расточные полуавтоматы с подвижным столом

Размеры, мм

Параметры	2705П/2705В	2706П/2706В	2706А/2706С	2711П/2711В	2712П/2712В	2713П/2713В	2714П/2714В
Диаметр обрабатываемых отверстий	8-280	8-250	32-250	8-280	8-250	8-250	8-280
Размеры рабочей поверхности стола	320 × 500	320 × 500	320 × 500	500×710	320 × 500	800 × 100	800 × 1000
Ход стола	360	450	450	560	710	560	–
Частота вращения шпинделя, об/мин, при типоразмере головки:							
I	5000/4000		6000/5000	5000/4000			
II	3150/2500		4000/3150	3150/2500			
III	2000/1600		2500/2000	2000/1600			
IV	1250/1000		1500/1250	1250/1000			

Продолжение табл. 17

Параметры	2705П/2705В	2706П/2706В	2706А/2706С	2711П/2711В	2712П/2712В	2713П/2713В	2714П/2714В
Габаритные размеры:							
длина	1550	2000	2700	2240	2650	2430	3870
ширина	1220	1220	1450	1500	1500	1550	1850
высота	1450	1450	1700	1550	1550	1550	1550
Масса, кг	2800	3600	4000	4400	5400	6100	10500

Примечания: 1. Полуавтоматы 2705П, 2705В, 2711П, 2711В, 2713П, 2713В односторонние, остальные – двусторонние.
2. Рабочая подача стола (регулирование бесступенчатое) для всех моделей станков 8 - 800 мм/мин.
3. Мощность электродвигателя расточных головок для всех моделей станков 1,5 - 5 кВт.

18. Многоцелевые горизонтальные станки

Размеры, мм

Параметры	ИР200ПМФ4	ИР320ПМФ4	2204ВМФ4	ИР500ПМФ4	ИС500ПМФ4	"Супер-центр 630"
Размеры рабочей поверхности стола или палеты (диаметр поворотной части стола)	200 × 200	320 × 320	400 × 500 (630)	500 × 500; 630 × 630	500 × 500	630 × 630
Наибольшая масса обрабатываемой заготовки, кг	60	150	300	700	800	600
Программируемые перемещения по осям:						
X	360	400	500	800	1000	800
У	250	360	500	500	630	710
Z	320	400	500	500	800	630
Точность позиционирования (дискретность задания перемещений) по осям X, У, Z, W	0,007	0,02	0,012	0,02	0,02	0,005 (0,001)
Дискретность поворота стола по оси В, град	0,001	0,001	0,001	1; 3; 5	0,001; 3	0,001
Расстояние от оси шпинделя до рабочей поверхности стола	20...260	0...400	70...570	0...500	65...695	–
Расстояние от торца шпинделя до центра стола	120...440	35...435	240...740	120...620	20...1000	–

Продолжение табл. 18

Параметры	ИР200ПМФ4	ИР320ПМФ4	2204ВМФ4	ИР500ПМФ4	ИС500ПМФ4	"Супер-центр 630"
Конус шпинделя (по ГОСТ 15945–82)	30	40	50	50	50	40
Диаметр выдвижного шпинделя	–	–	–	–	–	–
Вместимость инструментального магазина (по заказу), шт.	24 (80)	36	30	30 (60)	64 (40;100)	60
Наибольший диаметр инструмента, загружаемого в магазин:						
без пропуска гнезд	80	125	80	125	125	125
с пропуском гнезд	100	200	160	160	315	–
Время смены инструмента ("от реза до реза"), с	15	14	12	15 (16,2...21,2)	8 (20)	(4,5...4,8)
Частота вращения, об/мин:						
шпинделя	50...7100	13...5000	32...2000	20...4500	8...4500	До 12000
стола	0,002... 16	0,05...200	10	–	–	30
Рабочие подачи по осям X, У, Z, W, мм/мин	1...7100	1...3200	2,5...2500	1...3600	1...6000	1...6000
Скорость быстрых перемещений по осям X, У, Z, W, мм/мин	12000	10000	10000	12000; 15000	12000; 15000	60000
Наибольшее усилие подачи по осям X, У, Z, W, кН	4	4	10	10	12,5; Y-10; Z-15	4; Z-3
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	5,5; 7,5	7,5	6,3	18	22; 30	22
Габаритные размеры (с приставным оборудованием):						
длина	(3840)	3990	3085 (4510)	(4450)	4750 (4750)	5070
ширина	(3020)	2300	2000 (4460)	(4635)	5813 (7560)	3600
высота	(2560)	2507	2475 (2800)	(3205)	3650 (3650)	3640
Масса (с приставным оборудованием), кг	(7180)	8000	7000 (7600)	(12785)	14070 (18525)	16000

Примечание: 50 ... 7100 — бесступенчатое регулирование.

Продолжение табл. 18

Параметры	2206ВМФ4	ИР800ПМФ	ИС800ПМФ	2А459АМФ4	2627ПМФ4	ИР1400ПМФ4	ИР1600ПМФ4
Размеры рабочей поверхности стола или палеты (диаметр поворотной части стола)	630×800	800×800	800×800	1000 × × 1000	1250 × × 1250	1600×2000; 2000×2500	–
Наибольшая масса обрабатываемой заготовки, кг	800	1500	2000	2000	5000	16000; 32000	40000
Программируемые перемещения по осям:							
X	630	1000	1000	800	2000	2000; 2500	8000; 3200
Y	630	710	1000	1000	1600	1600	2500
Z	800	800	800	1250	710	1000	1000
W	–	–	–	–	1000; 1250	1600; 2000	1250
Точность позиционирования (дискретность задания перемещений) по осям X, Y, Z, W	0,012; Z-0,016	0,02	0,02	0,012; Z-0,02	(0,001)	X-0,03; Y-0,025; W-0,05	(0,001)
Дискретность поворота стола по оси B, град	–	1; 3; 5	0,001; 3	4	0,001	0,001	–
Расстояние от оси шпинделя до рабочей поверхности стола	95-725	50-760	20-1020	40-1000	–	–	–
Расстояние от торца шпинделя до центра стола	165-795	210-1010	200-1000	250-580	–	–	–
Конус шпинделя (по ГОСТ 15945–82)	50	50	50	50	50	50	50
Диаметр выдвижного шпинделя	–	–	–	–	110; 125	160	160
Вместимость инструментального магазина (по заказу), шт.	30	30	64 (40; 100)	30 (40)	50 (60)	100	80
Наибольший диаметр инструмента, загружаемого в магазин:							
без пропуска гнезд	100	125	125	120	135	–	130
с пропуском гнезд	200	160	315	250	200 (250)	315	350
Время смены инструмента ("от реза до реза"), с	8	15 (16,2-21,2)	8 (20)	8 (20)	15	(50)	15
Частота вращения, об/мин:							
шпинделя	31,5...2500	21,2...3000	8...4500	20...2500	6...2500	5...1600	5...1250
стола	–	–	–	–	–	–	–

Продолжение табл. 18

Параметры	2206ВМФ4	ИР800ПМФ	ИС800ПМФ	2А459АМФ4	2627ПМФ4	ИР1400ПМФ4	ИР1600ПМФ4
Рабочие подачи по осям X, Y, Z, W, мм/мин	1...4000	1...3600	1...6000	2...2500	1...6000	1...2000	1...2000
Скорость быстрых перемещений по осям X, Y, Z, W, мм/мин	10000	10000	12000; 15000	8000	10000	10000; Z-6000	X; W-6000; Y-10000
Наибольшее усилие подачи по осям X, Y, Z, W, кН	15	10	12,5; Y-10; Z-15	Z-10	15; 12		30; W-50
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	11	14	22; 30	14	37	52	28; 38,9
Габаритные размеры (с приставным оборудованием):							
длина	3470 (5480)	(5388)	4750 (4750)	6500 (6870)	7000	8800	16500
ширина	3170 (5115)	(5300)	6150 (8295)	5800 (5350)	7650	5800	6400
высота	2930 (3130)	(3455)	4000 (4000)	3685 (3800)	4900	5930	7000
Масса (с приставным оборудованием), кг	12000 (15000)	(13895)	16925 (21525)	20000	26500	53000 (57000)	85000

19. Вертикальные отделочно-расточные станки

Размеры, мм

Параметры	2776В	2777В	2Е78П	2Е78ПН	2Е78Л
Диаметр растачиваемых отверстий	8-350	8-350	28-200	28-200	28-200
Наибольший диаметр сверления в сплошном материале	–	–	15	15	15
Размеры рабочей поверхности стола	630 × 1250	800 × 1400	500 × 1000	500 × 1250	500 × 1250
Наибольшие перемещения:					
шпиндельной бабки	–	–	500	500	500
стола:					
продольное	400	630	800	–	–
поперечное	400	630	200	–	–
Расстояние от конца шпинделя в нижнем положении до рабочей поверхности стола, не менее	–	–	25	25	25

Продолжение табл. 19

Параметры	2776В	2777В	2Е78П	2Е78ПН	2Е78Л
Расстояние от оси шпинделя до салазок шпиндельной бабки	–	–	320	320	320
Наибольшие габариты обрабатываемой заготовки	–	–	1000 × 500 × × 450	750 × 500 × × 450	750 × 500 × 450
Число сменных шпинделей	–	–	5	4	4
Величина радиального перемещения резца для шпинделей диаметром 48; 78; 120	–	–	4; 6; 6	4; 6; 6	4; 6; 6
Число скоростей шпинделя	–	–	12	12	12
Частота вращения шпинделя, об/мин	4000; 2500 2000; 1000	4000; 2500 2000; 1000	26-1200	26-1200	26-1200
Число рабочих подач шпиндельной бабки	–	–	4	4	4
Рабочая подача шпиндельной бабки, мм/мин	6-500*	4-300*; 6-500*	0,025-0,2	0,025-0,2	0,025-0,2
Скорость быстрого перемещения шпиндельной бабки, м/мин	–	–	2	2	2
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,5-12**	1,5-12**	2,2	2,2	2,2
Габаритные размеры:					
длина	2000	2240	1750	1250	1250
ширина	1120	1400	1560	1260	1260
высота	3820	4070	2125	2125	1750
Масса, кг	9000	13000	2680	2100	1600

* Рабочая подача стола.
** В зависимости от наладки.

Примечание. Станки 2776В и 2777В с подвижными головками; станки 2Е78П и 2Е78ПН одношпиндельные соответственно с неподвижным столами. Станок 2Е78Л одношпиндельный с неподвижным столом, облегченный.

Шлифовальные станки

20. Круглошлифовальные станки

Размеры, мм

Параметры	3У10В	3А110В	3М150	3Э110М	3М153
Наибольшие размеры устанадливаемой заготовки:					
диаметр	100	140	100	140	140
длина	160	200	360	200	500

Продолжение табл. 20

Параметры	3У10В	3А110В	3М150	3Э110М	3М153
Наибольший диаметр шлифования:					
наружного	3-15	3-30	10-45	3-30	50
внутреннего	40	5-25	–	10-25	–
Наибольшая длина шлифования:					
наружного	160	180	340	180	450
внутреннего	50	50	–	50	–
Высота центров над столом	80	115	75	100	90
Наибольшее продольное перемещение стола	200	250	400	300	500
Угол поворота стола, °:					
по часовой стрелке	6	5	6	10	6
против часовой стрелки	7	6	7	10	7
Скорость автоматического перемещения стола (бесступенчатое регулирование), м/мин	0,025-1	0,03-2,2	0,02-4	0,03-1,5	0,02-5
Частота вращения, об/мин, шпинделя заготовки с бесступенчатым регулированием	100-950	100-1000	100-1000	100-800	50-1000
Конус Морзе шпинделя передней бабки и пиноли задней бабки	2	4; 3	3	4	4
Наибольшие размеры шлифовального круга:					
наружный диаметр	250	250	400	250	500
высота	20	25	40	25	63
Перемещение шлифовальной бабки:					
наибольшее	60	60	80	80	100
на одно деление лимба	0,0025	0,0025	0,002	–	0,0025
за один оборот толчковой рукоятки	0,00125	0,001	0,0005	0,005	0,001
Частота вращения шпинделя шлифовального круга, об/мин, при шлифовании:					
наружном	1910	2680; 3900	2350; 1670	2300; 2700	1900
внутреннем	–	40000; 70000	–	14000	–
Скорость врезной подачи шлифовальной бабки, мм/мин	0,05-0,5	–	0,05-5	–	0,05-5
Дискретность программируемого перемещения (цифровой индикации) шлифовальной бабки	–	–	0,001	–	–

Продолжение табл. 20

Параметры	3У10В	3А110В	3М150	3Э110М	3М153
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,1	2,2	4	3	7,5
Габаритные размеры					
длина	1360	1880	2500	2420	2700
ширина	1715	2025	2220	2330	2540
высота	1690	1750	1920	1585	1950
Масса, кг	1980	2000	2600	3100	4000

Продолжение табл. 20

Параметры	3М153А	3Т153Е	3М151	3М151Ф2	3У12В
Наибольшие размеры устанавливаемой заготовки:					
диаметр	140	140	200	200	200
длина	500	500	700	700	500
Наибольший диаметр шлифования:					
наружного	50	50	60	20-180	60
внутреннего	–	–	–	–	20-50
Наибольшая длина шлифования:					
наружного	450	500	700	650	450
внутреннего	–	–	–	–	40
Высота центров над столом	90	90	125	125	125
Наибольшее продольное перемещение стола	500	500	705	700	500
Угол поворота стола, °:					
по часовой стрелке	6	6	3	6	8,5
против часовой стрелки	7	7	10	7	8,5
Скорость автоматического перемещения стола, м/мин	0,02-5	–	0,05-5	0,05-5	0,03-5
Частота вращения, об/мин, шпинделя заготовки с бесступенчатым регулированием	50-100	63-700*	50-500	50-500	55-900
Конус Морзе шпинделя передней бабки и пиноли задней бабки	4	4	4	4; 5	4
Наибольшие размеры шлифовального круга:					
наружный диаметр					
высота	500	500	600	600	400
Перемещение шлифовальной бабки:	50	63	100	80	40
наибольшее					
на одно деление лимба	100	90	185	235	100
за один оборот толчковой рукоятки	0,0025	0,005	0,005	0,005	0,002
	0,0005	0,001	0,001	0,001	0,0005

Продолжение табл. 20

Параметры	3М153А	3Т153Е	3М151	3М151Ф2	3У12В
Частота вращения шпинделя шлифовального круга, об/мин, при шлифовании:					
наружном	1910; 1340	1900	1590	1590	2390; 2000; 1670
внутреннем	–	–	–	–	16000
Скорость врезной подачи шлифовальной бабки, мм/мин	0,03-3	0,1-10	0,1-4	0,02-1,2	0,025-15
Дискретность программируемого перемещения (цифровой индикации) шлифовальной бабки	0,001	–	–	0,001; (0,1 стола)	–
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	5,5	7,5	10	15,2	5,5
Габаритные размеры (с приставным оборудованием):					
длина	3070	4455	4605	5400	3600
ширина	2400	2700	2450	2400	2260
высота	2075	2000	2170	2170	2040
Масса (с приставным оборудованием), кг	4200	4000	5600	6500	4200

Продолжение табл. 20

Параметры	3У120А	3У12УА	3У131М	3Т160	3М161Е
Наибольшие размеры устанавливаемой заготовки:					
диаметр	200	200	280	280	280
длина	500	500	700	–	700
Рекомендуемый (или наибольший) диаметр шлифования:					
наружного	60	10-60	60	20-280	90
внутреннего	20-50	20-50	30-100	–	–
Наибольшая длина шлифования:					
наружного	450	500	710	130	130
внутреннего	75	120	125	–	–
Высота центров над столом	125	125	185	160	160
Наибольшее продольное перемещение стола	500	500	700	700	700
Угол поворота стола, °:					
по часовой стрелке	6	6	3	1	3
против часовой стрелки	7	10	10	1	8
Скорость автоматического перемещения стола (бесступенчатое регулирование), м/мин	0,02-5	0,03-5	0,05-5	0,05-5	0,05-5

Продолжение табл. 20

Параметры	3У120А	3У12УА	3У131М	3Т160	3М161Е
Частота вращения, об/мин, шпинделя заготовки с бесступенчатым регулированием	50-1000	55-900	40-400	55-620*	50-620*
Конус Морзе шпинделя передней бабки и пиноли задней бабки	4	4	5; 4	–	5
Наибольшие размеры шлифовального круга:					
наружный диаметр					
высота	350	400	600	750	750
Перемещение шлифовальной бабки:	40	40	50	130	130
наибольшее					
на одно деление лимба	100	125	290	190	290
за один оборот толчковой рукоятки	0,0025	0,002	0,005	0,005	0,005
Частота вращения шпинделя шлифовального круга, об/мин, при шлифовании:	0,0005	0,0005	0,001	–	0,001
наружном					
внутреннем	1910	2300	1112	1250	1270
	20000; 40000	24000; 48000	16900	–	–
Скорость врезной подачи шлифовальной бабки, мм/мин	–	0,02-0,2	–	0,1-3	0,1-3
Дискретность программируемого перемещения (цифровой индикации) шлифовальной бабки	0,001	–	–	–	–
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	4	3	5,5	17	18,5
Габаритные размеры:					
длина	3800	2300	5500	3754	3480
ширина	2600	2400	2585	4675	4345
высота	2075	1600	1982	2245	2170
Масса, кг	4100	3500	5960	8110	8880

Продолжение табл. 20

Параметры	3М163В	3У142	3М174Е	3М194	3М197
Наибольшие размеры устанавливаемой заготовки:					
диаметр	280	400	400	560	800
длина	1400	1000	2000	4000	6000
Рекомендуемый (или наибольший) диаметр шлифования:					
наружного	60	80	120	350	450
внутреннего	–	30–200	–	–	–

Продолжение табл. 20

Параметры	3М163В	3У142	3М174Е	3М194	3М197
Наибольшая длина шлифования:					
наружного	1400	1000	1800	3800	5600
внутреннего	–	125	–	–	–
Высота центров над столом	160	240	210	520	615
Наибольшее продольное перемещение стола	1400	1000	2000	4240	4300
Угол поворота стола, °:					
по часовой стрелке	3	3	2	0,5	0,5
против часовой стрелки	7	8	6	6	6
Скорость автоматического перемещения стола (бесступенчатое регулирование), м/мин	0,05-5	0,05-5	0,05-5	0,05-3, 7	0,05-3,7
Частота вращения, об/мин, шпинделя заготовки с бесступенчатым регулированием	55-620	30-300	20-180	12-120	8-80
Конус Морзе шпинделя передней бабки и пиноли задней бабки	5	5	6	80 (метрический)	100 (метрический)
Наибольшие размеры шлифовального круга:					
наружный диаметр	750	600	750	750	750
высота	200	63	100	100	100
Перемещение шлифовальной бабки:					
наибольшее	290	290	365	250	250
на одно деление лимба	0,005	0,005	0,0025-0,05	0,005	0,005
за один оборот толчковой рукоятки	0,001	0,001	–	0,005	0,005
Частота вращения шпинделя шлифовального круга, об/мин, при шлифовании:					
наружном	1260	1112	1270	600-13 00	600-1300
внутреннем	–	16900	–	–	–
Скорость врезной подачи шлифовальной бабки, мм/мин	0,1-4,5	–	–	–	–
Дискретность программируемого перемещения (цифровой индикации) шлифовальной бабки	–	–	–	–	–
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	13	7,5	30	25	25

Продолжение табл. 20

Параметры	3М163В	3У142	3М174Е	3М194	3М197
Габаритные размеры (с приставным оборудованием):					
длина	5026	6310	6710	14065	16075
ширина	2930	2585	3100	3615	3775
высота	2170	1982	2100	2450	2450
Масса (с приставным оборудованием), кг	9220	7600	11500	34300	43400

* Со ступенчатым регулированием.

Примечание. Станки 3Т153Е и 3Т160 торцекруглошлифовальные. Станок 3М161Е круглошлифовальный врезной. Станки 3М153А, 3У120А и 3У12УА особо высокой точности.

21. Бесцентрово-шлифовальные полуавтоматы

Размеры, мм

Параметры	3Д180	3М182А	3Ш182Д	3М184И	3Ш184Д	3М184А	3М185
Размеры обрабатываемой заготовки:							
наружный диаметр	0,2-12	0,8-25	0,8-25	3-80	3-80	3-80	8-160
внутренний диаметр	–	–	–	–	–	–	–
Длина обработки при сквозном шлифовании, не более	60	170	290	250	270	250	320
Длина обработки при врезном шлифовании, не более	35	95	290	145	540	145	195
Размеры шлифовального круга:							
диаметр	200	350	350	500	500	500	600
высота	40	100	300	150	550*	150	200
Размеры ведущего круга:							
диаметр	150	250	250	350	350	350	350
высота	40	100	300	150	550*	150	300*
Частота вращения, об/мин, круга:							
шлифовального	3325	1910	500; 740; 970; 1480	2300	420; 530; 710; 1070	1370	1100
ведущего (или заготовки)	40-30	10-150	20-150	11-150	11-120	10-150	15-100
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,5	5,5	3,3; 5,8 8,1; 8,5	30	5,6; 9,0 12; 15	11	22
Габаритные размеры (с приставным оборудованием):							
длина	1550	2560	2700	3220	3750	3120	3920
ширина	1500	1560	2300	2375	2750	2160	2620
высота	1530	2120	2120	2255	2255	2120	1950
Масса (с приставным оборудованием), кг	1573	3740	4432	7400	8500	6940	8800

Продолжение табл. 21

Параметры	3Ш185	3А474В	3А475В	3А484ГВ	3А485В	МЕ468С1	Л297С1; Л297С2
Размеры обрабатываемой заготовки:							
наружный диаметр	10-160	20-87	62-160	35-100	160	200-360	10-200
внутренний диаметр	–	15-55	–	25-85	60-150	–	–
Длина обработки при сквозном шлифовании, не более	320	–	–	–	–	–	6000
Длина обработки при врезном шлифовании, не более	800	–	–	–	–	–	–
Ширина дорожки качения	–	5-35	10-63	–	–	–	–
Радиус желоба или угол шлифуемого конуса	–	–	–	2-17	60°	–	–
Размеры шлифовального круга:							
диаметр	600	400; 500	400; 500	20-70	110	600	600
высота	800*	10-40	10-63	32	63	650*	500*
Размеры ведущего круга:							
диаметр	350	–	–	–	–	500	400
высота	800*	–	–	–	–	700*	550*
Частота вращения, об/мин, круга:							
шлифовального	1100	1900; 3000	1900	12000; 48000	6000; 24000	1460	1135; 1460
ведущего (или заготовки)	10-100	200-1400	100-1000	300-1000	150-450	20-70	20-70
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	55	11	15	2,2; 5,5	5,5; 7,5	45	30; 45; 55
Габаритные размеры (с приставным оборудованием):							
длина	4515	2410	2410	2510	2510	5950	5047
ширина	3095	1210	1210	1300	1300	2730	2540
высота	2786	2388	2388	2200	2200	2230	2230
Масса (с приставным оборудованием), кг	13180	5050	5300	4600	4700	12700	9640

* Высота набора кругов.

Примечание. Полуавтоматы 3Д180, 3М184И и 3М185 высокой точности; полуавтоматы 3М182А и 3М184А особо высокой точности. Станки 3Ш182Д и 3Ш184Д – бесцентрово-шлифовальные доводочные; станки 3А474В и 3А475В – бесцентрово-шлифовальные круглошлифовальные автоматы; станки 3А484ГВ и 3А485В – бесцентрово-шлифовальные внутришлифовальные автоматы; станки МЕ468С1, Л297С1 и Л297С2 – автоматы бесцентровые круглошлифовальные.

22. Внутришлифовальные станки

Размеры, мм

Параметры	3К225В; 3К225А	3К227В; 3К227А	3К228В; 3К228А	3К229В	СШ162	СШ64
Наибольший диаметр:						
устанавливаемой заготовки	200	400	560	800	–	–
устанавливаемой заготовки в кожухе	100	250	400	630	300	–
Наибольшая длина:						
устанавливаемой заготовки при наибольшем диаметре отверстия	50	125	200	320	–	300
шлифования	–	125	200	320	90	300
Диаметр шлифуемых отверстий	3-25	5-150	50-200	100-400	60-125	100-150
Наибольший ход стола	320	450	630	800	360	800
Наибольшее наладочное поперечное перемещение:						
шлифовальной бабки:						
вперед (от рабочего)	–	50	60	100	–	60
назад (на рабочего)	–	10	10	10	–	10
бабки заготовки:						
вперед (от рабочего)	100	120	200	100	20	–
назад (на рабочего)	20	30	50	10	90	–
Наибольший угол поворота бабки заготовки, °	45	45	30 (наим.)	30 (наим.)	3	–
Наибольшие диаметр и высота шлифовального круга	25 × 25	80 × 50	180 × 63	200 × 63	В зависимости от наладки	120 × × 50
Скорость движения стола, м/мин:						
при правке шлифовального круга	0,1-2	0,1-2	0,1-2	0,1-2	0,5-2	0,1-2
при шлифовании	1-7	1-7	1-7	1-7	–	1-7
при быстром продольном подводе и отводе	10	10	10	10	8	10
Частота вращения, об/мин, шпинделя:						
внутришлифовального	20000-100000	9000; 12000; 18000; 22000	4500; 6000; 9000; 12000	3500; 4500; 6000	12000; 16000; 20000	5000; 6000
бабки заготовки	280-2000	60-120	100-600	40-240	340; 460	70
торцешлифовального приспособления	11500	5600	4000	4000	–	–
Мощность электродвигателя привода шлифовального круга, кВт	0,76 (бабки заготовки)	4	5,5	7,5	5,5; 7,5	7,5

Продолжение табл. 22

Параметры	3К225В; 3К225А	3К227В; 3К227А	3К228В; 3К228А	3К229В	СШ162	СШ64
Габаритные размеры (с приставным оборудованием):						
длина	2225	2815	4005	4630	3225	3900
ширина	1775	1900	2305	2405	2420	1990
высота	—	1750	1870	2000	1500	1800
Масса (с приставным оборудованием), кг	2800	4300	6900	8600	4800	6400

Примечания: 1. Для станка 3К227А диаметр шлифуемых отверстий 20-150 мм.
2. Станок СШ162 – специальный полуавтомат для скоростного шлифования; СШ64 – бесцентровый специальный. Станки 3К225А, 3К227А и 3К228А особо высокой точности.

23. Шлицешлифовальные станки

Размеры, мм

Параметры	3451 / 3451В	3Б451-II / 3Б451-IV	3452В-V / 3452В-VII	3П451	МШ314
Наружный (шлифуемый) диаметр шлицевого вала	25-125	14-125	80-400	35-100	14-230
Длина шлифуемой заготовки	200-710 / 200-1400	100-700 / 100-1400	300-2000 / 300-4000	200-710	200-2000
Наибольшая длина шлифуемых шлицев	550 / 1250	650 / 1350	1750 / 3750	60-380	50-1850
Число шлифуемых шлицев	3-96	2-98	8-120	3-98	2-98
Размеры рабочей поверхности стола	1500 × 250 / 2360 × 250	220 × 1950 / 220 × 2650	540 × 4280 / 540 × 6275	250-1500	220-3250
Продольное перемещение стола	200-660 / 200-1620	200-990 / 200-1690	300-2800 / 300-4800	200-660	120-2290
Скорость продольного перемещения стола (бесступенчатое регулирование), м/мин	1-15	0,5-30	1-10	2-10	0,5-24
Наибольшее вертикальное перемещение шлифовальной бабки	150	180	300	100	180
Автоматическое вертикальное перемещение шлифовальной головки	0,005-0,07	0,005-0,05	0,005-0,05	0,005-0,07	0,004-0,12
Частота вращения шлифовального круга, об/мин	2880; 4550; 6300	4430; 5760, 8860	1500-3000	2880; 4550; 6300	4550; 5830; 8900
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	3	3	6	3	4
Габаритные размеры (с приставным оборудованием):					
длина	2820 / 4850	3475 / 4875	9100 / 12900	2600	6070
ширина	1513	1400	2150	1513	1685
высота	1900	1650	2235	1905	1650
Масса (с приставным оборудованием), кг	3900 / 6200	7180 / 8672	20500 / 27200	4180	9347

24. Универсально-заточные станки

Размеры, мм

Параметры	3М642	3Д642Е
Наибольшие размеры обрабатываемой заготовки, устанавливаемой в центрах:		
диаметр	250	250
длина	500	500
Размеры рабочей поверхности стола	140 × 800	140 × 800
Продольное перемещение стола	400	400
Угол поворота стола в горизонтальной плоскости, °	±45	±45
Перемещение шлифовальной бабки:		
вертикальное	250	250
поперечное	230	230
Диаметр шлифовального круга	200	200
Частота вращения шпинделя, об/мин	2240-6300	2240-6300
Скорость автоматического продольного перемещения стола, м/мин	–	0,2-8
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,1/1,5	1,1/1,5
Габаритные размеры:		
длина	1650	1800
ширина	1470	1470
высота	1625	1625
Масса, кг	1400	1650

25. Электрохимические заточные станки

Размеры, мм

Основные данные	3622Э	3623	3Е624Э	3626Э	3672
Наибольшая высота затачиваемых резцов	32	50	50	50	–
Диаметр шлифовального круга	150	200	200	150	150
Частота вращения шлифовального круга, об/мин	2540	2100	1950	2540	3000
Размеры рабочей поверхности стола	400 × 220	400 × 220	560 × 280	400 × 200	140 × 900
Ход шлифовальной бабки	25	30	65	65	230
Скорость продольного перемещения круга, дв. ход./мин	50	60; 95	0,2-3 м/мин	0,2-3 м/мин	0,2-6 м/мин
Мощность привода круга, кВт	1,5	2,2	2,2	1,5	2,2
Напряжение, В	6	4; 6; 8	2-6	6	–
Ток, А	100	300	630	320	–
Мощность источника технологического тока, кВт	0,6	2,4	3,8	2,0	–
Габариты станка в комплекте:					
длина	1400	2200	1885	2170	2440
ширина	1280	1250	2480	2300	2400
высота	1500	1665	1600	1700	1800
Масса станка в комплекте, кг	950	900	2330	2100	4055

26. Плоскошлифовальные станки с крестовым (прямоугольным) столом

Размеры, мм

Параметры	3Е710А	3Е710В-1	3Е711В	3Е711В-1	3Е711ВФ3-1	3Е721АФ1-1	3Е721ВФ3-1
Размеры рабочей поверхности стола	400 × × 125	250 × × 125	630 × × 200	400 × × 200	400 × × 200	630 × × 320	630 × × 320
Наибольшие размеры обрабатываемых заготовок	400 × × 125 × × 320	250 × × 125 × × 200	630 × × 200 × × 320	400 × × 200 × × 320	400 × × 200 × × 320	630 × × 320 × × 400	600 × × 320 × × 320
Масса обрабатываемых заготовок, кг, не более	150	50	220	150	150	300	300
Наибольшее расстояние от оси шпинделя до зеркала стола	420	300	445	445	445	550	550
Наибольшее перемещение стола и шлифовальной бабки:							
продольное	490	320	700	490	490	700	710
поперечное	170	160	250	255	250	395	390
вертикальное	–	200	320	–	320	–	400
Размеры шлифовального круга (наружный диаметр × высота × внутренний диаметр) или тип и размеры шлифовальных сегментов	200 × × 32 × × 76	200 × × 25 × × 32	250 × × 40 × × 76	250 × × 40 × × 76	250 × × 63 × × 76	300 × × 63 × × 127	400 × × 63 × × 127
Частота вращения шпинделя шлифовального круга, об/мин	35*	35*	35*	35*	35*	35*	35*
Скорость продольного перемещения стола (бесступенчатое регулирование), м/мин	2 – 35	2 – 25	–	2 – 35	2 – 35	2 – 35	2 – 35
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	4	1,5	4	4	7,5	7,5	7,5
Габаритные размеры (с приставным оборудованием):							
длина	2560	1310	2730	2380	3030	3404	3500
ширина	1980	1150	1801	1955	2360	2073	3500
высота	1790	1550	1915	1915	2080	2090	2090
Масса (с приставным оборудованием), кг	2300	1000	3200	3380	3780	5000	6360

Продолжение табл. 26

Параметры	3П722	3Д722Ф2	3Д723	3Д725; 3П725	3Д732Ф1	3П732	3Д733
Размеры рабочей поверхности стола	1600 × × 320	1250 × × 320	1600 × × 400	2000 × × 630	800× 320	1250 × × 320	1000 × × 400
Наибольшие размеры обрабатываемых заготовок	1600 × × 320 × × 400	1250 × × 320 × × 250	1600 × × 400 × × 400	2000 × × 630 × × 630	800 × × 320 × × 400	800 × × 320 × ×375	1000× ×400× ×400
Масса обрабатываемых заготовок, кг, не более	1200	700	1000	1500	800	700	1100
Наибольшее расстояние от оси шпинделя до зеркала стола	–	–	625	880	–	–	–
Наибольшее перемещение стола и шлифовальной бабки:							
продольное	1900	1260	1900	–	1550	1550	1900
поперечное	–	410	410	660	–	–	–
вертикальное	–	415	415	645	400	400	400
Размеры шлифовального круга (наружный диаметр × высота × × внутренний диаметр) или тип и размеры шлифовальных сегментов	450 × × 80 × × 203	450 × × 80 × × 203	450 × × 80 × × 203	500 × × 305 × × 100	5С 100× × 40	5С 100× × 85	5С 100× × 85
Частота вращения шпинделя шлифовального круга, об/мин	1500	1460	1450	1470	1500	1500	35*
Скорость продольного перемещения стола (бесступенчатое регулирование), м/мин	3 – 45	3 – 35	3 – 45	3 – 30	3 – 35	3 – 35	3 – 45
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	15	15	17	30	22	22	22
Габаритные размеры (с приставным оборудованием):							
длина	4780	4450	4600	6050	4020	3800	4400
ширина	2130	2190	2170	2800	2130	2130	2215
высота	2360	2360	2130	2860	2558	2360	2510

Продолжение табл. 26

Параметры	3П722	3Д722Ф2	3Д723	3Д725; 3П725	3Д732Ф1	3П732	3Д733
Масса (с приставным оборудованием), кг	8900	8000	9000	15500	8350	7730	8500

* Максимальная скорость резания, м/с.

Примечания: 1. Габаритные размеры и масса станков 3Д722Ф2 и 3Д723 даны без приставного оборудования.
2. Станки 3Д732Ф1, 3П732 и 3Д733 с вертикальным шпинделем, остальные с горизонтальным шпинделем.
3. Станки 3Е710А и 3Е721АФ1-1 особо высокой точности.

27. Плоскошлифовальные станки с круглым столом

Размеры, мм

Параметры	3Д740В	3Д740А	3П741ИВ	3Д754	3Д741А	3П756Л	3П772-2
Диаметр устанавливаемой заготовки	40 – 400	30 – 400	50 – 800	20 – 400	50 – 800	40 – 1000	40 – 200
Наибольшая высота:							
обрабатываемой заготовки (при номинальном диаметре шлифовального круга)	160	160	200	200	200	350	250
заготовки наименьшего диаметра, шлифуемой на столе	40	40	50	20	50	40	40
Масса обрабатываемой заготовки, кг, не более	100	100	200	250	200	200	–
Диаметр магнитного стола	400	400	800; 200	400	800; 200	1000	1000
Наибольшее продольное перемещение стола	400	400	560	380	560	555	–
Продольная подача стола, мм/об	8 – 30	8 – 30	12 – 44	–	12 – 44	–	–
Перемещение шлифовальной бабки:							
наибольшее	235	235	315	–	315	–	–
на одно деление лимба	0,002	0,001	0,002	0,005	0,001	0,005	0,005
Частота вращения, об/мин:							
шлифовального круга	1670	1630	–	1500	1330	1000	980
стола	15 – 180	15 – 180	8 – 96	10 – 56	8 – 96	5 – 30	0,25 – 1,4
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	11	7,5	18,5	15	11	30	30
Габаритные размеры (с приставным оборудованием):							
длина	2350	2350	3050	2030	4200	2840	5340
ширина	1970	2700	2550	1880	2580	2535	4400
высота	2300	2300	2570	2215	2570	2565	2660
Масса (с приставным оборудованием), кг	5800	5300	10340	5000	9700	10300	14800

Примечания: 1. Станок 3П772-2 – двухшпиндельный полуавтомат непрерывного действия.
2. Станки 3Д740А и 3Д741А особо высокой точности.
3. Станки 3Д754, 3П756Л и 3П772-2 с вертикальным шпинделем, остальные – с горизонтальным шпинделем.

28. Электрохимические шлифовальные станки

Размеры, мм

Параметры	3Э731	3Э754ЛФ1	3Э70ВФ2
Размеры обрабатываемых заготовок	630 × 200 × 320	(20 – 500) диаметр (5 – 200) высота	400 × 160 × 300
Рабочая поверхность стола	630 × 200	500 (диаметр)	400 × 160
Продольное перемещение стола	900	–	450
Скорость перемещения стола, мм/мин	0,1 – 6	3,8 – 21 об/мин	0,5 – 450
Диаметр шлифовального круга	250	300	200
Частота вращения круга, об/мин	2300	1460	2880
Вертикальное перемещение бабки, мм	320	225	200
Автоматическая вертикальная подача, мм/мин	0,002 – 0,05 (через 0,002)	0,1 – 1,0 (через 0,005)	0,35 – 4,0 (через 0,0015)
Мощность привода круга, кВт	5,5	13	2,2
Напряжение, В	2 – 12	3 – 12	2 – 12
Ток, А	3200	3200	600
Выходная мощность, кВт	40	40	7,5
Габаритные размеры станка, мм:			
длина	2540	3960	1870
ширина	1380	3530	1350
высота	2330	2280	1870
Масса станка в комплекте, кг	5500	6900	1800

Электрофизические и электрохимические станки

29. Электрохимические копировально-прошивочные станки

Размеры, мм

Параметры	4421	4422	4А423ФЦ	4424	ЭКУ-400	ЭРО-120	ЭРО-122	СЭХО-4П
Подача инструмента	Стол-Н Катод-0	Н	Н+ Ц	Н	Н	Н + ИЦ	Н + ИЦ	БК
Размеры обрабатываемой детали	350×280×80	250×300× ×160	480×350× ×400	480×850×450	400×400× ×380	350×220×100	630×500×400	500×450×250
Рабочая поверхность стола	320×400	250×400	400×630	630×1000	900×750	400×250	800×620	500×500
Расстояние от стола до планшайбы	250	315	400	800	800	315	700	350
Рабочий ход инструмента	100	200	200	400	400	200	300	250 (ход стола)
Перемещение стола:								
продольное	–	260	500	2120	2000	–	850	–
поперечное	–	190	–	–	–	600	–	–
Скорость рабочей подачи, мм/мин	0,05 – 8	0,3 – 12	0,2 – 10	0,2 – 10	0,1 – 10	120 (установочная)	120 (установочная)	0,5 – 3,0
Межэлектродный зазор	0,1 – 0,5	0,1 – 0,5	0,05 – 1,0	0,2 – 0,8	0,1 – 0,5	0,02 – 0,9	0,03 – 0,9	0,2 – 0,9
Точность обработки	± 0,1 – 0,3	± 0,1 – 0,3	± 0,1	± 0,1 – 0,3	± 0,1 – 0,3	± 0,03 – 0,06	± 0,05 – 0,1	± 0,05 – 0,1
Шероховатость, *Ra*	0,63 – 0,32	0,63 – 0,32	0,63 – 0,32	0,63 – 0,32	0,63 – 0,32	1,25 – 0,63	1,25 – 0,63	1,25 – 0,63

Продолжение табл. 29

Параметры	4421	4422	4А423ФЦ	4424	ЭКУ-400	ЭРО-120	ЭРО-122	СЭХО-4П
Емкость бака электролита, м³	0,75	1,0	2,0	4,0	3,0	2,5	3,0	2,5
Давление электролита, МПа	1,8	0,6	0,6	1,2	0,6	0,2 – 0,8	0,2 – 0,8	1,9
Напряжение, В	24	12(24)	12	12	15	6; 8; 12	6; 8; 12	10 – 15
Номинальный ток, А	1600	3200	6300	12500	10000	5000	10000	10000
Установочная мощность, кВт	80	100	120	300	160	100	140	160
Габаритные размеры станка:								
длина	1050	1400	1300	2500	6000	1980	2000	1625
ширина	820	1720	900	1860	5000	1050	1800	1225
высота	1750	3020	2950	3600	3900	2480	3200	2360
Масса, кг	1100	4500	4500	10000	7000	2850	3500	1650

Примечание. Н – непрерывная подача электрода-инструмента к заготовке;
Ц – циклическая подача электрода-инструмента;
ИЦ – циклическая подача электрода-инструмента и импульсная подача технологического тока;
БК — бескамерная обработка;
О – орбитальная подача.

30. Электрохимические станки для маркирования

Размеры, мм

Параметры	4401	ЭХМ-2	ЭХМ-1	МЭ-46
Количество одновременно наносимых знаков	До 20	20	10	12
Время маркирования, с	1 – 6	0,5 – 2,0	0,5 – 2,0	0,5 – 3,0
Размеры рабочей поверхности стола	125 × 125	140 × 100	120 × 95	30 (диаматр)
Размеры маркируемой детали:				
длина	300	300	120	
ширина	200	150	100	50 (диаматр)
высота	100	≈ 700	≈ 500	
Шероховатость маркируемой поверхности, мкм	*Ra* 1,25	*Ra* 0,63	*Ra* 0,63	*Ra* 1,25
Род технологического тока	Постоянный	Постоянный	Постоянный	Асимметричный
Напряжение, В	4 – 12	6 – 8	6, 8, 9	4 – 12
Потребляемая мощность, Вт	110 – 160	75	50	60
Габаритные размеры станка:				
длина	520	230	185	620
ширина	470	150	105	450
высота	1470	350	170	250

31. Электрохимические станки для удаления заусенцев

Размеры, мм

Параметры	4405	4406	4407	Э3-93
Ширина обрабатываемой детали	50	125	320	50 – 200
Размер ванны	280 × 320	420 × 320	630 × 500	300 × 300
Расстояние от стола до траверсы	230	340	420	560
Ход траверсы	140	200	250	300
Размеры рабочей поверхности стола	200 × 160	320 × 250	500 × 400	450 × 220
Время обработки, с	15 – 60	15 – 60	15 – 60	15 – 60
Технологический ток, А	500	1000	2000	1600
Установочная мощность, кВт	20	43	80	80
Емкость бака для электролита, м³	0,3	0,6	1,0	1,0
Давление электролита, МПа	15	18	18	30
Расход электролита, м³/мин	0,06	0,15	0,3	0,2
Габаритные размеры станка:				
длина	840	1080	1320	1000
ширина	780	1275	1830	1000
высота	1665	1510	1510	2250
Масса станка, кг	550	850	1300	1300

32. Станки для электрохимической обработки турбинных лопаток

Размеры, мм

Параметры	ЭХО-1	ЭХО-2	ЭХА-300	АГЭ-2	АГЭ-3	ЭХС-10А	ЭГС-100	МЭ-57
Размеры пера лопатки	80 – 160	150 – 300	150 – 300	170 – 250	65 – 170	200	20 – 100	400 – 630
Подача электродов, мм/мин	0,3 – 1,5	0,2 – 1,0	0,2 – 5,0	0,06 – 0,8	0,1 – 0,6	0,1 – 0,8	0,2 – 2,0	0,03 – 3,2
Ход электродов:								
рабочий	20	20	50	18	12	12	25	140
холостой	200	200	126	200	120	60	250	140
Точность обработки	0,2 – 0,35	0,3 – 0,5	0,2 – 0,5	0,15 – 0,4	0,2 – 0,36	0,1 – 0,2	0,2	0,5
Рабочий ток, А	4500	10000	12000	6000	4000	5000	3200	10000
Напряжение, В	12	8 – 18	8 – 14	12	14	12 – 18	6 – 16	12
Минимальный рабочий зазор	0,15	0,15	0,10	0,1	0,1	0,05	0,08	0,05
Расход электролита, м³/ч	40 – 70	30	60	40	60	30	15	90
Габаритные размеры станка:								
длина	1050	1330	1700	1370	1090	1300	1500	2520
ширина	1020	1180	1610	1605	1470	300	800	1420
высота	1850	1960	2080	2100	1700	1100	2000	2780
Масса, кг	900	1600	2500	2500	1800	900	1500	7350

33. Электроэрозионные вырезные станки

Размеры, мм

Параметры	4531	4531Ф3	4532Ф3	ВЭСТ-240
Наибольшие размеры обрабатываемой заготовки	160×120×30	120×75×40	250×160×80	250×160×80
Размеры вырезаемого контура	85×120	100×65	200×125	200×125
Диаметр электрода-проволоки	0,1 – 0,3	0,02 – 0,2	0,05 – 0,3	0,02 – 0,2
Производительность по твердому сплаву, мм³/мин	8	11	18	16
Шероховатость по твердому сплаву	*Ra* 1,25	*Ra* 1,25	*Ra* 1,25	*Ra* 1,25
Точность обработки	± 0,01	± 0,01	± 0,03	± 0,01
Потребляемая мощность, кВт	0,25	2,75	2,9	2,5
Габаритные размеры станка:				
длина	750	665	830	2600
ширина	630	850	1200	880
высота	1400	1545	1570	1960
Масса, кг	430	700	1500	1050

34. Электроэрозионные копировально-прошивочные станки для извлечения сломанного инструмента

Размеры, мм

Параметры	4610	4Б611
Диаметр удаляемого инструмента	2 – 6	6 – 24
Размеры рабочей поверхности стола	160×220	630×400
Число Т-образных пазов стола	4	4
Расстояние между пазами стола	90	90
Расстояние от зеркала стола до торца шпинделя:		
наименьшее	105	100
наибольшее	255	500
Установочное перемещение стола:		
поперечное	125	–
продольное	160	–
Рабочий ход инструмента	50	100
Материал электрода-инструмента	Медь, латунь	То же + графит
Установочный ход рабочей головки		300
Угол поворота головки, °	± 15	± 30
Поворот головки вокруг стойки, °	–	180
Наибольшая скорость обработки, мм/мин	2	15
Рабочая жидкость	Керосин	Эмульсол
Объем бака для рабочей жидкости, м³	50	80
Потребляемая мощность, кВт	1,1	5,8
Рабочий ток, А	15	80
Габаритные размеры станка:		
длина	600	734
ширина	570	1290
высота	550	1775
Масса станка, кг	120	400

35. Электроэрозионные копировально-прошивочные станки универсальные

Размеры, мм

Параметры	МА4720У	4Г721М	4Д722А (4Д722Ф1)	4Е723	4Е724	4726
Размеры рабочей поверхности стола	200 × 120	360 × 200	630 × 400	630 × 400	1120 × 800	2000 × 1600
Наибольшая площадь обработки, мм²	1000	1500	7000	15000	30000	300000
Наибольшая масса обрабатываемой детали, кг	30	30	100	750	2500	9800
Наибольшая масса электрода, кг	10	12	30	50	75	(75 · 3) = 225
Расстояние от рабочей поверхности стола до торца шпинделя:						
наибольшая	350	280	450	450	710	1310
наименьшая	50	180	100	100	210	410
Рабочий ход шпинделя	150	100	150	200	200	250
Наибольший ход стола:						
поперечный	80	–	250	500	500	–
продольный	100	–	400	800	800	–
Установочное перемещение:						
продольное	–	160	–	–	–	650
поперечное	–	250	–	–	–	500
Точность координатных перемещений	0,01	0,01	0,002	0,01	0,01	0,01
Наибольшая производительность, мм³/мин	70	250	500	3000	6000	10000
Шероховатость обработанной поверхности, *Ra*:						
по стали 45	1,25 – 0,63	1,25	1,25 – 0,63	–	–	–
по твердому сплаву	0,63 – 0,32	0,63	0,63 – 0,32	–	–	–
Наибольшая высота уровня рабочей жидкости над плоскостью стола	120	180	300	400	655	770
Объем бака для рабочей жидкости, м³	100	85	300	600	1200	4500
Наибольшая потребляемая мощность, кВт	3,25	4,5	10	20	39,4	81
Габаритные размеры станка:						
длина	700	825	1570	1580	2160	6750
ширина	750	950	1070	1260	1690	5650
высота	1250	1630	2700	2470	3030	4650
Масса станка, кг	150	490	2220	2450	4290	18000

Зубо- и резьбообрабатывающие станки

36. Зубодолбежные полуавтоматы

Размеры, мм

Параметры	5111	5122	5122Б	5122В	5140	5М150	5М161
Наибольший диаметр устанавливаемой заготовки	80	200	200	200	500	800	1250
Наибольшая ширина нарезаемого венца зубчатого колеса	20	50	30	50	100	160	160
Наибольший модуль нарезаемого зубчатого колеса	1	5	4,5	4,5	8	12	12
Диаметр фланца шпинделя заготовки или рабочей поверхности стола	100	250	250	250	500	800	1000
Номинальный диаметр устанавливаемого долбяка	40	100	100	100	100	200	200
Конус Морзе шпинделя для крепления инструмента	1	3	5	5	5	5	5
Число двойных ходов инструмента в минуту	250–1600	200–850	280–1200	200–850	65–450	33–188	33–212
Круговая подача, мм/дв. ход	0,016–0,4	0,16–1,6	0,05–0,55	0,14–0,75	0,14–0,75	0,2–1,5	0,2–1,5
Радиальная подача, мм/дв. ход (или мм/мин)	0,1–0,3 от круговой	0,003–0,286	0,003–0,286	0,003–0,286	0,02–0,1	(2,07–5,4)	(2,07–5,4)
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,1	2,1; 3,0	3,7	2,1; 3,0	4,0; 4,5	4,8; 5,7; 7,5	4,8; 5,7, 7,5
Габаритные размеры с выносным оборудованием:							
длина	1635	2000	2610	2610	1900	4200	4200
ширина	1090	1450	1510	1110	1450	1800	1860
высота	1705	1965	1965	2145	2450	3300	3300
Масса, кг	1770	4400	4500	4500	4400	10800	10900

37. Зубофрезерные полуавтоматы для цилиндрических колес

Размеры, мм

Параметры	5303ПТ	5303П; 5303В	5304В	5К301П	53АІО	5К310	53А20
Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки	20	50	80	125	125	200	200
Наибольшие размеры нарезаемых колес:							
модуль	1	1	1,5	2,5	2,5	4	6
длина зуба прямозубых колес	50	50	100	100	140	200	180
угол наклона зубьев, °	–	–	± 60	± 45	± 45	± 60	± 60
Наибольший диаметр устанавливаемых червячных фрез	32	40	80	100	100	125	125

Продолжение табл. 37

Параметры	5303ПТ	5303П; 5303В	5304В	5К301П	53А10	5К310	53А20
Расстояние от торца стола до оси фрезы (или между торцами шпинделя заготовки и пиноли)	75 – 125	120	45 – 170	100 – 250	100 – 250	145 – 365	160 – 410
Расстояние от оси инструмента до оси шпинделя заготовки	5 – 45	5 – 45	10 – 88	20 – 135	0 – 115	45 – 180	25 – 200
Наибольшее осевое перемещение фрезы	–	–	50	50	60	50	170
Частота вращения шпинделя инструмента, об/мин	400 – 4000	400 – 4000	200 – 1600	100 – 500	40 – 900	63 – 480	75 – 500
Подача, мм/об, заготовки:							
вертикальная или продольная	0,063–1,0	0,063–1,0	0,1 –1,6	0,35–45*	0,1 – 70*	0,63 –4	0,45–120*
радиальная	1,5 – 45*	1,5 – 45*	0,05–0,8	0,4 – 60*	0,05–35*	0,135 – 2	0,1 – 1,6
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,1	1,1	1,5	2,2	3,8	4	7,5; 8,5
Габаритные размеры:							
длина	810	810	1215	1320	1370	2000	3150
ширина	750	750	1195	812	980	1300	1815
высота	1340	1335	1620	1820	1660	2040	2300
Масса, кг	680	680	2100	1720	3150	4000	6800

Продолжение табл. 37

Параметры	53А30П	5В312	5К324А	53А50	53А80	5К328А	5343
Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки	320	320	500	500	800	1250	3200
Наибольшие размеры нарезаемых колес:							
модуль	6	6	8	8	10	12	35
длина зуба прямозубых колес	220	180	300	350	350	560	1350
угол наклона зубьев, °	±60	±45	±60	±60	±60	±60	±45
Наибольший диаметр устанавливаемых червячных фрез	160	160	180	200	200	225	360
Расстояние:							
от торца стола до оси фрезы (или между торцами шпинделя заготовки и пиноли)	160–410	120–300	210–570	195–595	195–595	230–880	700–2100
от оси инструмента до оси шпинделя заготовки	30–250	55–245	60–350	60–350	80–500	115–820	300–2150
Наибольшее осевое перемещение фрезы	75	75	80	180	180	240	–
Частота вращения шпинделя инструмента, об/мин	50–400	100–500	50–310	40–405	40–405	32–200	10–60
Подача, мм/об, заготовки:							
вертикальная или продольная	0,63–7	2,5–100*	0,8–5,0	0,75–7,5	0,75–7,5	0,5–5,6	0,3–15
радиальная	0,3–2	–	0,14–0,84	0,22–2,25	0,22–2,25	0,22–2,6	0,15–7,5

Продолжение таб. 37

Параметры	53А30П	5В312	5К324А	53А50	53А80	5К328А	5343
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	3,2; 4,2	7,5	7,5	8,10; 12,5	8; 10; 12,5	10	42
Габаритные размеры:							
длина	2300	1790	2500	2670	2897	3580	9570
ширина	1500	1000	1440	1810	1810	1790	3780
высота	1950	2450	2000	2250	2250	2590	5170
Масса, кг	6800	5250	6400	9850	10800	14000	75800

* Подача в мм/мин.

Примечание. Полуавтоматы 5303ПТ, 5303П и 5303В горизонтальные, остальные – вертикальные.

38. Зубообрабатывающие полуавтоматы для прямозубых конических колес

Размеры, мм

Параметры	5236П	5Т23В	5С268	5С277П	5С286П
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса при передаточном отношении пары 10:1	125	125	320	500	800
Наибольший модуль обрабатываемых колес	1,5	1,5	8	12	16
Наибольшая ширина зубчатого венца	20	16	–	80	125
Число зубьев нарезаемых колес	12 – 200	12 – 200	8 – 50	10 – 150	10 – 150
Длина образующей делительного конуса нарезаемых колес	7 – 63	5 – 63	165 (наиб.)	250 (наиб.)	400 (наиб.)
Расстояние от торца шпинделя бабки заготовки до центра стола	30 – 140	30 – 140	–	115 – 415	135 – 600
Наибольший угол, °:					
качания люльки от центрального положения вверх и вниз	35	35	–	60	60
установки суппортов (или фрезерного суппорта)	8	2,5	–	10	11
Наибольший ход резца	28	20	–	–	180
Число двойных ходов резцов в минуту	160 – 800	210 – 820	–	–	34 – 167
Частота вращения дисковых фрез (или инструментального шпинделя), об/мин	–	–	10,5 – 20	20 – 80	–
Время рабочего хода при нарезании одного зуба (или впадины), с	5 – 53	5 – 53	3 – 5,7	10 – 120	12 – 240
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,1	1,1	10	5,5	7,5
Габаритные размеры:					
длина	1620	1620	2700	3075	3235
ширина	1050	1050	2375	1975	2180
высота	1415	1415	2075	2200	2470
Масса, кг	3000	3000	9000	15000	15000

Примечания: 1. Полуавтомат 5С277П зубофрезерный, 5С268 зубопротяжный, остальные полуавтоматы зубострогальные.

2. Угол установки инструментальной бабки для станка 5С268 равен 15 – 75°.

39. Зуборезные полуавтоматы для конических колес с круговыми зубьями

Размеры, мм

Параметры	5С263	527В	5С27П	5С280П
Наибольший диаметр обрабатываемого колеса при передаточном отношении пары 10:1	320	500	500	800
Наибольший модуль обрабатываемых колес	8	12	12	12
Наибольшая длина образующей начального конуса нарезаемых колес (при угле наклона зуба 30°)	150	265	220	400
Угол делительного конуса конического колеса	5 – 85°	5°42′ – 84°18′	–	5°42′ – 84°18′
Число зубьев нарезаемых колес	5 – 75	5 – 150	5 – 150	5 – 150
Наибольшее радиальное смещение инструментального шпинделя	140	240	240	340
Поворот бабки на угол внутреннего конуса, °:				
наименьший	–12	–12	–12	+5
наибольший	+90	+90	+90	+90
Диаметр зуборезных головок	60, 80, 100, 125, 160, 200, 250	160, 200, 250, 315, 400	160, 200, 250, 315, 400	160, 200, 250, 320, 400, 500
Частота вращения зуборезной головки, об/мин	–	20 – 155	20 – 155	20 – 125
Время обработки одного зуба, с	9 – 80	10 – 120	10 – 120	12 – 200
Вертикальная установка бабки заготовки для нарезания гипоидных колес	80	125	125	125
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	3	4	4	7,5
Габаритные размеры:				
длина	2607	3140	3235	3235
ширина	1925	1975	2180	2180
высота	1870	2200	2200	2200
Масса, кг	8800	13 500	13 500	15 500

Примечание. Угол качания люльки для приведенных моделей станков равен 60°.

40. Зубошевинговальные и зубохонинговальные полуавтоматы для цилиндрических колес

Размеры, мм

Параметры	5701	5702В	5Б703	ВС-Б03В	5А913	5А915
Наибольшие размеры обрабатываемого колеса:						
диаметр	125	320	500	550	320	500
длина зуба	40	100	150	140	120	150
Модуль обрабатываемых зубчатых колес	0,3–1,5	1,5–6	2–10	1,5–8	8 (наиб.)	12 (наиб.)
Наибольший угол поворота шевернои (или хонинговальной) головки в обе стороны от горизонтального (или вертикального) положения, °	30	35	30	20	25	30
Частота вращения шпинделя инструмента (или заготовки), об/мин	100–630	63–500	50–400	50–400	160–1000	160–500
Осевая (продольная) подача инструмента (или заготовки), мм/мин	32–310	18–300	16–200	16–200	50–400	40–320
Радиальная подача, мм/ход стола	0,01; 0,02; 0,03	0,02–0,06	0,025	–	–	–
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	0,9	3	3,2	3,2	3	3,2
Габаритные размеры:						
длина	1450	1820	2260	2260	1650	2260
ширина	870	1500	1265	1265	1460	1450
высота	1695	2120	1930	1930	1620	1930
Масса, кг	1560	5300	4000	4000	3400	4300

Примечания: 1. Полуавтоматы 5А913 и 5А915 зубохонинговальные, соответственно горизонтальный и вертикальный, остальные полуавтоматы зубошевинговальные.

2. Полуавтомат 5702В горизонтальный, остальные зубошевинговальные полуавтоматы – вертикальные.

41. Зубопритирочные и контрольно-обкатные станки для конических колес

Размеры, мм

Параметры	5П722	5725Е	5Б720	5В722	5Д725	5Б725	5Б726	5А727
Наибольший диаметр обрабатываемого (или контролируемого) конического колеса	320	500	125	200	500	500	800	1600
Модуль обрабатываемого (или контролируемого) колеса	2–6	2,5–10	0,3–2,5	1,5–8	2,5–10	2,5–10	5–16	8–30
Наибольшая длина образующей делительного конуса ведомого конического и гипоидного зубчатых колес	–	250	60	100	250	250	–	800
Частота вращения ведущего шпинделя, об/мин	1450	1450	600–1000	1200; 800	300–3000 (бесступенчатая)	625; 1250	220; 450; 625; 1250	200; 400; 800
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	5,5	5,5	0,9	1,8; 2,1	6,5	2,2; 3,6	6,0; 9,0	7,5; 14
Габаритные размеры:								
длина	1540	1540	1000	1540	2330	2000	2990	3600
ширина	1480	1480	850	1100	1725	1550	2640	2950
высота	1810	1810	1380	1550	1900	1750	1905	2000
Масса, кг	4600	4800	990	1700	6290	3070	6550	7100

Примечания: 1. Станки 5П722 и 5725Е зубопритирочные, остальные контрольно-обкатные универсальные.

2. Для станков 5П722 и 5725Е число двойных осциллирующих ходов за один цикл 2 – 30.

42. Зубошлифовальные станки и полуавтоматы для цилиндрических колес

Размеры, мм

Параметры	5В830	5В832	5В833	5В835	5А841	5843	5851	5853	5891С	5А893С
Диаметр обрабатываемого зубчатого колеса	5–125	20–200	40–320	50–500	30–320	80–800	35–320	150–800	10–125	40–320
Модуль обрабатываемого зубчатого колеса	0,2–1,5	0,3–3	0,5–4	1,5–6	1,5–8	2–12	2–10	2–12	1–6	2–12

Продолжение табл. 42

Параметры	5В830	5В832	5В833	5В835	5А841	5843	5851	5853	5891С	5А893С
Наибольшая длина шлифуемого зуба прямозубого колеса	80	100	150	200	150	220	220	280	28	56
Наибольший угол наклона шлифуемого зубчатого колеса, °	± 45	± 45	± 45	± 30	± 45	± 45	± 45	± 45	± 30	± 35
Число зубьев обрабатываемого зубчатого колеса	12–160	12–200	12–200	16–250	10–200	14–250	10–120	12–210	7–100	10–180
Шлифовальный круг	Червячный				Конический		Тарельчатый (два)		Конический	
Наибольшие размеры шлифовального круга (диаметр × ширина)	400 × 100	400 × 63	400 × 80	400 × 100	350 × 32	400 × ×32	Ø 225	275 × 20	250 × 25	500 × 32
Частота вращения шлифовального круга, об/мин	1500	1500	1500	1500	1920	1670	1900; 2660	1900; 2660	2000; 2500	1150
Вертикальная подача суппорта заготовки (подача обката), мм/мин	3–160	3,78–165	3,78–165	2–165	(6–800)	(6–800)	–	–	–	–
Радиальная подача шпиндельной бабки за один ход суппорта	0,02–0,08	0,02–0,08	0,02–0,08	0,02–0,08	0,01–2,49	0,01–2,49	–	–	0,002–0,01 (на врезание)	0,002–0,01 (на врезание)
Продольная подача:										
стола (бесступенчатое регулирование), мм/мин	–	–	–	–	–	–	100–1800	100–1500	–	–
за один обкат	–	–	–	–	–	–	0,35–7	0,5–50	–	–
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	3	3	4	5,5	1,5	1,5	0,75× × 2	0,75× × 2	0,75	1,1
Габаритные размеры:										
длина	1950	2110	2400	2830	2850	3280	3170	3340	1590	2545
ширина	2000	2450	2500	2210	2315	2780	1820	2165	1500	1770
высота	1810	1985	2070	2345	2085	2525	2020	2340	1820	2190
Масса, кг	4480	7180	7000	8500	8000	11 200	5600	7500	2800	3500

Примечание. Станки 5891С и 5А893С особо точные, предназначены для окончательной обработки эвольвентного профиля долбяков, шеверов и измерительных колес.

43. Зубошлифовальные станки для конических колес

Размеры, мм

Параметры	58П70В	58К70В	5А872	5А872В
Наибольший диаметр обрабатываемого зубчатого колеса	320	320	800	800
Наибольший модуль обрабатываемого зубчатого колеса	8	6	12	16
Наибольшая ширина зубчатого венца	32	50	125	125
Число зубьев обрабатываемого зубчатого колеса	15–100	10–100	4–100	5–150
Угол спирали, °	6–90	6–90	0–60	0–60
Угол зацепления, °	20	20	20 ± 5	20 ± 5
Диаметр шлифовального круга	275	100–250	160; 250; 315; 450	160; 200; 400; 500
Скорость шлифования, м/с	10–30	10–30	955–4150*	10–30
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	3	3	4	4
Габаритные размеры:				
длина	3515	3515	2700	3460
ширина	1970	1970	2184	2600
высота	1715	1715	2015	2115
Масса, кг	8500	8500	12 500	13 300

* Частота вращения шлифовального круга, об/мин.

Примечание. Станок 58П70В для обработки прямозубых конических колес, остальные полуавтоматы для обработки конических колес с круговыми зубьями.

44. Резьбо- и червячно-шлифовальные станки

Размеры, мм

Параметры	5К822В; 5П822	5К821В; 5П821	5Д822В	5897	5К823В	МВ139	5К881	5887; 5887В
Наибольшие размеры устанавливаемой заготовки:								
диаметр	200 / 160	125 / 120	200 / 160	10–33	320 / 280	20	125	320
длина	500	360	1500	80–280	1000	90	360	1000

Продолжение табл. 44

Параметры	5К822В; 5П822	5К821В; 5П821	5Д822В	5897	5К823В	МВ139	5К881	5887; 5887В
Диаметр шлифуемых резьб кругом:								
однониточным	3 – 150 / 30 – 125	2 – 95 / 30 – 80	20 – 150 / 30 – 125	–	30 – 320 / 70 – 220	–	–	–
многониточным	10–120	10–65	20–120	–	30–320	–	–	–
Шаг шлифуемых резьб:								
однониточным кругом:								
метрической	0,25 – 24 / 1 – 6	0,25 – 12 / 0,5 – 6	1,5 – 24 / 1 – 6	0,5–3,5	1 – 75 / 1 – 6	0,2–2	–	–
дюймовой, число ниток на 1"	28–3	28–4,5	14–3	–	24–3	–	–	–
модульной	0,3π–14π	0,3π–4π	1π–14π	–	0,5π–25π	–	–	–
многониточным кругом	1 – 4 / 1 – 3	1 – 4 / 1 – 3	1,5 – 4 / 1 – 3	–	1 – 4 / 1 – 6	–	–	–
Наибольший диаметр шлифуемых червяков	–	–	–	–	–	–	125	50–320
Модуль шлифуемых червяков	–	–	–	–	–	–	1–6	1–16
Число заходов шлифуемых червяков	–	–	–	–	–	–	1–6	1–8; 12
Наибольший ход винтовой линии шлифуемых червяков	–	–	–	–	–	–	113	200
Наибольшая высота профиля шлифуемой резьбы (или червяка)	18	12	18	–	55	–	13,2	35
Наибольший угол подъема винтовой линии шлифуемой резьбы (или червяка), °	±30 / ±8	±30 / ±6	±20 / ±8	± 5	±45 / ±10	± 6	± 35	± 45

Продолжение табл. 44

Параметры	5К822В; 5П822	5К821В; 5П821	5Д822В	5897	5К823В	МВ139	5К881	5887; 5887В
Наибольший диаметр шлифовального круга	400 / 25 – 100	400 / 25 – 63	400 / 25 – 100	400	500 / 50 – 175	350	400	500
Ширина однониточного шлифовального круга	10/6	10/6	10/6	20; 25; 32; 40	13–50	–	10; 16; 20	13; 25; 40
Конус Морзе конусных отверстий в шпинделе передней бабки и в пиноли задней бабки	4	4	4	3	5	1	4	5
Частота вращения шлифовального круга, об/мин	1657; 2340; 2655	1330–2840	1657–2340	1700–2950	1335; 1600; 3720; 6370; 11 450	1910–3130	1657; 2340	1335; 1600
Частота вращения шпинделя заготовки, об/мин:								
рабочая	0,3–55	0,3–55	0,3–45	25–200	0,125–37	31–200	0,3–45	0,14–57
ускоренная	28–100	28–100	27–100	220	9,25–37	–	≤ 82	≤ 57
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	3	3	3	6,3	5,5	0,6	3	5,5
Габаритные размеры (с приставным оборудованием):								
длина	3500	3500	4434	4195	4920	1180	3690	5900
ширина	3310	3310	4084	3060	2850	2060	3900	3500
высота	1875	1875	1860	1860	2000	1365	1710	2000
Масса (с приставным оборудованием), кг	5565	5565	7282	5612	8800	1473	5076	8500

Примечания: 1. Данные, указанные в числителе, относятся к шлифованию наружных резьб, в знаменателе – к шлифованию внутренних резьб; полуавтоматы 5П822 и 5П821 повышенной точности, предназначены для шлифования только наружной цилиндрической резьбы без затылования и конусного шлифования.

2. Шлифование внутренних резьб на станке 5Д822В – по особому заказу.

3. Полуавтомат 5897 и специальный станок МВ139 для шлифования резьбы на метчиках.

4. Полуавтомат 5К881 и станки 5887 и 5887В червячно-шлифовальные: достигаемая степень точности шлифования червяков: мод. 5К881 – степень точности 5 для однозаходных червяков и степень точности 6 для многозаходных; мод. 5887 и 5887В – степень точности 4 для однозаходных червяков и степень точности 5 для многозаходных червяков.

45. Резьбонарезные и резьбофрезерные станки и полуавтоматы

Размеры, мм

Параметры	5991 / 5991П	5993 / 5993П	5994 / 5994П	2054М	2056
Диаметр нарезаемой резьбы	М4–М16	М12–М42	М24–М76	(М6)	(М18)
Шаг нарезаемой резьбы	0,75–2	1,75–4	3–6	0,4–1,25	1–3,5
Наибольшая длина нарезаемой резьбы	– / 125	– / 280	– / 400	–	–
Перемещение каретки:					
продольное	280 / 200	400 / –	560	–	–
поперечное	–	–	–	–	–
Частота вращения шпинделя инструмента, об/мин	90–500	45–250	16–90	224–2240	112–1120
Частота вращения шпинделя заготовки, об/мин	–	–	–	–	–
Скорость рабочего перемещения каретки, мм/мин	300–450	300–450	250–450	–	–
Вылет шпинделя	–	–	–	125	200
Наибольшее перемещение:					
резьбонарезной головки по колонне	–	–	–	130	300
стола вертикальное	–	–	–	–	350
шпинделя	–	–	–	45	90
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,1	3	4	0,6	1,3
Габаритные размеры:					
длина	1865 / 2200	2125 / 2705	2375 / 2965	516	870
ширина	1150 / 1425	1215 / 1525	1270 / 1625	715	590
высота	1380 / 1260	1380 / 1125	1380 / 1345	1550	2025
Масса, кг	980 / 1060	1350 / 1350	1470 / 1900	310	450

Параметры	2Е056	5Б63	5Б63Г	5Б64	5Б65
Диаметр нарезаемой резьбы	(М18)	(М80)	(М80)	(М125)	(М200)
Шаг нарезаемой резьбы	0,5–3	(5)	(5)	(6)	(6)
Наибольшая длина нарезаемой резьбы	–	50	50	75	75

Продолжение табл. 45

Параметры	2Е056	5Б63	5Б63Г	5Б64	5Б65
Перемещение каретки:					
продольное	–	355	810	430	600
поперечное:					
автоматическое	–	2–5	2–5	2–6	2–6
ручное	–	122	122	145	210
Частота вращения шпинделя инструмента, об/мин	112–1120	160–2500	80–630	63–1000	50–800
Частота вращения шпинделя заготовки, об/мин	–	0,315–16	0,315–10	0,16–8	0,1–5
Скорость рабочего перемещения каретки, мм/мин	–	–	–	–	–
Вылет шпинделя	230	–	–	–	–
Наибольшее перемещение:					
резьбонарезной головки по колонне	–	–	–	–	–
стола вертикальное	450	–	–	–	–
шпинделя	–	–	–	–	–
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,1	3	3	7,5	11
Габаритные размеры:					
длина	1000	1825	2295	2150	2385
ширина	500	1125	1085	1390	1420
высота	1780	1675	1675	1750	1725
Масса, кг	711	2506	2800	3900	4800

Примечания: 1. Станки 5Б63, 5Б63Г, 5Б64 и 5Б65 – резьбофрезерные полуавтоматы; остальные станки резьбонарезные.

2. Станки 2054М, 2056 и 2Е056 вертикальные резьбонарезные, остальные – горизонтальные резьбонарезные полуавтоматы.

В скобках приведены наибольшие диаметр и шаг нарезаемой резьбы.

46. Гайконарезные автоматы

Размеры, мм

Параметры	2061	2062	2063	2064
Диаметр нарезаемой резьбы	М3–М5	М6–М10	М12–М20	М24–М30
Частота вращения шпинделя, об/мин	400–2240	280–900	100–560	106–335
Производительность, шт./ч	4500–6500	1980–4000	950–1900	480–880
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	0,6	1,1	3	5,5
Габаритные размеры:				
длина	790	745	980	1210
ширина	480	470	615	730
высота	1300	1155	1410	1500
Масса, кг	295	370	640	985

Примечание. Все гайконарезные автоматы двухшпиндельные, предназначены для нарезания правой метрической и дюймовой резьб в шестигранных гайках.

Фрезерные станки

47. Вертикально-фрезерные консольные станки

Размеры, мм

Параметры	6Т104	6Р10	6Р11	6Р11Ф3-1	6Р11МФ3-1
Размеры рабочей поверхности стола (ширина × длина)	160 × 630	–	250 × 1000	250 × 1000	250 × 1000
Наибольшее перемещение стола:					
продольное	400	500	630	630	630
поперечное	160	160	200	300	300
вертикальное	320	300	350	350	350
Перемещение гильзы со шпинделем	–	60	60	–	–
Наибольший угол поворота шпиндельной головки, °	± 45	± 45	± 45	–	–
Внутренний конус шпинделя (конусность 7:24)	–	–	50	50	50
Число скоростей шпинделя	12	12	16	16	Б/с
Частота вращения шпинделя, об/мин	63–2800	50–2240	50–1600	80–2500	63–2500
Число подач стола	12	12	16	Б/с	Б/с
Подача стола, мм/мин:					
продольная и поперечная	11,2–500	25–1120	35–1020	0,1–4800	0,1–4800
вертикальная	–	12,5–560	14–390	0,1–4800	0,1–4800
Скорость быстрого перемещения стола, мм/мин:					
продольного и поперечного	3800	2300	2900	4800	4800
вертикального	–	1120	1150	4800	4800
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	2,2	3	5,5	5,5	8
Габаритные размеры:					
длина	1250	1445	1480	4000*	2750
ширина	1205	1875	1990	2000	2230
высота	1630	1750	2360	2220	2450
Масса (без выносного оборудования), кг	830	1300	2360	2760	2650

Продолжение табл. 47

Параметры	6Р12	6Р13	6Р13Ф3-01	6Р13РФ3
Размеры рабочей поверхности стола (ширина × длина)	320 × 1250	400 × 1600	400 × 1600	400 × 1600
Наибольшее перемещение стола:				
продольное	800	1000	1000	1000
поперечное	280	300	400	400
вертикальное	420	420	380	380
Перемещение гильзы со шпинделем	70	80	150	–
Наибольший угол поворота шпиндельной головки, °	± 45	± 45	–	–
Внутренний конус шпинделя (конусность 7:24)	50	50	50	50
Число скоростей шпинделя	18	18	18	18
Частота вращения шпинделя, об/мин	31,5–1600	31,5–1600	40–2000	40–2000
Число подач стола	18	18	Б/с	Б/с
Подача стола, мм/мин:				
продольная и поперечная	25–1250	25–1250	10–1200	10–1200
вертикальная	8,3–416,6	8,3–416,6	10–1200 (гильзы со шпинделем)	10–1200
Скорость быстрого перемещения стола, мм/мин:				
продольного и поперечного	3000	3000	2400	2400
вертикального	1000	1000	2400	2400
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	7,5	11	7,5	7,5
Габаритные размеры:				
длина	2305	2560	3620	3425
ширина	1950	2260	4150	3200
высота	2020	2120	2760	2520
Масса (без выносного оборудования), кг	3120	4200	5650	6750

* *С приставным оборудованием.*

Примечания: 1. На станках с ЧПУ мод. 6Р11Ф3-1, 6Р11МФ3-1, 6Р13Ф3-01, 6Р13РФ3 дискретность задания размеров по координатам 0,01 мм. На станке 6Р11МФ3-1 емкость инструментального магазина – восемь инструментов, на станке 6Р13РФ3 емкость револьверной головки – шесть инструментов.

2. Б/с – бесступенчатое регулирование.

48. Вертикально-фрезерные станки с крестовым столом

Размеры, мм

Параметры	6520Ф3	6540	6550	6550Ф3	6550РФ3
Размеры рабочей поверхности стола	250 × 630	400 × 1000	500 × 1250	500 × 1000	500 × 1000
Наибольшие перемещения:					
стола:					
продольное	500	800	1000	800	800
поперечное	250	400	500	500	500
шпиндельной бабки	350	430	530	530	530
гильзы шпинделя	–	120	120	–	–
Расстояние от торца шпинделя до поверхности стола	100–450	100–530	100–630	100–630	100–630
Внутренний конус шпинделя (по ГОСТ 15945–82)	45	50	50	50	50
Число скоростей шпинделя	18	18	18	20	18
Частота вращения шпинделя, об/мин	31,5–1600	31,5–1600	31,5–1600	20–1600	40–2000
Подача (бесступенчатое регулирование), мм/мин:					
стола	5–1500	10–2000	10–2000	4,8–1200 (ступенчатая)	5–1200
шпиндельной бабки	5–1500	4–800	4–800	4,8–1200 (ступенчатая)	5–1200
Скорость быстрого перемещения, мм/мин:					
стола	5000	3000	3000	1200–4800	4800
шпиндельной бабки	5000	800	800	1200–4800	4800
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	4	7,5	10	8	4,3
Габаритные размеры:					
длина	3050	2640	2720	5000	5000
ширина	2150	2655	3205	3550	4380
высота	2185	2795	2930	3180	3300
Масса, кг	3700	6500	7500	10 490	10 500

Продолжение табл. 48

Параметры	6560	654Ф3	6560МФ3	6А56	6А59
Размеры рабочей поверхности стола	630 × 1600	630 × 1600	630 × 1600	800 × 2000	1000 × 2500
Наибольшие перемещения:					
стола:					
продольное	1250	1250	1250	1600	2000
поперечное	630	630	630	800	1000
шпиндельной бабки	625	625	775	800	900
гильзы шпинделя	125	–	–	150	150
Расстояние от торца шпинделя до поверхности стола	125–750	100–530	125–900	100–900	100–1000
Внутренний конус шпинделя (по ГОСТ 15945–82)	50	50	50	50	60
Число скоростей шпинделя	18	18	52	18	18
Частота вращения шпинделя, об/мин	25–1250	25–1250	5,6–2000	25–1250	25–1250
Подача (бесступенчатое регулирование), мм/мин:					
стола	10–2200	0,1–4800	0,1–4800	2,5–2200	2,5–2200
шпиндельной бабки	3–730	0,1–4800	0,1–4800	0,6–550	0,6–550
Скорость быстрого перемещения, мм/мин:					
стола	3000	4800	9600	3600	3600
шпиндельной бабки	1000	4800	9600	750	750
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	15	15	15	22	22
Габаритные размеры:					
длина	4190	3278	3440	5300	6500
ширина	3400	4526	3490	3900	4550
высота	3120	3571	4120	4000	4700
Масса, кг	11 500	11 800	16 500	19 100	23 600

Примечания: 1. На станках с ЧПУ мод. 6520Ф3, 6550Ф3, 6550РФ3, 654Ф3, 6560МФ3 дискретность задания размеров по координатам 0,01 мм.

2. Емкость инструментального магазина (револьверной головки) у станков мод. 6560МФ3 и 6550РФ5 соответственно 24 и 6 инструментов.

3. Угол поворота шпиндельной бабки станка мод. 6560 составляет ± 30°.

49. Фрезерные широкоуниверсальные (инструментальные) станки

Размеры, мм

Параметры	6712В; 6712П	6Б75В; 6Б75ВФ1	676П	6Б76ПФ2
Размеры рабочей поверхности основного вертикального стола	125 × 320	200 × 500	250 × 630	250 × 630
Наибольшие перемещения:				
вертикального стола:				
продольное	200	320	400	400
вертикальное	250	320	380	400
шпиндельной бабки	125	200	250	250
гильзы вертикальной головки	40	60	60	–
Наибольший угол поворота вертикальной головки, °	± 90	± 90	± 90	–
Расстояние до рабочей поверхности горизонтального стола:				
от оси горизонтального шпинделя	30–312	80–450	80–460	115–565
от торца вертикального шпинделя	0–282	90–460	0–380	95–545
Частота вращения шпинделей, об/мин:				
горизонтального	63–3150	40–2240	50–1630	40–2000
вертикального	63–3150	40–2240	63–2040	40–2000
Продольная, поперечная и вертикальная подачи с бесступенчатым регулированием, мм/мин	6,3–250	10–600	13–395 (ступенчатое)	2,5–1600
Скорость быстрого перемещения стола и шпиндельной бабки, мм/мин	1250	1200	935	3000
Размеры рабочей поверхности углового универсального стола	125 × 400	200 × 500	200 × 630	250 × 800
Диаметр рабочей поверхности круглого стола	160	250	250	–
Высота центров делительной головки	70	107	107	–
Частота вращения быстроходной головки, об/мин	157,5–7875	104–5000	156–5300	–
Наибольшее перемещение резца подрезной головки	30	30	–	–
Подача резца подрезной головки, мм/об	0,1	0,1	–	–
Наибольший ход долбежной головки	40	80	80	–
Число двойных ходов в минуту долбежной головки	50–100	40–100	50–100	–
Наибольшая длина нарезаемой спирали спирально-фрезерным приспособлением	150	320	–	–
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	0,75	1,5	2,2	2,2
Габаритные размеры:				
длина	2260	3700	1285	3600
ширина	2000	1975	1215	2150
высота	1320	1695	1780	2020
Масса, кг	560	1452	910	1850

50. Горизонтально-фрезерные универсальные и широкоуниверсальные консольные станки

Размеры, мм

Параметры	6Т804Г	6Р80	6Р80Ш	6Р81	6Р81Ш	6Р82Г	6Р82Ш	6Р83	6Р83Ш
Размеры рабочей поверхности стола	–	200 × × 800	200 × × 800	250 × × 1000	250 × × 1000	320 × × 1250	320 × × 1250	400 × × 1600	400 × × 1600
Наибольшее перемещение стола:									
продольное	400	500	500	630	630	800	800	1000	1000
поперечное	160	160	160	200	200	250	250	320	320
вертикальное	320	300	300	320	350	420	420	350	420
Расстояние:									
от оси горизонтального шпинделя до поверхности стола	30–350	20–320	50–350	50–370	50–400	30–450	30–450	30–380	30–450
от оси вертикального шпинделя до направляющих станины	–	–	205 (наим.)	–	250–845	–	260–820	–	250–900
от торца вертикального шпинделя до поверхности стола	–	–	50–350	–	160–510	–	35–535	–	70–570
Наибольшее перемещение гильзы вертикального шпинделя	–	–	60	–	80	–	80	–	80
Наибольший угол поворота стола, °	–	± 45	–	± 45	–	–	–	± 45	–
Угол поворота вертикальной фрезерной головки, °, в плоскости, параллельной:									
продольному ходу стола	–	–	± 90	–	360	–	360	–	360
поперечному ходу стола:									
от станины	–	–	45	–	90	–	90	–	90
к станине	–	–	30	–	45	–	45	–	45
Внутренний конус шпинделя по ГОСТ 15945–82:									
горизонтального	–	40	40	45	45	50	50	50	50
вертикального	–	–	Морзе 4	–	Морзе 4	–	40	–	40

Продолжение табл. 50

Параметры	6Т804Г	6Р80	6Р80Ш	6Р81	6Р81Ш	6Р82Г	6Р82Ш	6Р83	6Р83Ш
Число скоростей шпинделя:									
горизонтального	12	12	12	16	16	18	18	18	18
вертикального	–	–	12	–	12	–	11	–	11
Частота вращения шпинделя, об/мин:									
горизонтального	63–2800	50–2240	50–2240	50–1600	50–1600	31,5–1600	31,5–1600	31,5–1600	31,5–1600
вертикального	–	–	56–2500	–	45–2000	–	50–1600	–	50–1600
Число рабочих подач стола	12	12	12	16	16	18	18	18	18
Подача стола, мм/мин:									
продольная	11,2–500	25–1120	25–1120	35–1020	35–1020	25–1250	25–1250	25–1250	25–1250
поперечная	Ручная	25–1120	25–1120	28–790	28–790	25–1250	25–1250	25–1250	25–1250
вертикальная	Ручная	12,5–560	12,5–560	14–390	14–390	8,3–416,6	8,3–416,6	8,3–416,6	8,3–416,6
Скорость быстрого перемещения стола, мм/мин:									
продольного	3800	2300	2300	2900	2900	3000	3000	3000	3000
поперечного	–	2300	2300	2300	2300	3000	3000	3000	3000
вертикального	–	1120	1120	1150	1150	1000	1000	1000	1000
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	2,2	3	3	5,5	5,5	7,5	7,5	11	11
Габаритные размеры:									
длина	1315	1525	1525	1480	1480	2305	2470	2560	2680
ширина	1205	1875	1875	1990	2045	1950	1950	2260	2260
высота	1350	1515	1765	1630	1890	1680	1950	1770	2040
Масса, кг	800	1290	1340	2280	2530	2900	3300	3800	4050

Примечание. Станки 6Р80Ш, 6Р81Ш, 6Р82Ш и 6Р83Ш широкоуниверсальные класса точности П.

51. Горизонтально-фрезерные станки с ЧПУ

Размеры, мм

Параметры	6902ПМФ2	6904ВМФ2	6906ВМФ2
Размеры рабочей поверхности стола	320 × 250	500 × 400	800 × 630
Наибольшая масса обрабатываемой заготовки, кг	100	300	500
Наибольшие перемещения:			
стола:			
продольное	320	500	630
поперечное	320	500	630
шпиндельной головки (бабки) вертикальное	320	500	630
Расстояние от оси шпинделя до рабочей поверхности стола	15 (наим.)	65–555	95–725
Расстояние от торца шпинделя до центра стола или до рабочей поверхности стола	170 (наим.)	230–730	165–795
Конус отверстия шпинделя (по ГОСТ 15945–82)	40	45	50
Вместимость инструментального магазина, шт.	30	30	30
Число ступеней вращения шпинделя	18	19	18
Частота вращения шпинделя, об/мин	50–2500	32–2000	31,5–1600
Число рабочих подач	22	31	31
Рабочие подачи (продольная, поперечная, вертикальная), мм/мин	2,5–400	2,5–2500	2,5–2500
Наибольшая сила подачи стола, МН	5	7,5	10
Скорость быстрого перемещения (стола и шпиндельной бабки), мм/мин	3000	5000	5000
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	3	4,5	8
Габаритные размеры:			
длина	2780	2790	3100
ширина	2050	2060	2165
высота	1860	2000	2595
Масса, кг	2520	5082	7330

Примечания: 1. На всех станках можно выполнять фрезерование, сверление, зенкерование, развертывание, растачивание отверстий, нарезание резьбы метчиками.

2. Все станки с крестовым поворотным столом.

52. Копировально-фрезерные станки

Размеры, мм

Параметры	6Л463	641	6464	6520К	6530К
Размеры рабочей поверхности стола:					
заготовки	200 × 320	250 × 400	250 × 450	250 × 630	320 × 800
копира	250 × 400	400 × 500	400 × 500	250 × 320	250 × 320
Наибольшее перемещение:					
стола заготовки:					
продольное (или горизонтальное)	200	150	200	500	500
поперечное (или осевое)	125	350	400	250	320
вертикальное	250	300	350	–	–
стола копира (или копировального прибора):					
продольное (или горизонтальное)	–	–	350	–	–
поперечное (или осевое)	–	–	400	–	–
вертикальное	–	140	320	–	–
Наибольшее перемещение:					
осевое шпинделя	–	50	–	–	–
вертикальное шпиндельной бабки	–	–	–	275	350
Расстояние от торца (или от оси) шпинделя до поверхности стола	–	–	–	100–375	100–375
Масштаб копирования	1:1–1:50	1:1,5–1:10	1:1,3–1:10	1:1	1:1
Число скоростей шпинделя	12	12	13	18	18
Частота вращения шпинделя, об/мин	1260–15 900	800–10 000	800–12 500	31,5–1600	31,5–1600
Продольная (или горизонтальная) и поперечная (или осевая) подача стола, мм/мин	–	–	–	30–550 (по контуру)	30–700 (по контуру)
Вертикальная подача стола (или шпиндельной бабки), мм/мин	–	–	–	20–200	20–200
Скорость быстрого перемещения подвижных рабочих органов, мм/мин	–	–	–	1000	1100
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	0,25	0,6; 0,85	0,37	4	4
Габаритные размеры станка:					
длина	1100	1720	1640	2335	2000
ширина	1000	1520	1130	2440	2500
высота	1260	1740	1330	2085	2185
Масса, кг	250	1250	650	3400	3700

Продолжение табл. 52

Параметры	6Р12К-1	6Р13К-1	6Б443Г; 6Б443ГФ3	6Б444/6Б444Ф3
Размеры рабочей поверхности стола:				
заготовки	320 × 1250	400 × 1600	630 × 1250	1000 × 2000
копира	250 × 500	300 × 700	–	–
Наибольшее перемещение:				
стола заготовки:				
продольное (или горизонтальное)	800	800	1000	1400
поперечное (или осевое)	250	320	320	–
вертикальное	420	430	560	–
стола копира (или копировального прибора):				
продольное (или горизонтальное)	–	–	100	100
поперечное (или осевое)	70	100	380	700
вертикальное	–	–	250	450
Наибольшее перемещение:				
осевое шпинделя	70	85	175	500
вертикальное шпиндельной бабки	–	–	–	800
Расстояние от торца (или от оси) шпинделя до поверхности стола	30–450	30–480	120 (наим.)	100 (наим.)
Масштаб копирования	1:1	1:1	1:1	1:1
Число скоростей шпинделя	18	18	20	20
Частота вращения шпинделя, об/мин	40–2000	40–2000	31,5–2500	25–2000
Продольная (или горизонтальная) и поперечная (или осевая) подача стола, мм/мин	18–1000	20–1000	6,3–1000	6–1000
Вертикальная подача стола (или шпиндельной бабки), мм/мин	15–750	15–750	6,3–1000	6–1000
Скорость быстрого перемещения подвижных рабочих органов, мм/мин	1500	1500	4000	4000
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	7,5	7,5	5,5	7
Габаритные размеры:				
длина	2500	3460	4750	5500/6350
ширина	1950	3000	4550	5560/5115
высота	2035	2120	2630	3500
Масса, кг	3850	4850	9100	27 000/22 900

Примечания: 1. Станки 6Л463, 641 и 6464 – с пантографом.
2. Станки 6520К и 6530К с крестовым столом, станки 6Р12К-1 и 6Р13К-1 консольные.
3. Станки 6Б443Г, 6Б443ГФ3, 6Б444 и 6Б444Ф3 горизонтальные.
4. Для станков с ЧПУ мод. 6Б443ГФ3, 6Б444Ф3 дискретность задания размеров по координатам 0,01 мм.

53. Продольно-фрезерные одностоечные и двухстоечные станки

Размеры, мм

Параметры	6305Ф4	6У312*	6У316*	6605	6606	6Г608
Размеры рабочей поверхности стола	500×1250	1250×4000	1600× 5000	500×1600	630×2000	630×2500
Наибольшая масса обрабатываемой заготовки, кг	1000	18000	25000	1500	2500	4500
Расстояние до поверхности стола:						
от оси горизонтального шпинделя	0–500	0–1050	0–1050	25–600	25–560	25–700
от торца вертикального шпинделя	–	260–1330	260–1330	–	25–760	25–930
Расстояние между торцами горизонтальных шпинделей	–	–	–	340–740	470–870	550–1050
Число шпиндельных бабок:						
горизонтальных	1	1	1	2	2	2
вертикальных	–	1	1	–	1	1
Наибольшие перемещения:						
стола продольное	1250	4500	5500	1600	2000	2500
гильз шпинделей (или бабки)	365	315	315	200	200	250
Число скоростей шпинделя	21	18	18	21	21	20
Частота вращения шпинделя, об/мин	16–1600	25–1250	25–1250	16–1600	16–1600	16–1250
Подача, мм/мин:						
стола	10–2500	5–2000	5–2000	10–3000	10–3000	10–2500
шпиндельной бабки	10–2500	10–2000	10–2000	10–1000	10–1000	10–1000
Подача гильз шпинделей, мм/мин	10–2500	5–1000	5–1000	–	–	–
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт (в зависимости от числа шпиндельных бабок)	7,8	22 × 2	22 × 2	11 × 2	11 × 3	15 × 3
Габаритные размеры:						
длина	5300	11070	13170	5400	6200	7435
ширина	4050	4360	4535	3550	3750	4100
высота	3175	5500	5500	2300	3600	3800
Масса, кг	14 000	52 700	57 700	13 600	21 500	27 500

Продолжение табл. 53

Параметры	6М610Ф3	6Г610	6У612*	6620*	6625*
Размеры рабочей поверхности стола	1000×1600	1000×3150	1250×4000	2000×6300	2500×8000
Наибольшая масса обрабатываемой заготовки, кг	5000	6000	18000	50000	65000
Расстояние до поверхности стола:					
от оси горизонтального шпинделя	–	25–900	0–1050	0–1765	0–1765
от торца вертикального шпинделя	90–990	25–1130	260–1330	175–2180	175–2180
Расстояние между торцами горизонтальных шпинделей	–	750–1250	860–1490	1550–2250	2115–2815
Число шпиндельных бабок:					
горизонтальных	–	2	2	2	2
вертикальных	1	2	2	2	2
Наибольшие перемещения:					
стола продольное	1900	3200	4500	6800	8500
гильз шпинделей (или бабки)	1900	250	315	350	350
Число скоростей шпинделя	Бесступенчатое	20	18	18	18
Частота вращения шпинделя, об/мин	10–1600	16–1250	25–1250	20–1000	20– 1000
Подача, мм/мин:					
стола	3–3000	10–2500	5–2000	5–2000	5–2000
шпиндельной бабки	3–3000	10–1000	10–2000	10–2000	10–2000
гильз шпинделей	–	–	5–1000	5–1000	5–1000
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт (в зависимости от числа шпиндельных бабок)	30	18,5 × 4	22 × 4	30 × 4	30 × 4
Габаритные размеры:					
длина	8650	8700	11 070	18 970	22 460
ширина	8750	5000	5630	8270	8830
высота	5400	4050	5200	6700	6700
Масса, кг	35 800	35 000	69 500	121 900	130 000

* Наибольший угол поворота вертикальных фрезерных бабок ± 45°.

Примечания: 1. Станки мод. 6305Ф4, 6У312 и 6У316 одностоечные, остальные - двухстоечные.
2. На станках с ЧПУ мод. 6305Ф4, 6М610Ф3 дискретность задания размеров по координатам 0,01 мм.

Строгальные и долбежные станки

54. Одностоечные и двустоечные продольно-строгальные и строгально-фрезерные станки

Размеры, мм

Параметры	7110	7112	7116	7210-6	7210	7212
Наибольшие размеры обрабатываемой заготовки:						
при строгании	900×1000	1120×1250	1400×1600	900 ×1000	900×1000	1120×1250
при фрезеровании	–	–	–	–	–	–
Размеры рабочей поверхности стола	900×3000	1120×4000	1400×6000	900×6000	900×3000	1120×4000
Наибольшее расстояние между поверхностью стола и поперечиной	1000	1220	1500	1000	1000	1220
Расстояние между стойками	–	–	–	1100	1100	1350
Наибольшая масса обрабатываемой заготовки, кг:						
на 1 м длины стола	1500	2000	2000	1500	1500	2000
общая	4500	8000	12 000	9000	4500	8000
Наибольшее перемещение:						
стола	3200	4200	6200	6200	3200	4200
ползунов суппорта	300	300	300	300	300	300
Скорость хода стола (бесступенчатое регулирование), м/мин:						
рабочего	4–90	4–80	4–80	3,2–80	4–90	4–80
обратного	12–90	12–80	12–80	3,2–80	12–90	12–80
Подача стола при фрезеровании, мм/мин	–	–	–	–	–	–
Подача суппортов поперечины, мм/дв. ход:						
горизонтальная	0,5–25	0,5–25	0,5–25	0,5–25	0,5–25	0,5–25
вертикальная	0,25–12,5	0,25–12,5	0,25–12,5	0,25–12,5	0,25–12,5	0,25–12,5
Подача боковых суппортов (горизонтальная и вертикальная), мм/дв. ход	0,25–12,5	0,25–12,5	0,25–12,5	0,25–12,5	0,25–12,5	0,25–12,5
Наибольшая тяговая сила на рейке стола, кН	70	120	140	50	70	120
Мощность электродвигателей привода стола, кВт, при строгании	75	100	100	75	75	100
Габаритные размеры:						
длина	7950	9950	14 000	13 600	7950	9950
ширина	3700	4200	4500	4000	4170	4500
высота	3550	4100	4750	3450	3450	3800
Масса, кг	27 500	35 000	50 000	30 500	27 500	35 000

Продолжение табл. 54

Параметры	7212Г	7216	7216Г	7Б220-6	7228
Наибольшие размеры обрабатываемой заготовки:					
при строгании	1120 × 1250	1400 × 1600	1400 × 1600	1800 × 2000	2240 × 3150
при фрезеровании	1070 × 1150	–	1350 × 1600	–	–
Размеры рабочей поверхности стола	1120 × 4000	1400 × 6000	1400 × 6000	1800 × 6300	2800 × 8000
Наибольшее расстояние между поверхностью стола и поперечиной	1220	1500	1420	1930	2360
Расстояние между стойками	1350	1800	1800	2150	3350
Наибольшая масса обрабатываемой заготовки, кг:					
на 1 м длины стола	2000	2000	2000	–	–
общая	8000	12 000	12 000	25 000	70 000
Наибольшее перемещение:					
стола	4200	6200	6200	6300	8150
ползунов суппорта	300	300	300	600	600
Скорость хода стола (бесступенчатое регулирование), м/мин:					
рабочего	4–80	4–80	4–80	1,7–85	1,2–60
обратного	4–80	12–80	4–80	1,7–85	1,2–60
Подача стола при фрезеровании, мм/мин	50–3550	–	50–3200	–	–
Подача суппортов поперечины, мм/дв. ход:					
горизонтальная	0,5–25	0,5–25	0,5–25	0,1–25	0,1–25
вертикальная	0,25–12,5	0,25–12,5	0,25–12,5	0,2–50	0,2–50
Подача боковых суппортов (горизонтальная и вертикальная), мм/дв. ход	0,25–12,5	0,25–12,5	0,25–12,5	0,2–50	0,2–50
Наибольшая тяговая сила на рейке стола, кН	120	140	140	150	190
Мощность электродвигателей привода стола, кВт, при строгании	100; 7,2*	100	100; 7,2*	125	125
Габаритные размеры:					
длина	9950	14 000	14 000	17 300	20 900
ширина	5000	4800	5450	7100	8250
высота	4050	4350	4350	5800	6200
Масса, кг	38 000	48 000	51 000	98 200	124 700

* При фрезеровании.

Примечания: 1. Станки 7110, 7112, 7116 одностоечные, остальные – двустоечные.

2. Станки 7212Г и 7216Г строгально-фрезерные (комбинированные), остальные – продольно-строгальные.

3. У всех станков угол поворота суппортов ± 60°. У станков 7212Г и 7216Г наибольшее перемещение гильзы фрезерной головки 200 мм, угол поворота фрезерных головок ± 30°, частота вращения шпинделя при фрезеровании 25 – 800 об/мин, подача фрезерных кареток бесступенчатая 20 – 1250 мм/мин, мощность электродвигателя фрезерной головки 13 кВт.

55. Поперечно-строгальные станки

Размеры, мм

Параметры	7А311	7Е35	7М36	7Д36	7Д36Ц
Длина хода ползуна	10–200	500 (наиб.)	150–700	150–710	150–700
Наибольшее расстояние от опорной поверхности резца до станины (вылет)	280	670	840	820	840
Наибольшее расстояние между рабочей поверхностью стола и ползуном	200	400	400	400	400
Размер рабочей поверхности стола	200 × 200	360 × 500	450 × 700	450 × 710	450 × 700
Наибольшее перемещение стола:					
горизонтальное	250	530	700	700	700 (по программе 650)
вертикальное	150	310	320	320	320
Наибольшее перемещение суппорта (вертикальное)	70	170	200	200	200 (170)
Наибольшее сечение резца (ширина × высота)	20 × 12	32 × 20	40 × 25	40 × 25	40 × 25
Скорость ползуна, дв. ход/мин	53; 71; 106; 212	13,2–150	–	–	–
Подача, мм/дв. ход:					
стола (горизонтальная)	0,1–1,2	0,2–4,0	0,25–5	0,2–5	0,2–5
суппорта	0,05–0,6 (стол вертикальный)	0,16–1 (по заказу)	0,15–1,05	0,15–1,05	0,15–1,05
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	0,8–1,5	5,5	7,5	7,5	7,5
Габаритные размеры:					
длина	1380	2350	2785	2850	2850
ширина	800	1230	1750	1680	1690
высота	1395	1550	1780	1840	1840
Масса, кг	650	2000	3300	3400	3700

Продолжение табл. 55

Параметры	7307	7307Д	7Д37Ц	7310Д
Длина хода ползуна	20–720	150–710	150–1000	150–1000
Наибольшее расстояние:				
от опорной поверхности резца до станины (вылет)	880	825	1120	1120
между рабочей поверхностью стола и ползуном	480	450	500	500
Размер рабочей поверхности стола	450 × 710	450 × 710	560 × 1000	560 × 1000
Наибольшее перемещение стола:				
горизонтальное	710	710	800 (по программе 740)	800
вертикальное	390	345	420	420
Наибольшее перемещение суппорта (вертикальное)	170	200	200	200
Наибольшее сечение резца (ширина × высота)	40 × 25	40 × 25	40 × 25	40 × 25
Скорость ползуна, дв. ход/мин	10,6–118	–	–	–
Подача, мм/дв. ход:				
стола (горизонтальная)	0,2–4	0,2–5	0,2–5	0,2–5
суппорта	0,16–1 (по заказу)	0,15–1,05	0,15–1,05	0,15–1,05
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	5,5	7,5	10	11
Габаритные размеры:				
длина	2980	2850	3700	3700
ширина	1400	1645	2065	1835
высота	1665	1890	1980	1920
Масса, кг	2800	3400	4700	4400

Примечания: 1. Станки 7А311 и 7Е35 с механическим приводом, остальные с гидравлическим приводом.

2. Станки 7Д36Ц и 7Д37Ц с цикловым программным управлением.

3. Наибольший угол поворота суппорта для всех станков ± 60°; для всех станков, кроме 7А311, 7Е35, 7307, скорость ползуна 3 – 48 м/мин.

56. Долбежные станки

Размеры, мм

Параметры	7А412	7Д430	7Д450	7410	7414
Длина хода долбяка	10–100	120–320	120–500	1200 (наиб.)	1600 (наиб.)
Расстояние от наружной плоскости резцедержателя до стойки (вылет)	320	615	710	1150	1400
Расстояние от плоскости стола до нижнего конца направляющих долбяка	200	500	700	1200	800–1600
Диаметр рабочей поверхности стола	360	–	–	1250	1600
Наибольшее перемещение стола:					
продольное	350	650	800	1400	1800
поперечное	280	510	650	1000	1250
Угол наклона долбежной головки, °	± 5	± 10	± 10	± 10	± 10
Наибольшее сечение резца	16 × 24	20 × 32	25 × 40	40 × 63	40 × 63
Число двойных ходов долбяка в минуту	52; 67; 101; 210	–	–	–	–
Скорость долбяка на рабочем ходу, м/мин	–	3–38	3–38	2–30	2–30
Подача стола за один двойной ход долбяка:					
продольная	0,1–1	0,2–2,5	0,2–2,5	0,2–10	0,2–10
поперечная	0,1–1	0,1–2,5	0,1–2,5	0,2–10	0,2–10
круговая	0,067–0,67	0,1–1,4	0,1–1,4	0,2–10	0,2–10
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	0,8–1,5	10	10	55	50
Габаритные размеры:					
длина	1950	3030	3540	6070	7000
ширина	980	2175	2890	4335	5100
высота	1825	3010	3465	5300	6500
Масса, кг	1200	5700	8200	30 000	34 500

Примечания: 1. Станки 7Д430 и 7Д450 с гидравлическим приводом, остальные – с электроприводом. При этом станки 7410 и 7414 имеют привод от регулируемых электродвигателей постоянного тока.

2. Для всех станков угол поворота стола 360°.

Протяжные и отрезные станки

57. Горизонтальные протяжные полуавтоматы для внутреннего протягивания

Размеры, мм

Параметры	7Б55	7Б55У	7Б56	7Б56У	7Б56САУ	7Б57	7Б58
Номинальная тяговая сила, кН	100	100	200	200	200	400	800
Наибольшая длина хода салазок	1250	1250	1600	1600	1600	2000	2000
Размер рабочей поверхности опорной плиты	450×450	450×450	450×450	450×450	450×450	560×560	560×560
Диаметр отверстия:							
в опорной плите под планшайбу	160	160	200	200	200	250	320
в планшайбе	125	100	160	160	130	200	250
Скорость рабочего хода протяжки, м/мин	1,5–11,5	1,5–11,5	1,5–13	1,5–13	1,5–11,5	1,0–6,15	0,5–3,6
Рекомендуемая скорость обратного хода протяжки, м/мин	20–25	20–25	20–25	20–25	20–25	20–25	10
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	18,5	17	30	30	30	37	55
Габаритные размеры:							
длина	6340	4070	7200	5200	7200	9400	10 100
ширина	2090	1600	2135	2000	2020	2500	2600
высота	1910	1500	1910	1700	1700	1910	1700
Масса, кг	5200	4700	7450	7000	8500	13 500	22 000

Примечание. Полуавтоматы 7Б55У и 7Б56У являются модификациями полуавтоматов соответственно 7Б55 и 7Б56 и отличаются отсутствием приставной станины с механизмом автоматического подвода и отвода протяжки.

58. Вертикальные протяжные полуавтоматы для внутреннего и наружного протягивания

Размеры, мм

Параметры	7Б64	7Б65	7Б66	7Б67	7Б68	7Б74
Номинальная тяговая сила, кН	50	100	200	400	800	50
Рабочая ширина:						
стола	320	450	450	710	710	320
салазок	–	–	–	–	–	320

Продолжение табл. 58

Параметры	7Б64	7Б65	7Б66	7Б67	7Б68	7Б74
Расстояние от салазок до оси отверстия в столе	150	180	210	250	300	–
Расстояние от поверхности салазок до торца стола	–	–	–	–	–	125
Наибольшая длина хода салазок	1000	1250	1250	1600	1600	1000
Скорость рабочего хода протяжки, м/мин	1,5–11,5	1,5–11,5	1,5–13	1,5–7,9	1,0–8	1,5–11,5
Рекомендуемая скорость обратного хода протяжки, м/мин	20	20	20	14	10	20
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	11	22	30	57	80	11
Габаритные размеры (без рабочей площадки):						
длина	2875	3292	3866	4000	4550	3152
ширина	1350	1333	1392	2060	2760	1290
высота	3640	4540	4555	5500	5870	2620
Масса, кг	5050	8080	11 440	18 500	22 200	4750

Параметры	7Б75	7Б76	7Б77	7В75Д	7В76Д1
Номинальная тяговая сила, кН	100	200	400	100	200
Рабочая ширина:					
стола	450	450	710	450	450
салазок	400	500	630	400	500
Расстояние от салазок до оси отверстия в столе	–	–	–	–	–
Расстояние от поверхности салазок до торца стола	160	200	200	160	200
Наибольшая длина хода салазок	1250	1250	1600	1250	1600
Скорость рабочего хода протяжки, м/мин	1,5–11,4	1,5–13	1,0–7,9	1,5–11	1,5–13
Рекомендуемая скорость обратного хода протяжки, м/мин	20	20	16	13,7	13,7
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	22	30	57	22	30
Габаритные размеры (без рабочей площадки):					
длина	3600	4310	4650	3140	3550
ширина	1262	1392	2070	2525	2570
высота	3370	3370	4350	3360	4070
Масса, кг	8000	10 785	21 000	14 500	18 600

Примечания: 1. Полуавтоматы 7Б64, 7Б65, 7Б66, 7Б67 для внутреннего протягивания, остальные – для наружного протягивания.

2. Полуавтоматы 7В75Д и 7В76Д1 сдвоенные с двумя салазками и двумя подводными столами, работающими поочередно.

59. Абразивно-отрезные и круглопильные станки и автоматы

Размеры, мм

Параметры	8В220	8А230	8А240	8252	8Г642	8Г662САУ	8Б672	8Г681
Размеры абразивного круга (или пильного диска):								
диаметр	200; 250	300	400	500	510	710	1010	1430
высота	1–4	2–3	3–4	4–5	–	–	–	–
Наибольшие размеры разрезаемого материала:								
круглого прутка	25	35	60	80	160	240	350	500
квадрата (сторона)	25	–	–	–	140	–	300	400
трубы	50	60	90	120	–	–	–	–
уголка (ширина полки)	40	63	90	100	–	–	–	25
№ швеллера (№ профиля)	6,5	8	10	14	20	–	–	–
Длина отрезаемой заготовки по упору	30–250	30–500	30–500	30–1000	20–1500	20–1500	25–1050	20–800
Частота вращения шпинделя, об/мин	3560–9130	3050 и 5100	2300 и 3820	1860 и 3080	3,78–21	27	2,2–20,3	1,09–8,08
Подача абразивного круга (или бабки пильного диска), мм/мин	Вручную	60–1460	60–1400	60–1400	8–500	8–500	12–500	8–500
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	4	7,5	10	30	5,5	7,5	11	18,5
Габаритные размеры:								
длина	935	1370	1370	7800	3545	2310	3140	3900
ширина	500	1160	1160	2680	2270	2600	2650	3550
высота	630	1980	2090	2010	1680	1750	2155	2400
Масса, кг	180	1200	1300	3400	4180	4150	7900	10 900

Примечание. Станки 8Г642, 8Г662САУ, 8Б672 – круглопильные автоматы, 8Г681 – круглопильный полуавтомат; остальные станки – абразивно-отрезные; станок 8252 – абразивно-отрезной автомат.

60. Ножовочные и ленточно-отрезные станки

Размеры, мм

Параметры	8Б72	8544	8Б545	4840
Наибольший размер разрезаемого материала:				
круглого	250	355	500	250
квадратного	250 × 250	355 × 355	500 × 500	250 × 250
Наибольшая длина заготовки	350	3000	3000	1000/6000*
Размеры инструмента (ножовочного полотна, ленточной пилы или ленты):				
длина (межцентровое расстояние)	500	6310–6070	6930–6760	4100
ширина	40	–	40	30–40/20–25*
толщина	2	–	1	0,8–1
Ширина пропила	3,8	1,9	2,2	–
Скорость резания, м/мин	–	10–100	10–90	–
Рабочая подача, мм/мин	–	5–400	5–400	3,5–70
Наибольший рабочий ток, А	–	–	–	630
Рабочее напряжение, В	–	–	–	18-24
Производительность (при обработке коррозионно-стойкой стали), $см^2$/мин	–	–	–	30/25*
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	1,5	2,8	4,1	42,5 (общая мощность)
Габаритные размеры:				
длина	1610	3045	3325	3200
ширина	700	3060	2900	3270/7800*
высота	900	1790	2150	2100
Масса, кг	645	3300	4300	4000

* Станок 4840 анодно-механический ленточный; данные в числителе для этого станка указаны для рабочей подачи, осуществляемой столом с заготовкой, в знаменателе – рабочей подачи, осуществляемой стойкой с извернутой лентой.

Примечание. Станок 8Б72 ножовочный (длина хода пильной рамы 140 мм, частота движения ножовочного полотна 85 и 120 дв. ход/мин); станки 8544 и 8Б545 ленточно-отрезные.

Глава 2 СТАНОЧНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Станочные приспособления (СП) применяют для установки заготовок на металлорежущие (или деревообрабатывающие) станки. Различают: **три вида СП** – специальные (одноцелевые, непереналаживаемые), специализированные (узкоцелевые, ограниченно переналаживаемые), универсальные (многоцелевые, широкопереналаживаемые); **семь стандартных систем СП** – универсально-сборные (УСП), сборно-разборные (СРП), универсальные безналадочные (УБП), неразборные специальные (НСП), универсальные наладочные (УНП), специализированные наладочные (СНП), универсально-сборные переналаживаемые (УСПО).

Обоснованное применение СП позволяет получать высокие технико-экономические показатели. Трудоемкость и длительность цикла технологической подготовки производства, себестоимость продукции можно уменьшить за счет применения стандартных систем СП, сократив трудоемкость, сроки и затраты на проектирование и изготовление СП.

В условиях серийного машиностроения выгодны системы УСП, СРП, УНП, СНП и другие СП многократного применения. Производительность труда значительно возрастает (на десятки – сотни процентов) за счет применения СП: быстродействующих с механизированным приводом, многоместных, автоматизированных, предназначенных для работы в сочетании с автооператором или технологическим роботом.

Точность обработки деталей по параметрам отклонений размеров, формы и расположения поверхностей увеличивается (в среднем на 20 – 40 %) за счет применения СП точных, надежных, обладающих достаточной собственной и контактной жесткостью, с уменьшенными деформациями заготовок и стабильными силами их закрепления. Применение СП позволяет обоснованно снизить требования к квалификации станочников основного производства (в среднем на разряд), объективно регламентировать длительность выполняемых операций и расценки, расширить технологические возможности оборудования.

СП состоят из корпуса, опор, установочных устройств, зажимных механизмов (зажимов), привода, вспомогательных механизмов, деталей для установки, направления и контроля положения режущего инструмента. Графические обозначения опор и зажимных механизмов регламентированы ГОСТ 3.1107 – 81.

Основные термины и определения приведены в табл. 1.

1. Термины и определения

Термин	Определение	Примечания
Корпус СП	Основная часть СП с базами для установки СП на оснащаемый станок	На корпус устанавливают все составные части СП. Корпус воспринимает силовые факторы, действующие на заготовку в процессе ее обработки
Опора СП	Составная часть СП с несущими поверхностями, которые сопрягаются с технологическими базами устанавливаемой заготовки	Опору также называют установочным элементом

Продолжение табл. 1

Термин	Определение	Примечания
Зажим СП	Механизм СП для закрепления заготовки	Зажим также называют зажимным механизмом
Привод СП	Составная часть СП для энергетического обеспечения его работы	Различают приводы: ручной, пневматический, гидравлический, пневмогидравлический, электромеханический, магнитный, электромагнитный, вакуумный, криогенный и др.
Направляющая часть СП	Составная часть СП для уменьшения упругих перемещений режущего инструмента и для придания последнему определенного положения относительно заготовки	Кондукторные втулки, установы, копиры
Вспомогательные механизмы СП	Составная часть СП, облегчающая работу с СП	Фиксаторы, делительные механизмы, выталкиватели, досылатели и т.п.
Одноместные СП	СП для установки одной заготовки	–
Многоместные СП	СП для одновременной установки нескольких заготовок	Обеспечивают существенное повышение производительности
Однопозиционное СП	СП, заготовку в котором обрабатывают на оснащаемой операции без изменения позиции	–
Многопозиционное СП	СП, заготовку в котором обрабатывают на оснащаемой операции с изменением позиции	–
Целевое СП	СП, которое применяют для оснащения станков какой-либо одной группы	Одноцелевые СП называют токарными, фрезерными, протяжными и т.п.
Многоцелевые СП	СП, которое применяют для оснащения станков различных групп	Примерами многоцелевых СП являются тиски, стойки, центры, кулачковые патроны и т.п.

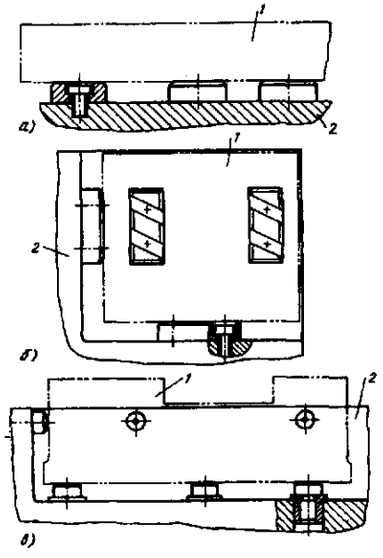


Рис. 1. Примеры установки заготовки плоскими поверхностями на стандартизованные элементы СП:
а – на шайбы; *б* – на пластины (вид в плане);
в – на штыри; *1* – заготовка; *2* – корпус СП

По достигаемой точности обработки заготовок различают **СП следующих классов точности**: нормальной (Н), повышенной (П), высокой (В), особо высокой (А). По уровню механизации различают СП: ручные; механизированные и автоматизированные; автоматические.

Помимо вышеуказанных систем СП, стандартизированных на межотраслевом уровне, отдельными предприятиями и отраслями машиностроения разработаны следующие *стандартизованные системы СП*: унифицированные переналаживаемые (УПТО) и агрегатируемые переналаживаемые (АПО).

СП, относящиеся к системам УБП, УСП, СРП, УСПО, УНП, СНП, УПТО, АПО, а также СП с программным управлением или использованием фазовых превращений в совокупности, называют *приспособлениями многократного применения*. СП, многократность применения которых обеспечивается быстрой сборкой из комплекта заранее изготовленных деталей и сборочных единиц, также называют *обратимыми* (УСП, СРП и аналогичные им). СП, многократность применения которых обеспечивается заменой или регулированием наладочных сборочных единиц, также называют переналаживаемыми (УНП, СНП, УПТО и аналогичные им).

Приспособления-спутники (*палеты*) служат для установки заготовок не только с целью их последующей обработки, но и с целью транспортирования в соответствии с требованиями технологического процесса.

СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ И МЕХАНИЗМЫ СП

Опоры и распространенные схемы установки заготовок

По функциональному назначению различают *опоры основные* и *вспомогательные*. Первые ориентируют заготовку в рабочем пространстве оснащаемого станка в соответствии с принятой схемой установки. Число основных опор равно числу устраняемых степеней свободы заготовки. Для полной ориентации заготовку лишают всех шести степеней свободы и используют шесть основных опор, для частичной ориентации - меньшее их число. Вспомогательные опоры применяют в тех случаях, когда необходимо уменьшить деформации и вибрации обрабатываемой заготовки, повысить точность и качество обработанных поверхностей.

Суммарное число основных и вспомогательных опор больше числа устраняемых степеней свободы заготовки. Однако чем меньше число опор, тем проще и дешевле СП.

По конструктивному оформлению различают *опоры постоянные*, несущие поверхности которых имеют неизменное расположение относительно корпуса СП, а также *регулируемые* (*подводимые*) и *самоустанавливающиеся опоры*, расположение несущих поверхностей которых относительно корпуса СП меняется. Регулируемые опоры подводят к технологической базе заготовки, уже установленной на другие основные опоры. Самоустанавливающиеся опоры первыми вступают в контакт с технологической базой заготовки и утапливаются ею до наступления контакта с другими опорами.

Постоянные опоры жестче регулируемых и самоустанавливающихся. Поэтому *основные опоры* преимущественно *выполняют постоянными*. Регулируемые и самоустанавливающиеся опоры в качестве основных используют в обоснованных случаях (см. ниже). Вспомогательные опоры практически всегда выполняют в регулируемом или самоустанавливающемся вариантах.

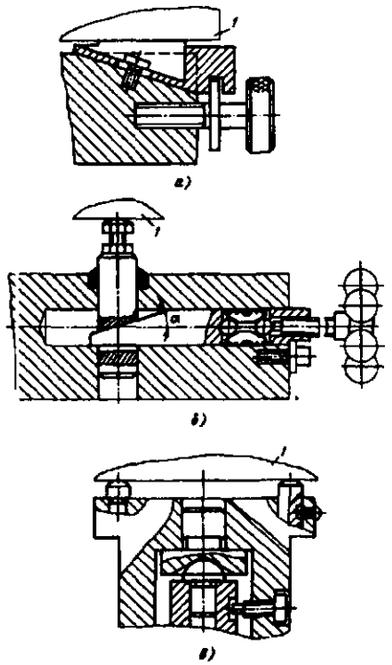


Рис. 2. Опоры для установки заготовки (1) плоской поверхностью:
а – регулируемые клиновые; *б* – регулируемые плунжерные; *в* – самоустанавливающиеся по сфере

Установку заготовок плоской поверхностью применяют при обработке корпусов, *рам, плит на фрезерных, сверлильных, расточных* и некоторых других станках (табл. 2; рис. 1, *а* - *в* и рис. 2).

Регулируемые опоры (рис. 2, *а* и *б*) применяют для установки заготовок с необработанными базами при больших припусках на механическую обработку или заготовок, выверяемых по разметочным рискам. В качестве таких опор используют винты со сферической опорной поверхностью и головками различной формы.

Самоустанавливающиеся опоры (рис. 2, *в*) применяют для заготовок сложной формы или с базами, не позволяющими установить заготовку только на постоянные опоры.

Регулируемые опоры без корпуса (рис. 2, *б*) устанавливают в неудобных местах. Для этого в корпусе СП растачивают отверстия под клин и плунжер. Угол α несамотормозящий, что позволяет быстро подвести плунжер к заготовке, после чего клин стопорят поворотом штурвала нажимного винта.

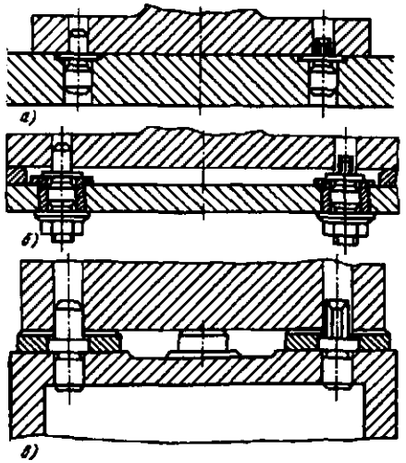


Рис. 3. Установка заготовки двумя цилиндрическими отверстиями с параллельными осями и перпендикулярной к ним плоской поверхностью с использованием стандартизованных установочных пальцев:
а – по ГОСТ 12209–66 и ГОСТ 12210–66;
б – по ГОСТ 12211–66 и ГОСТ 12212–66;
в – по ГОСТ 17774–72 и ГОСТ 17775–72

Установку по двум цилиндрическим отверстиям с параллельными осями и перпендикулярной к ним плоской поверхностью (табл. 3 и 4; рис. 3, *а* – *в*) применяют при-

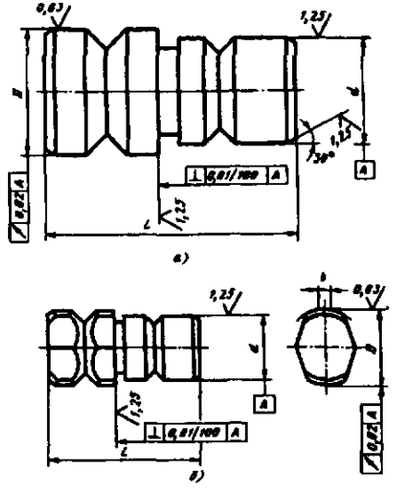
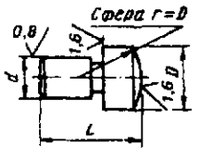
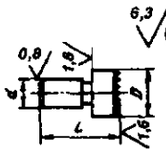
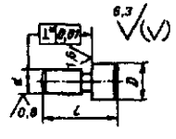
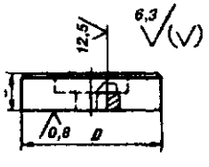


Рис. 4. Установочные пальцы с упором:
а – цилиндрический (ГОСТ 16898–71);
б – срезанный (ГОСТ 16899–71*)

2. Стандартизованные постоянные опоры для установки заготовок плоской поверхностью

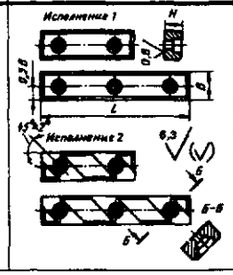
Заготовки	Опора					
	Тип	ГОСТ (в ред. 1989 г.)	Эскиз	Основные размеры, мм		
				D	ds7	L
Небольшие с базами: необработанными	С головкой: сферической	13441–68		5 – 40		7 – 92
обработанными	насеченной	13442–68		10 – 40	3 – 25	14 – 92
	плоской	13440–68		5 – 40		7 – 92
	Опорные шайбы	17778-2		16 – 40	-	5 – 16

обработке корпусов, плит, рам малых и средних габаритов. Установочные отверстия в заготовках обрабатывают по 7-му квалитету. Плоская поверхность должна иметь чистовую обработку. Такая установка позволяет упростить конструкцию СП, выдержать принцип постоянства баз, упростить подачу и закрепление заготовок на автоматических и поточных линиях, обеспечить доступ режущего инструмента к различным поверхностям заготовки.

Чтобы избежать заклинивания заготовок, один установочный палец выполняют цилиндрическим (рис. 4, *а*), а другой – срезанным (рис. 4, *б*).

Для повышения точности обработки установочные пальцы размещают на возможно большем расстоянии друг от друга (например, по диагонали заготовки, прямоугольной в плане). Срезанный палец располагают большей полуосью по нормали к линии центров. Для установки приспособлений-спутников применяют выдвижные установочные пальцы.

Продолжение табл. 2

Заготовки	Опора					
	Тип	ГОСТ (в ред. 1989 г.)	Эскиз	Основные размеры, мм		
				D	ds7	L
				B	L	H
Средние и крупные с обработанными базами	Опорные пластины	4743–68		10 – 40	25 – 220	5 – 25

Примечания: 1. Предельные нагрузки на опору со сферической головкой 2 – 30 кН при обработке стальных и чугунных заготовок и на 30 – 40 % меньше при обработке заготовок из цветных металлов и сплавов; допустимая предельная нагрузка на опору с насеченной головкой в 2 раза больше, чем на опору со сферической головкой; предельное давление на опоры с плоской головкой и на опорные пластины и шайбы 40 МПа.

2. Опорные пластины исполнения 1 (без пазов) служат боковыми и верхними опорами, а исполнения 2 (с пазами) – нижними опорами. Опоры с насеченной головкой, как правило, являются боковыми опорами.

3. Для уменьшения погрешности положения опоры с плоской головкой, опорные пластины и шайбы дополнительно обрабатывают непосредственно на оснащаемом станке.

4. Сопряжения опор с плоской, насеченной и сферической головками с корпусом СП выполняют по посадке *H7/r6* или *H7/h6*; применяют переходные втулки в целях обеспечения ремонтопригодности.

5. Материал штырей с плоской или со сферической головкой диаметром до 12 мм – сталь У7А; диаметром свыше 12 мм, а также опорных шайб и пластин – сталь 20Х, твердость 56 … 61 HRC. Материал штырей с насеченной головкой – сталь 45, твердость 41,5 … 46,5 HRC.

Установку центровыми отверстиями применяют при обработке валов на токарных, круглошлифовальных и некоторых других станках, а также при обработке деталей на центровых оправках. Центровые отверстия выполняют по ГОСТ 14034–74. Применяют центры (и полуцентры) неподвижные (передние и задние круглошлифовальных станков, задние токарных); упорные при частоте вращения менее 120 об/мин; вращающиеся нормальной и усиленной серий при большей частоте вращения.

Стандартизованные центры и полуцентры изготовляют нормальной и повышенной точности (табл. 5). Для повышения точности установки в осевом направлении применяют плавающие центры. При обработке прецизионных валов центровые отверстия притирают или подвергают осциллирующему шлифованию, чтобы уменьшить вредное влияние отклонений формы таких отверстий на точность обработки.

Установку фасками применяют при обработке на токарных, круглошлифовальных и других станках полых деталей (внутренние фаски) и валов малых диаметров (наружные). Используют вращающиеся центры (ГОСТ 8742–75) и нестандартные (рис. 5).

Установку заготовок наружной поверхностью вращения и перпендикулярной к ее оси плоской поверхностью осуществляют с помощью призм, втулок и патронов. В призмы (рис. 6) устанавливают заготовки деталей типа тел вращения, коленчатых валов и тому подобных деталей при обработке на фрезерных, сверлильных, шлифовальных и других станках.

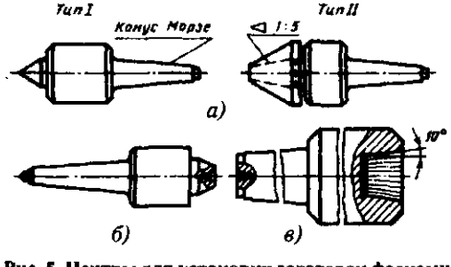
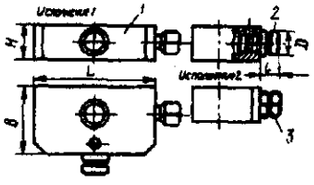
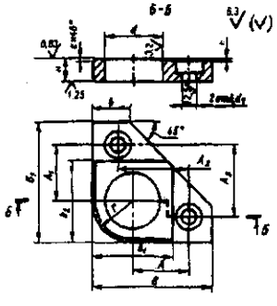
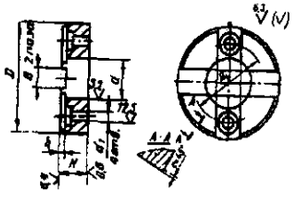


Рис. 5. Центры для установки заготовок фасками: *а* – вращающиеся; *б* – вращающиеся обратные; *в* – рифленые поводковые

3. Стандартизованные плоские опоры

Опора	ГОСТ (в ред. 1989 г.)	Эскиз	Основные размеры, мм		
			B	*L*	*H*
Плоская	16896–71		32 … 80	50 … 110	16 … 40
			D = 10 … 20 *l* = 12 … 24		
Пластина к установочным пальцам	17776–72		*dH*12	*B* = *B*$_1$	*Hh*6
			10 … 52	25 … 95	5 … 16
			Материал – сталь 20Х, твердость 56 … 61 HRC		
Шайба к установочным пальцам	17777–2		*dH*12	*D*	*H*
			10 … 52	30 … 105	5 … 16
			Материал – сталь 20Х, твердость 56 … 61 HRC		

Примечание. На эскизе плоской опоры: *1* – корпус по ГОСТ 16896–1; *2* и *3* – установочные пальцы соответственно по ГОСТ 16898–71 и ГОСТ 16899–71.

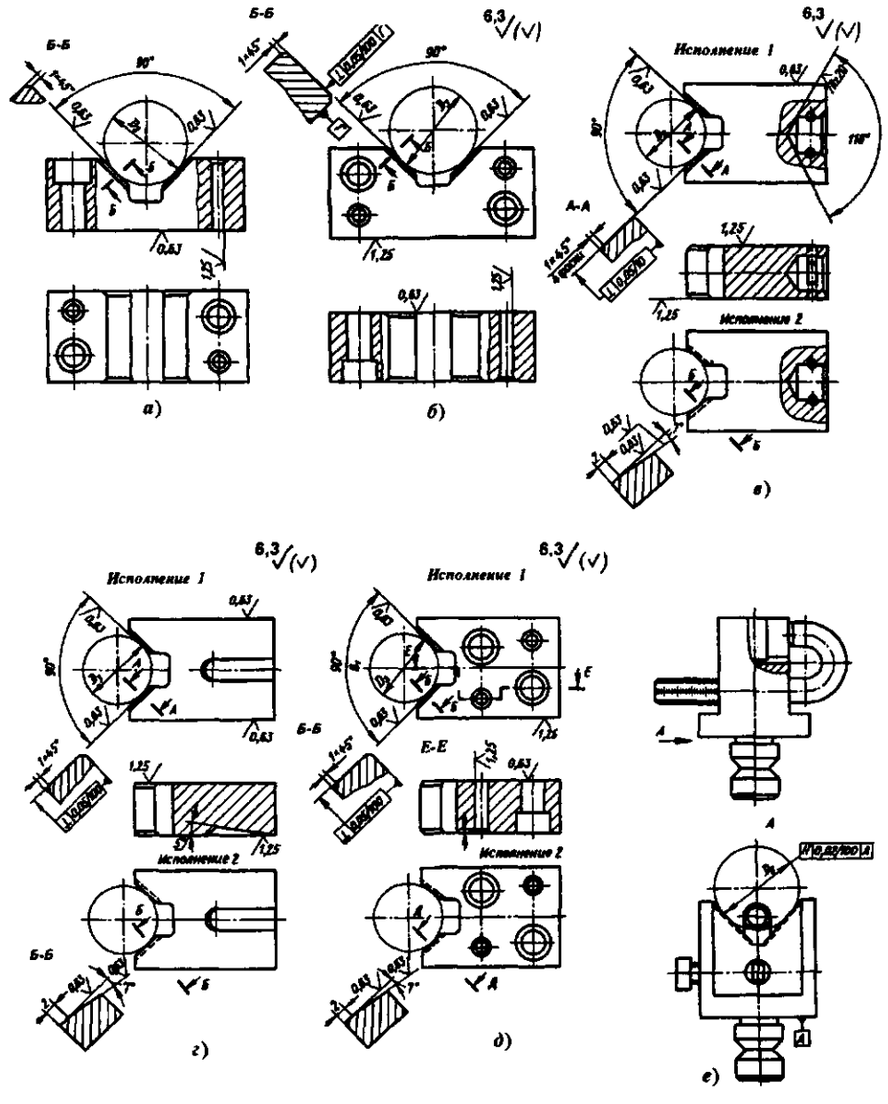


Рис. 6. Призмы:
а – опорные по ГОСТ 12195–66 (диаметр базы устанавливаемой заготовки $D_з$ = 5150 мм);
б – с боковым креплением по ГОСТ 12197–66 ($D_з$ = 5 … 150 мм); *в* – подвижные по ГОСТ 12193–66; ($D_з$ = 5 … 100 мм); *г* – установочные по ГОСТ 12194–66 ($D_з$ = 5 … 100 мм); *д* – неподвижные по ГОСТ 12196–66; ($D_з$ = 3 … 100 мм); *е* – призматические опоры по ГОСТ 16897–71 ($D_з$ = 10 … 90 мм)

4. Стандартизованные установочные пальцы и втулки

Наименование	ГОСТ (в ред. 1988 г.)	Основные размеры, мм (поля допусков) D	d	b
Установочные пальцы (см. рис. 4)				
С упором цилиндрические	16898–71	10 – 20; (g6)	8 – 16 (g6)	–
С упором срезанные	16899–71			2; 4
Цилиндрические	16900–71	10 – 20; (g6)	–	–
Цилиндрические срезанные	16901–71		8 – 16; (g6);	2; 4
Цилиндрические постоянные	12209–66	1,6 – 50; (g 6; f 9)	2,5 – 32; (r6)	L = = 10 … 70
Срезанные постоянные	12210–66	1,6 – 50; (g6; f 9)	2,5 – 32; (r6)	0,6 – 5
Цилиндрические сменные	12211–66	1,6 – 50; (g6; f 9)	2,5 – 32 (h6)	–
Срезанные сменные	12212–66			0,6 – 5
		d	d_1	b
Цилиндрические высокие	17774–72	4 – 50; (g6; f 9)	6 – 32; (r6)	–
Срезанные высокие	17775–72			1 – 3
Втулки для установочных пальцев				
Без буртика	12215–66	6 – 22; (r6)	2,5–16; (H7)	–
С буртиком	12214–66	6 – 63; (r6)	2,5–50; (H7)	–

Продолжение табл. 4

Примечания: 1. Обозначения для пальцев: D – диаметр базирующей шейки пальца; d – диаметр хвостовика; для пальцев по ГОСТ 17774–72 и ГОСТ 17775–72: d – диаметр шейки; d_1 – диаметр хвостика; для втулок: D – наружный диаметр; d – внутренний диаметр.

2. Радиальное биение шейки D относительно хвостовика – по 4-й степени точности по ГОСТ 24643–81.

3. Втулки по ГОСТ 12214–66 и ГОСТ 12215–66 могут быть использованы в качестве фиксаторов.

4. Установочные пальцы сопрягаются с отверстием корпуса непосредственно в СП по посадке *H7/r6*, с втулкой – по посадке *H7/h6*; втулку устанавливают в корпус СП по посадке *H7/h6*.

Длинные заготовки устанавливают по двум сечениям в нестандартизованных призмах с разобщенными участками; при необработанной технологической базе поверхности контакта призм выполняют узкими.

Призмы изготовляют из стали 20Х с цементацией на глубину 0,8 – 1,2 мм, 56 … 61 HRC; нестандартизованные крупногабаритные призмы с закаленными стальными пластинками – из чугуна.

Предельную нагрузку (кН) на призму определяют по формуле $Q = 7D_3b$, где D_3 и b – соответственно диаметр базы заготовки и длина линии контакта заготовки с призмой, мм. Как правило, призмы имеют рабочий угол $\alpha = 90°$. Нестандартизованные призмы могут быть выполнены также с рабочим углом $\alpha = 120°$ и др.

При обработке на фрезерных и сверлильных станках, когда требования к точности детали невелики, заготовку устанавливают во втулку (рис. 7) с гарантированным зазором

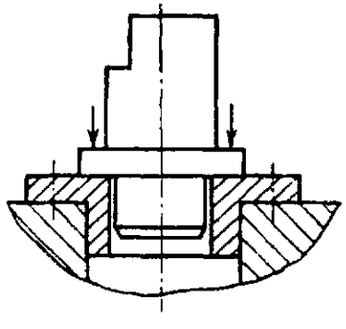


Рис. 7. Установка заготовки во втулку

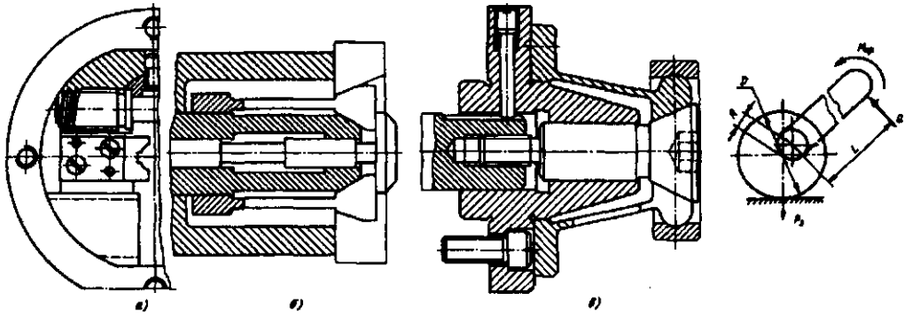


Рис. 8. Патроны: *а* – двухкулачковый с боковым винтом; *б* – цанговый для установки заготовок колец по конической и плоской поверхностям; *в* – то же, по фасонной поверхности вращения

5. Стандартизованные центры и полуцентры

Наименование	ГОСТ	Размер хвостовика	Отклонение угла рабочего конуса, ′	Радиальное биение поверхности рабочего конуса относительно конуса хвостовика, мм
Центры: упорные с конусностью 1 : 10 и 1 : 7	18259–72	Диаметр D = 80…200 мм	+20	При нормальной точности 0,01; при повышенной точности 0,005
то же, с отжимной гайкой	18260–72			
упорные	13214–79 (в ред. 1992 г.)	Конус Морзе 0 … 6; конус метрический 80, 100	При нормальной точности +10; при повышенной точности +5	
Полуцентры: упорные	2576–79 (в ред. 1992 г.)	Конус Морзе 0 … 6		
упорные с отжимной гайкой	2575–79 (в ред. 1992 г.)	Конусы: Морзе 0 … 6: метрические: 80; 100; 120		
Центры вращающиеся для установки центровыми отверстиями или коническими фасками (см. рис. 5)	8742–75	Конусы Морзе: 2 … 6 для нормальной серии; 4 … 6 для усиленной серии	±20	Для нормальной серии 0,012; для нормальной серии повышенной точности 0,006; для усиленной серии 0,016

Примечание. Центры выполняются с углами рабочего конуса 60 и 75°.

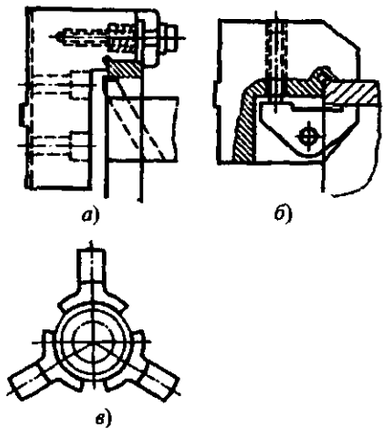


Рис. 9. Наладки кулачков для закрепления тонкостенных заготовок:
а – по торцам; *б* – с двусторонним сжатием; *в* – по поверхности с большой дугой охвата

(поля допусков диаметров баз: *h*6; *h*7; *h*8 и *h*9). В табл. 6 приведены сведения о распространенных типах патронов. На рис. 8 даны некоторые разновидности патронов.

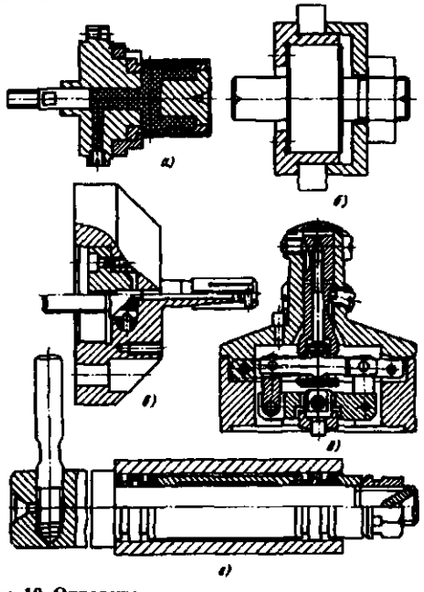


Рис. 10. Оправки:
а – гидропластмассовая; *б* – переналаживаемая цилиндрическая для установки заготовок с гарантированным зазором; *в* – с разрезной цангой; *г* – с гофрированными втулками; *д* – кулачковая

Для уменьшения деформации заготовок при закреплении в патронах применяют наладки (рис. 9).

Установку заготовок внутренней поверхностью вращения и перпендикулярной к ее оси плоский поверхностью осуществляют с помощью цилиндрических установочных пальцев при обработке заготовок на сверлильных и фрезерных станках или с помощью патронов и оправок (табл. 7, рис. 10) при обработке деталей типа тел вращения и зубчатых колес на токарных, шлифовальных, зубообрабатывающих и других станках.

Гидропластмассовые оправки (и патроны) имеют пониженную функциональную надежность из-за высыхания гидропластмассы и утечек газообразной смазки.

Силы закрепления заготовок: в приспособлениях гидропластмассовых с гофрированными втулками или прессовых оправках – постоянные по угловой координате (осесимметричные); в приспособлениях кулачковых, цанговых, мембранных – переменные по угловой координате (асимметричные). При обработке тонкостенных деталей выгодны приспособления с осесимметричными силами закрепления (за исключением прессовых), которые меньше деформируют заготовку. Силы закрепления заготовок в гидропластмассовых, цанговых, мембранных, прессовых, с гофрированными втулками приспособлениях не являются стабильными из-за непостоянства диаметра базовых отверстий в партии заготовок.

Установку наружными цилиндрическими поверхностями с пересекающимися осями применяют при обработке заготовок тройников, крестовин, задвижек и тому подобных деталей на фрезерных, сверлильных, расточных, агрегатных многошпиндельных станках. В качестве основных опор используют призмы (рис. 11).

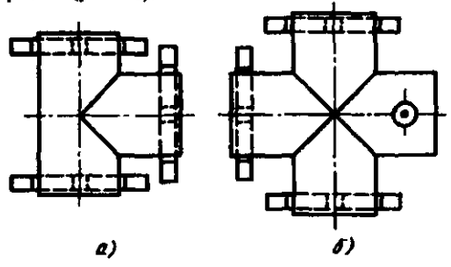


Рис. 11. Примеры установки:
а – тройника; *б* – крестовины

6. Характеристики патронов

Патроны	ГОСТ	Технологические базы заготовок		Суммарная, сила закрепления, кН
		$D_{т.б}$, мм	Состояние	
Двухкулачковые: винтовые спиральнореечные	14903–69 ред. 1988 г.	10 – 175	Необработанные	Десятки килоньютонов
Трехкулачковые спирально-реечные класса точности: особовысокой А	2675–80 ред. 1988 г.	4 – 85*[1] / 35 – 200	Обработанные	
высокой В повышенной П нормальной Н		4 – 170 / 25 – 360		
Токарные самоцентрирующие трех- и двухкулачковые*[2]: клиновые рычажно-клиновые	24351–80 ред. 1988 г.	25 – 250 / 25 – 400	Необработанные и предварительно обработанные	200 – 500 / 40 – 250
Цанговые*[3]	2876–80; 2877–80 в ред. 1991 г.	2 – 125	12 – 14-й квалитеты	Десятки килоньютонов

Продолжение табл. 6

Патроны	Точность установки в осевом направлении, мкм	Допуски биений, степени точности по ГОСТ 24643 – 81		Применяют на станках
		радиальных	торцовых	
Двухкулачковые: винтовые спиральнореечные	15 – 100	9 – 10	–	Токарных
Трехкулачковые спирально-реечные класса точности: особовысокой А	25 – 110	5 – 8	5 – 6	Токарных, шлифовальных
высокой В		6 – 9	7 – 8	
повышенной П	30 – 120	7 – 10	8 – 9	Токарных
нормальной Н		8 – 10		
Токарные самоцентрирующие трех- и двухкулачко-вые*[2]: клиновые рычажно-клиновые	25 – 110	– / –	– / –	Токарных автоматах и полуавтоматах: горизонтальных вертикальных
Цанговые*[3]	–	5 – 10	7 – 10	Токарно-револьверных автоматах

*[1] В числителе указаны размеры заготовки из прутка, в знаменателе – штучной.
*[2] Изготовляют классов точности Н, П, В, А. Допуски радиального и торцового биений для этих патронов принимают в зависимости от класса точности.
*[3] Точность установки заготовок в цанговом патроне в осевом направлении, мкм: 40 – 200 для калиброванного прутка с предварительно обработанной базой; 20 – 80 с чистообработанной базой.

Примечание. По ГОСТ 2675–80 и ГОСТ 24351–80, мм: 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; размерный ряд патронов, изготовляемых по ГОСТ 14903–69 – 125 ... 315.

7. Характеристики типовых оправок

Оправки	ГОСТ	Размеры заготовки, мм		Точность обработки базовой поверхности, квалитеты	Суммарная сила закрепления
		Диаметр отверстия	Длина		
Цилиндрические для установки заготовки с гарантированным зазором:	–			7 – 8	Десятки килоньютонов
шпиндельные		16 – 100	25 – 125		
центровые (с упорным буртом)		28 – 100	45 – 155		
гидропластмассовые*[1]		28 – 150	20 – 1000	6 – 10	5 – 25*[2] МПа
Прессовые	–	30 – 60	30 – 100	7 – 9	Десятки мегапаскалей
Центровые для точных работ:	31.1066. 03 – 97				Десятки килоньютонов
тип 3 (ступенчатые)		3 – 50	8 – 75	4 – 6	
тип 2 (с одной ступенью)		8 – 80	16 – 180	6 – 7	
тип 1 (конические)		3 – 100	4,5 – 150	6 – 9	
С гофрированными втулками	31.1066. 01 – 85	31 – 100	9 – 115	6 – 8	Десятки килоньютонов
С разрезной цангой:	31.1066.			7 – 16	Десятки килоньютонов
шпиндельные	02 – 85	32 – 107,35	20 – 145		
фланцевые*[3]		50 – 107,35	24 – 145		
центровые*[4]		16 – 107,35	14 – 145		
Кулачковые*[5]:	31.1066.			8	
шпиндельные	04 – 97	36 – 90	5 – 120		
фланцевые		80 – 140	5 – 140		

Продолжение табл. 7

Оправки	ГОСТ	Точность установки в осевом направлении, мкм	Допуски биений, степени точности по ГОСТ 24643 – 81		Применяют на станках
			радиальных	торцовых	
Цилиндрические для установки с гарантированным зазором:	–				
шпиндельные		10 – 40	9 – 16	–	Токарных, зубообрабатывающих
центровые (с упорным буртом)					
гидропластмассовые*[1]		–	3 – 6	–	То же, и шлифовальных
Прессовые	–	10 – 80	4 – 6	–	При обработке толстостенных деталей
Центровые для точных работ:	31.1066. 03 – 97				
тип 3 (ступенчатые)		–	1 – 5	–	При обработке с незначительной силой резания колес и втулок
тип 2 (с одной ступенью)		–	2 – 4	–	
тип 1 (конические)		–	4 – 7	–	Токарных и точных шлифовальных
С гофрированными втулками	31.1066. 01 – 85	Сотые доли миллиметра	2 – 4	2 – 5	Шлифовальных и токарных класса точности С
С разрезной цангой:		То же (с осевым упором)			Токарных, зубообрабатывающих, шлифовальных
шпиндельные	31.1066. 02 – 85		2 – 5	2 – 5	
фланцевые*[3]					
Центровые*[4]					
Кулачковые*[5]:	31.1066. 04 – 97		2 – 5	5 – 7	
шпиндельные					
фланцевые					

*[1] Данные относятся также к гидропластмассовым патронам.

*[2] Контактное давление на заготовку со стороны гильзы приспособления зависит от давления в гидропластмассе и исходного зазора между поверхностями заготовки и гильзы.

*[3] Диаметральный разжим цанги составляет до 10 % исходного диаметра.

*[4] Предпочтительны для обработки заготовок с длиной, близкой к длине цанги. Короткие заготовки устанавливают в середине длины цанги.

*[5] Диаметральный ход кулачков равен нескольким миллиметрам. Данные относятся к оправкам с пневмозажимом.

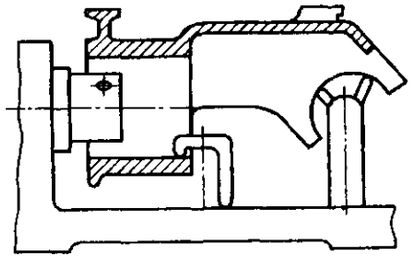


Рис. 12. Установка рамы внутренними цилиндрическими поверхностями с пересекающимися осями

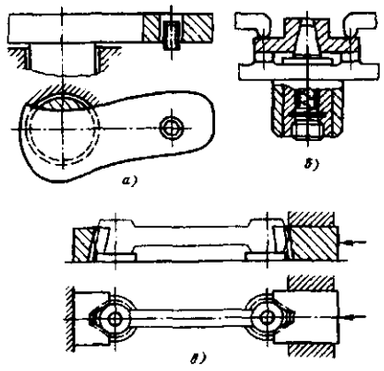


Рис. 13. Комбинированная установка заготовки поверхностями:
а – цилиндрическими (наружной - во втулку, внутренней – на срезанный палец); *б* – плоской поверхностью – на опорные пластины и внутренней конической поверхностью – на подпружиненный палец; *в* – пространственно-сложными контурными поверхностями в жесткую и подвижную призмы, плоскими поверхностями – на опорные шайбы

Установку внутренними цилиндрическими поверхностями с пересекающимися (скрещивающимися) осями применяют при обработке рам и корпусов на фрезерных, сверлильных и расточных станках (рис. 12). Если база – замкнутое отверстие, применяют регулируемые и самоустанавливающиеся основные опоры, если база – незамкнутое отверстие, используют также и жесткие опоры.

Комбинированную установку применяют в том случае, если в качестве баз использована совокупность элементарных поверхностей (рис. 13).

Элементы приспособления для установки инструмента на размеры. При настройке станка на необходимые размеры используют установы (табл. 8). Они имеют поверхности для ориентации режущего инструмента и занимают на корпусе приспособления требуемое положение относительно элементов для базирования заготовки. При настройке станка для удобства работы и повышения точности применяют щупы, которые размещают между режущим лезвием и установом. Плоские щупы выполняют в виде пластин толщиной 1; 3 и 5 мм (поле допуска *h*6). Щупы цилиндрические имеют диаметры 3 и 5 мм (поле допуска *h*6).

Щупы подвергают закалке (твердость 56 ... 61 HRC) и шлифуют (шероховатость *Ra* 0,40).

Кондукторные втулки применяют при обработке отверстий на станках сверлильно-расточной группы для направления режущего инструмента и ограничения его прогибов под действием неуравновешенной радиальной составляющей силы резания, что существенно повышает точность отверстий по параметрам отклонений диаметрального размера, формы, расположения оси на входе и выходе.

Стандартизированные кондукторные и промежуточные втулки приведены в табл. 9.

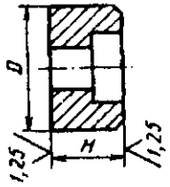
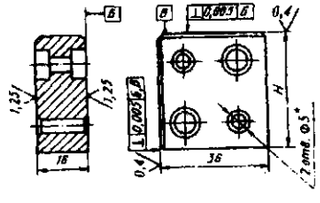
В обоснованных случаях применяют специальные кондукторные и вращающиеся втулки.

Срок службы кондукторных втулок достигает 40000 обработанных отверстий, а втулок со вставкой твердого сплава – на порядок больше. Для уменьшения износа втулок выдерживают торцовый зазор Δ между втулкой и заготовкой: Δ = (0,3 ... 0,5)*d* при сверлении по хрупким материалам; Δ = (0,5 ... 1)*d* – при сверлении по пластичным материалам; Δ ≤ 0,3*d* – при зенкеровании; Δ = (1 ... 2) мм – при работе по скосу или криволинейной поверхности (*d* – диаметр направляющего отверстия втулки).

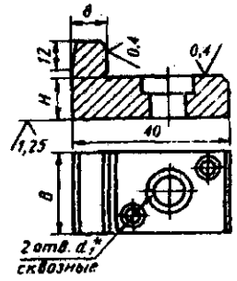
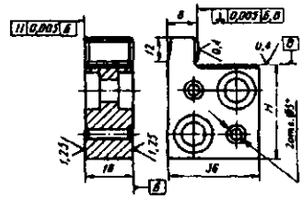
Кондукторные плиты, которые служат для установки кондукторных втулок(иногда и для крепления заготовки), изготавливают из качественного чугуна, реже – из стали. Толщина кондукторных плит 15 ... 30 мм. Для установки высоких кондукторных втулок предусматривают бобышки.

Вспомогательные механизмы облегчают работу с СП, повышая безопасность, производительность и точность. К ним относят: временные опоры тяжелых заготовок, делительные и другие механизмы перемещения подвижных частей СП, фиксаторы для точного позиционирования подвижных частей СП, досылатели заготовок к опорам и зажимам, выталкиватели обработанных заготовок, защелки и т.п.

8. Установы

Установы	ГОСТ (в ред. 1989 г.)	Эскиз	Размеры, мм	
			D	*H* (поле допуска *h6*)
Высотные	13443–68		16 25 40	8 10 12
Высотные торцовые	13444–68		*H* выбирают из ряда: 32, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 Материал – сталь У7А, 56 ... 61 HRC	

Продолжение табл. 8

Установы	ГОСТ (в ред. 1989 г.)	Эскиз	Размеры, мм	
			B	*H*
Угловые	13445–68		16 25 40	8 10 12
			Материал – сталь 20Х, 56 ... 61 HRC	
Угловые торцовые	13446–68		*H* выбирают из ряда: 32, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 Материал – сталь 20Х, 56 ... 61 HRC	

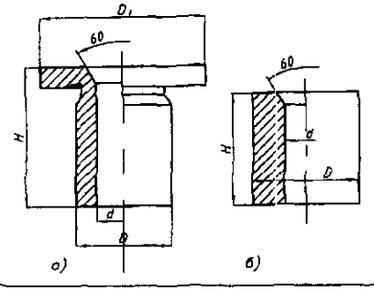
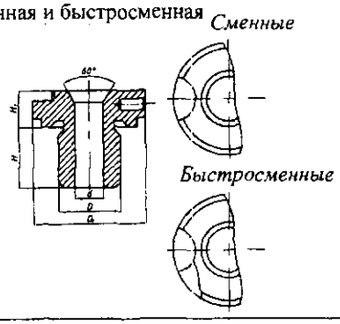
* Размер – после сборки. Отверстия под штифт развернуть с полем допуска К7. Допускается в обоснованных случаях отверстия под штифт развернуть с полем допуска Н7.

Корпус, служащий для установки СП на оснащаемый станок и воспринимающий все нагрузки, действующие на заготовку при ее обработке, должен быть прочным, жестким, износостойким, виброустойчивым; по форме и размерам приближаться к заготовке; быть технологичным, удобным при транспортировке и обслуживании. Корпус СП многократного применения должен допускать быструю реализацию новых компоновок.

Корпуса бывают цельные и сборные. Сложные цельные корпуса получают литьем, а сравнительно простые – ковкой и резкой из проката. Материал: чугуны СЧ18, СЧ35, стали, реже – алюминиевые и магниевые сплавы.

Сборные корпуса получают свинчиванием или сваркой; они технологичнее и дешевле, но менее жесткие, чем цельные. Для снятия остаточных напряжений стальные отливки корпусов подвергают отжигу или нормализации, чугунные – старению после предварительной механической обработки; небольшие сварные корпуса выдерживают в нагревательных установках, крупные – проковывают по сварному шву. Особое внимание уделяют точному и надежному сопряжению конструкторских баз корпуса с присоединительными и ориентирующими элементами оснащаемого станка.

9. Стандартизированные кондукторные и промежуточные втулки по ГОСТ 30086 – 93

Наименование втулки	Основные размеры, мм
Втулки промежуточная и постоянная кондукторная: *а* – с буртиком *б* – без буртика 	$d(F7) = 8 \ldots 105$/ До 105; $D = 12 \ldots 125/3 \ldots 125$; $D_1(h13) = 15 \ldots 130/6 \ldots 130$; $l = 10 \ldots 112/6 \ldots 112$ В числителе для втулок промежуточных, в знаменателе – кондукторных
Втулки кондукторные: сменная и быстросменная 	$d(F7) \le 85$; $D(m6) = 8 \ldots 105$; $D_1(h13) = 15 \ldots 100$; $H = 10 \ldots 112$; $H_1 = 8 \ldots 16$

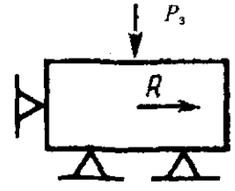
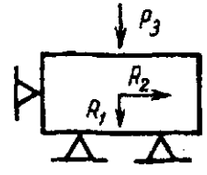
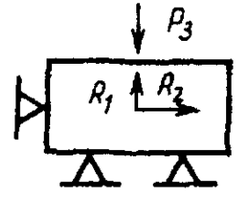
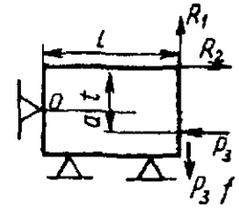
Примечания: 1. Для обработки отверстия одним инструментом применяют в условиях производства: мелкосерийного – втулки кондукторные постоянные; крупносерийного и массового – сменные; для обработки отверстия последовательно несколькими инструментами – быстросменные.

2. Кондукторные втулки постоянные устанавливают в корпус кондукторной плиты непосредственно, а сменные и быстросменные – через промежуточные втулки.

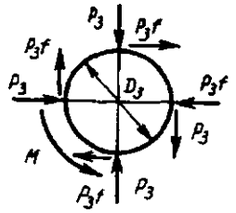
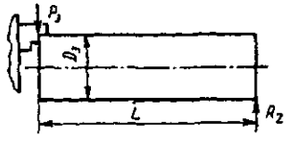
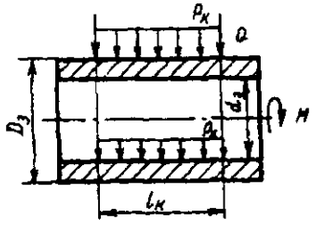
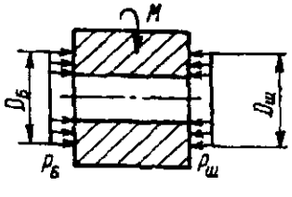
Зажимные механизмы и их расчет

Зажимные механизмы (ЗМ) предупреждают перемещение заготовок относительно опор СП. *Силу закрепления* $P_з$ определяют из условия равновесия силовых факторов, действующих на заготовку (табл. 10). При расчетах $P_з$ всегда учитывают силы резания, реакции опор, силы трения (или соответствующие моменты). Дополнительно учитывают силу тяжести (при обработке массивных или не вертикально установленных заготовок), силы инер-

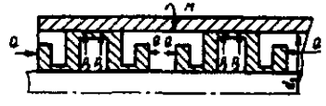
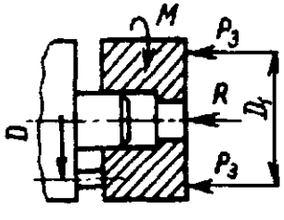
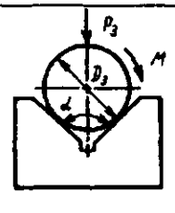
10. Расчетные схемы и формулы для вычисления силы закрепления $P_з$

Расчетная схема	Пояснение к схеме	Формула
	Сдвигу заготовки под действием силы резания R препятствуют силы трения (не показаны), возникающие в местах контактов заготовки с опорами и ЗМ	$P_з = KR/(f_1 + f_2)$
	Составляющая R_1 силы резания направлена к опорам, а составляющая R_2 стремится сдвинуть заготовку в боковом направлении	Для ЗМ: $P_з = \dfrac{KR_2 + 0{,}5R_1(f_1 - f_2)}{f_1 + f_2}$
	Составляющая R_1 силы резания направлена навстречу силе $P_з$, а составляющая R_2 стремится сдвинуть заготовку в боковом направлении	Принимают большее из двух значений для ЗМ: типа I $P_з = 0{,}7KR_1$ и $P_з = \dfrac{KR_2 - 0{,}5R_1(f_1 - f_2)}{f_1 + f_2}$ типа II $P_з = KR_1$ и $P_з = (R_1 f_2 + KR_2)/(f_1 + f_2)$
	Силу $P_з$ определяют из условия равенства нулю суммы моментов всех сил относительно точки O	$P_з = K(R_2 l + R_1 l)/(a + f_2 l)$

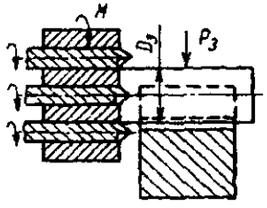
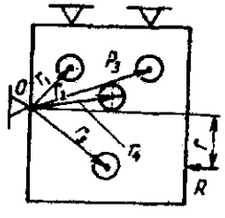
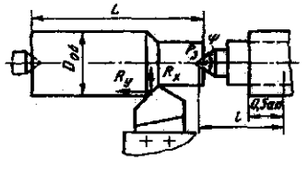
Продолжение табл. 10

Расчетная схема	Пояснение к схеме	Формула
	Заготовка с диаметром базы $D_з$ закреплена в самоцентрирующем зажимном приспособлении. На нее действуют радиальные силы, число которых равно n, и крутящий момент M	$P_з = 2MK/(D_з nf)$ здесь и далее M – крутящий момент от сил резания
	Длинная заготовка с диаметром базы $D_з$ консольно закреплена в патроне, кулачки которого имеют короткие уступы. Опасен поворот заготовки под действием составляющей R_z силы резания	Для патрона: трехкулачкового $P_з \approx 1{,}33KLR_z/(D_з f)$, четырехкулачкового $P_з = 0{,}7KLR_z/(D_з f)$
	Заготовка закреплена в гидропластмассовом патроне или в резиновой пневматической оболочке хонинговального станка (верхняя часть эскиза), на гидропластмассовой или прессовой оправке (нижняя часть эскиза). Контактное давление $P_к$ действует на цилиндрическую поверхность заготовки. При использовании пневматической резиновой оболочки или гидропластмассового приспособления по краям участка длиной $l_к$ действуют кольцевые силы Q, которыми пренебрегаем для упрощения расчета. Заготовка нагружена крутящим моментом M	Для патронов $P_к \approx 0{,}64\,KM/(\pi D_з^2 l_к f)$, для оправок $P_к \approx 0{,}64\,KM/(\pi D_з^2 l_к f)$, где $l_к$ – длина зоны контакта; $D_з$ (или $d_з$) – диаметр заготовки
	Заготовка с диаметром базы $d_з$ установлена с гарантированным зазором на цилиндри-ческую оправку и закреплена по торцам, на которые оказываются давления $P_б$ и $P_ш$. При равенстве диаметров буртика и шайбы ($D_б = D_ш = D$) можно считать, что $P_б = P_ш = P$. Заготовка нагружена крутящим моментом M	$P = 3{,}8KM/\left[f\pi\left(D^3 - d_з^3\right)\right]$

Продолжение табл. 10

Расчетная схема	Пояснение к схеме	Формула
	Заготовка с диаметром базы $d_з$ закреплена на оправке с разрезной цангой, имеющей n лепестков. На заготовку действуют радиальные силы $P_з$ (в двух сечениях). Заготовка нагружена крутящим моментом M	$P_з = KM/(nfd_з)$
	Заготовка с диаметром базы $d_з$ закреплена на оправке с гофрированными втулками. Одна такая втулка создает две кольцевые силы закрепления $P_з$. Поскольку эти силы приложены близко друг к другу, можно считать, что со стороны одной гофрированной втулки на заготовку действует одна кольцевая сила $2P_з$. Заготовка нагружена крутящим моментом M	$2P_з = 0{,}64\,KM/(d_з^2 fn)$
	Заготовка центрируется по выточке и прижата к торцовым опорам, расположенным по диаметру $D_оп = D_1$, прихватами, расположенными по диаметру $D_пр = D$. Заготовка нагружена крутящим моментом M и осевой силой	Для ЗМ типа I: если тангенциальная жесткость (по касательной к поверхности заготовки в месте приложения силы закрепления) велика, то $P_з = [2KM + 0{,}3(f_2 RD_пр - f_1 RD_оп)] / (f_2 D_пр + f_1 D_оп)$, если мала, то $P_з = (2KM + 0{,}6 f_1 RD_пр)/(f_1 RD_оп)$
		Для ЗМ типа II: если тангенциальная жесткость велика, то $P_з = (2KM - f_1 RD_оп) / (f_1 D_пр + f_1 D_оп)$, если мала, то $P_з = (2KM - f_1 RD_оп) / (f_1 D_оп)$
	Цилиндрическая заготовка с диаметром базы $D_з$ установлена в призме с углом α и нагружена крутящим моментом M	$P_з = 2KM/D_з(f_2 + f_1/\sin 0{,}5\alpha)$

Продолжение табл. 10

Расчетная схема	Пояснение к схеме	Формула
	В заготовке с диаметром базы $D_з$, установленной в призме с углом α, одновременно обрабатывают несколько отверстий осевым инструментом. При малой радиальной жесткости инструмента (большой вылет, нет кондукторных втулок) возможен поворот заготовки под действием суммарного крутящего момента M	$P_з = 2KM/D_з(f_2 + f_1/\sin 0{,}5\alpha)$
	Если мерный инструмент имеет большую радиальную жесткость (малый вылет, работа по кондукторным втулкам), опасен сдвиг заготовки под действием суммарной осевой составляющей силы резания R (не показана)	$P_з = KR/(f_2 + 0{,}5f_1/\sin 0{,}5\alpha)$
	Заготовка установлена тремя плоскими поверхностями на шесть постоянных опор. Сила резания R стремится повернуть заготовку вокруг опоры O, чему препятствуют силы трения	Если точка приложения силы закрепления $P_з$ совпадает с центром тяжести опорного треугольника, то $P_з = 3KRr/[f_1(r_1 + r_2 + r_3) + 3f_2r_4]$, если не совпадает, то $P_з = KRr/[f_1(ar_1 + br_2 + cr_3) + f_2r_4]$, (коэффициенты a, b и c в сумме равны единице; их находят из уравнений статики)
	Заготовка установлена в центрах и поджата силой $P_з$ (составляющая R_z силы резания и осевая сила, действующая со стороны переднего центра, условно не показаны)	$P_з = K\left[1 - 3\mathrm{tg}(\beta + \varphi_1)\mathrm{tg}\varphi_2 \times l_1/a_n\right]\mathrm{ctg}(\beta + \varphi_1) \times \sqrt{R_z^2 + (R_y - 0{,}5R_x D_{об}/L_з}$

Продолжение табл. 10

Примечания: 1. В ЗМ типа I существует линейная зависимость между силой закрепления и перемещением, а в ЗМ типа II эта зависимость более сложная. К типу I относят винтовые, клиновые, эксцентриковые ЗМ, к типу II – пневматические, гидравлические прямого действия ЗМ.

2. В формулах для определения $P_з$ не учтены силы инерции и тяжести; силы трения показаны не на всех эскизах.

3. Условные обозначения: R – сила резания и ее составляющие; K – коэффициент запаса; f_1 и f_2 – коэффициенты трения соответственно в местах контакта заготовки с опорами и с ЗМ; $D_з$ – диаметр обрабатываемой заготовки; $L_з$ –длина заготовки; l_1 – расстояние от середины центрового гнезда до середины пиноли; $a_п$ – длина пиноли; $\beta = 90° - 0{,}5\psi$; ψ – угол конуса при вершине центра; φ_1 и φ_2 – углы трения соответственно на поверхности конуса центра и пиноли ($\psi_1 \approx \psi_2 \approx 3°$).

ции при обработке в быстровращающихся СП, работающих с резкими ускорениями и торможениями, с реверсом). Значения коэффициентов, встречающихся в формулах, приведены в табл. 11 и 12.

Коэффициент запаса K вводят в формулы при вычислении силы $P_з$ для обеспечения надежного закрепления заготовки:

$$K = K_0K_1K_2K_3K_4K_5K_6.$$

В формуле использованы следующие коэффициенты.

Коэффициент гарантированного запаса $K_0 = 1{,}5$. Коэффициент K_1 учитывает увеличение сил резания из-за случайных неровностей на обрабатываемых поверхностях: $K_1 = 1{,}2$ при черновой обработке и $K_1 = 1$ при чистовой обработке.

Коэффициент K_2 характеризует увеличение сил резания вследствие затупления режущего инструмента.

Коэффициент K_3 учитывает увеличение сил резания при прерывистом резании. При прерывистых точении и торцовом фрезеровании $K_3 = 1{,}2$.

Коэффициент K_4 характеризует постоянство силы закрепления в ЗМ. Для ЗМ с ручным приводом, а также с пневмо- и гидроцилиндрами одностороннего действия $K_4 = 1{,}3$. Если на силу закрепления влияют отклонения размеров заготовки, что имеет место при использовании пневмокамер, пневморычажных систем, приспособлений с упругими элементами (мембранные, гидропластмассовые и др.), $K_4 = 1{,}2$. При использовании пневмо- и гидроцилиндров двойного действия, электромеханических, магнитных и вакуумных ЗМ $K_4 = 1{,}0$.

Коэффициент K_5 характеризует эргономику ручных ЗМ. При неудобном расположении и угле поворота рукоятки более 90° $K_5 = 1{,}2$; при удобном расположении и малом угле поворота рукоятки $K_5 = 1{,}0$.

Коэффициент K_6 учитывают только при наличии моментов, стремящихся повернуть заготовку, установленную плоской поверхностью на постоянные опоры. При установке заготовки на штыри $K_6 = 1{,}0$, при установке на опорные пластинки – $K_6 = 1{,}5$.

Если в результате расчета значение коэффициента запаса K окажется меньше 2,5, принимают $K = 2{,}5$.

11. Коэффициент K_2

Метод обработки	Материал заготовки	Составляющие силы резания и моменты от них	K_2
Сверление	Чугун	Крутящий момент	1,15
		Осевая сила	1,0
Предварительное зенкерование (износ задней поверхности зубьев зенкера 1,5 мм)		Крутящий момент	1,3
		Осевая сила	1,2
Чистовое зенкерование (износ задней поверхности зубьев зенкера 0,7 – 0,8 мм)		Крутящий момент	1,2
		Осевая сила	
Предварительное точение и растачивание	Сталь	P_z	1,0
	Чугун		
	Сталь	P_y	1,4
	Чугун		1,2
	Сталь	P_x	1,6
	Чугун		1,25

Продолжение табл. 11

Метод обработки	Материал заготовки	Составляющие силы резания и моменты от них	K_2
Чистовое точение и растачивание	Сталь	P_z	1,0
	Чугун		1,05
	Сталь	P_y	1,05
	Чугун		1,4
	Сталь	P_x	1,0
	Чугун		1,3
Фрезерование цилиндрической фрезой	Сталь	Окружная сила	1,6 – 1,8
	Чугун		1,2 – 1,4
Фрезерование торцовой фрезой	Сталь	Тангенциальная сила	1,6 – 1,8
	Чугун		1,2 – 1,4
Шлифование	Сталь, чугун	Окружная сила	1,5 – 1,2
Протягивание (износ задней поверхности до 0,5 мм)		Сила протягивания	1,5

Примечание: P_x, P_y и P_z – компоненты силы резания.

12. Значения коэффициента трения f

Условия трения	f
Заготовка контактирует с опорами и ЗМ приспособления поверхностями:	
обработанными	0,16
необработанными	0,2 – 0,25
При контакте заготовок с ЗМ и опорами, имеющими рифления	0,7
При закреплении в патроне с кулачками (губками):	
гладкими	0,16 – 0,18
с кольцевыми канавками	0,3 – 0,4
с взаимно перпендикулярными канавками	0,4 – 0,5
с острыми рифлениями	0,7 – 1,0

Элементарные зажимные механизмы (ЭЗМ). Различают ЭЗМ: винтовые, эксцентриковые, рычажные, клиновые, клиноплунжерные, рычажно-шарнирные и реечные. Винтовые, эксцентриковые, клиновые и клиноплунжерные без роликов ЭЗМ являются самотормозящими.

Расчет винтового ЭЗМ. При известной силе $P_з$ вычисляют номинальный диаметр винта

$$d = 1{,}4\sqrt{P_з/\sigma_р},$$

где d – диаметр винта, мм; $P_з$ – сила закрепления, Н; $\sigma_р$ – напряжение растяжения (сжатия) материала винта, МПа.

13. Основные параметры винтовых ЭЗМ

Диаметр винта, мм	М8	М10	М12	М16	М20	М24	М30	М36	М42
Шаг резьбы, мм	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	4,5
$P_з$, Н	3100	4900	7000	12500	19600	28000	44000	63500	86400

Примечания: 1. Сила $P_з$, вычислена при $\sigma_р$ = 100 МПа. Между $P_з$ и $\sigma_р$ существует линейная зависимость; например, винтом диаметром М16, изготовленным из стали с $\sigma_р$ = 200 МПа, можно создать силу $P_з$ = 25000 Н.

2. Приведена выборка предпочтительных значений диаметра винта.

Вычисленный диаметр округляют до ближайшего большего значения (табл. 13).

Исходя из условий закрепления заготовки, выбирают конец нажимного винта (торец гайки), вычисляют КПД (η) механизма и крутящий момент $M_{кр}$, который нужно приложить к винту для надежного закрепления заготовки (табл. 14). Если $\eta < 0{,}4$, винтовой ЭЗМ надежен против самоотвинчивания; в противном случае для винта следует выбрать резьбу с мелким шагом. По моменту $M_{кр}$ выбирают форму рукоятки с учетом требований эргономики.

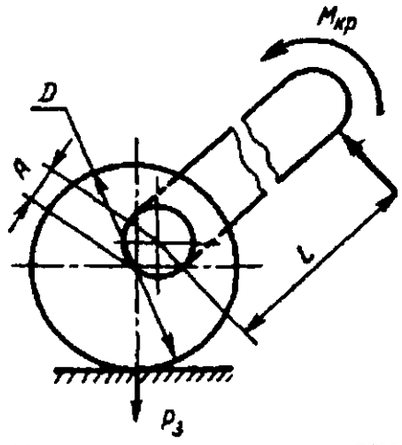


Рис. 14. Расчетная схема эксцентрикового ЭЗМ со стандартным круглым кулачком

При небольших моментах $M_{кр}$ = 2 ... 3 кН·мм применяют винты со звездообразной или накатанной головкой; при больших $M_{кр}$ – винты с головками шестигранными под рукоять или шестигранные гайки.

Расчет ЭЗМ с круглыми стандартными эксцентриковыми кулачками (рис. 14). Если угол поворота эксцентрикового кулачка не ограничен ($\gamma \le 130°$), то ход кулачка

$$h = 0{,}5\,(\Delta_{гар} + + \Delta h + \Delta + P_з/I).$$

Если угол поворота ограничен ($\gamma \le 60°$), то ход кулачка

$$h = (\Delta_{гар} + \Delta h + P_з/I) / (1 - \cos\gamma),$$

где $\Delta_{гар}$ – гарантированный зазор при установке заготовки; $\Delta_{гар}$ = 0,2 ... 0,4 мм; Δh – запас хода, учитывающий погрешности изготовления и износ кулачка; Δh = 0,4 ... 0,6 мм; Δ – отклонение размера заготовки (берут по чертежу), мм; $I = 10^3 \dots 12 \cdot 10^3$ Н/мм – жесткость эксцентрикового ЭЗМ; $P_з$ – сила закрепления заготовки, Н.

При выборе кулачка (табл. 15) значения h и $P_з$ округляют до ближайших бóльших в соответствии с ГОСТ 9061 – 68 (в ред. 1989 г.).

Расчет клиновых и клиноплунжерных ЭЗМ. Ход плунжера (кулачка)

$$S(P_з) = \Delta_{гар} + \Delta + P_з/I + \Delta S(P_з),$$

где $\Delta_{гар}$ = 0,2 ... 0,4 мм – гарантированный зазор для свободной установки заготовки; Δ – отклонение размера заготовки, мм (берут по чертежу); $P_з$ – известная сила закрепления заготовки, Н; I = 1000 ... 3500 Н/мм – жесткость механизма; $\Delta S\,(P_з)$ = 0,2 .. 0,4 мм – запас хода плунжера (кулачка), учитывающий износ и погрешности изготовления механизма.

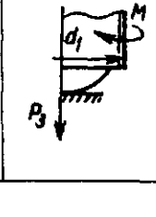
Сила на приводе $Q = P_з/i_с$; ход привода

$$S(Q) = S(P_з)i_п,$$

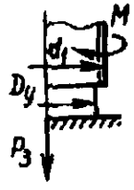
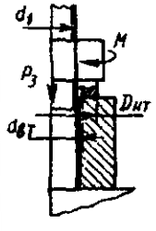
где $i_с$ и $i_п$ – соответственно передаточные отношения сил и перемещений.

Передаточные отношения сил $i_с$ зависят от угла α клина и схемы механизма; передаточные отношения $i_п$ перемещений зависят только от угла α.

14. Форма конца нажимного винта (торца, гайки), формулы для вычисления η винтовой пары и крутящего момента $M_{кр}$

Закрепление	Форма конца (торца гайки)	Эскиз	Расчетные формулы для вычисления приближенных значений	
			η	$M_{кр}$
По необработанной поверхности	Сферическая		$\operatorname{tg}\alpha \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_{пр})$, где $\alpha = P/\pi d_2$; $\varphi_{пр} \approx 6°40'$	$0{,}1P_з d_2$

Продолжение табл. 14

Закрепление	Форма конца (торца гайки)	Эскиз	Расчетные формулы для вычисления приближенных значений	
			η	$M_{кр}$
По предварительно обработанной поверхности	Цилиндрическая		$\operatorname{tg}\alpha / \left[\operatorname{tg}\left(\alpha + \varphi_{пр}\right) + 0{,}67 f_1 D_ц / d_2\right]$, $\varphi_{пр} \approx 6°40'$	$P_з(0{,}1d_2 + 0{,}33D_ц f_1)$
Исключающее вмятины и другие повреждения поверхности	Под пяту		$\operatorname{tg}\alpha / \left[\operatorname{tg}\left(\alpha + \varphi_{пр}\right) + 2R f_1 \operatorname{ctg}(0{,}5\gamma)/d_2\right]$, $\gamma = 118°$, $\varphi_{пр} \approx 6°40'$	$P_з[0{,}1d_2 + f_1 R \operatorname{ctg}(0{,}5\gamma)]$
Гайкой по неподвижной резьбовой шпильке	Плоская кольцевая		$\operatorname{tg}\alpha / \left(\operatorname{tg}\left(\alpha + \varphi_{пр}\right) + 0{,}67 f_1 \left(D_{нт}^3 - d_{вт}^3\right) : \left[\left(D_{нт}^2 - d_{вт}^2\right) d_2\right]\right)$	$0{,}2P_з d_2$

Примечания: 1. $P_з$ – сила закрепления заготовки, Н; d_2, $D_ц$, $D_{нт}$, $d_{вт}$ – соответственно шаг резьбы, диаметры средней резьбы и цилиндрического конца винта, наружный и внутренний опорного торца гайки, мм; R – радиусы сферы конца винта, мм; α – угол соответственно подъема винтовой линии резьбы, ...°; γ – угол конического углубления пяты ...°; $\varphi_{пр}$ – приведенные углы трения в резьбе, ...°; f_1 – коэффициент трения между заготовкой и винтом (гайкой); $f_1 \approx 0{,}16$.

2. При откреплении момент $M_{кр}$ необходимо увеличить на 20 %.

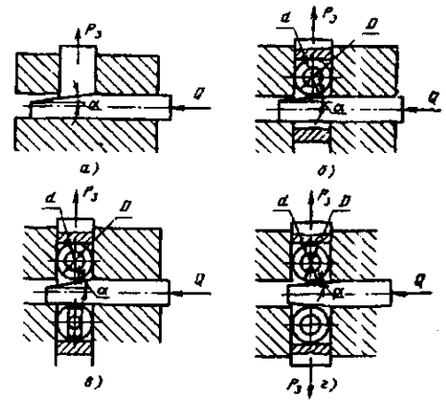


Рис. 15. Схемы клиноплунжерных ЭЗМ:
а – с одноопорным плунжером без ролика; *б* – с двухопорным плунжером с одним роликом; *в* – с двухопорным плунжером с двумя роликами; *г* – двухплунжерный с роликами на наклонных плоскостях

15. Характеристики круглых эксцентриковых кулачков (ГОСТ 9061 – 68 в ред. 1989 г.)

Наружный диаметр D	Эксцентриситет A	Ход кулачка h	Сила закрепления P, кН	Крутящий момент на рукоятке $M_{кр}$, кН·мм
мм				
32	1,7	0,85/3,17	2,8	9,3
40	2	1/3,73	3,8	15
50	2,5	1,25/4,66	4,3	21
60	28	1,4/5,59	7	41

Продолжение табл. 15

Наружный диаметр D	Эксцентриситет A	Ход кулачка h	Сила закрепления P, кН	Крутящий момент на рукоятке $M_{кр}$, кН·мм
мм				
70	3,5	1,75/6,53	9,1	62,7
80	4	2/7,46	8	

Примечания: 1. Силу $P_з$ и момент $M_{кр}$ для кулачков диаметром $D \le 60$ мм вычисляют по параметру прочности, для кулачков диаметром $D > 60$ мм – с учетом требований эргономики при предельной длине рукоятки 320 мм.

2. В числителе дроби приведено значение хода кулачка с ограниченным углом поворота γ, в знаменателе – с неограниченным.

В табл. 16 приведены значения i_c и $i_п$ для некоторых клиноплунжерных (КП) и клиновых (К) механизмов (рис. 15).

Расчет рычажных ЭЗМ. Рычажные ЭЗМ применяют в сочетании с другими ЗМ или в качестве механизмов – усилителей пневматических зажимов.

1. Выбирают схему рычажного ЭЗМ (табл. 17).

2. Ход S рычажного ЭЗМ определяют по той же формуле, что и ход клиновых и клиноплунжерных ЭЗМ. В этой формуле жесткость рычажного ЭЗМ $I = 1500 \ldots 2500$ Н/мм.

3. Вычисляют R, Q и $S(R)$ (см. табл. 17) и выбирают соответствующее сочетание рычажного и других ЗМ.

4. Диаметр d опоры и ширина B рычага связаны соотношением $B = d \ge 0{,}23\sqrt{R}$, где B – в миллиметрах, R – в ньютонах.

Рычажно-шарнирные механизмы используют как быстродействующие немеханизированные ЗМ или как усилители в механизированных приводах (табл. 18).

16. Передаточные отношения сил i_c и перемещений $i_п$ клиновых и клиноплунжерных ЭЗМ

Схема механизма	Угол скоса клина α, ...°							
	2	5	8	10	12	15	20	25
	Значения i_c							
С одноопорным плунжером без ролика (рис. 15, *а*)	4,1	3,3	2,7	2,5	2,2	1,9	1,7	1,3
С трением скольжения на обеих поверхностях клиньев	4,2	3,4	2,9	2,6	2,4	2,1	1,7	1,5

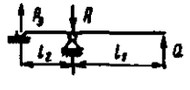
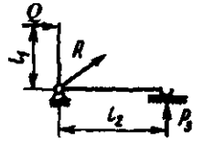
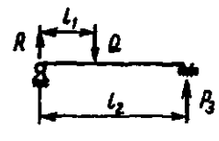
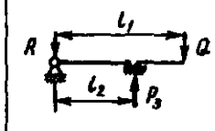
Продолжение табл. 16

Схема механизма	Угол скоса клина α, ...°							
	2	5	8	10	12	15	20	25
С двухопорным плунжером и одним роликом (рис. 15, *б*)	5,4	4,2	3,4	3	2,7	2,3	1,8	1,5
С роликом на наклонной плоскости и трением на горизонтальной	5,4	4,2	3,4	3,1	2,7	2,4	1,9	1,6
С двухопорным плунжером и двумя роликами (рис. 15, *в*)	7,4	5,3	4,1	3,5	3,1	2,6	2	1,6
Двухплунжерный с роликами на наклонных плоскостях (рис. 15, *г*)	11,5	7	5,1	4,2	3,5	2,9	2,9	1,7
Значения $i_п$								
Для всех схем $i_п = \mathrm{ctg}\alpha$	28,64	11,43	7,12	5,67	4,71	3,73	2,75	2,15

Примечания: 1. В механизмах без роликов для обеспечения надежного самоторможения рекомендуется выбирать $\alpha \le 7°$; в несамотормозящих механизмах с роликами – $\alpha \ge 10°$. Значения α вычислены при угле трения, приведенном угле трения и отношении d/D, соответственно равных 5°50′; 2°50′ и 0,5.

2. Значения i_c для других схем механизмов близки к значениям i_c, приведенным в таблице; например, i_c для клинового механизма с трением скольжения на наклонной плоскости и качения (ролик) на горизонтальной плоскости близко к значению i_c для схемы, показанной на рис. 15, *а*.

17. Схемы рычажных ЭЗМ и расчетные формулы

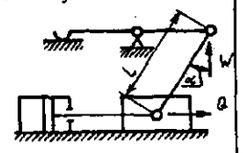
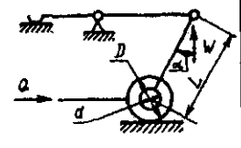
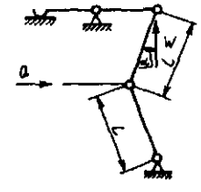
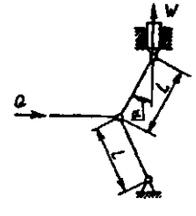
			
$R = Q + P_3$	$R = \sqrt{Q^2 + P_3^2}$	$R = Q - P_3$	$R = P_3 - Q$

$$Q = P_3 l_2 / (l_1 \eta); \quad S(Q) = S(P_3) l_1 / l_2$$

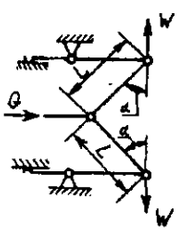
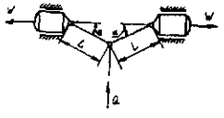
Примечания: 1. P_3, Q и R – соответственно известная сила закрепления заготовки, сила на приводе и реакция в опоре, Н; $S(Q)$ и $S(P_3)$ – перемещения под действием сил Q и P_3 соответственно, мм; l_1, l_2 – плечи, мм; КПД $\eta = 0{,}85 \ldots 0{,}95$.

2. На эскизах показана реакция P_3 со стороны закрепленной заготовки.

18. Схемы и расчетные значения передаточных отношений рычажно-шарнирных ЗМ

Схема	Передаточное отношение сил i_c при угле α, ...°											
	2	5	8	10	12	15	20	25	30	35	40	45
Однорычажные шарнирные ЗМ												
С ползуном 	6,45	4,80	3,83	3,36	3,00	2,56	2,05	1,69	1,42	1,20	1,02	0,87
С роликом 	9,50	6,33	4,73	4,05	3,52	2,94	2,28	1,84	1,53	1,28	1,08	0,92
Двухрычажные шарнирные ЗМ												
Одностороннего действия 	9,03	4,63	3,10	2,53	2,14	1,72	1,29	1,01	0,82	0,68	0,57	0,48
Одностороннего действия с плунжером 	8,93	4,52	3,00	2,42	2,03	1,62	1,18	0,91	0,72	0,58	0,46	0,38

Продолжение табл. 18

Схема	Передаточное отношение сил i_c при угле α, …°											
	2	5	8	10	12	15	20	25	30	35	40	45
Двустороннего действия 	18,07	9,26	6,20	5,06	4,28	3,45	2,58	2,03	1,65	1,37	1,14	0,96
Двустороннего действия с плунжерами 	17,86	9,05	6,00	4,85	4,07	3,24	2,37	1,82	1,44	1,16	0,93	0,76

α°	2	5	8	10	12	15
1 – cos α	0,0006	0,0038	0,0097	0,0152	0,0219	0,0341
α°	20	25	30	35	40	45
1 – cos α	0,0603	0,0937	0,134	0,1808	0,234	0,2929

Примечания: 1. $i_c = W/Q$; значения, приведенные в таблице, найдены при характерных значениях углов, приведенных углов трения, отношениях диаметров наружного ролика и цапфы ролика.

2. Для однорычажных ЗМ ход $s = L(1 - \cos\alpha)$, для двухрычажных ЗМ ход $s = 2L(1 - \cos\alpha)$.

3. Для двухрычажных ЗМ двустороннего действия сила W и ход суммарные.

4. α – угол наклона рычага длиной L.

Реечные ЗМ можно расположить на большом расстоянии от места установки заготовки. В реечных ЗМ по ГОСТ 13163 – 67 (в ред. 1988 г.) сила натяжения рейки составляет 588 … 735 Н при силе на рукоятке 157 Н.

ПРИВОДЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

В *приспособлениях* применяют пневматические, гидравлические, пневмогидравлические, магнитные, электромагнитные, вакуумные, электромеханические приводы.

Ручной привод конструктивно наиболее простой и дешевый. К недостаткам ручного привода относят увеличенное вспомогательное время, нестабильность усилий, утомляемость станочника. В конструкции ручного привода обязательно использование самотормозящих зажимных механизмов (чаще винтового). Ручной привод выгодно применять в условиях единичного и мелкосерийного производств, когда требования к производительности не лимитируют.

Пневматический привод выгоден при наличии пневмолинии. К достоинствам пневмопривода относят быстродействие, надежность, безопасность, экономичность, высокий уровень унификации и стандартизации, а к недостаткам – увеличенные диаметральные габариты пневмоцилиндров и необходимость в механизмах-усилителях для создания надлежащего усилия. Технические требования к пневмоприводу регламентированы ГОСТ 18460 – 91.

Наибольшее применение получили пневмоцилиндры двустороннего действия с односторонним штоком, с креплением крышек на стяжках, работающих на сжатом воздухе при давлении 0,4 … 1 МПа и в диапазоне температур от –45 до +75 °С.

Пневмоприводы бывают поршневые (пневмоцилиндры) и мембранные. Пневмоцилиндры подразделяют на стационарные, встроенные и вращающиеся. Стандартизованные стационарные пневмоцилиндры имеют несколько исполнений: 0 – на удлиненных стяжках; 1 – на лапах; 2 – на переднем фланце; 3 – на заднем фланце; 4 – на проушине; 5 – на цапфах. Различают также пневмоцилиндры одностороннего и двустороннего действия. В табл. 19 приведены основные параметры стационарных поршневых пневмоцилиндров двустороннего действия с односторонним штоком по ГОСТ 15608 – 81 (в ред. 1992 г.).

19. Основные параметры стационарных поршневых пневмоцилиндров

Диаметр, мм		Ход поршня s_{max}, мм	Статическая сила (Н) на штоке, не менее, при давлении, МПа		
цилиндра D	штока d		0,4	0,63	1
25	12	250	160 / 130	240 / 200	380 / 300
32		320	250 / 220	340 / 330	620 / 530
40	14	400	400 / 350	620 / 560	1020 / 900
50	18	500	640 / 550	1000 / 840	1590 / 1300
63		630	1000 / 900	1550 / 1450	2600 / 2350
80	–	800	1750 / 1500	2750 / 2460	4300 / 3900
100		1000	2700 / 2550	4300 / 4000	6750 / 6350
125	32	1250	4200 / 4000	6700 / 6200	10600 / 9900
160	40	1600	7200 / 6800	11400 / 10700	18100 / 17000
200		2000	11 400 / 10 800	17 800 / 17 100	28 400 / 27 200
250	63	2500	17 700 / 16 500	27 800 / 26 100	44 200 / 41 400
320	80		30 000 / 28 000	47 000 / 44 100	74 800 / 70 100

Примечания: 1. В числителе дроби приведена толкающая сила, в знаменателе – тянущая.

2. Скорость перемещения штока для цилиндров диаметром более 160 мм не более 0,5 м/с и для цилиндров диаметром до 160 мм включительно – не более 1 м/с.

3. Минимальный ход поршня для всех цилиндров – 10 мм.

4. Данные не распространяются на встроенные и вращающиеся пневмоцилиндры.

20. Диаметры D мембран и сила (кН) на штоке мембранных пневмоцилиндров

Диаметр D, мм	Мембраны			
	резинотканевые		резиновые	
	в положении, близком к исходному	при ходе $0,3D$ для тарельчатых и $0,07D$ для плоских	в положении, близком к исходному	при ходе $0,22D$
125	3,5	2,7	4,75	3,75
160	5,7	4,35	7,2	6,15
200	9,0	6,8	11,0	8,75
250	14,0	11,0	17,3	15,5
320	23,0	17,5	29,0	25,0
400	36,0	27,0	46,5	42,0

Встроенные пневмоцилиндры применяют в приспособлениях, компоновка которых не позволяет использовать стандартизованные цилиндры. Размерный ряд диаметров встроенных цилиндров: 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250 мм. Длина хода поршня у цилиндров диаметром от 63 до 125 мм равна диаметральному размеру, а у цилиндров диаметром 160 – 250 мм равна 200 мм.

Вращающиеся пневмоцилиндры выполняют с диаметром цилиндра 200 и 250 мм, ход поршня 32 и 45 мм соответственно. В них применяют сжатый воздух давлением 0,63 МПа. Имеют применение также цилиндры диаметром 100 и 160 мм.

Диаметр поршневого цилиндра, одностороннего действия, используемого для закрепления заготовки, определяют из зависимости

$$D = 1{,}13\sqrt{(P_з + P_0 + js)/p};$$

двустороннего действия – из зависимости $D = 1{,}13\sqrt{P_з/p}$, где $P_з$ – сила закрепления заготовки, Н; P_0 – сила предварительного натяжения пружины, Н; j – жесткость пружины, Н/мм; s – ход поршня, мм; p – избыточное (по манометру) давление сжатого воздуха, МПа.

Мембранные пневмоцилиндры могут быть одностороннего и двустороннего действия, одинарными и сдвоенными. В них используют резинотканевые и резиновые мембраны.

21. Формулы для расчета силы $P_з$ на штоке мембранных цилиндров

Тип мембраны	Положение мембраны	$P_з$, Н
Резинотканевая	Близкое к исходному	$P_з = 0{,}196(D + d)^2 p - P_к$
	При ходе: $0,3D$ для тарельчатой; $0,07D$ для плоской	$P_з = 0{,}147(D + d)^2 p$
Резиновая	Близкое к исходному	$P_з = 0{,}785d^2 p - P_к$
	При ходе $0,22D$	$P_з = 0{,}706d^2 p - P_к$

Примечание. D – рабочий диаметр мембраны, мм; d – наружный диаметр опорной шайбы, мм; p – давление сжатого воздуха, МПа; $P_к$ – сила от возвратной пружины, Н; для цилиндров двустороннего действия $P_к = 0$.

Основные параметры пневмоцилиндров – диаметр D мембраны по месту защемления и наружный диаметр d опорной шайбы штока. Значение d зависит от материала мембраны: для резинотканевых мембран $d = 0{,}7D$; для резиновых мембран $d = D - 2c - (2 \ldots 4)$, где c – толщина мембраны.

Сила на штоке изменяется в зависимости от хода, поэтому мембранные цилиндры используют при малом ходе. Размерный ряд рекомендуемых значений рабочего диаметра D мембран и силы на штоке при расчетных диаметрах d опорных шайб приведен в табл. 20.

Силу на штоке мембранного цилиндра вычисляют по формулам табл. 21.

Гидравлический привод приспособлений (табл. 22 и 23) дороже пневматического. Он позволяет получать большие усилия с помощью компактных гидроцилиндров и без механизмов-усилителей. Общие технические требования на гидроцилиндры регламентированы ГОСТ 16514 – 87* (не распространяется на гидроцилиндры вращающиеся и для систем автоматического регулирования).

Рабочая жидкость – чистые минеральные масла вязкостью $(0{,}1 - 5)\ 10^{-4}$ м^2/с, предпочтительное давление 10 МПа, рабочий температурный интервал от –35 до +50 °С.

Предпочтительные области применения гидравлического привода СП: обработка заготовок с большими силами резания; многоточечные зажимы; перемещение устанавливаемых массивных заготовок на значительные расстояния; оснащение гидрофицированных станков (с выгодным использованием гидравлической системы станка для обеспечения работы СП).

Источники подачи масла размещают вне приспособлений, а гидродвигатели – в приспособлениях. С помощью гидроцилиндров просто реализуются многоточечные схемы закрепления заготовок. Различают гидроцилиндры одностороннего и двустороннего действий, со сплошным и полым штоками.

Диаметр гидроцилиндра и силу на штоке рассчитывают по формулам табл. 24.

22. Основные параметры гидроцилиндров одностороннего действия при номинальном давлении 10 МПа

Диаметр цилиндра D, мм	Ход поршня s, мм	Сила теоретическая, кН
40	12	11,7/9,9
50	16	18,1/11,7
63		29,2/23,1
80		47/37,5

Примечания: 1. В числителе приведены значения силы для цилиндров со сплошным штоком, а в знаменателе – для цилиндров с полым штоком.

23. Силы на штоке гидроцилиндров двустороннего действия при номинальном давлении 10 МПа

Сила, кН	Диаметр цилиндра, мм				
	40	50	63	80	100
Толкающая	12,3	19,2	39,5	49,2	76,9
Тянущая	8,5	14,4	22,6	39,2	61,3

Примечание. Ход поршня для цилиндров диаметром 50 – 100 мм равен 16; 32; 50 и 80 мм; для цилиндра диаметром 40 мм –12; 32; 50 и 80 мм.

24. Расчетные формулы для определения диаметра цилиндра и силы на штоке

Тип цилиндра		Диаметр цилиндра, мм	Сила на штоке, Н
Одностороннего действия		$D = 1{,}13\sqrt{(P_с + cx)/(p\eta_{мех})}$	$P_с = 0{,}785D^2 p\eta_{мех} - cx$
Двустороннего действия с подачей масла в полость	поршневую	$D = 1{,}13\sqrt{P_с/(p\eta_{мех})}$	$P_с = 0{,}785D^2 p\eta_{мех}$
	штоковую	$D = 1{,}13\sqrt{1{,}27P_с/p\eta_{мех} + d^2}$	$P_с = 0{,}785(D^2 - d^2)p\eta_{мех}$

Примечание. p – давление масла, МПа; d – диаметр штока, мм; $\eta_{мех} \le 0{,}93$ – механический КПД; c – жесткость пружины, Н/м; x – ход пружины, мм.

МАГНИТНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Элементарная магнитная система (ЭМС) – ячейка МСП, состоящая из источника магнитного потока и магнитопроводов, позволяющая параллельным соединениям однотипных элементов скомпоновать приспособление в целом. В ЭМС максимально учитываются требования, предъявляемые к конструкции приспособления.

Источниками магнитного потока являются электромагнитные катушки (ЭК) и постоянные магниты. Питание ЭК осуществляется постоянным током напряжением от 6 до 220 В. Постоянные магниты намагничиваются отдельно или вместе с МСП и сохраняют свою намагниченность долгое время (годами) без подвода энергии.

На рис. 16 показана ЭМС с ЭК, характерная для прямоугольных электромагнитных плит. ЭМС состоит из двух частей: *силового блока* (СБ) и *адаптерной плиты* (АП). Постоянная часть СБ имеет ЭК (*4*), которая образует поток Φ_0 (в сечении *I – I*), магнитопроводы *5* (сердечники) и основание 6. АП — часть МСП (выше сечения *II – II*), на которую устанавливают заготовки. Рабочая поверхность *1* АП подвержена изнашиванию, вследствие чего ее периодически восстанавливают (шлифуют). АП удлиняет путь прохождения магнитного потока, состоит из магнитопроводов *3*, отделенных друг от друга проставкой *2*. Торцовая поверхность магнитопроводов (полюсников) АП, соприкасаясь с заготовкой, образует полюсы приспособления, расположенные в плоскости рабочей поверхности МСП.

Магнитопроводы применяют для снижения сопротивления прохождения магнитного потока Ф. По магнитопроводам магнитный поток от источника подводится к рабочему зазору δ, где энергия магнитного потока Φ_δ преобразуется в механическую (притяжение заготовки).

Часть магнитного потока Φ_0 минует зазор δ. Это поток утечки Φ_y. Для снижения потока утечки детали проставки *2* изготовляют из немагнитного материала, чем максимально увеличивают магнитное сопротивление.

В конструкциях МСП АП выполняется в виде единой детали с пазами, в которые вставлены полюсники. При этом, если деталь *2* (рис. 16, *а*) выполнена из немагнитного материала (например, из стали 12Х18Н9Т), то полюсники *3* непосредственно запрессованы в ее пазы. Если же деталь *2* сделана из ферромагнитного материала, то полюсники отделены от нее немагнитным материалом 7 (рис. 16, *б*) толщиной Δ. Возможен также вариант сборной АП. В зависимости от конструкции МСП в сечении *I – I* магнитопроводы могут иметь вид прямоугольника, трапеции, окружности и др., в соответствии с чем создается и конструкция ЭМС.

Для изготовления магнитопроводов применяются магнитомягкие ферромагнитные материалы: углеродистая сталь обыкновенного качества по ГОСТ 380–94; конструкционная углеродистая сталь по ГОСТ 1050–88, ГОСТ 4543–71 и электротехническая нелегированная сталь по ГОСТ 3836–83.

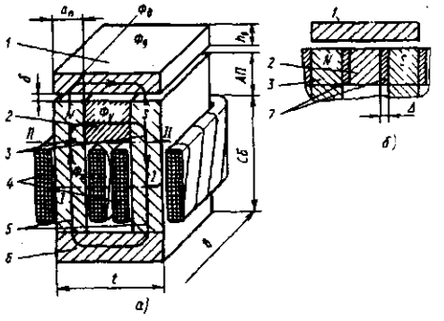


Рис. 16. Характерная конструкция ЭМС с электромагнитной катушкой:
а – общий вид; *б* – конструкция адаптерной плиты с корпусом из ферромагнитного материала

Магнитные свойства материала заготовки (как магнитопровода) могут колебаться в широких пределах. Эти свойства учитывают как при расчете МСП, так и при их эксплуатации.

Для изготовления постоянных магнитов применяют магнитотвердые материалы: литые по ГОСТ 17809–72 (преимущественно марки ЮН14ДК24); магнитотвердые ферриты по ГОСТ 24063–80 (преимущественно марок 18БА220, 22БА220, 24БА210); магнитотвердые спеченные материалы по ГОСТ 21559–76 (использование ограничено вследствие их высокой стоимости).

Все магнитотвердые материалы труднообрабатываемы, хрупки и склонны к трещинообразованию из-за низкой теплопроводности. Основным видом обработки является шлифование, причем для магнитотвердых ферритов применяют преимущественно алмазные круги.

Особенность управления электромагнитными приспособлениями состоит в необходимости размагничивания МСП после отключения источника постоянного тока, так как стальные магнитопроводы сохраняют остаточную намагниченность. Поэтому все электромагнитные приспособления снабжают размагничивающими устройствами.

Типовая конструкция плиты с магнитами из феррита бария (рис. 17) имеет корпус *4* коробчатой формы, на который установлен неразборный неподвижный магнитный блок *2*, состоящий из рамки (изготовленной из немагнитного материала), внутри которой установлены чередующиеся магнитопроводы *12* и постоянные магниты *13*. Магнитопроводы соединяют с рамкой с помощью шпонок.

При сборке узла используют также склеивание. На блок *2* устанавливается адаптерная плита (АП) – *1*, как правило, изготовленная из стали 45. В пазы АП вставлены магнитопроводы *15* (полюсники), отделенные от ферромагнитного корпуса заливкой *16* из немагнитного сплава. Между неподвижным магнитным блоком *2* и дном корпуса *4* размещен подвижный магнитный блок *3*, по конструкции аналогичный неподвижному. От корпуса *4* он отделен немагнитной прокладкой *9*. Перемещение подвижного блока внутри корпуса на размер *t* осуществляет силовой механизм, в данном случае состоящий из шестерни *6* с эксцентрично посаженным пальцем *5*, зубчатого сектора *10* с рукояткой *17*.

В магнитных блоках магниты *7* и *13* обращены к магнитопроводам *8* и *12* одинаковой полярностью, отчего полюсы на рабочей поверхности плиты чередуются (*N*, *S* и т. д.).

Управление плитой осуществляется по принципу нейтрализации потока: при совпадении полярности магнитов верхнего и нижнего блоков МСП включено, деталь *14* притянута к рабочей поверхности МСП; при переводе рукоятки в другое крайнее положение подвижный блок переместится на размер *t*, а магниты нижнего блока – под магниты противоположной полярности верхнего блока. МСП отключается.

На рис. 18 приведен один из вариантов конструкции патрона (*D* = 530 мм) с магнитами из магнитотвердых ферритов. Принципиальное отличие этой конструкции от рассмотренной выше магнитной плиты состоит в том, что с учетом требований к данному приспособлению магнитные блоки здесь выполнены в виде колец. К фланцу *9* патрона, выполненного в соответствии с конструкцией шпинделя станка, присоединено кольцо *1*, на которое опирается неподвижный магнитный блок *6* с АП *3*. Между фланцем *9* и неподвижным блоком 6 на подшипниках качения помещен корпус *7* (кольцевое корыто) подвижного магнитного блока.

Механизм поворота подвижного блока относительно оси патрона включает рычаг *11*, соединенный с блоком пальцем *12*, гайку *10* и диаметрально расположенный шлицевой вал *5*. Торцы вала *5* имеют гнезда *4* под ключ. Элементарные магнитные системы патрона распо-

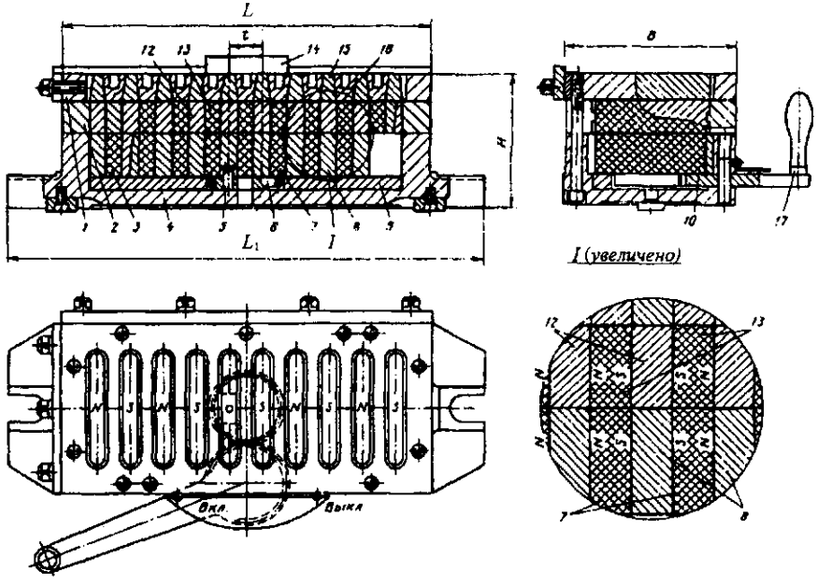


Рис. 17. Устройство плиты с постоянными магнитами из магнитотвердого феррита

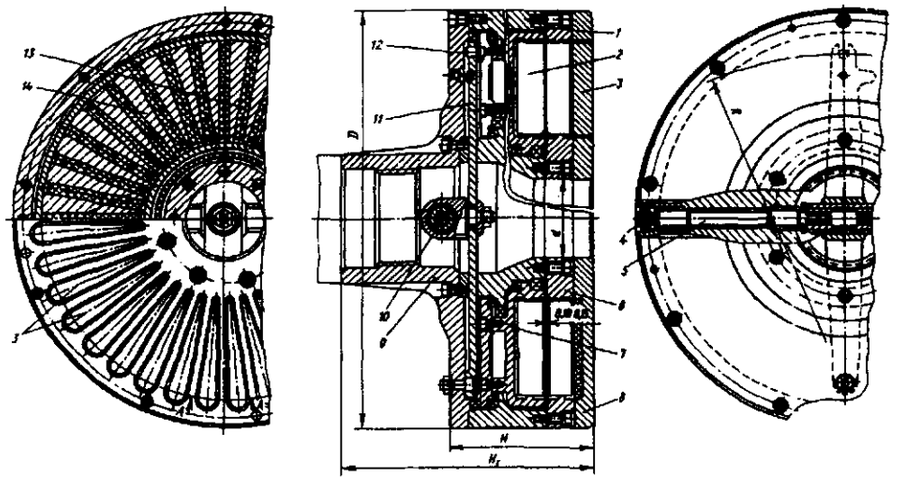


Рис. 18. Устройство магнитного патрона

ложены радиально. Магниты *13* имеют форму прямоугольного параллелепипеда, а полюсники *14* – призмы с основанием в виде трапеции. На рабочей поверхности АП полюсы патрона имеют также трапециевидную форму.

При кольцевой конструкции магнитных блоков центральная часть патрона становится нерабочей. Поэтому в подвижном магнитном блоке *6* и адаптерной плите *3* предусмотрено отверстие диаметром *d*, используемое для установки центрирующего устройства для заготовки и т. д.

Конструкции магнитных патронов меньших размеров более простые. Помимо радиального расположения полюсов выполняют также патроны с полюсами, расположенными по параллельным хордам, концентрическим окружностям.

На рис. 19 показана конструкция призмы с магнитами, изготовленными из магнитотвердых ферритов. Приспособление состоит из одной ЭМС. Принцип управления МСП основан на нейтрализации магнитного потока, но в отличие от предыдущих конструкций здесь магнит разделен на три части; средняя часть имеет возможность поворачиваться на 180°. Контакт заготовки с губками призмы – линейный, а рабочий зазор – переменного сечения и для магнитного потока представляет большое сопротивление. Для его преодоления требуется повышенная магнитодвижущая сила, пропорциональная длине магнита. В призмах длина магнитов в 2,5 – 4 раза больше, чем у плит и патронов.

Призма состоит из двух магнитопроводов *2* и *7*, жестко соединенных между собой планками *3* и *9*. В зазор между магнитопроводами на клею вставлены верхний и нижний магниты *4*, а в цилиндрическую расточку – магнитный блок, состоящий из магнита *8* и двух стальных накладок-полюсников *6*. Поворот блока осуществляется с помощью рукоятки *1* и двух конических шестерен *12* и *13*.

Планки *3* и *9* представляют сварную конструкцию, состоящую из магнитопроводов, отделенных друг от друга немагнитной проставкой *10*. На верхнюю планку призмы под различные диаметры закрепляемых валиков устанавливаются сменные губки 5 (МСП рассматривается как переналаживаемое). Призма установлена на основание *11*, изготовленное из немагнитного материала. Габариты призмы определяются размерами *L*, *B*, *H* и диаметром закрепляемого валика *D*.

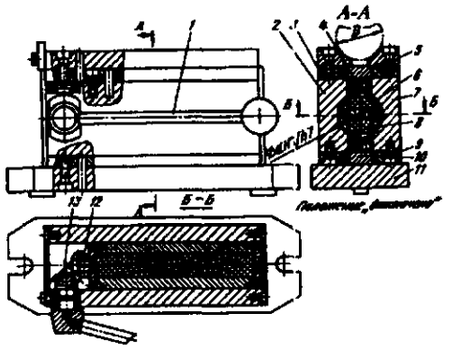


Рис. 19. Устройство магнитной призмы (положение "Отключено")

Нестандартные магнитные станочные приспособления имеют конструктивное отличие от стандартных и, как правило, более высокие значения сил притяжения.

Электромагнитные прямоугольные плиты (ГОСТ 30273–98) предназначены для закрепления заготовок из ферромагнитных материалов при их обработке на плоскошлифовальных станках. Обозначение плит: первые четыре цифры – номер изделия (для всех плит 7208), вторые четыре цифры – условное обозначение типоразмера, определяемого шириной плиты *B*, ее длиной *L* и высотой *H* (см. рис. 17); следующие цифры – класс точности, напряжение питания, диаметр испытательного образца, климатическое исполнение.

Пример условного обозначения прямоугольной электромагнитной плиты размерами: *B* – 250 мм, *L* – 800 мм, класса точности П, напряжением питания 110 В, диаметром испытательного образца 50 мм, климатического исполнения УХЛ 4.2 по ГОСТ 15150:

Плита ПЭ 7208-0061 П 110 50 УХЛ 4.2 ГОСТ 30273–98.

Размеры плит изменяются в пределах: ширина 100 – 800 мм; длина 250 – 2500 мм; высота 100 – 125 мм. Плиты выпускают пяти классов точности: Н, П, В, А и С соответственно с удельной силой притяжения 30, 25, 20, 15 и 10 Н/см^2 (300, 250, 200, 150 и 100 кПа).

Паспортная удельная сила притяжения определяется путем отрыва испытательного образца, имеющего опорную поверхность в виде диска диаметром *D*. Диаметр диска испытательного образца является одной из характеристик электромагнитной плиты и гарантирует удержание на ней с регламентированной силой p_y заготовок с таким же диаметром. Поэтому стандартом регламентируется не только p_y, но и размер закрепляемой заготовки (*D* = 15, 25, 35, 50, 70, 100 мм в зависимости от размера плиты). Допускается снижение p_y до 50 % от установленного номинала в 10 % контрольных точек.

В зависимости от класса точности плиты регламентируется *ее жесткость* (размер прогиба рабочей поверхности плиты под действием определенной нагрузки), нагрев и потребляемая мощность.

Превышение установившейся температуры рабочей поверхности плиты над температурой окружающей среды при работе без охлаждения не должно быть более: 35 °С для плит класса точности Н, 25 °С для плит класса точности П, 15 °С – для плит класса точности В, 7 °С – для плит класса точности А, 5 °С – для плит класса точности С.

Плиты с постоянными магнитами, изготовленными на основе магнитотвердых ферритов, выпускают по ГОСТ 16528–87 в двух исполнениях; они предназначены для закрепления ферромагнитных заготовок в основном при выполнении плоскошлифовальных операций, а также, при фрезеровании, строгании, растачивании заготовок на режимах чистового резания.

Плиты выпускают четырех классов точности: Н, П, В и А. В зависимости от этого регламентируются удельная сила притяжения (*для плит классов точности* Н и П – *не ниже* 30 Н/см^2, В и А – 16 Н/см^2), жесткость (примерно 40,0 кН/мм для плит классов точности Н и П и 62 – 66 кН/мм для плит классов точности В и А), а также другие технические требования (точность и шероховатость рабочей поверхности, масса, усилие на рукоятке переключения и т.д.).

Пример условного обозначения магнитной плиты класса точности П, размерами *B* = 100 мм и *L* = 250 мм.

Плита 7208-0001 П ГОСТ 16528–87.

В обозначении плит класса точности Н буква опускается.

Удельную силу притяжения p_y определяют при отрыве от плиты специального испытательного образца, размеры которого зависят от размеров ЭМС (ширины полюса и межполюсного расстояния). Паспортная силовая характеристика плит по ГОСТ 16528 – 87 не может быть непосредственно использована для решения технологических задач.

Размеры плит колеблются в пределах: ширина В – от 100 до 300 мм; длина L – от 250 до 1000 мм; высота Н – от 80 до 100 мм. Масса плит – от 10 до 205 кг.

Патроны из материалов на основе магнитотвердых ферритов выпускают по ГОСТ 24568 – 81 и используют для закрепления ферромагнитных заготовок типа дисков, фланцев при их обработке методами шлифования, а также точения с режимами чистового и по-лучистового резания.

Патроны выпускают классов точности Н, П, В и А, диаметром 80 – 500 мм.

Пример условного обозначения патрона класса точности П, диаметром D = 80 мм:

Патрон 7108-0001 П ГОСТ 24568 – 81.

25. Ориентировочные режимы при точении деталей типа дисков на стандартных магнитных патронах

Диаметр патрона D, мм	Размеры обрабатываемой детали (диска), мм		Класс точности патрона	Режимы обработки *	
	диаметр	толщина		Глубина резания, мм	Подача, мм/об
80 – 100	80 – 100	10	Н и П	0,40	0,11
			В и А	0,14	0,05
125–160	125–160	20	Н и П	0,50	0,14
			В и А	0,18	0,063
200–250	200–250		Н и П	0,63	0,18
			В и А	0,22	0,08
320–400	320–400		Н и П	0,80	0,22
			В и А	0,28	0,10
500	500		Н и П	1,00	0,28
			В и А	0,36	0,12

* Скорость обработки 20 м/мин.

Примечание. Опорная поверхность заготовки должна быть предварительно обработанной.

В обозначении патронов класса точности Н буква опускается.

Удельная сила магнитного притяжения p_y определяется путем отрыва специального испытательного образца, размеры которого зависят от размеров ЭМС (ширины полюса и межполюсного расстояния). Удельная сила притяжения p_y на полюсе для включенных патронов должна быть не менее: для патронов классов точности Н и П – 70 Н/см^2; В и А – 40 Н/см^2. Паспортная силовая характеристика p_y не может быть непосредственно использована для решения технологических задач.

Возможности использования стандартных магнитных патронов при точении деталей типа дисков ориентировочно могут быть определены с учетом данных, приведенных в табл. 25.

Определение функциональной пригодности МСП. Предусматривая применение МСП для оснащения разрабатываемого технологического процесса, необходимо определить возможность использования при заданных условиях имеющегося универсального приспособления или сконструировать специальное, в большей степени отвечающее условиям выполнения данной операции. В том и другом случае необходимо определить действительную силу магнитного притяжения, действующую на заготовку.

Сила магнитного притяжения заготовки определяется нелинейной зависимостью, учитывающей влияние различных факторов – материала заготовки, ее формы, толщины, но в основном она определяется удельной силой магнитного притяжения p_y.

Удельная сила притяжения, отнесенная к площади опорной поверхности детали, $p_{y.д} = Q_м/S_д$; отнесенная к площади полюсов приспособления – $p_{y.п} = Q_м/S_п$, где $Q_м$ – сила магнитного притяжения, Н. Сила магнитного притяжения $Q_м$ определяется магнитным потоком ф, пронизывающим рабочий зазор, или плотностью потока – магнитной индукцией B:

$$Q_м = 39{,}8 \cdot 10^4\, \phi^2/S_п;$$

$$Q_м = 39{,}8 \cdot 10^4\, B^2 S_п,$$

где $S_п$ – площадь соприкосновения заготовки с полюсами приспособления, м^2.

К рабочему зазору магнитный поток подводится по магнитопроводам. Для магнитомягких материалов имеется некоторое предельное значение магнитной индукции – индукция насыщения $B_s \cong 2{,}1 \ldots 2{,}2$ Тл. Удельная сила магнитного притяжения заготовок полюсами приспособления

$$P_y = 39{,}8 \cdot 10^4\, B_s^2 \approx 190 \text{ кПа}.$$

Площадь $S_з$ опорной поверхности заготовки больше площади $S_п$ соприкосновения ее с полюсами МСП, причем $S_п/S_з = 0{,}5 \ldots 0{,}7$. Отсюда сила притяжения, отнесенная к площади опорной поверхности заготовки, может достигать значений $p_y = 85 \ldots 120$ кПа.

Магнитные плиты при зазорах менее 0,03 мм обеспечивают удельную силу притяжения $p_{y.д} = 500 \ldots 750$ кПа. Равномерность распределения силы притяжения по рабочей поверхности плиты, %

$$W = \left(S/Q_{ср}\right)100,$$

где S и $Q_{ср}$ – средние, соответственно, квадратическое и арифметическое отклонения силы притяжения эталонного образца. При операциях чистовой обработки $W \le 20 \ldots 30$ %.

Рабочий зазор δ, от которого в значительной степени зависит удельная сила магнитного притяжения, определяется неточностью формы

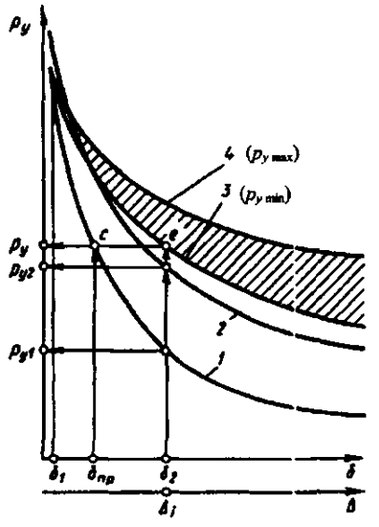


Рис. 20. Характер зависимости удельной силы магнитного притяжения заготовки от величины равномерного δ и реального (при отклонении от плоскостности Δ) зазора

опорной поверхности заготовки и ее шероховатостью и является технологическим параметром. Зависимость $p_y = f(\delta)$ определяется экспериментально при измерении силы отрыва (притяжения) в зависимости от создаваемого зазора. Требуемый зазор δ_i создается прокладками из немагнитного материала (например, алюминиевой или медной фольги).

По экспериментальным данным строят зависимость $p_y = f(\delta)$. На рис. 20 она представлена кривой *1*, которая аппроксимируется уравнением гиперболы вида

$$p_y = a/(b + \delta),$$

где a и b – коэффициенты гиперболы.

С допустимой для последующих расчетов погрешностью для данного МСП можно определить нижнюю границу зоны рассеяния $p_{y\,min}$ (кривая *2*):

$$p_{y\,min} = a/(b + x\Delta),$$

где x = 0,52 при отклонении от плоскости опорной поверхности заготовок в пределах Δ = = 0,2 … 0,4 мм; a и b – коэффициенты гиперболы.

По кривым *1* и *2* можно определить влияние отклонений от плоскостности опорной поверхности заготовки на удельную силу притяжения плиты.

Для магнитных патронов функциональную пригодность определяют по моменту трения $M_т = fQ_м$, силу магнитного притяжения $Q_м$ заготовок – по приведенным выше зависимостям. Коэффициент трения-скольжения f выбирают по таблицам в зависимости от материала соприкасающихся пар (приспособление – заготовка), качества их поверхностей, наличия смазочного материала и т.д.

Для предварительно обработанных заготовок f = 0,15 … 0,2; для необработанных – f = = 0,22 … 0,4.

Точность расчетов повышается, если $M_т$ (Н · м) определяют на основе экспериментальных данных:

$$M_т = 0{,}5 P_z D,$$

где силу резания P_z находят экспериментально, как максимально допустимую при закреплении данной заготовки на конкретном патроне. С этой целью на магнитный патрон устанавливают заготовку, имеющую ввернутый палец. Сила P_z создается домкратом. Для расчета берется максимальная сила, при которой заготов-

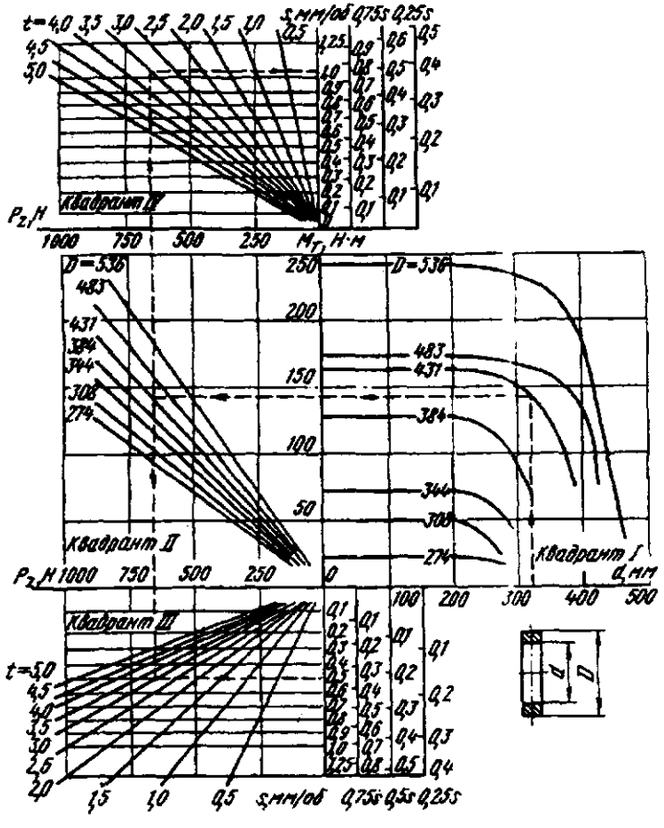


Рис. 21. Пример номограммы для определения допустимой подачи при обработке заготовок типа колец, закрепленных на магнитном патроне (специальный магнитный патрон диаметром 530 мм)

ка сохраняет еще свое равновесие (критическая сила).

Для построения универсальной для данного магнитного патрона зависимости:

$$M_т = f(D, d),$$

критическая сила резания P_z определяется для заготовок с широким изменением наружного D и внутреннего d диаметров.

На основе экспериментальных данных строят графики $M_т = f(D, d)$ при D_i = const (квадрант *I* на рис. 21). В квадранте *II* выполнен обратный графический переход от $M_т$ к P_z. В логарифмической системе координат установлена связь $P_z = f(S)$ при t = const: в квадранте *III* для наружного точения, в квадранте *IV* – для подрезки торцов.

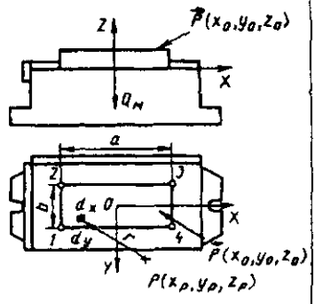
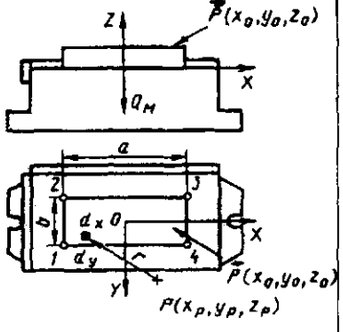
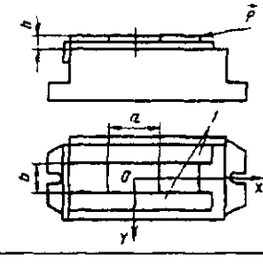
Для магнитных призм силовые характеристики не стандартизованы, а расчет их затруднен. Поэтому экспериментальное определение этих характеристик является наиболее приемлемым. Для данного типоразмера призм получают зависимости:

$$Q_м = f(d), \quad Q_{сд} = f(d) \quad и \quad M_{кр} = f(d),$$

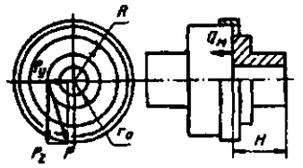
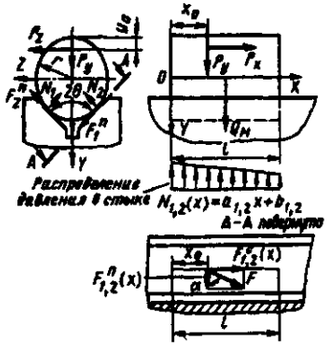
где $Q_{сд}$ – сила сдвига валика диаметром d вдоль оси, вызванная силой притяжения $Q_м$, при соответствующем коэффициенте трения f; $M_{кр}$ – критический удерживающий крутящий момент.

Расчет условий равновесия заготовки, установленной на МСП. В табл. 26 приведены типовые схемы установок заготовок на МСП и расчетные зависимости для определения условий их равновесия.

26. Типовые схемы установки заготовок на МСП и зависимости, определяющие условия равновесия

Типовая схема установки	Расчетные зависимости и пояснения
	*Проверка на сдвиг*: $K_з\sqrt{P_x^2 + P_y^2} \le fQ_м$. *Проверка на опрокидывание*: ориентировочно $K_з\sqrt{P_x^2 + P_y^2} \le 0{,}5aQ_м$. уточненно $\varphi(x, y) \ge 0$. При этом $\varphi(x, y) = \frac{M_{OY}}{I_x}x + \frac{M_{OX}}{I_{xy}}y + \frac{Q_м}{S_з}$, где $M_{OX} = y_0P_z - z_0P_y + y_и(Q_м + g)$; $M_{OY} = x_0P_z - z_0P_x + x_и(Q_м + g)$; I_x и I_y – моменты инерции плоской фигуры площадью $S_з$ относительно осей OX и OY; $x_и$ и $y_и$ – координаты центра инерции заготовки. Для заготовки, у которой $S_з = ab$, $\varphi(x, y) = \frac{12M_{OY}}{ab^3}x + \frac{12M_{OX}}{a^3b}y + \frac{Q_м}{ab}$
	Условия проверяются для точек *1*, *2*, *3* и *4*. *Проверка на поворот в плоскости плиты:* $M_{кр} \le f\iint_S \varphi(x, y)r\,dx\,dy,$ где $r = \sqrt{(x - x_p)^2 + (y - y_p)^2}$; x_p и y_p – координаты полюса трения P, которые находят из уравнений: $f\iint_S (x - x_p)/r\varphi(x, y)\,dx\,dy = P_x;$ $f\iint_S (y - y_p)r\varphi(x, y)\,dx\,dy = -P_y.$ Решение находят итерационным способом. При установке заготовок "по упорам" проверка осуществляется только на опрокидывание
	*Устойчивость* ряда заготовок, установленных между двумя упорами *1*: $P_x \le (21{,}2b + 23{,}2h)0{,}5p_y S_з / a$. Дополнительно необходима проверка на опрокидывание

Продолжение табл. 26

Типовая схема установки	Расчетные зависимости и пояснения
	*Проверка на сдвиг:* $K_3 P \le f p_y \pi \left(R^2 - r_0^2\right)$. При закреплении дисков r_0 определяется конструкцией патрона. *Проверка на поворот* (в плоскости патрона): $K_3 P_z \le 0{,}67\pi f p_y \left(R^3 - r_0^3\right)$. *Проверка на опрокидывание:* $PH \le K p_y \left(3{,}56R^3 - 2{,}22r_0^3 - 1{,}33R^2 r_0\right)$. При наружном точении $K = 1$; при растачивании $K = 0{,}7 \ldots 0{,}9$
	*Проверка на сдвиг:* $0 < \alpha < 0{,}5\pi$. *Проверка на поворот вала* (вокруг своей оси): $P_z(r - y_0) + r\left\lvert A_1\left(\cos^2\theta + f\sin^2\theta\cos\alpha\right) - A_2\sin^2\theta\right\rvert \le 0$. *Проверка на отрыв вала от призмы:* $a_1 l + b_1 > 0;\ b_2 > 0;\ a_2 l + b_2 > 0;\ b_2 > 0,$ где r – радиус закрепляемого валика; l – его длина. Для нахождения α используется уравнение $\operatorname{tg}\alpha = \left[\frac{P_x \sin\theta}{f\cos\alpha} - f\left(P_z\sin\alpha + P_x\cos\alpha - \sin\theta\right)\right] \Big/ \left(p_{y.д} + g\right)$ которое решается методом итераций. Затем вычисляют значения A_1, A_2, A_3 и A_4: $A_1 = P_x / f\sin\alpha;\ A_2 = \left(P_z + P_x\cos\theta\operatorname{ctg}\alpha\right)/\cos\theta;$ $A_3 = -\left(A_2 rf\sin\alpha\cos\theta + P_2 x_0\right)/\cos\theta\left(1 + f\cos\alpha\right);$ $A_4 = \left\lvert P_x(r - y_0) + P_y x_0 + 0{,}5lg + A_1 rf\sin\theta - A_3\cos\theta\right\rvert / f\cos\alpha\cos\theta;$ $a_{1,2} = \left[0{,}5\left(A_3 \pm A_4\right) - 0{,}5l\left(A_1 \pm A_2\right)\right]12/l^3;$ $b_{1,2} = \left[0{,}5\left(A_1 \pm A_2\right) - 0{,}6\left[0{,}5\left(A_3 \pm A_4\right)\right] - 0{,}25l\left(A_1 \pm A_2\right)\right]/l^2$

Обозначения: P – внешняя сила (например, резания); x_0, y_0, z_0 – координаты точки ее приложения; P_x, P_y, P_z – составляющие силы резания; f – коэффициент трения-скольжения; K_3 – коэффициент запаса, $K_3 > 1{,}0$; $\varphi(x, y)$ – удельная сила магнитного притяжения в точке с координатами x и y;
$Q_м = Q_м - P_z + g$; g – сила тяжести заготовки.

При проектировании новых МСП приведенные в табл. 26 зависимости используют для нахождения $Q_м$ (или p_y) при известных (заданных) P, f, g, K_3 и т. д.

ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Приспособления к станкам токарной группы

Для установки заготовок на станках токарной группы наиболее широкое применение находят самоцентрирующие и поводковые патроны следующих конструкций.

Патрон токарный самоцентрирующий клиновой мод. ПКВ-250Ф8.95 конструкции ЭНИМСа (рис. 22) предназначен для центрирования и закрепления заготовок на токарных станках при больших частотах вращения шпинделя. Патрон имеет компенсацию центробежных сил кулачков. Расположение грузов-компенсаторов *1*, соединенных рычагом *3* с основными кулачками *4*, в специальных углублениях корпуса *2* обеспечивает высокую жесткость патрона, что обусловливает повышение точности обработки. Техническая характеристика приведена ниже.

Наружный диаметр, мм	250
Диаметр зажимаемых заготовок, мм	15 – 240
Высота корпуса с фланцем, мм	132
Частота вращения, $с^{-1}$, не более	4000
Сила зажима, кН	6
Масса, кг	40,2

Изготовитель – Барановичский завод станкопринадлежностей.

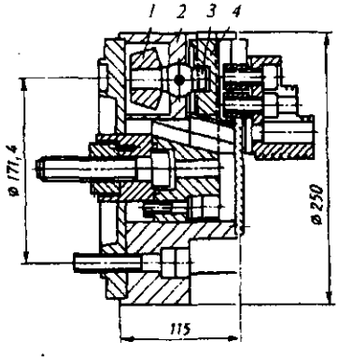


Рис. 22. Патрон токарный самоцентрирующий клиновой

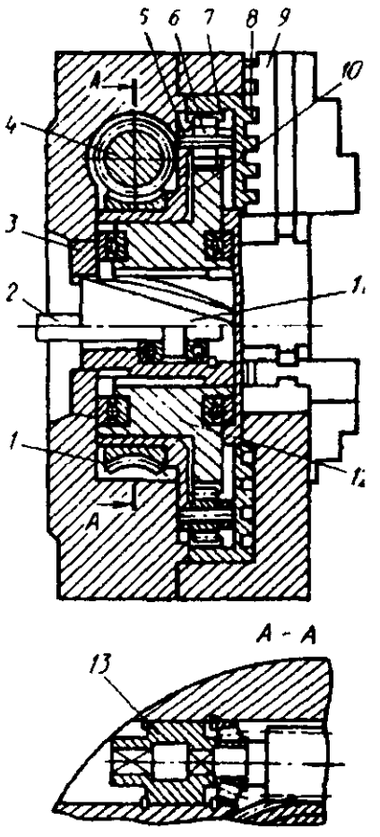


Рис. 23. Патрон с быстрой переналадкой положения кулачков

На рис. 23 показан патрон с быстрой переналадкой положения кулачков. Кулачки *9* патрона зацепляются со спиральным диском *8*, *в котором выполнен зубчатый венец 7* внутреннего зацепления, являющийся наружным колесом планетарной передачи. Центральная шестерня *10* передачи установлена на шлицевой втулке *12*, шлицы которой контактируют с пальцами ползуна *11*. Винтовые шлицевые пазы ползуна взаимодействуют с пальцами кольца *3*, закрепленного на корпусе патрона. На водиле *5* планетарной передачи установлены сателлиты *6* и колесо самотормозящейся червячной передачи. Выступы на торцах червяка *4* входят в отверстия втулок *13*. Для переналадки кулачков на требуемый диаметр ключом вращают втулку *13*, которая посредством червяка *4* и колеса *1* поворачивает водило *5*. При этом

сателлиты, обкатываясь по неподвижной шестерне *10*, вращают спиральный диск, перемещая радиально кулачки на требуемый диаметр.

Закрепление заготовки осуществляется механизированном (пневмо-, гидро- или электро-) приводом, закрепленным на заднем конце шпинделя станка. Привод перемещает тягу *2* и ползун *II* влево. При этом пальцы кольца *3*, входящие в винтовые пазы ползуна, поворачивают последний, в результате чего центральная шестерня *10* вращает сателлиты, поворачивая зубчатое колесо *7* и спиральный диск *8*, перемещающий кулачки, закрепляющие заготовку. При этом вследствие самоторможения червяка водило остается неподвижным.

Патроны самоцентрирующие клиновые быстропереналаживаемые конструкции ЭНИМСа (рис. 24) предназначены для центрирования и закрепления заготовок на токарных и токарно-револьверных станках в условиях серийного производства. Патрон состоит из корпуса *4*, двух кулачков (незакаленного *1* и основного *2*), крышки *3*, штифта *7*, эксцентрикового устройства *8*, с помощью которого осуществляется закрепление зажимных кулачков прижимом *6* после их переустановки, и штока *5*.

Зажим и разжим заготовки в патроне производятся от механизированного привода, установленного на заднем конце шпинделя станка. Применение эксцентрикового устройства позволило в 30 раз сократить время на переустановку кулачков. После переустановки каждого кулачка *1* на требуемый диаметр кулачки растачиваются. Отсутствие винтов для крепления кулачков позволяет располагать зажимные поверхности ближе к переднему торцу корпуса, что уменьшает вылет заготовки, повышает жесткость ее крепления.

Изготовитель – Барановичский завод станкопринадлежностей. Основные данные патронов приведены в табл. 27.

27. Технические характеристики токарных самоцентрирующихся клиновых быстропереналаживаемых патронов

Размеры, мм

Параметр	ПЗК-200Ф6	ПЗК-250Ф6	ПЗК-315Ф8	ПЗК-400Ф11	ПЗК-400Ф8
Диаметр наружный	200	250	315	400	
Диаметр присоединительного конуса	106, 375		139, 719,	196, 869	
Высота патрона *H*	105		125	135	
Диаметр изделия, зажимаемого в прямых кулачках:					
наименьший	20	20	30	30	
наибольший	80	100	140	150	
Диаметр изделия, зажимаемого внутренними ступенями кулачков:					
наименьший	80	90	100	100	
наибольший	200	250	315	400	
Диаметр изделия, зажимаемого наружными ступенями кулачков:					
наименьший	80	90	100	130	
наибольший	190	240	300	360	
Сила зажима, кН, не менее	40	50	60	60	
Масса патрона, кг	35,7	41,7	75,8	119	

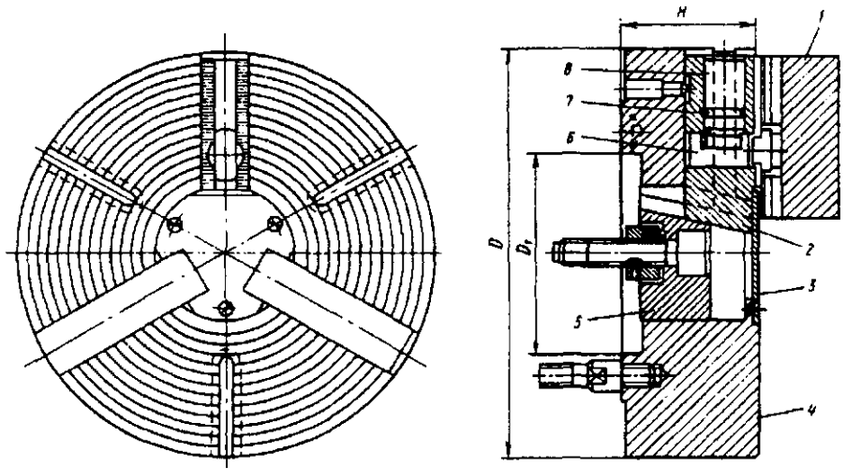


Рис. 24. Патрон быстропереналаживаемый

28. Технические характеристики токарных быстропереналаживаемых универсальных патронов

Размеры, мм

Параметр	ПЗК-У-250Ф6.93	ПЗК-У-315Ф8.93	ПЗК-У-315Ф8.95	ПЗК-У-400Ф8.93	ПЗК-У-400Ф8.95
Наружный диаметр	250	315	315	400	400
Высота патрона	120	150	150	150	165
Диаметр зажимаемой заготовки в прямых кулачках	20 – 100	30 – 140	30 – 140	30 – 150	30 – 150
Диаметр зажимаемой заготовки внутренними ступенями кулачков	90 – 250	100 – 315	100 – 315	140 – 400	140 – 400
Диаметр зажимаемой заготовки наружными ступенями кулачков	90 – 240	100 – 300	100 – 300	130 – 360	130 – 300
Диаметр заготовки при обработке в центрах	20 – 100	30 – 120	30 – 120	30 – 120	30 – 120

Примечания. Разработчик – ЭНИМС. Изготовитель – Барановичский завод станкопринадлежностей.

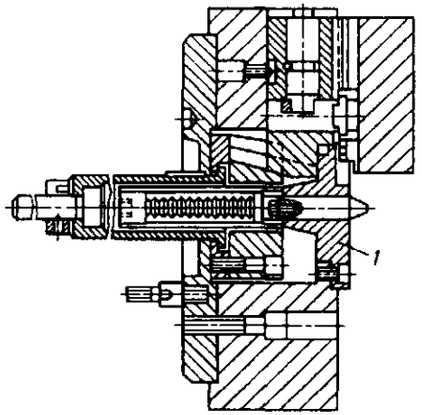


Рис. 25 Патрон быстропереналаживаемый универсальный

Патроны токарные быстропереналаживаемые универсальные (рис. 25) предназначены для центрирования и закрепления заготовок в кулачках либо в центрах, что достигается заменой сменной вставки *1* (табл. 28).

Патрон комбинированный мод. ПЗКП-315Ф8.95 (конструкции ЭНИМСа) (рис. 26) обеспечивает быструю замену кулачков и их быструю переналадку с зажима заготовки при ее установке в центрах на зажим заготовки при ее установке в кулачках (за счет смены втулки с плавающим центром на втулку с отверстием). При этом благодаря наличию отверстия патрон обеспечивает возможность обработки как штучных, так и прутковых заготовок.

Зажим и разжим заготовок в патронах осуществляются от гидравлических, пневматических или электромеханических приводов, устанавливаемых на заднем конце шпинделя станка. Для компенсации влияния центробежных сил на силу зажима при высокой частоте вращения шпинделя в конструкции патрона предусмотрено наличие контргруза *1*, соединенного рычагом *2* с основным кулачком *3*.

Патроны Барановичского завода станкопринадлежностей оснащаются одним комплектом закаленных многоступенчатых сменных универсальных кулачков и комплектом мягких

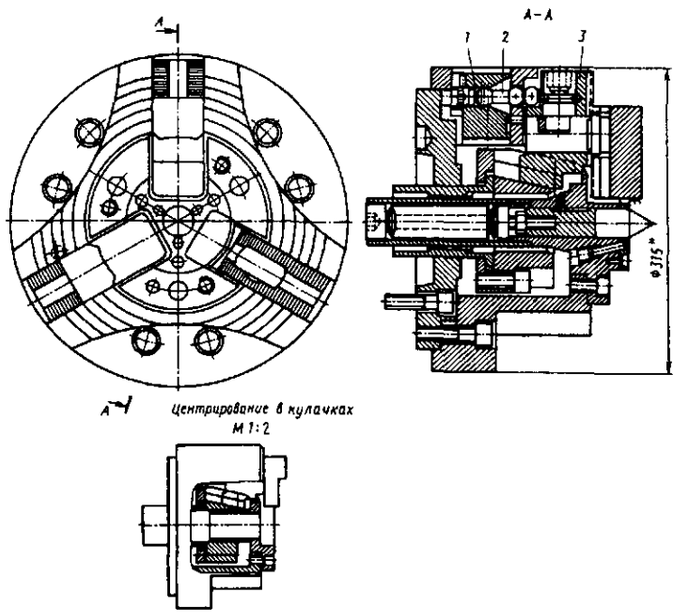


Рис. 26. Патрон комбинированный мод. ПЗКП-315Ф8.95

(сырых) кулачков с "мышиным зубом" для крепления их к основным кулачкам. Универсальные закаленные кулачки обеспечивают зажим заготовок, диапазон размеров которых предусмотрен технической характеристикой патронов. Однако конфигурация кулачков и длина зажимных губок ограничивают номенклатуру обрабатываемых заготовок. Поэтому помимо универсальных кулачков рекомендуется иметь кулачки с длиной зажимных губок 4, 6, 10, 16, 25 мм с разными профилями зажимных зубьев.

Кулачки с профилем зажимной части, выполненной по типу *I* (рис. 27), с площадью контакта 1 мм^2 предназначены для зажима заготовки с облоем и с большими уклонами, характерными для отливок и поковок. Кулачки с профилем зажимной части по типу *II* с площадью контакта на каждый зуб 3,1 – 4,6 мм^2 предназначены для зажима заготовок после черновой и получистовой обработки, а по типу *III* – после чистовых операций, поскольку они не оставляют следов на обработанной поверхности.

Кулачки могут быть выполнены цельными и сборными. Цельные кулачки выполняются как для патронных работ для зажима по наружной и внутренней поверхностям заготовки, так и для центровых работ. Сборные кулачки выполняют только по типам *II* и *III* для патронных работ для зажима по наружной поверхности. Вставки к сборным кулачкам выполняются закаленными и незакаленными (сырыми).

С целью обеспечения большей точности обработки (радиальное биение 0,015 – 0,04 мкм) применяют мягкие вставки, которые растачивают в патроне непосредственно перед обработкой данной партии заготовок. При этом кулачки необходимо зажимать специальным эталонным кольцом. Диаметр расточки должен быть равен диаметру зажимаемой обработанной шейки заготовки. Все закаленные цельные кулачки и вставки для наружного зажима шлифуются под максимальный для данного диапазона диаметр зажима, а кулачки для зажима по внутренней поверхности – под минимальный диаметр зажима.

Патроны ПЗКП-250Ф6.95 оснащаются одним центром, а патрон ПЗКП-315Ф8.95 – тремя различными центрами для установки в них заготовок с разными центровыми отверстиями. Плавающий центр в патроне подпружинен пакетом тарельчатых пружин, сжимаемых при утапливании центра под действием

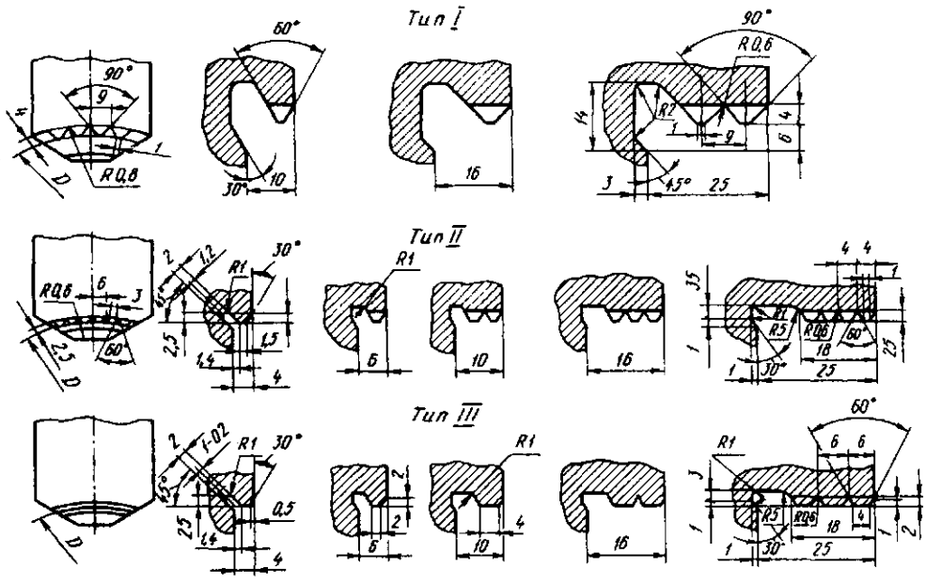


Рис. 27. Типы кулачков:
I – для зажима поковок, штамповок, отливок; *II* – для зажима черновых и получистовых поверхностей; *III* – для зажима чистовых поверхностей

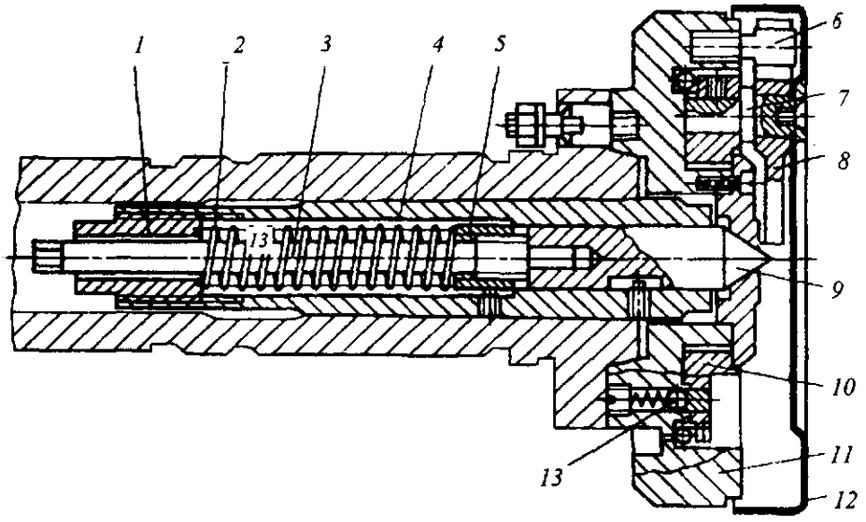


Рис. 28. Патрон поводковый

усилия заднего вращающегося центра, установленного в панели задней бабки. Величина усилий тарельчатых пружин в центре и поджима пиноли задней бабки к центру влияет на точность обработки. Высокая точность обработки обеспечивается при таком соотношении усилий поджима пиноли задней бабки и тарельчатых пружин, при котором гарантируется стабильность положения заготовки в радиальном направлении во время ее обработки.

Усилия тарельчатых пружин после контакта торца заготовки и опорной поверхности фланца патрона должны быть не менее 5,5 – 6,0 кН. Усилие поджима пиноли задней бабки на плавающий центр должно превышать усилие тарельчатых пружин после контакта заготовки с опорной поверхностью фланца патрона не менее чем на 7,5 – 8,0 кН.

Патрон поводковый мод. УГО 124.000000.000 (рис. 28) предназначен для зажима заготовок типа валов. В отверстие конусного хвостовика *4* установлены плавающий центр *9* и пружина *2*, расположенная между резьбовыми втулками *1* и *5*. В задний торец центра установлена штанга *3*. Корпус *11* патрона имеет проточку под диск *10*, в котором закреплены через 120° три пальца *6*. На диске установлены также три пальца *7*, на которых закрепляются сменные эксцентриковые кулачки *8* с зубчатыми поверхностями и поворотный кожух *12*. Диск *10*, поворачиваясь, увлекает за собой кулачки, которые пазами охватывают неподвижные пальцы *6* и, перемещаясь вместе с диском, поворачиваются относительно пальцев *7*, в результате чего кулачки равномерно захватывают заготовку, передавая ей крутящий момент.

Раскрытие кулачков осуществляется поворотом кожуха против часовой стрелки и фиксируется подпружиненным фиксатором *13*.

С патроном поставляются три комплекта сменных кулачков, на торцах которых маркируется диапазон диаметров заготовок.

Техническая характеристика приведена ниже (размеры в мм).

Наружный диаметр	252
Диапазон диаметров заготовок, зажимаемых комплектом сменных кулачков	17 – 76
Диаметр:	
присоединительного конуса	106; 375
расположения крепежных отверстий	133,4
крепежных болтов	М12
Габариты патрона:	
длина с плавающим центром	97
высота от торца шпинделя до торца кожуха	30

Разработчик – НПО "Литстанкопроект" (Вильнюс).

Изготовитель – Хмельницкий инструментальный завод.

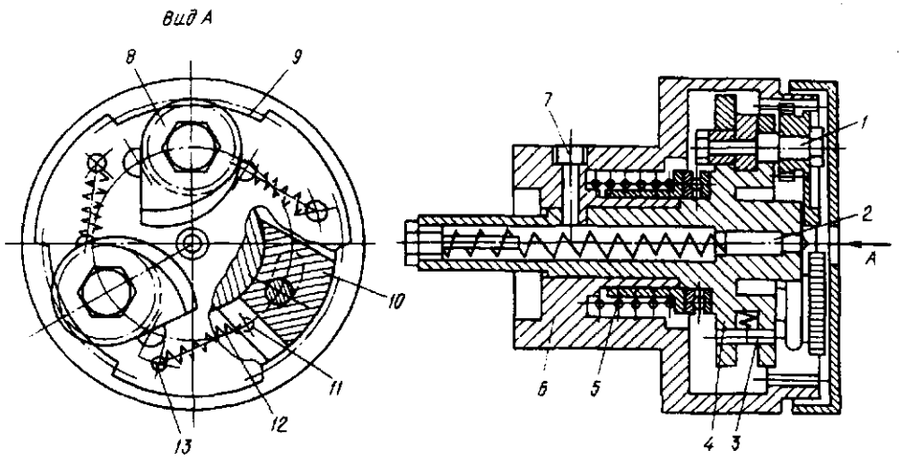


Рис. 29. Патрон поводковый с эксцентриковыми кулачками

Поводковый патрон с эксцентриковыми кулачками показан на рис. 29. Заготовка базируется по центровым отверстиям подпружиненным центром *2* патрона и доводится торцом до торца корпуса *4* патрона вращающимся центром задней бабки станка. При дальнейшем перемещении пиноли корпус *4* перемещается в осевом направлении, сжимая пружину *5*. При этом винтовой паз корпуса *4* взаимодействует с концом винта 7, установленным в корпусе *6*, в результате чего корпус *4* поворачивается по часовой стрелке. В корпусе *4* выполнен кольцевой паз *3*, в котором установлены сухари *10* с закрепленными на них осями *1*.

При повороте корпуса *4* установленные на осях *1* кулачки *8* с зубчатыми колесами, зацепляющимися с зубчатыми секторами *9*, выполненными на неподвижном корпусе *6*, поворачиваются против часовой стрелки до соприкосновения с заготовкой с усилием натяга, создаваемым пружинами *12*, закрепленными на штифтах *11* и *13* в корпусе *4* и сухарях *10*. При дальнейшем повороте корпуса *4* до упора в корпус *6* сухари *10* перемещаются в кольцевом пазу корпуса *4*, растягивая пружины *12*. При этом корпус *4* с кулачками *8*, заготовка и защитный кожух перемещаются в осевом направлении. Два комплекта сменных кулачков обеспечивают возможность обработки валов диаметром 8 – 10 мм.

Инерционный патрон с эксцентриковыми кулачками конструкции НИИПТмаш (г. Краматорск) (рис. 30) предназначен для передачи крутящего момента заготовкам типа валов, устанавливаемых в центрах. Эксцентриковые кулачки *3* зафиксированы на осях *7* посредством штифтов и закреплены через шайбы *8* винтами *9*. Оси запрессованы в корпус *5* и закреплены винтами. Рычаги *1* установлены на осях между корпусом и диском *6*. К рычагам винтами *2* крепятся грузы. В рычагах по окружности выполнены пять отверстий под штифт *14*, запрессованный в кулачок, что обеспечивает возможность установки кулачков в различных угловых положениях при наладке кулачков на различные диаметры.

Патроны двух типоразмеров позволяют обрабатывать заготовки диаметром 8 – 100 мм. К штырям *12*, установленным на рычаге и в корпусе, прикреплены пружины *13*, которые разводят кулачки в исходное положение по окончании обработки заготовки.

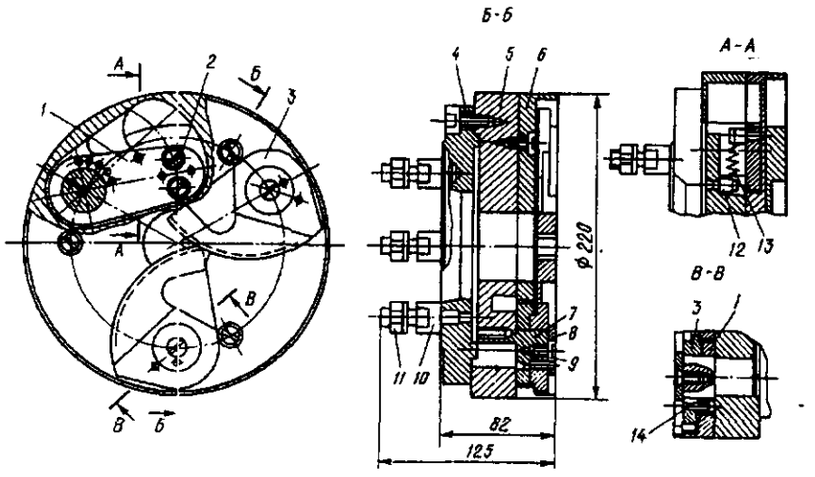


Рис. 30. Инерционный патрон

На корпусе закреплен переходный фланец *4* с отверстием, соответствующим наружному посадочному размеру шпинделя станка. Патрон закреплен на шпинделе станка шпильками *10* и гайками *11*. После включения станка под действием центробежной силы грузы расходятся, и кулачки касаются заготовки. Под действием силы резания кулачки закрепляют заготовку.

Патроны поводковые штырьковые и зубчатые. Такие патроны позволяют производить обработку заготовок за один установ. Заготовка устанавливается в центрах: переднем плавающем *2* и заднем вращающемся *4*. Крутящий момент передается заготовке штырьками или зубьями. Заготовка *3* поджимается передним торцом к штырькам *8* патрона *1* гидроцилиндром *7* посредством заднего центра *4*, установленного в пиноли *5* задней бабки *6* (рис. 31).

Наиболее распространенные конструкции поводковых патронов приведены в табл. 29.

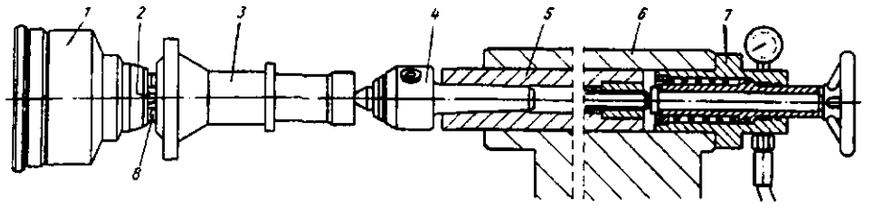
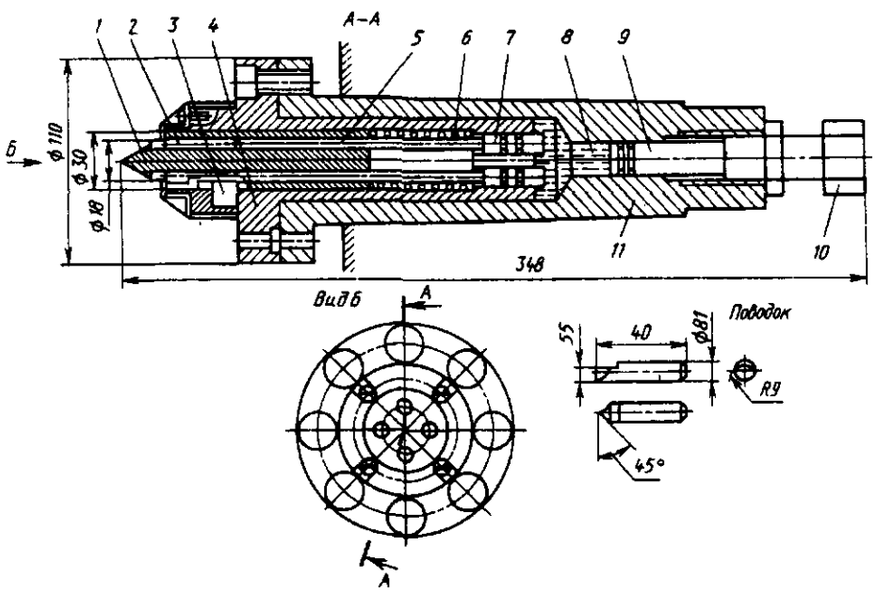


Рис. 31. Заготовка, установленная в штырьковом поводковом патроне и вращающемся заднем центре

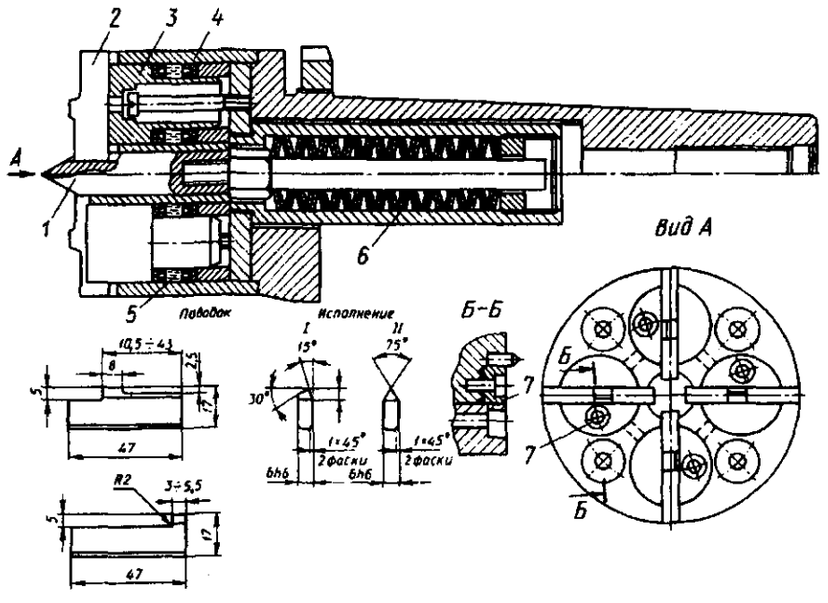
29. Конструкции поводковых штырьковых патронов

Эскиз, характеристика и принцип работы

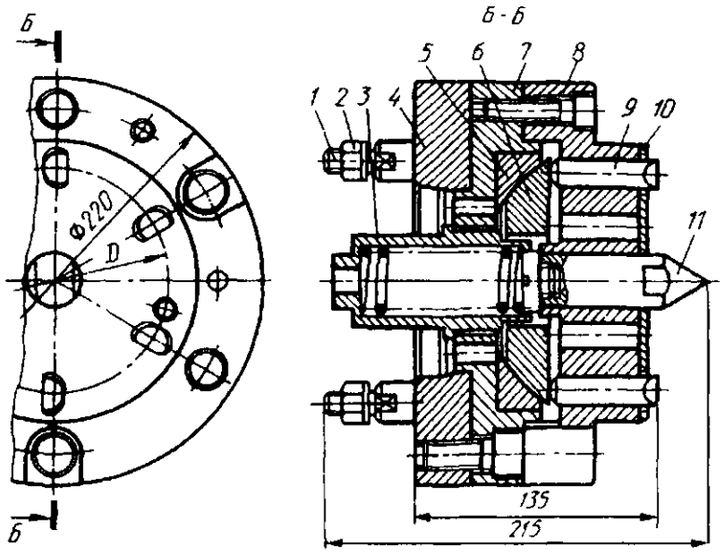


Патрон поводковый штырьковый конструкции ЭНИМСа состоит из хвостовика *11* и корпуса *4*. В отверстии корпуса установлен плавающий центр *1*, подпружиненный пружиной *6*. Шпонка *3* передает крутящий момент поводкам *2*. При поджиме заготовки вращающимся центром задней бабки в ее торец вдавливаются поводки *2*. Последние через толкатели *5* и плунжеры *7* опираются на гидропласт *8*, что обеспечивает равномерное вдавливание штырьков в торец заготовки даже при его неперпендикулярности относительно оси центров. Плунжер *9* с винтом *10* закрывает осевое отверстие после заполнения его гидропластом.

Продолжение табл. 29

Эскиз, характеристика и принцип работы

Переналаживаемый поводковый патрон конструкции Одесского завода прецизионных станков. В корпусе патрона установлен центр *1*, подпружиненный пружиной *6*. В отверстиях корпуса *4* установлены четыре втулки *3*, опирающиеся на гидропласт *5* (во втулках выполнены планки *2* с поводками). Переналадка патрона осуществляется перемещением планок *2* относительно втулок *3* к центру или от центра патрона. Положение планок фиксируется шайбами *7* посредством винтов.

Продолжение табл. 29

Эскиз, характеристика и принцип работы

Переналаживаемый штырьковый поводковый патрон конструкции НИИПТМАШ (г. Краматорск) предназначен для установки заготовок типа валов диаметров 80 – 240 мм. Патрон устанавливают на шпинделе станка посредством фланца *4* и закрепляют шпильками *1* и гайками *2*. Заостренные штырьки могут переустанавливаться в корпусе *8* по различным окружностям в зависимости от диаметра заготовок. Сменные крышки *10*, закрепляемые на корпусе *8*, имеют соответствующие овальные отверстия, входящие в лыски штырьков *9*, для предотвращения их от проворота. Корпус *8* соединен с переходником *7*. Штырьки *9* опираются сферическими концами на сферическую пяту *6*, установленную на подпятнике *5*, что обеспечивает самоустановку штырьков по торцу заготовки. Вылет плавающего центра *11* и регулировка силы пружины осуществляется вращением стакана *3* за предусмотренные для этой цели лыски. При установке заготовки в центрах вращающийся центр задней бабки поджимает заготовку в осевом направлении и штырьки врезаются в торец заготовки на одинаковую глубину независимо от неперпендикулярности торца заготовки относительно ее оси.

ПРИСПОСОБЛЕНИЯ К СТАНКАМ ФРЕЗЕРНО-СВЕРЛИЛЬНО-РАСТОЧНОЙ ГРУППЫ

Базирование заготовок на станках данной группы преимущественно выполняется по следующим схемам: по трем плоскостям в "координатный угол"; по плоскости и двум отверстиям.

В отличие от приспособлений к универсальным станкам для приспособлений к станкам с ЧПУ важно осуществление полного их базирования на столах станков, что значительно сокращает подготовительно-заключительное время, связанное со сменой приспособлений, так как исключает выверку приспособлений на столе станка и упрощает разработку управляющих программ.

Приспособление при наличии на столе станка продольных и поперечных пазов базируется шпонками или штифтами по пазам; при наличии продольных пазов и центрального отверстия – по пазу и отверстию двумя штифтами. Если на столе станка имеются только продольные пазы, то базирование осуществляется двумя шпонками, а лишение шестой степени свободы выполняется установкой инструмента в исходную точку обработки по щупу и установу; на стайках, имеющих автоматическую коррекцию настройки – щупами с автоматическим изменением положения нуля отсчета программы. Возможно также базирование корпуса приспособления по двум плоскостям в координатный угол с помощью точно изготовленного и выверенного угольника, устанавливаемого и закрепляемого в продольных пазах стола станка.

Преимущественное распространение для станков с ЧПУ фрезерно-сверлильно-расточной группы получили переналаживаемые стандартные системы станочных приспособлений: УБП, УНП, СНП, УСП, СРП и УСПО.

Универсально-безналадочные приспособления. Тиски пневматические поворотные с переустанавливаемой опорной губкой показаны на рис. 32. Тиски состоят из основания *11* и поворотного корпуса *10* со встроенным пневмоцилиндром *9*. При повороте рукоятки *6* распределительного крана в положение зажима сжатый воздух поступает в штоковую полость пневмоцилиндра, в результате чего поршень *7* со штоком *8* опускаются вниз, поворачивая по часовой стрелке рычаг *1*. Рычаг перемещает подвижную губку *2* вправо, прижимая обрабатываемую заготовку к неподвижной губке *3*.

Быстрая переналадка подвижной губки осуществляется поворотом последней посредством рукоятки *5* против часовой стрелки, при этом выступ планки *4* выходит из паза корпуса тисков. После этого губку перемещают в требуемое положение до тех пор, пока выступ планки *4* не войдет в соответствующий паз корпуса. Техническая характеристика приведена ниже (размеры в мм).

Размер обрабатываемой заготовки	20 – 240
Ход зажимной губки, не более	20
Размер губок	250 × 105
Диаметр пневмоцилиндра	260
Усилие зажима (при давлении воздуха 0,4 МПа), кН	25

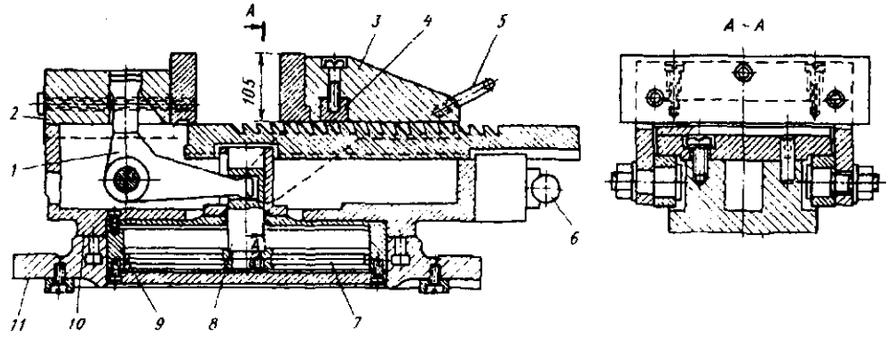


Рис. 32. Тиски пневматические с переустанавливаемой губкой

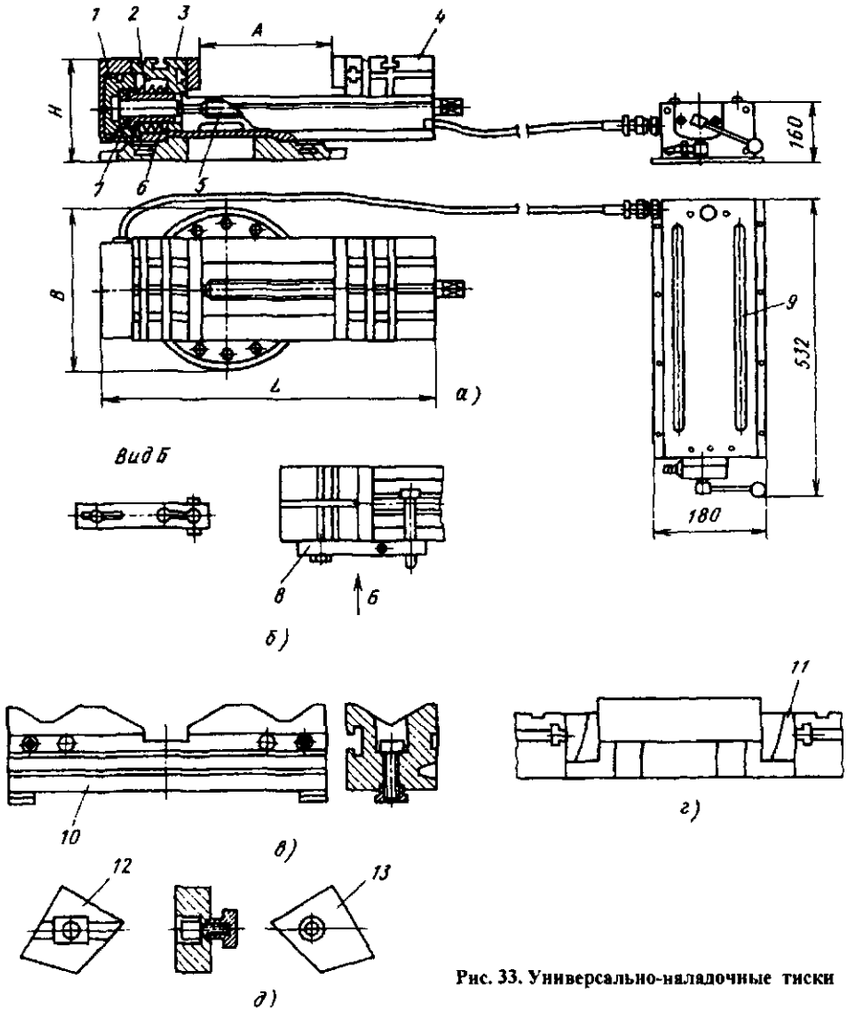


Рис. 33. Универсально-наладочные тиски

Универсально-наладочные приспособления. Универсально-наладочные тиски с пружинно-гидравлическим приводом показаны на рис. 33. Обрабатываемые заготовки устанавливаются в сменных наладках. Тиски (рис. 33, *а*) состоят из корпуса с неподвижной губкой *3*. В расточку корпуса установлен поршень *1*. Пакет тарельчатых пружин *2* через буртик втулки *6* и упорный подшипник *7* перемещает влево посредством винта *5* подвижную губку *4*, зажимающую заготовку.

При раскреплении заготовки в гидроцилиндр поступает масло от источника давления. Под действием давления масла поршень *1* перемещается вправо, сжимая пакет тарельчатых пружин *2*. При этом винт *5* перемещает губку *4* вправо, раскрепляя заготовку. Источником давления масла является пневмогидравлический усилитель *9*, создающий давление масла 5 – 6 МПа при давлении воздуха 0,4 – 0,5 МПа. Тиски могут работать также от любой гидравлической станции.

На верхней и боковых поверхностях подвижной и неподвижной губок выполнена сетка

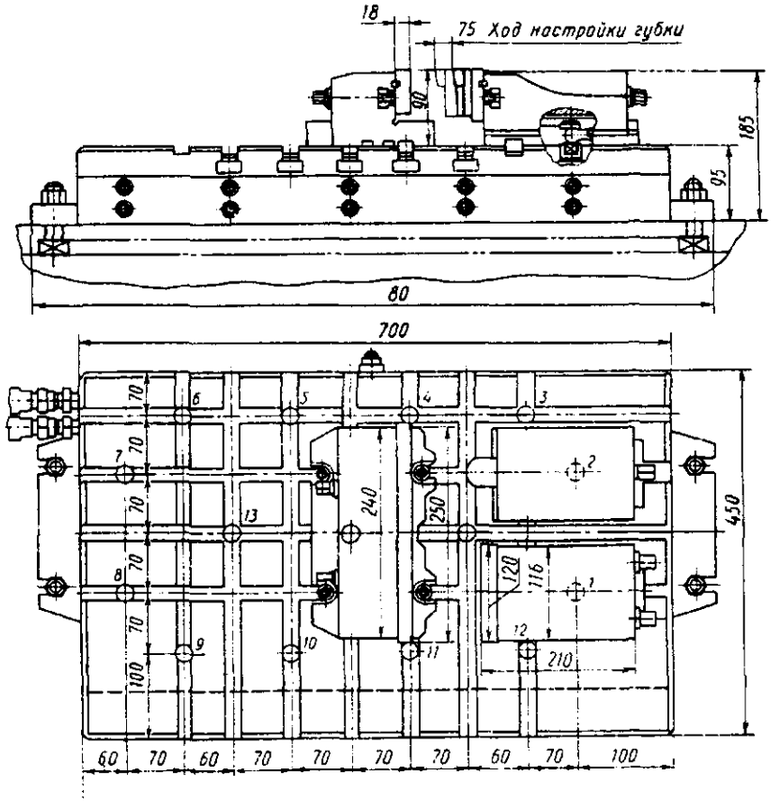


Рис. 34. Система универсально-наладочных приспособлений Д7206-4001

Т-образных и шпоночных пазов, предназначенных для установки и закрепления сменных наладок как специальных, так и компонуемых из элементов УСП. Для этой цели сетка пазов выполнена размером 8, 12 или 16 мм в зависимости от типоразмера диска. Для базирования заготовок по длине применяется упор *8* (рис. 33, *б*) закрепленный на боковой поверхности тисков.

Для установки заготовок цилиндрической формы используются наладки-призмы *10* (рис. 33, *в*). Для поджима заготовок вниз к направляющим корпуса применяются клиновые губки *11* (рис. 33, *г*). Для установки заготовок под углом наклона плоскости *15*, *30*, *45* и 60° используются угловые наладки-кулачки *12* и *13* (рис. 33, *д*).

Система универсально-наладочных гидравлических приспособлений мод. Д7206-4001 конструкции ГПТИ Древстанкопрома (г. Псков) состоит из базовой части и сменных наладок – комплекта базирующих и зажимных элементов для установки заготовок на фрезерных станках с ЧПУ (рис. 34). Базовой частью является стол со встроенными гидроцилиндрами двустороннего действия, что обеспечивает возможность их использования в зажимных устройствах как тянущих, так и толкающих.

Не участвующие в работе цилиндры выключаются поворотом штока на 90°. Стол базируется по пазу стола станка посредством двух шпонок и закрепляется четырьмя винтами. На верхней поверхности плиты выполнена сетка пазов, предназначенная для установки и закрепления сменных базирующих элементов и зажимных устройств в процессе компоновки универсально-наладочных приспособлений.

Используются также разновидности системы УНП Д7206 – 4002 ... 4006, отличающиеся, в основном, конструкцией базовых плит.

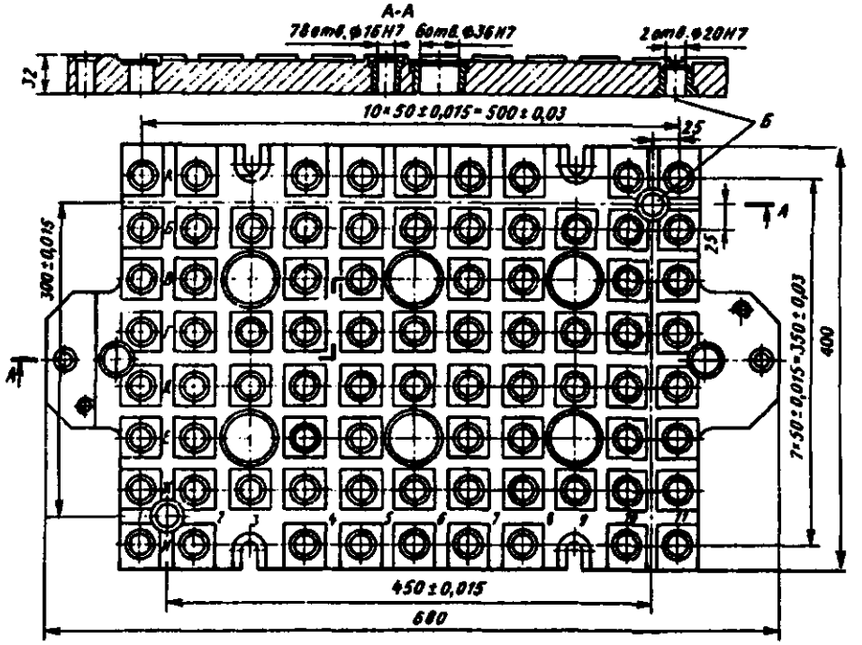


Рис. 35. Базовая плита Д7306-4002

Базовая плита мод. Д7306-4002 (рис. 35) применяется в качестве переходного элемента компоновок универсально-наладочных приспособлений. На плите выполнена сетка пазов и координатно-фиксирующих отверстий (КФО) для базирования и закрепления сменных наладок, компонуемых из универсальных базирующих и зажимных элементов. Плита базируется на столе Д7306-4003 по плоскости и двум отверстиям и закрепляется четырьмя болтами. Началом отсчета координат является точка *Б*.

При наличии двух базовых плит съем и установку сменных наладок можно производить вне станка во время его работы. Техническая характеристика приведена ниже (размеры в мм).

Диаметр КФО	16*Н7*
Расстояние между КФО	50 ± 0,015
Габаритные размеры	80 × 400 × 32

Специализированные наладочные приспособления. Система специализированных наладочных приспособлений СНП – ЧПУ разработана МГКТИ "Техоснастка". Приспособления этой системы предназначены для установки заготовок родственных по конфигурации деталей различных типоразмеров на станках с ЧПУ сверлильной и фрезерной групп.

Комплект СНП – ЧПУ состоит из различных базовых сборочных единиц, каждая из которых предназначена для установки заготовок деталей определенной формы. Установка заготовок различных типоразмеров осуществляется благодаря переналадке приспособления путем замены сменных наладок или регулирования установочных и зажимных элементов. Время переналадки не более 30 мин.

Основой приспособлений является плита или угольник с сеткой координатно-фиксирующих и крепежных отверстий, предназначенных для базирования и закрепления устройств, обеспечивающих стабильность положения заготовок при их обработке. Эти устройства подразделяются на базирующие и зажимные.

В качестве базирующих устройств применяют упоры, призмы, губки тисков, кулачки патронов и др., в качестве зажимных устройств – губки, кулачки, прихваты и другие элементы, связанные со штоком приставного гидроцилиндра. Сменные наладки для установки конкрет-

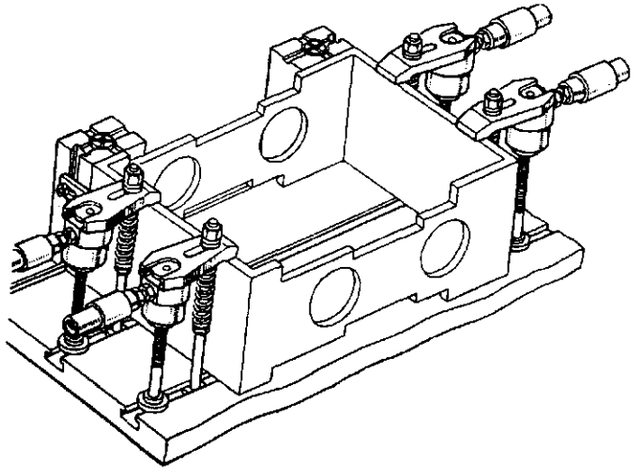


Рис. 36. Приспособление для фрезерования пазов в деталях типа коробки

ных заготовок фиксируются по точным пазам или отверстиям, выполненным на базовых поверхностях приспособлений. Точность обработки заготовок, установленных в СНП – ЧПУ, не ниже 12-го квалитета. Техническая характеристика приспособлений приведена ниже.

Диаметр базовых отверстий, мм 12*H*6

Диаметр крепежных элементов М16

Ход поршня, мм 12

Усилие на штоке гидроцилиндра (при давлении масла 10 МПа), Н, при диаметре поршня .....
63 мм 19,600
80 мм 34 300

Изготовитель – ПТО "Союзтехоснастка".

Универсально-сборные приспособления. Система механизированных универсально-сборных приспособлений (УСПМ – ЧПУ) вы-пускается двух видов: с крепежным болтом и соединительным пазом размерами 12 и 16 мм (УСПМ-12 – ЧПУ и УСПМ-16 – ЧПУ).

Элементы средств механизации обеспечивают полную взаимособираемость со стандартными деталями и сборочными единицами УСП соответствующего размера. С помощью переходных ступенчатых шпонок и шпилек в одной компоновке можно применять средства механизации с разными пазами.

Детали и сборочные единицы УСПМ с пазами 12 и 16 мм применяют для сборки механизированных приспособлений, предназначенных для установки заготовок на станках с ЧПУ фрезерной и сверлильной групп в условиях мелкосерийного и серийного производства.

При обработке на станке идентичных по способу закрепления заготовок, когда за станком закреплена определенная номенклатура деталей, из средств механизации и элементов УСП собирается групповое приспособление. При необходимости к нему изготовляют дополнительные элементы. При переналадке приспособление со станка не снимается. Таким образом обеспечивается специализированное рабочее место для обработки определенных групп деталей. Для обработки новой группы деталей приспособление заменяется.

В условиях частой смены обрабатываемых на данном станке деталей для каждой деталеоперации собирается компоновка, которая передается на станок либо с приводом, либо без него – в случае, когда привод постоянно закреплен и установлен на станке.

Механизированные УСП с пазами 12 мм рекомендуется применять для обработки деталей габаритами до 400 × 400 × 260 мм при усилии, необходимом для закрепления заготовок, не более 30 кН. Для обработки заготовок бо́льших габаритов и в случаях, когда требуется увеличение зажимных усилий, необходимо применять расширенный механизированный комплект УСП с пазами 16 мм.

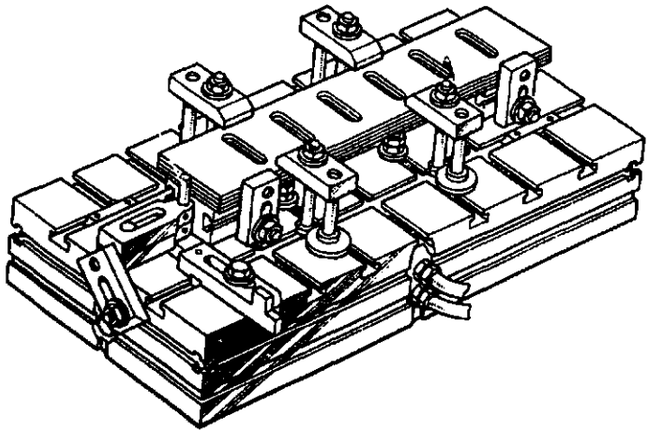


Рис. 37. Приспособление для обработки деталей типа сепаратора

По конструктивным данным и назначению детали и сборочные единицы комплектов средств механизации делятся на шесть основных групп: базовые детали, гидравлические цилиндры, опорные прижимные и установочные элементы, гидропривод и арматура.

Базовые детали и сборочные Прижимные детали и сборочные единицы обеспечивают зажим обрабатываемых заготовок в приспособлениях. К этой группе относятся: прижимы гидравлические, прихваты самоустанавливающиеся единицы (блоки гидравлические, губки – подвижная и неподвижная, прямоугольные плиты) предназначены для создания базовых оснований собираемых приспособлений.

Гидроцилиндры обеспечивают передачу силы зажима на прижимные элементы.

Опорные элементы (опоры прямоугольные, планки, корпуса, подкладки, опоры регулируемые) предназначены для установки и закрепления гидроцилиндров в собираемых приспособлениях в необходимом положении и для базирования обрабатываемых заготовок.

, ступенчатые и вильчатые, прижимы клиновые и эксцентриковые.

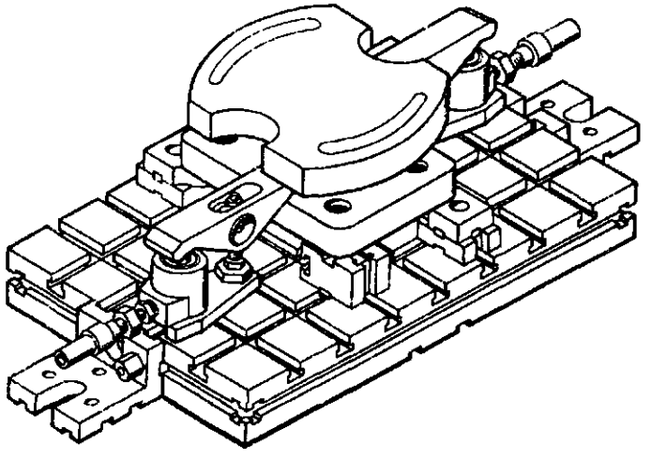


Рис. 38. Приспособление для обработки контура и пазов детали типа основания

Установочные детали и сборочные единицы (упоры регулируемые, угольники, установ, переходные шпонки, вкладыши) служат для базирования заготовок, а также для взаимной фиксации элементов приспособления.

Гидропривод и арматура обеспечивают рабочее давление в гидравлических устройствах собранных приспособлений. К этой группе относятся: пневмогидропреобразователь, гидроусилитель, резинометаллические рукава, штуцера, коллектор.

В качестве привода механизированных УСП может быть использован любой источник давления, обеспечивающий одновременную подачу масла не менее 500 см^3 под давлением 10 МПа.

С деталями и сборочными единицами механизированных УСП в качестве гидропривода поставляются индивидуальные (для обслуживания одного станка) пневмогидропреобразователи, которые преобразуют низкое давление воздуха в высокое давление масла.

Комплект элементов УСПМ – ЧПУ приведен в каталоге 31.112. 40–83 "Система стандартов технологической оснастки. Детали, сборочные единицы и средства механизации универсально-сборных приспособлений к металлорежущим станкам".

Примеры применения УСПМ – ЧПУ показаны на рис. 36 – 38.

Сборно-разборные приспособления. Система СРП – ЧПУ конструкции МГКТИ "Техоснастка" предназначена для установки различных по конфигурации заготовок при механической обработке на фрезерных и сверлильных станках с ЧПУ в серийном производстве. Детали и сборочные единицы системы СРП – ЧПУ представляют собой набор элементов, из которых можно компоновать различные специальные приспособления. Переналадка приспособлений обеспечивается перекомпоновкой, регулированием или сменой специальных наладок.

Комплект состоит из элементов (деталей и сборочных единиц), предназначенных для агрегатирования разнообразных сборно-разборных приспособлений, используемых при обработке заготовок на станках с ЧПУ.

В комплект СРП – ЧПУ входят сборочные единицы и детали, которые в соответствии с назначением образуют три группы: базовые сборочные единицы, прижимы, установочно-опорные элементы и крепежные детали.

В группу базовых включены прямоугольные и круглые плиты, угольники, делительные стойки, тисочные губки, регулируемые призмы, т.е. наиболее крупные элементы, которые служат основанием сборно-разборного приспособления. К группе прижимов относятся прижиты с ручным и гидравлическим приводами, боковые зажимы.

В группу установочно-опорных элементов крепежных деталей входят боковые опоры различных видов, подводимые опоры, крепежные детали (прихваты, болты, шпильки, гайки и др.).

Комплект элементов СРП – ЧПУ обеспечивает механизированное закрепление заготовок. Для этого служат входящие в состав комплекта прямоугольные и круглые плиты с встроенным гидравлическим приводом и гидравлические прижимы.

Возможны следующие варианты применения базовых плит или угольников:

плита устанавливается постоянно на стол станка и используется как его стационарная принадлежность;

на плите или угольнике компонуется специальное приспособление долговременного применения, при этом допускается дополнительная сборка деталей и сборочных единиц;

плита или угольник с наладками снимаются со стола; на столе станка могут быть установлены одновременно две плиты, и станок может работать в "маятниковом" режиме; при этом обеспечивается смена заготовки в одном из приспособлений вне рабочей зоны станка во время обработки заготовки, установленной в другом приспособлении;

базовая плита со скомпонованным на ней приспособлением снимается со стола станка для смены заготовки вне станка во время обработки заготовки в приспособлении-дублере.

Гидрофицированные зажимные элементы работают при давлении масла 10 МПа. В качестве элементов базирования системы СРП – ЧПУ принята сетка координатных отверстий, выполненных по 7-му квалитету. Жесткость базовых плит СРП – ЧПУ примерно в 2 раза выше жесткости базовых плит УСП, что объясняется отсутствием поперечных Т-образных пазов и выборок с нижней стороны плиты.

Приспособления на станке имеют полное базирование относительно системы координат станка. Для этой цели на столе станка с ЧПУ приспособления фиксируют по центральному отверстию посредством пальца, а по центральному калиброванному пазу – шпонками и крепят прихватами, болтами, гайками. Элементы сборно-разборного приспособления соединяются между собой с помощью болтов, шпилек, винтов, гаек и фиксируются относительно друг друга системой палец – отверстие (в отличие от УСП, где фиксация элементов осуществляется системой шпонка – паз).

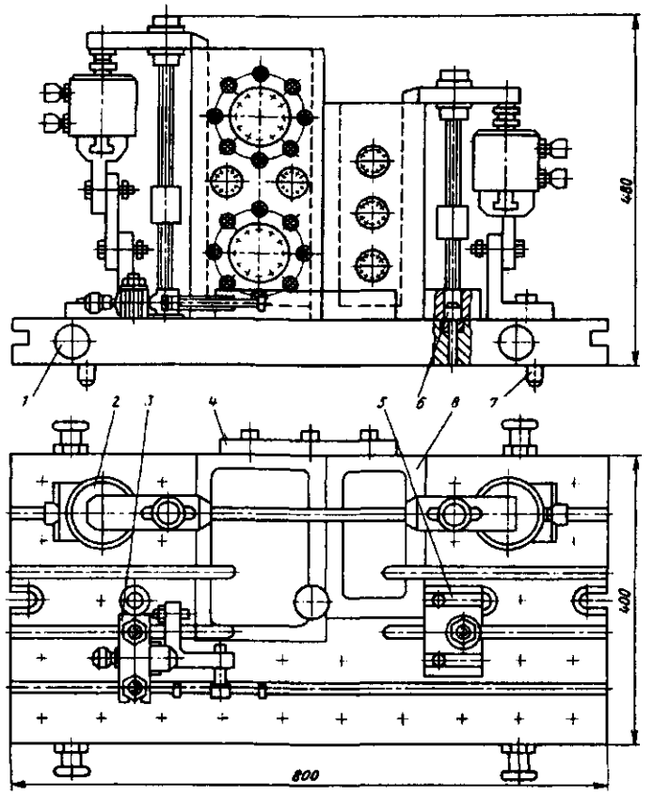


Рис. 39. Сборно-разборное приспособление для установки заготовок деталей типа корпуса при растачивании отверстий:
1 – плита; *2, 3* – прижимы; *4, 5* – планки; *6, 7* – пальцы базирующие; *8* – заготовка

Пример применения сборно-разборного приспособления приведен на рис. 39.

Система сборно-разборных приспособлений для многоцелевых станков – обрабатывающих центров (СРП-22 – ЧПУ), разработанная МГКТИ "Техоснастка". Комплект СРП-22 – ЧПУ предназначен для станков с рабочей площадью поворотного стола от 800 × 800 мм до 1250 × 1250 мм. Комплект включает базовые сборочные единицы, установочные сборочные единицы, прижимные сборочные единицы.

К базовым сборочным единицам относятся квадратные плиты с Т-образными крепежными пазами *а* и сеткой *б* координатно-фиксирующих отверстий (рис. 40, *а*), предназначенных для фиксации сменных наладок. Для предохранения отверстий от грязи и стружки они закрыты подпружиненными пробками. При сборке приспособлений пробки могут утапливаться и фиксироваться в этих положениях замковыми устройствами.

Центральное отверстие диаметром 90 мм предназначено для фиксации плиты относительно центрального отверстия стола станка. На нижней поверхности плиты имеются два отверстия для фиксации по центральному пазу стола станка посредством шпонок. Для крепления плит к столу станка выполнены два П-образных паза *в*. К боковым плоскостям могут быть прикреплены опорные планки шириной 125 мм с Т-образными пазами. Координатно-фиксирующие отверстия имеют буквенно-

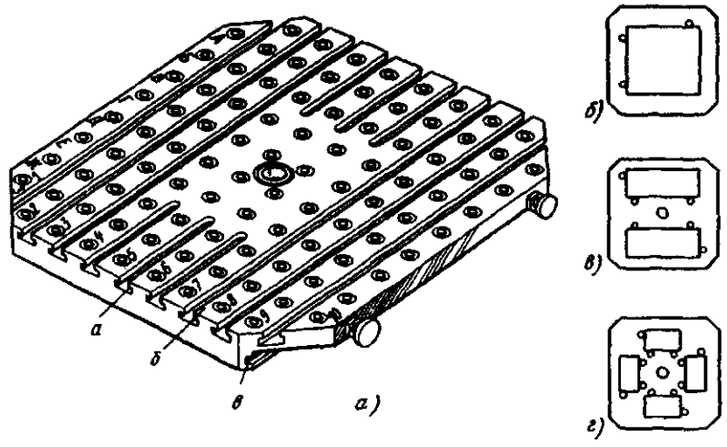


Рис. 40. Квадратная плита и схемы установки корпусных деталей

цифровую индикацию. На рис. 40, *б-г* показаны схемы установки заготовок (*б* – одной заготовки; *в* – двух заготовок; *г* – четырех заготовок).

К базовым сборочным единицам относится также секционный угольник. Секция угольника (рис. 41, *а*) представляет собой куб, на двух взаимно перпендикулярных поверхностях которого выполнены Т-образные пазы *а* и сетки координатно-фиксирующих отверстий *б*. Глухие отверстия *в* предназначены для установки вставок с шифрами отверстий. На нижнем основании угольника имеются два отверстия для фиксации угольника на плите или столе станка, а в центре основания выполнено отверстие для фиксации угольника по центральному пазу стола. Схемы вариантов

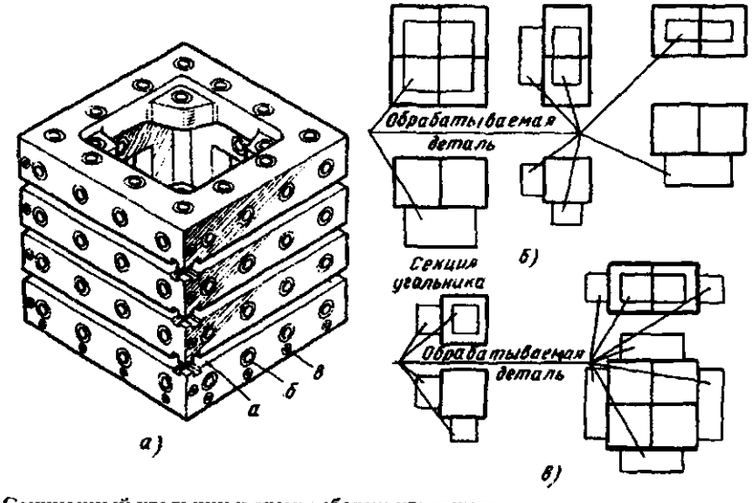


Рис. 41. Секционный угольник и схемы сборки угольника

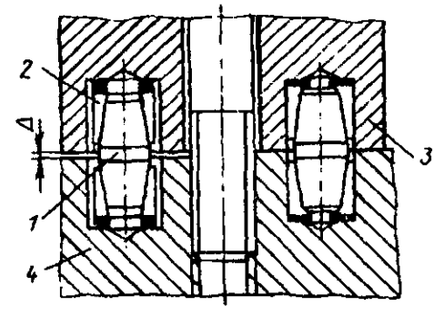


Рис. 42. Беззазорный штифтовой способ соединения элементов

сборки угольников показаны на рис. 41, *б* и *в*. Для установки заготовок на пяти плоскостях угольника предусмотрена верхняя плита с Т-образными пазами и сеткой координатно-фиксирующих отверстий.

Установочные сборочные единицы включают универсальные регулируемые опоры, регулируемые подводимые опоры, винтовые подпорки, опорные планки, домкраты, регулируемые распорки, одно-, двух- и трехпазовые опорные планки. Конструкция их аналогична конструкции деталей из комплекта СРП – ЧПУ.

Прижимные сборочные единицы включают гидравлические секционные прижимы, отводимые прихваты, вилкообразные и поворотные прихваты, прихваты, клиновые прижимы.

Система универсально-сборной и переналаживаемой оснастки (УСПО). Такая система разработана МГКТИ "Техоснастка". Основой комплекса являются детали и сборочные единицы различных конструкций, имеющие конкретное функциональное назначение, из которых методом агретатирования можно компоновать без пригонки приспособления для выполнения любых операций. В отличие от системы УСП вместо шпоночного соединения элементов приняты беззазорные способы (штифтовой или шариковый) базирования элементов.

Зазоры в соединении выбираются в результате разжима разрезных втулок или сжатия разрезных шариков. При штифтовом способе два элемента, имеющих глухие цилиндрические отверстия, фиксируются на два сборных штифта (рис. 42). Каждый штифт состоит из пальца *1* с двумя коническими поверхностями, двух разрезных втулок *2* и двух эластичных шайб. При сборке соединения под действием силы, создаваемой болтом или шпилькой, опора *3* прижимается к плите *4*. При этом донышки отверстий давят через шайбы на втулки, которые, перемещаясь по пальцу, увеличиваются в диаметре, выбирая зазор Δ, и создают натяг в соединении.

Вследствие отсутствия Т-образных пазов, ослабляющих конструкции, высота базовых конструкций уменьшена. Повышение жесткости элементов за счет отсутствия пазов, ликвидации зазоров и увеличения диаметров крепежных болтов позволяет увеличить скорость резания в 1,7 раза по сравнению с УСП.

Комплекс УСПО подразделяется на две серии (3-ю и 4-ю), отличающиеся в друг от друга диаметрами крепежных элементов, а также габаритными и установочными размерами. Сетка расположения установочных отверстии диаметрами 10 и 12 мм и резьбовых отверстий М16 и М20 в сериях имеет соответственно шаг 30 и 40 мм. Расстояние между установочными отверстиями равно половине шага: 15 и 20 мм. Расстояния между осями любой пары установочных отверстий выполняются с допуском ±0,02 мм, а между осями любой пары резьбовых отверстий с допуском ±0,2 мм. К группе базовых немеханизированных деталей комплекса относятся элементы, используемые в компоновках приспособлений в качестве их оснований.

По функциональному назначению элементы комплекса УСПО подразделяются на следующие группы: базовые, корпусные, установочные, направляющие, зажимные, крепежные, средства механизации зажима заготовок, разные. Техническая характеристика наборов УСПО приведена в табл. 30.

К группе корпусных деталей относятся элементы комплекса, предназначенные для создания корпусов приспособлений. К этой группе относятся опоры квадратного и прямоугольного сечения, проставки, установочные угольники, соединительные планки, опоры различных форм с отверстиями и т.д.

Все корпусные детали почти на всех своих плоскостях имеют установочные и крепежные отверстия, расположенные в соответствии со схемой, характерной для каждой серии элементов. Основой построения конструкций всех элементов группы корпусных деталей является модуль, т.е. квадрат со сторонами в зависимости от серии. Для серий 10 и 12 сторона квадрата соответственно равна 45 и 60 мм. Четыре отверстия расположены в углах квадратов диаметром соответственно 18 и 22 мм с межцентровым рясстоянием 30 и 40 мм и центральным отверстием.

30. Техническая характеристика наборов механизированной универсально-сборной переналаживаемой оснастки

Параметр	Модель оснащенного станка						
	21004П7Ф4	21104Н7Ф4	ИР500ПМФ4	2206ВМ1Ф4	ИР800МФ4	Модуль ИР500ПМФ4	Модуль ИР800ПМ1Ф4
Серия набора	3	3	4	4	4	4	4
Число типоразмеров элементов	117	120	152	154	153	170	179
Число элементов	1110	1116	1330	2101	1410	3983	2979
в том числе базовых	2	2	2	3	2	20	15
Габаритные размеры базовых плит, мм	400 × × 400 × 30	630 × × 400 × 30	500 × × 500 × 45	800 × × 630 × 4	800 × × 630 × 45	500 × × 500 × 4	800 × × 800 × 45
Диаметр основного крепежа, мм	М16	М16	М20	М20	М20	М20	М20
Диаметр фиксирующих отверстий, мм	10*H7*	10*H7*	12*H7*	12*H7*	12*H7*	12*H7*	12*H7*
Расстояние между смежными резьбовыми или смежными фиксирующими отверстиями, мм	30	30	40	40	40	40	40
Число приспособлений, собираемых одновременно	2	2	2	3	2	20	15
Рабочее давление в гидросистеме, МПа	20						
Усилие на штоке гидроцилиндра, кН	До 83						
Время сборки приспособлений, ч	2,5 – 3						

Установочные детали используют в компоновках приспособлений в качестве баз для установки обрабатываемых заготовок: колпачковых опор, дисков пальцев, упоров, штырей и т.д. Конструкции элементов этой группы аналогичны конструкциям таких же элементов системы УСП.

Направляющие детали. К ним относятся шпонки, штифты, втулки, валики, колонки и другие детали, используемые при компоновке приспособлений для взаимной ориентации относительно друг друга, а также ориентации инструмента относительно базовых элементов приспособления.

Зажимные детали. К ним относятся прихваты различных конструкций, прижимы, зажимы, планки, качалки, быстросъемные шайбы и другие элементы, предназначенные для закрепления обрабатываемых заготовок.

Крепежные детали. К ним относятся шпильки, винты, болты, гайки и другие, предназначенные для сборки резьбовых соединений.

Немеханизированные сборочные единицы включают сборочные единицы, которые не разбираются на отдельные детали при разборке приспособлений: поворотные головки, наклонные кронштейны, тисочные кулачки, центровые бабки, подвижные призмы и др.

Базовые механизированные сборочные единицы предназначены для сборки механизированных приспособлений для станков с ЧПУ в условиях мелкосерийного и серийного производства. К ним относятся базовые агрегаты, например самоцентрирующие агрегаты тисочного типа, а также базовые механизированные сборочные единицы, предназначенные для сборки агрегатов, например тисочные подвижные губки с боковым прижимом или с двумя боковыми прижимами.

Гидроплита предназначена для сборки компоновок механизированных приспособлений для обработки разнообразных групп деталей. На верхней плоскости плиты выполнена сетка координатно-фиксирующих и резьбовых отверстий, предназначенных для установки и закрепления сменных наладок или установочных и зажимных единиц комплекта УСПО. В центре плиты выполнено отверстие, к которому привязана сетка координатно-фиксирующих отверстий. В корпус плиты встроены гидроцилиндры.

По конструкции и назначению гидроплиты УСПО близки к гидроплитам системы СРП. Отличием является отсутствие Т-образных пазов, функцию которых выполняет сетка резьбовых отверстий.

К средствам механизации относятся: пневмогидравлические преобразователи давления; гидроблоки; приставные гидроблоки с одним или двумя цилиндрами; гаммы гидроцилиндров одностороннего и двустороннего действия; гидроприхваты различных видов; стойки гидроцилиндров.

Отличие средств механизации УСПО от средств механизации УСПМ – ЧПУ в том, что все гидравлические устройства рассчитаны на рабочее давление 20 МПа вместо 10 МПа, а вместо Т- и П-образных пазов гидроблоков нанесена сетка базирующих и крепежных отверстий.

Разработчики используют и совершенствуют систему УСПО с V-образными пазами (фиксация сопряжений выполняется роликами).

ОПРАВКИ

Оправки могут использоваться как самостоятельные станочные, контрольные и сборочные приспособления, применяться в качестве вспомогательного инструмента (для закрепления режущего инструмента), а также входить в состав конструкций различной оснастки для базирования, центрирования, зажима, ориентации и выполнения других функций.

При механической обработке оправки применяют в случаях, когда необходимо обеспечить высокую степень концентричности обрабатываемых наружных поверхностей относительно внутренних у деталей типа дисков, колец, втулок, гильз, стаканов, фланцев, труб, шестерен и др.

Область применения станочных оправок – токарные, шлифовальные, фрезерные, зубообрабатывающие, протяжные, отделочные и др. работы.

Самоцентрирующие зажимные оправки позволяют одновременно центрировать и закреплять заготовки по центральному отверстию.

Когда центральное отверстие заготовок применяется только для центрирования, закрепление осуществляется по торцам.

Основные требования к оправкам: надежность закрепления заготовок, обеспечение точности получения размеров, формы, расположения поверхностей, прочность, жесткость, виброустойчивость, износостойкость, долговечность, обеспечение равномерности распределения сил зажима (особенно при закреплении нескольких заготовок на многоместных оправках и длинных тонкостенных заготовок); минимальные габариты, удобство при хранении, транспортировке и эксплуатации; быстрая наладка, подналадка и переналадка; технологичность изготовления; производительность установки и закрепления.

Классификация оправок

По способу установки на станок, определяемому конструкцией шпинделя, оправки подразделяются на центровые, фланцевые и консольные (шпиндельные).

Центровые оправки отличаются большей жесткостью по сравнению с фланцевыми и шпиндельными, а, следовательно, точностью. Они обычно применяются при обработке сравнительно длинных заготовок. Центровые отверстия оправок изготовляют по форме Т, а для точных работ по форме R (ГОСТ 14034 – 74*).

В процессе резания происходит смещение центровой оправки вместе с заготовкой в радиальном и продольном направлениях, что снижает точность обработки.

Для передачи крутящего момента со шпинделя станка на центровую оправку применяют стандартизованные поводковые хомутики, резьбовые и фланцевые поводковые патроны, а также различные специальные поводковые устройства.

Фланцевые и шпиндельные оправки применяют при обработке коротких заготовок ($L/D \leq 1$). Они имеют невысокую жесткость из-за консольного расположения на шпинделе. Поджатие задним центром повышает жесткость оправки.

Шпиндельными оправками оснащаются станки, шпиндели которых имеют коническую расточку. Хвостовик шпиндельной оправки должен быть надежно затянут в шпиндель с помощью резьбового шомпола.

Фланцевыми оправками оснащают станки, передние концы шпинделей которых могут быть резьбовыми (ГОСТ 16868 – 71*), фланцевыми с направляющим конусом (ГОСТ 12595 – 85*), фланцевыми под поворотную шайбу (ГОСТ 12593 – 93*).

Присоединительные размеры фланцевых оправок и других зажимных приспособлений к фланцевым шпинделям стандартизованы. Если диаметр фланца оправки много больше диаметра ее рабочей шейки, применяют нестандартизованные фланцы.

Оправки принято делить на: 1) жесткие, центрирующие, зажимные механизмы которых имеют постоянные диаметры, и 2) разжимные, у которых диаметральные размер центрирующего зажимного механизма изменяются.

К жестким оправкам относятся конические, прессовые, резьбовые, шлицевые, цилиндрические с гарантированным зазором, со сферическими базовыми элементами.

Разжимные оправки могут быть с жесткими центрирующими зажимными элементами (кулачковые, винтовые, грибковые, самотормозящиеся, самозаклинивающиеся и др.) и с пружинящими (цанговые, с тарельчатыми пружинами, с гофрированными втулками, гидропластмассой и др.).

Оправки характеризуются комплексом признаков, по каждому из которых они могут быть отнесены одновременно к различным классификационным группам.

Выбор оправок

Выбор оправок зависит от многих факторов: *назначения* (станочные, контрольные, транспортные, сборочные, вспомогательный инструмент); требований к точности обработки; габаритных размеров заготовок; точности и качества подготовки баз (черновые или чистовые); конструктивных особенностей обрабатываемых заготовок и баз (длинные нежесткие, тонкостенные, толстостенные, РК-профильные и т.п.); материала изделия (сталь, пластмасса, стекло, керамика и т.п.); годовой программы выпуска изделий и трудоемкости операций; планируемой продолжительности выпуска и темпом оснащения; вида оборудования; вида операций и режимов обработки; организационных форм процесса изготовления деталей.

Выбор конкретной конструкции из типовых компоновок оправок в пределах определенной системы оснастки, как правило, осуществляют в два этапа. На первом этапе подбирают типовые конструкции оправок, которые можно использовать при изготовлении конкретных деталей, а на втором – из множества вариантов оснащения операции выбирают наиболее экономичный для данных условий производства.

Выбор оправок в зависимости от точности обработки. В большинстве случаев оправки применяются при обработке деталей с высокими требованиями к отклонению от соосности. Для деталей быстроходных и точных машин и механизмов оно не должно превышать 0,01 мм, что достигается обработкой поверхностей с одного установа и применением различных центрирующе-зажимных устройств. Достигаемая точность обработки, которая обеспечивается при использовании оправок, является их важнейшей характеристикой. Во многих случаях главным показателем точности обработки на оправках является отклонение от соосности установочного отверстия и обработанной наружной поверхности.

В табл. 31 приведены усредненные значения точности центрирования оправок в зависимости от конструкции с указанием требований к точности баз заготовок и особенностей эксплуатации. Под термином "*точность центрирования*", который часто встречается в технической литературе, понимаются получаемые

смещения оси посадочного отверстия детали относительно оси вращения оправки.

Оправки могут быть с осесимметричной и асимметричной схемой приложения сил закрепления. Осесимметричные схемы приложения сил закрепления (оправки прессовые, гидропластмассовые, с резиновыми кольцами, гофрированными втулками) обеспечивают постоянные по угловой координате деформации и приводят к отклонениям диаметральных размеров обработанных поверхностей заготовок. Закрепление на оправках с асимметричной схемой (самозажимных, кулачковых, цанговых и т.п.) сопровождается переменной по угловой координате деформацией заготовок, что неизбежно приводит к отклонению от круглости обработанной поверхности.

При закреплении тонкостенные кольца испытывают угловые деформации. При осесимметричном зажиме угловые деформации приводят к отклонению от цилиндричности обработанных поверхностей, а также к получению вогнутого (выпуклого) обработанного торца. При асимметричном зажиме может возникнуть биение торца кольца.

В процессе обработки тонкостенных гильз на оправках с асимметричным зажимом возникают отклонения от круглости и биение торцов. Если же зажим осесимметричен, то возникают отклонения профиля продольного сечения обработанной поверхности и получается выпуклый (вогнутый) торец.

31. Основные типы оправок и их характеристики

Тип оправок	Квалитет обработки базы ($d_з$) заготовки	Точность центрирования, мм	Область рационального применения и особенности эксплуатации
1. Цилиндрические для установки заготовок с гарантированным зазором и с креплением гайкой по торцу	7 – 10 (обычно 7)	0,02–0,03	Обеспечивают стабильное положение заготовок вдоль оси. На настроенных станках при повышенных требованиях к точности линейных размеров; точность обработки не зависит от отклонений формы цилиндрической базы заготовки. Позволяют реализовать многоместную высокопроизводительную обработку
1.1. Цилиндрические центровые	6 – 7	Зависит от зазора	Точность установочных поверхностей оправки по h6, k6: $d_з$ = 8 … 80 мм, $L_{опр}$ = 36 … 280 мм
1.2. Цилиндрические ступенчатые центровые	То же	То же	То же
2. Цилиндрические прессовые	Св. 7	0,005 – 0,010	Точная обработка толстостенных заготовок с большими силами резания
3. Конические	6 – 9		Точная установка заготовок по цилиндрическому или шлицевому отверстию. Нестабильное положение заготовки вдоль оси оправки. $d_з$ = 3 … 100 мм, $L_{опр}$ = 50 … 435 мм

Продолжение табл. 31

Тип оправок	Квалитет обработки базы ($d_з$) заготовки	Точность центрирования, мм	Область рационального применения и особенности эксплуатации
4. Цанговые	6 – 9	0,02–0,10	Для точной обработки. Отклонение установочного диаметра оправки по 6 квалитету
5. Разжимные цилиндрические с прорезями на рабочей шейке	8 – 12	0,02 – 0,40	Для закрепления заготовок затяжкой внутреннего конуса
6. С гофрированными центрирующими втулками (ГЦВ)	5 – 7, $d_з < 35$ мм Св. 9, $d_з > 35$ мм	0,002 –0,005	Наиболее точные оправки. Прецизионная обработка. Приращение установочной базы ГЦВ $\Delta D \le 0{,}003D$
7. С тарельчатыми пружинами	7 – 11	0,01 – 0,03	Для чистовой обработки на токарных и шлифовальных станках $d_з = 25 \dots 200$ мм, $\Delta D^{пруж} = 0{,}15 \dots 0{,}4$ мм
8. С гидропластмассой и жидкостные, при $l_з$ до $0{,}5d_з$	7 – 9	0,003–0,01; 0,01 – 0,02	Для обработки точных зубчатых колес, колец, гильз, втулок с цилиндрической базой $d_з = 28 \dots 100$ мм, $D_{уст}$ по 6 – 7 квалитетам
9. Самозажимные: одностороликовые и трехроликовые	9 – 12	0,1 – 0,05	Для обработки на токарных станках при передаче большого $M_{кр}$, в частности, на многорезцовых станках. Нельзя обрабатывать заготовки с окончательно обработанной базой и тонкостенные
10. Клино-плунжерные, кулачковые	Не регламентируется	0,05 – 0,1	Широкодиапазонные для деталей, имеющих сравнительно большое необработанное или грубо обработанное отверстие
11. Мембранные и другие упругодеформируемыми элементами	5 – 7	0,004 – 0,007	Для центрирования деталей типа втулок, колец, дисков
12. С упругими втулками и роликами, опирающимися на тела, имеющие форму гиперболоида вращения	7 – 8	0,003 – 0,008	Чистовая обработка при небольших моментах $M_{рез}$

Продолжение табл. 31

Тип оправок	Квалитет обработки базы ($d_з$) заготовки	Точность центрирования, мм	Область рационального применения и особенности эксплуатации
13. С резиновыми кольцами	12 –14	0,05 – 0,1	На токарных и круглошлифовальных станках для обработки заготовок со свободными отклонениями размеров цилиндрических баз
14. Зубчатые (шлицевые) прямобочные	7	До 2	Для установки заготовок по базовому зубчатому отверстию прямобочного профиля зубьев при их обработке на станках
14.1. Центровые	–	–	$D_з^{впадин} = 32 \dots 102$ мм, отклонения $D_з^{впадин}$ по 6 квалитету. $L_{опр} = 140 \dots 345$ мм
14.2. Шпиндельные	–	–	$D_з^{впадин} = 14 \dots 82$ мм, отклонения $D_з^{впадин}$ по 6 квалитету. $L_{опр} = 148 \dots 410$ мм

Отклонения формы цилиндрических баз заготовок также влияют на отклонения формы обработанных поверхностей. Однако этот аспект технологической наследственности изучен недостаточно (кроме оправок с гофрированными втулками).

Переменная жесткость оправок всех типов также приводит к отклонениям профиля продольного сечения, а для симметричного зажима – поперечного сечения.

В общем случае отклонения от соосности поверхностей вращения и торцовые биения колец и втулок, обработанных с использованием различных оправок, зависят от конструктивных особенностей, точности изготовления и износа оправок, состояния станка, размеров и качества заготовок, применяемого метода обработки (табл. 32 – 34).

32. Степень точности формы и расположения поверхностей колец и втулок, достигаемая при обработке с использованием оправок

Оправки	Степени точности
Центровые ступенчатые:	
с тщательной селективной подборкой заготовок	1 – 2
без тщательной селективной подборки заготовок	3 – 5

Продолжение табл. 32

Оправки	Степени точности
Центровые	2 – 5
Прессовые	4 – 6
Конические центровые	4 – 7
Гидропластмассовые	3 – 6
Мембранные	3 – 6
Цанговые	5 – 10
Самозажимные	9 – 10
С гофрированными втулками	2 – 4
С разрезной цангой улучшенного типа	2 – 5
Кулачковые улучшенного типа с четным числом кулачков $n \geq 6$	2 – 5
С упругими разжимными шайбами	4 – 9
С резиновыми кольцами	6 – 11

33. Степени точности формы и расположения торцовых поверхностей колец и втулок, достигаемые при обработке с использованием точных оправок

Оправки	Степени точности
С гофрированными втулками	2 – 5
С разрезной цангой улучшенного типа при установке:	
втулки, длина базы которой примерно равна длине цанги	2 – 4
кольца по середине цанги	3 – 5
кольца на краю цанги	8 – 11
Кулачковые улучшенного типа с четным числом кулачков $n \geq 6$	5 – 7

34. Коэффициент технологического наследования отклонений формы базы заготовки при использовании некоторых точных оправок

Оправки	Метод обработки	$K = \Delta_б / \Delta_0$
С гофрированными втулками	Точение	1,5
	Шлифование	3,5
С разрезной цангой улучшенного типа	Точение	1,5
	Шлифование	4,0
Кулачковая улучшенного типа	Точение	1,3
	Шлифование	1,6

Примечание. $\Delta_б$ и Δ_0 – отклонение от круглости базы и обработанной поверхности вращения соответственно.

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КУЛАЧКОВЫХ ОПРАВОК

Кулачковые оправки применяют для обработки зубчатых колес, толстостенных колец, втулок, гильз на зубообрабатывающих, токарных, круглошлифовальных и других металлорежущих станках. В качестве технологических баз используют центральное отверстие и торец заготовки.

Оправки обеспечивают большой радиальный ход кулачков, что позволяет использовать их для установки заготовок с различными номинальными диаметрами базовых отверстий.

Принцип работы кулачковой оправки приведен на рис. 43.

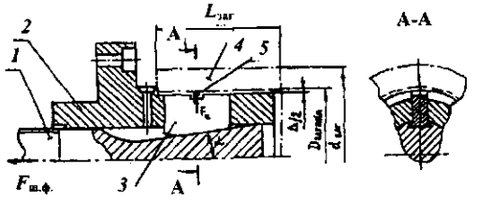


Рис. 43. Принципиальная схема однорядной пневматической кулачковой оправки:
1 – вал; *2* – корпус; *3* – кулачок; *4* – заготовка; *5* – пружина возврата (не показаны масленка, шпонка, гайка ограничения хода вала, другие кулачки, опоры для базового торца заготовки, а также пружина возврата кулачков в сечении А-А)

При движении вала *1* "на зажим заготовки" (на рис. 43 влево) скосы вала равномерно раздвигают кулачки *3* в радиальном направлении, происходит центрирование и закрепление заготовки *4*. Одновременно растягивается пружина 5 возврата кулачков. При обратном движении вала *1* "на разжим заготовки" пружина *5* возвращает кулачки *3* к центру оправки, освобождая обработанную заготовку.

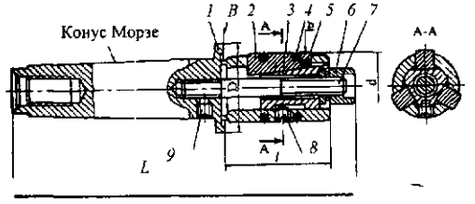


Рис. 44. Кулачковая шпиндельная оправка типа 1 по ГОСТ 31.1066.04 – 97:
1 – корпус; *2* – кулачок; *3* – втулка; *4* – пружинное кольцо; *5* – пружина; *6* – гайка; *7* – шпилька; *8, 9* – винты

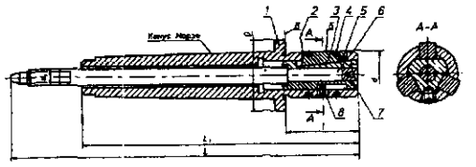


Рис. 45. Кулачковая шпиндельная пневматическая оправка типа 2 по ГОСТ 31.1066.04 – 97:
1 – корпус; *2* – кулачок; *3* – втулка; *4* – пружинное кольцо; *5* – пружина; *6* – тяга; *7* – кольцо; *8* – винты

Различают следующие *основные исполнения кулачковых оправок*:

по способу установки оправок на оснащаемый станок – шпиндельные (рис. 44, 45) и фланцевые (рис. 46). В центровом исполнении кулачковые оправки применяются крайне редко;

по уровню механизации – с ручным зажимом (см. рис. 44, 46), с пневматическим зажимом (рис. 45, 47). Оправки с пневматическим зажимом – быстродействующие, развивают стабильные силы закрепления заготовок, с ручным – дешевле;

по числу рядов кулачков – одно- и многорядные. Однорядные оправки (см. рис. 46) служат для одноместной установки сравнительно коротких заготовок ($L_{заг} < 1{,}5D_{заг}$). Многорядные – для одноместной установки сравнительно длинных заготовок ($L_{заг} < 1{,}5D_{заг}$, см. рис. 44, 45) или для многоместной установки коротких заготовок;

по уровню специализации – специальные и специализированные.

Специальные оправки выгодны для обработки заготовок конкретного типоразмера в условиях массового и крупносерийного производств. Кулачки специальных оправок называют постоянными, их заменяют строго комплектно по мере изнашивания или в случае утраты части кулачков, центрирующий зажимной механизм (ЦЗМ) специальных кулачковых оправок сравнительно компактный. Это позволяет обрабатывать заготовки с относительно небольшими диаметральными размерами базового отверстия: $D_{заг} \geq 30$ мм.

Специализированные оправки выгодны для обработки заготовок нескольких типоразмеров в условиях мелкосерийного производства. Кулачки таких оправок называют *сменными*, их быстро переналаживают на обработку заготовки нового типоразмера. ЦЗМ оправок со сменными кулачками имеет сравнительно большие размеры. Поэтому специализированные кулачковые оправки применяют для обработки более крупных заготовок диаметром $D_{заг} \geq 78$ мм.

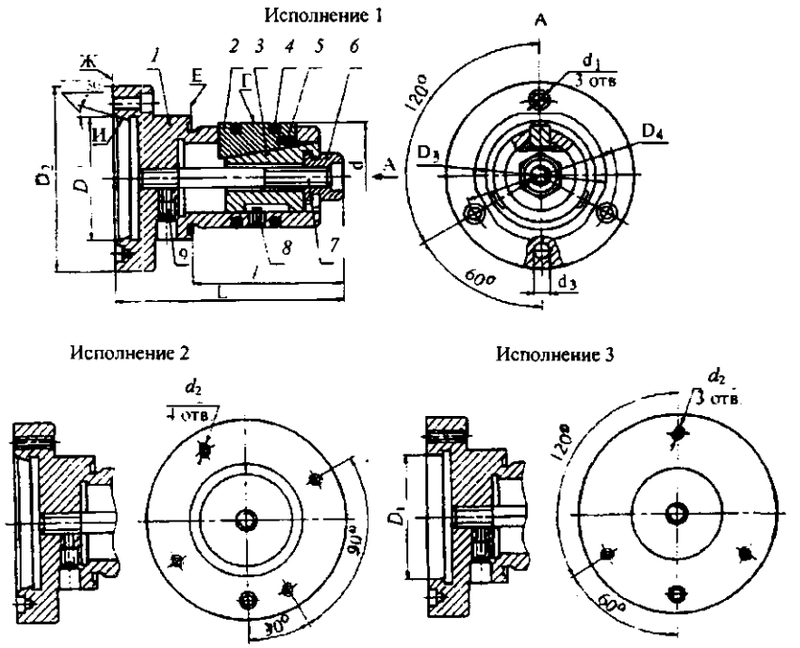


Рис. 46. Кулачковая фланцевая оправка типа 3 по ГОСТ 31.1066.04 – 97:
1 – корпус; *2* – кулачок; *3* – втулка; *4* – пружинное кольцо; *5* – пружина; *6* – гайка; *7* – шпилька; *8*, *9* – винты

Из-за отсутствия методик расчета и проектирования кулачковых оправок, их ответственные параметры назначаются субъективно. Это снижает качество и надежность оправок. Наиболее часто применяют кулачковые оправки фланцевые с пневматическим зажимом однорядные, которые, как показывает опыт, в специальном исполнении успешно заменяют прессовые оправки. Несколько уступая последним по удерживающей способности, кулачковые оправки позволяют отказаться от использования вспомогательных прессов для запрессовки-распрессовки заготовок и экономить соответствующие производственные площади, уменьшать вспомогательное время на оснащаемой операции на 2 ... 10 с.

Принципиальная схема однорядной кулачковой оправки показана на рис. 43. Клиноплунжерный ЦЗМ оправки является механизмом-усилителем и дает значительный выигрыш в силе:

$$i_c = m_к F_к / F_{ш.ф},$$

где i_c – коэффициент выигрыша в силе; $m_к$ – число кулачков в ряду; $F_к$ – сила закрепления одним кулачком; $F_{ш.ф}$ – фактическая осевая сила на штоке пневмоцилиндра.

Важнейшим конструктивным параметром кулачковых оправок является угол клина α. В реальной инженерной практике угол клина назначают в неоправданно широком диапазоне 5 ... 15°. Однако рациональный диапазон много меньше и составляет для пневматических оправок 8 ... 10°. При выборе угла клина учитывают следующее: чем меньше α, тем больше выигрыш в силе, но одновременно увеличивается и проигрыш в перемещениях.

При самотормозящих углах α ≤ 7°30' повышается надежность закрепления заготовок, однако их открепление происходит с шумом, если оправка пневматическая. Поэтому самотормозящие углы α могут быть рекомендованы. При несамотормозящих углах α ≥ 8° снижается надежность закрепления заготовок. С уменьшением угла α снижается собственная жесткость вала оправки, возникает вероятность образования трещин в углах пазов вала оправки при его термообработке.

Другим важнейшим параметром кулачковых оправок является число кулачков $m_к$. Чем меньше $m_к$, тем проще компоновочные решения

ЦЗМ оправки. Сложилось мнение, что выгодны оправки с нечетным числом кулачков. Однако при обоснованном выборе $m_к$ необходимо учитывать влияние отклонений формы базового отверстия заготовок на точность обработки.

Если базовое отверстие заготовки обработано достаточно точно и отклонения формы не превышают 10 ... 20 мкм, то рекомендуется принимать $m_к$ = 12; 10; 8; 6; 5; 3. Кроме того, с увеличением $m_к$ снижаются деформации заготовок при их закреплении и улучшается круглость обработанных поверхностей вращения.

Если базовое отверстие заготовки имеет значительные отклонения формы, то силы закрепления заготовки каждым кулачком становятся разными. Это сопровождается радиальным сдвигом заготовки интенсивно работающими кулачками; возникновением переменной глубины резания и ударами при обработке; вмешательством наладчика, формирующего фактическую осевую силу на штоке пневмоцилиндра с целью более надежного закрепления заготовки; увеличенными деформациями заготовки вплоть до ее разрушения, повышением дефектоемкости оснащаемой операции.

Чтобы предупредить вышеприведенное, для установки заготовок, базовые отверстия которых имеют значительные отклонения формы, рекомендуют оправки только с $m_к$ = 3.

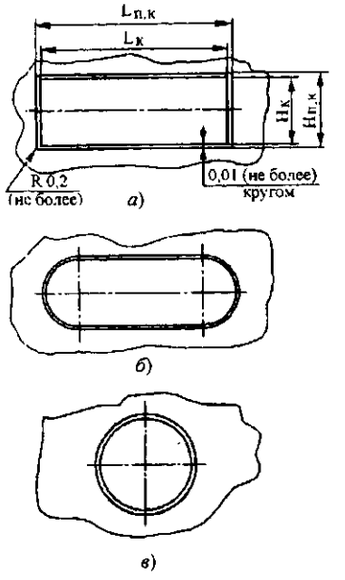


Рис. 47. Форма (в плане) кулачков и пазов под кулачки корпуса оправки:
а – рекомендуемая; *б*, *в* – нерекомендуемые

На точность обработки заготовок, на технологичность, прочность, жесткость и надежность оправок существенно влияет конструктивное оформление кулачков, вала оправки и пазов под кулачки корпуса оправки. С точки зрения точности и надежности выгодны прямоугольные кулачки и пазы корпуса под кулачки и невыгодны – со скруглениями и круглые (рис. 47).

Прямоугольные пазы под кулачки корпуса оправки изготовляют на электроэрозионных установках или протягивают, а затем подвергают отделочной обработке. Кулачки селективно подбирают по фактическим размерам длины и ширины паза. В процессе эксплуатации кулачки изнашиваются, а иногда – теряются. В этом случае их заменяют строго комплектно.

Радиус кривизны головки кулачка обрабатывают в сборе с оправкой (желательно на оснащаемом станке) в размер, который приблизительно должен быть равен радиусу посадочного отверстия заготовки. В противном случае увеличивается вероятность контактных повреждений базового отверстия заготовки.

Длину кулачков и пазов под кулачки в корпусе оправки выбирают с учетом длины заготовки, исходя из соотношения

$$0{,}5L_{заг} \le (L_к = L_{п.к}) < L_{заг},$$

где $L_{заг}$ – длина базового отверстия заготовки; $L_к$ – номинальная осевая длина кулачка; $L_{п.к}$ – номинальная длина паза под кулачок корпуса оправки.

Фаска на скосе кулачка (рис. 48) позволяет упростить компоновочное решение ЦЗМ, повысить прочность и жесткость вала.

При раскреплении заготовки кулачки сводят к оси оправки с помощью пружины возврата. Надежнее витые пружины. Если кулачки короткие, применяют одну пружину возврата, если длинные – две. Располагают пружины

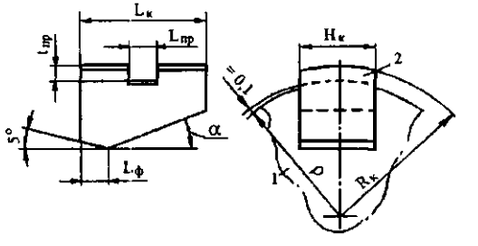


Рис. 48. Кулачок:
1 – корпус; *2* – кулачок

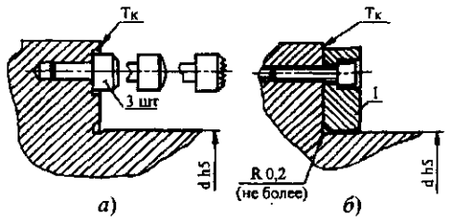


Рис. 49. Примеры конструктивного оформления торцовых опор оправки:
а – стандартных;
б – в виде привинчиваемой торцовой шайбы *1*

вдоль кулачка так, чтобы они не поворачивали кулачок в сторону фаски, отводя от скоса вала.

Радиус ρ цилиндрического дна проточки корпуса делают меньше примерно на 0,1 мм соответствующего радиуса проточек в кулачках (для исходного положения кулачков). Это обеспечивает надежное прилегание кулачков к скосу паза вала, когда кулачки полностью сведены к оси оправки.

К ответственным конструктивным параметрам относятся ширина кулачка $H_к$ *и ширина паза под кулачки* $H_{п.к}$ корпуса оправки. $H_к$ определяют расчетом из условия отсутствия контактных повреждений кулачками базового отверстия заготовки. Принимают $H_{п.к} \approx H_к$ (см. рис. 47). С учетом требований к компоновочному решению ЦЗМ и прочности корпуса оправки при его термообработке должно соблюдаться условие, чтобы номинальная величина перемычки между соседними пазами под кулачки корпуса оправки $h_{п.к} \geq 3 \ldots 5$ мм.

Кулачки располагают вдоль установочной шейки оправки с тем расчетом, чтобы вал оправки не выходил из корпуса при движении "на открепление заготовки". Если оправка расположена вертикально или под углом, то на торец установочной шейки устанавливают заглушку, предупреждающую засорение ЦЗМ. При горизонтальном расположении оси оправки заглушку не применяют.

Для базирования устанавливаемой заготовки торцовой поверхностью к торцу $T_к$ корпуса оправки привинчивают торцовую шайбу, либо запрессовывают стандартные опоры (рис. 49). Установочную шейку оправки шлифуют в размер *dh5*, обеспечивая гарантированный зазор Δ для удобной установки заготовок. Одновременно шлифуют торцовые опоры.

При проектировании оправок для установки заготовок с малыми значениями $D_{заг}$ глубина канавки для выхода шлифовального круга при обработке установочной шейки и торца $T_ц$ зачастую лимитирует прочность и жесткость корпуса. В этих случаях оформляют переход от установочной шейки к торцу $T_к$ корпуса так, как это показано на рис. 49, *б*. При проектировании крупногабаритных оправок применяют стандартные канавки для выхода режущего инструмента (рис. 49, *а*).

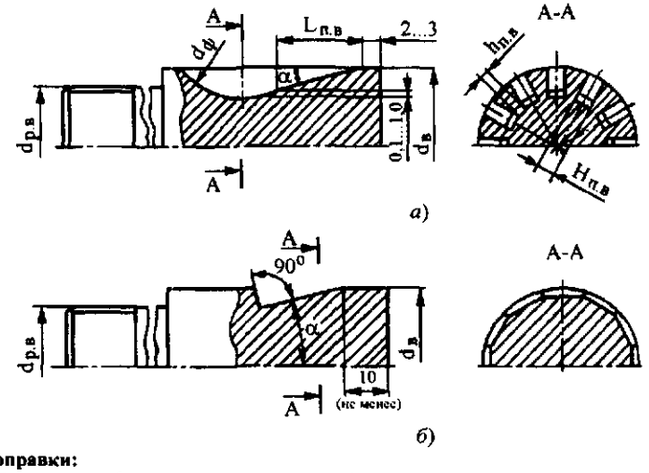


Рис. 50. Вал оправки:
а – с пазами; *б* – с гранями [условно показан один паз (одна грань) и не показан шпоночный паз]

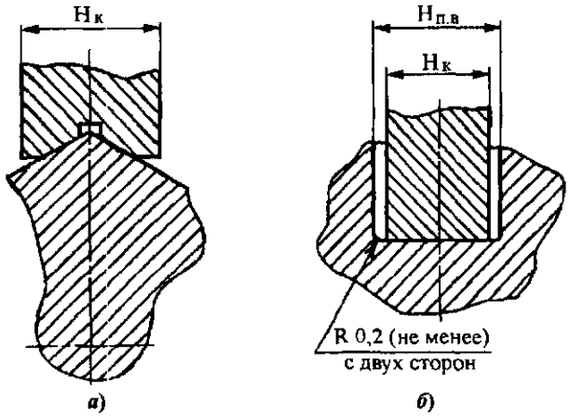


Рис. 51. Выгодное конструктивное оформление:
а – сопряжения скосов кулачка и грани вала; *б* – перехода от вертикальных стенок паза вала к скосу

Фланец корпуса оправки оформляют с учетом конструкции шпинделя оснащаемого станка.

В целях обеспечения жесткости оправки ограничивают относительный вылет установочной шейки $(L_{у.ш}/d) \leq 5$. В установочной шейке растачивают и шлифуют отверстие для размещения вала оправки, обеспечивая диаметральный зазор не более 0,01 ... 0,02 мм.

В зависимости от конструктивного оформления скосов различают два типа вала оправки: с пазами или гранями (рис. 50). При прочих равных условиях вал с пазами имеет на опасном участке большую площадь поперечного сечения, что выгодно с точки зрения прочности и жесткости вала. Кроме того, такой вал лучше работает на растяжение – сжатие при закреплении – раскреплении заготовок. При установке заготовок со значительными отклонениями формы такой вал лучше работает на изгиб от действия неуравновешенной радиальной составляющей силы закрепления.

Валы с гранями могут быть рекомендованы только в случае установки заготовок тщательно обработанными базовыми отверстиями. В этом случае рекомендуется оформлять сопряжение скоса кулачка с гранями вала так, как это показано на рис. 51. Такое сопряжение повышает жесткость, но менее технологично и может быть реализовано только при проектировании оправок большого диаметра.

Ввиду отмеченных преимуществ и более широкого применения ниже рассматриваются только валы с пазами.

Несколько большая ширина паза вала (рис. 51, *б*) позволяет выполнять переход от его вертикальных стенок к скосу галтелью радиуса не менее 0,2 мм, предупреждая образование трещин при термообработке вала. Для выхода шлифовального круга при обработке скоса паза вала делают технологические углубления, врезая фрезу в тело вала на несколько десятых долей миллиметра глубже края скоса (см. рис. 50, *а*). Сечение, проходящее через центр технологических углублений, является наиболее опасным. Для предупреждения образования трещин при термообработке вала необходимо обеспечивать возможно бóльшую ширину $h_{п.в}$ перемычки между двумя соседними технологическими углублениями. С учетом необходимости цементации стенки паза вала рекомендуется принимать $h_{п.в} \geq 2{,}5 \ldots 5$ мм.

Технологические углубления фрезеруют стандартными фрезами, например дисковыми трехсторонними по ГОСТ 28527–90. Выбор фрезы осуществляют по диаметру и ширине с учетом номинальной ширины паза вала оправки и глубины врезания в вал оправки.

В отличие от вала с гранями вал с пазами имеет развитую цилиндрическую поверхность диаметром $d_в$. Это позволяет уменьшить длину переднего направляющего участка вала до длины порядка 2 ... 3 мм, что достаточно для защиты ЦЗМ оправки от загрязнения (см. рис. 50, *а*).

Резьбовой участок, с помощью которого вал соединяют со штоком пневмоцилиндра, изготовляют диаметром $d_{р.в}$ = М16 ... М24.

Вал оправки соединяют со штоком пневмоцилиндра через промежуточную тягу, за счет которой производится подгонка длины при установке оправки на станок.

Оправки оснащают вращающимися пневмоцилиндрами двустороннего действия, одинарными и сдвоенными. При выборе пневмоцилиндра учитывают необходимость обеспечить надежное закрепление заготовки и одновременно предупредить контактные повреждения базового отверстия.

Для ограничения осевого перемещения вала оправки рекомендуется использовать крышку пневмоцилиндра (ход на зажим заготовки) и застопоренную гайку на резьбовом участке вала (ход на открепление заготовки).

Чтобы улучшить условия установки заготовки на оправку и уменьшить вероятность ударов заготовкой по оправке, рекомендуется оформлять приемную часть установочной шейки вала и кулачки оправки с фасками, со скруглениями или с заниженным диаметром. Достигаемая точность обработки при использовании кулачковых оправок приведена в табл. 35.

35. Точность обработки заготовок при использовании кулачковых оправок

Вид обработки		Отклонение формы и расположения поверхностей, обработанных на оснащаемой операции	Точность обработки [1]
на оснащаемой операции	технологических баз заготовки		
Т; Ш	Т; Ш	Отклонение от круглости	2 ... 4
Т	Т	Отклонение от соосности	3 ... 5
Ш	Т		3 ... 4
Т	Ш		2 ... 4
Ш	Ш		1 ... 3
Т	Т	Радиальное биение	3 ... 5
Ш	Т		2 ... 5
Т	Ш		2 ... 5
Ш	Ш		2 ... 4
Т	Т	Торцовое биение	6 ... 8
Ш	Т		
Т	Ш		
Ш	Ш		

[1] В степенях точности формы и расположения поверхностей (по ГОСТ 24643–81).

Примечания: 1. Данные получены в результате экспериментальных исследований в условиях АМО ЗИЛ и справедливы для однорядных оправок с $m_к \geq 6$.

2. В случае установки заготовок базовыми отверстиями, обработанными по 11 ... 16 квалитетам, на однорядные оправки с числом кулачков $m_к = 3$ достигается следующая точность обработки: по параметрам отклонения от круглости – 9 ... 10; соосности и радиального биения – 10 ... 13; торцовому биению – 9 ... 11 (все в степенях точности по ГОСТ 24643–81).

3. В связи с износом оправок точность обработки по параметру отклонения от соосности ухудшается примерно на 5 мкм за 10^5 установок.

4. Долговечность оправок соизмерима с числом установок $2 \cdot 10^5$ ... $3 \cdot 10^5$.

Примеры конструкций специальных кулачковых оправок

У *всех стандартных оправок* число $m_к = 3$ и не зависит от состояния технологической базы заготовок; кулачки скругленные.

У *типовой кулачковой оправки ВАЗа* (рис. 52), в верхней части условно показана заготовка *7*, а в нижней – эталонное кольцо *10* для проверки точности установки заготовок (пружина возврата кулачков условно не показана).

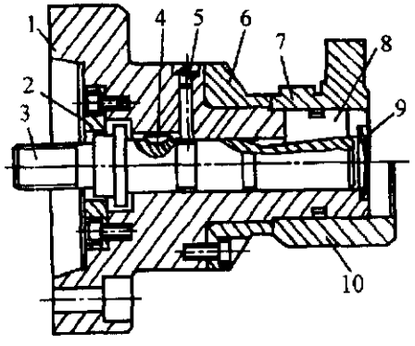


Рис. 52. Типовая кулачковая оправка ВАЗа:
1 – корпус; *2* – шайба ограничения осевого хода вала *3* " на зажим заготовки"; *4* – шпонка; *5* – масленка; *6* – торцовая опора заготовки; *7, 8* – кулачок; *9* – заглушка; *10* – эталонное кольцо

В оправке для установки заготовок шлицевым отверстием число и конструкция кулачков *1* (рис. 53) зависят от числа шлиц базового отверстия заготовки.

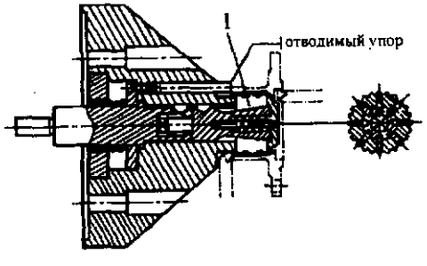


Рис. 53. Оправка для установки заготовок шлицевым отверстием

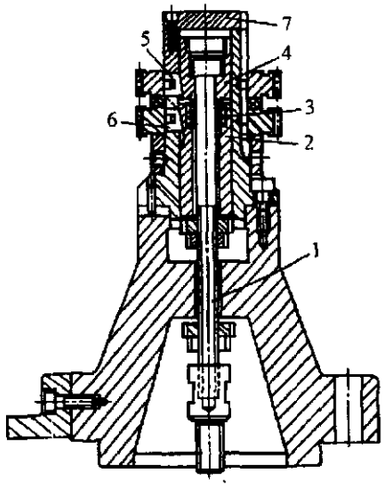


Рис. 54. Двухрядная оправка для многоместной установки заготовок зубчатых колес

В двухрядной оправке к зубообрабатывающему станку (рис. 54) при движении тяги *1* вниз втулка *4* со скосами приводит в действие верхние кулачки *5*. Одновременно сжимается пружина *3*, перемещается вниз втулка *2*, приводя в действие нижние кулачки *6*.

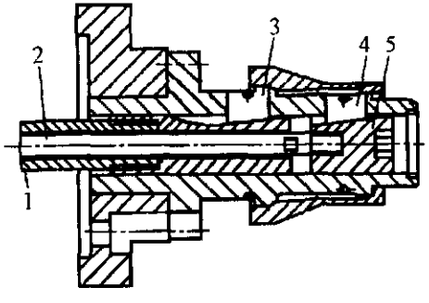


Рис. 55. Двухрядная оправка одноместная для установки длинной заготовки

В двухрядной одноместной оправке для установки длинной заготовки (рис. 55) полый вал *1* приводит в действие ближний к шпинделю ряд кулачков *3*, а сплошной вал *2* и втулка *5* – дальний ряд кулачков *4*. Подсоединение валов *1* и *2* к штоку пневмоцилиндра (не показан) усложненное, а изготовление скосов на полом валу *1* затруднено.

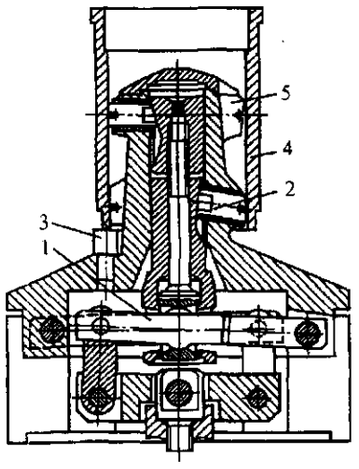


Рис. 56. Двухрядная оправка с качалкой для одноместной установки длинной заготовки

Этого недостатка лишена *двухрядная оправка с качалкой* (рис. 56). Качалка *1* позволяет автономно управлять верхним и нижним рядами кулачков, обеспечивая более равномерное закрепление заготовки – тонкостенной гильзы *4*. Наклонное расположение некоторых кулачков (кулачки 2 и 5) позволяет надежно прижать торец заготовки *4* к опорам *3*.

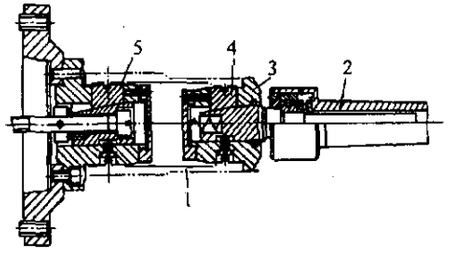


Рис. 57. Двухрядная оправка для одноместной установки особо длинной заготовки

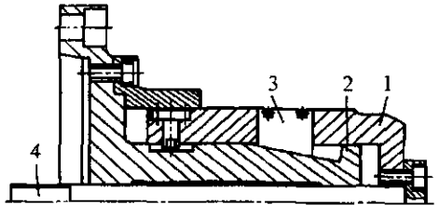


Рис. 58. Оправка с перемещением втулки

Установка особо длинной заготовки 1 на двухрядную оправку (рис. 57) осуществляется путем осевого перемещения пиноли *2* задней бабки станка, в которой закреплен узел *3* оправки с одним рядом кулачков. В результате указанного перемещения заготовка зажимается кулачками *4* со стороны задней бабки. Затем заготовку зажимают кулачками *5* со стороны шпинделя станка.

Особенность *оправки с перемещением втулки* (рис. 58) состоит в следующем: кулачки *3* приводятся в действие при осевом перемещении штока *4* и наружной втулки *1*, тогда как корпус *2*, играющий одновременно роль вала, неподвижен.

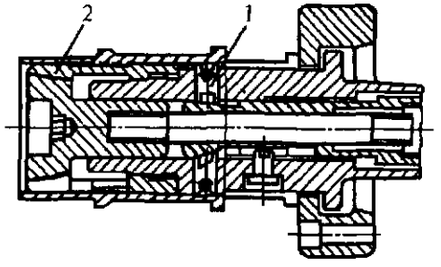


Рис. 59. Комбинированная оправка

ЦЗМ комбинированной оправки (рис. 59) является сочетанием кулачкового *1* и цангового *2* механизмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Альбом** контрольно-измерительных приспособлений / Ю. С. Степанов, Б. И. Афонасьев, А. Г. Схиртладзе, А. Е. Щукин, А. С. Ямников /. Под общ. ред. Ю.С. Степанова. М.: Машиностроение, 1998. 184 с.

2. **Кузнецов Ю. И., Маслов А. Р., Байков А. Н.** Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник. – 2-е изд. М.: Машиностроение, 1990. 512 с.

3. **Справочник технолога-машино-строителя**. В 2-х т. Т. 1 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1985. 656 с., Т. 2. 496 с.

4. **Станочные приспособления**: Справочник. В 2-х т. /Ред. совет: Б. Н. Вардашкин (пред.) и др. М.: Машиностроение, 1984. Т. 1 / Под ред. Б. Н. Вардашкина, А. А. Шатилова, 1984. 592 с. Т. 2 / Под ред. Б. Н. Вардашкина, В. В. Данилевского, 1984. 656 с.

5. **Степанов Ю. С.** Современные конструкции станочных оправок. М.: Машиностроение, 1996. 184 с.

6. **Шатилов А. А.** Кулачковые оправки / Справочник. Инженерный журнал. Приложение. № 5. 2000. 25 с.

Глава 3

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

При срезании припуска с заготовки и превращении ее в готовое изделие режущий инструмент и заготовка совершают рабочие движения. По ГОСТ 25762-83 различают следующие виды движений (рис. 1).

Главное движение резания D_r – прямолинейное поступательное или вращательное движение заготовки или режущего инструмента, происходящее с наибольшей скоростью $v_в$ в процессе резания.

Движение подачи D_s – прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, скорость которого v_s, меньше скорости главного движения резания, предназначенное для того, чтобы распространить отделение слоя материала на всю обрабатываемую поверхность.

Касательное движение – прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента, скорость которого $v_к$ меньше скорости главного движения резания и направлена по касательной к режущей кромке, предназначенное для того, чтобы сменять контактирующие с заготовкой участки режущей кромки.

Результирующее движение резания – суммарное движение v_e режущего инструмента относительно заготовки, включающее главное движение резания, движение подачи и касательное движение.

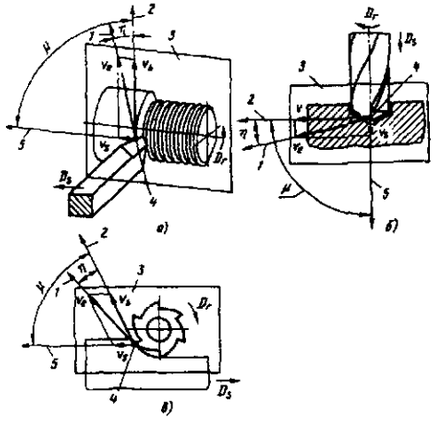


Рис. 1. Элементы движений в процессе резания при обтачивании (*а*), сверлении (*б*) и фрезеровании (*в*): *1* – направление скорости результирующего движения резания; *2* – направление скорости главного движения резания; *3* – рабочая плоскость; *4* – рассматриваемая точка режущей кромки; 5 – направление скорости движения подачи

Геометрические и конструктивные элементы режущих инструментов

Все виды режущего инструмента состоят из двух основных частей – *рабочей части*, содержащей лезвия и выглаживатели (при их наличии), и *крепежной части*, предназначенной для установки и крепления режущего инструмента в технологическом оборудовании или приспособлении (различного вида хвостовики, посадочные отверстия) (ГОСТ 9472–90, ГОСТ 4044–70; ГОСТ 7343–72; ГОСТ 9272–81: ГОСТ 9523–84 и др.) (рис. 2).

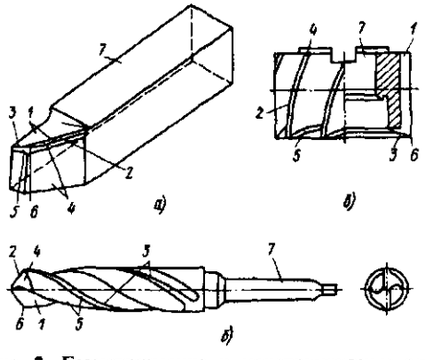


Рис. 2. Геометрические и конструктивные элементы режущих инструментов: *а* – токарного резца; *б* – сверла; *в* – фрезы: *1* – передняя поверхность лезвия; *2* – главная режущая кромка; *3* – вспомогательная режущая кромка: *4* – главная задняя поверхность лезвия; *5* – вспомогательная задняя поверхность лезвия; *6* – вершина лезвия; *7* – крепежная часть инструмента

Оптимизация процесса резания предполагает назначение величины углов заточки инструмента в зависимости от конкретных свойств обрабатываемого материала с учетом прочностных свойств инструментального материала и специфики относительных рабочих движений заготовки и режущего инструмента.

Следует отметить, что применение многогранных сменных пластин существенно снижает возможности оптимизации величины углов режущего клина применительно к конкретным условиям обработки.

Поэтому, в случае существенного различия оптимальных углов резания от усредненных значений, характерных для многогранных пластин, целесообразно отдать предпочтение инструментам с режущей частью, формируемой при заточке, позволяющей реализовать оптимальные углы.

Различают кинематические углы инструмента (табл. 1), измеряемые в кинематической системе координат (прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости v_e результирующего движения резания), и статические углы инструмента (см. табл. 1), измеряемые в статической системе координат (прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости v главного движения резания).

1. Кинематические и статические углы режущих инструментов (по ГОСТ 25762–83)

Угол	Определение
Кинематические углы (см. рис. 3 – 5)	
Кинематический главный задний угол $\alpha_к$	Угол в кинематической главной секущей плоскости $P_{тк}$ между задней поверхностью лезвия и кинематической плоскостью резания*[1] $P_{пк}$
Кинематический главный передний угол $\gamma_к$	Угол в кинематической главной секущей плоскости $P_{тк}$ между передней поверхностью лезвия и кинематической основной плоскостью*[2] $P_{vк}$
Кинематический угол наклона кромки $\lambda_к$	Угол в кинематической плоскости резания $P_{пк}$ между режущей кромкой и кинематической основной плоскостью $P_{vк}$
Кинематический угол в плане $\varphi_к$*[3]	Угол в кинематической основной плоскости $P_{vк}$ между кинематической плоскостью резания $P_{пк}$ и рабочей плоскостью*[4] P_s

Продолжение табл. 1

Угол	Определение
Кинематический главный угол заострения $\beta_к$	Угол в кинематической главной секущей плоскости $P_{тк}$ между передней и задней поверхностями лезвия
Статический главный задний угол α_c	Угол в статической главной секущей плоскости $P_{тс}$ лезвия между задней поверхностью и статической плоскостью резания*[5] $P_{пс}$
Статический главный передний угол γ_c	Угол в статической главной секущей плоскости $P_{тс}$ между передней поверхностью лезвия и статической основной плоскостью P_{vc}
Статический угол наклона кромки λ_c	Угол в статической плоскости резания $P_{пс}$ между режущей кромкой и статической основной плоскостью P_{vc}
Статический угол в плане φ_c*[3]	Угол в статической основной плоскости P_{vc} между статической плоскостью резания $P_{пс}$ и рабочей плоскостью P_s
Статический главный угол заострения β_c	Угол в статической главной секущей плоскости $P_{тс}$ между передней и задней поверхностями лезвия

*[1] Кинематическая плоскость резания $P_{пк}$ – координатная плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке, и перпендикулярная кинематической основной плоскости $P_{vк}$.

*[2] Основная плоскость (статическая P_{vc} и кинематическая $P_{vк}$) – координатная плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению скорости главного или результирующего движения в этой точке (соответственно в статической или кинематической системе координат).

*[3] На рис. 3 –5 угол φ.

*[4] Рабочая плоскость P_s – плоскость, в которой расположены направления скоростей главного движения резания и движения подачи.

*[5] Статическая плоскость резания $P_{пс}$ – координатная плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная к статической основной плоскости P_{vc}.

Примечание. В последующих разделах гл. 3 "Металлорежущие инструменты" для всех видов обработки приведены значения статических углов инструментов, назначаемых с учетом изменений их величин в процессе рабочих движений.

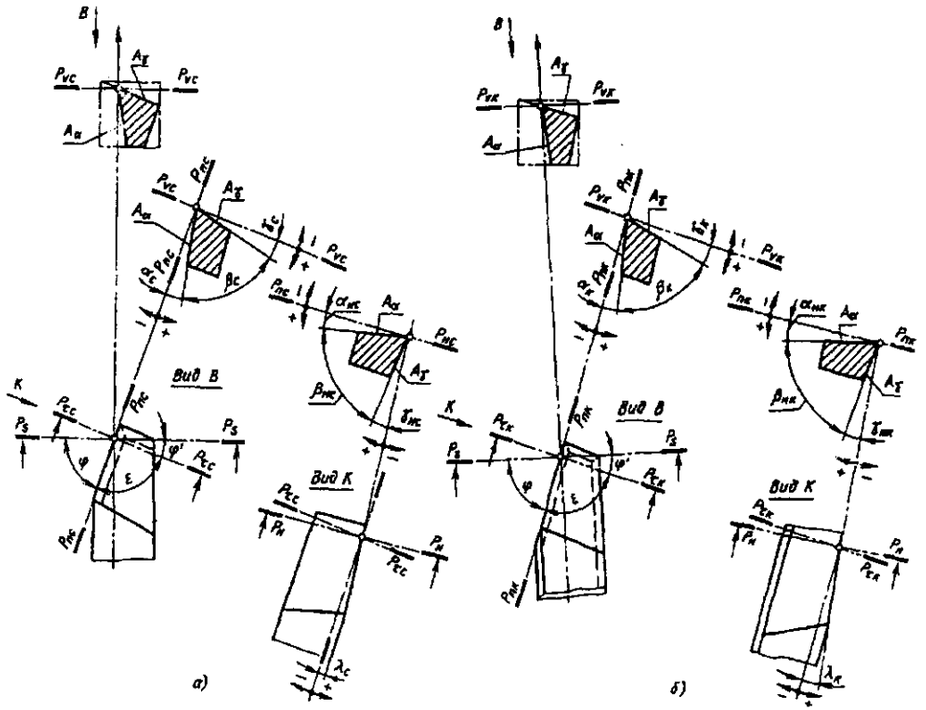


Рис. 3. Углы токарного проходного резца системы координат: *а* – статический; *б* – кинематический

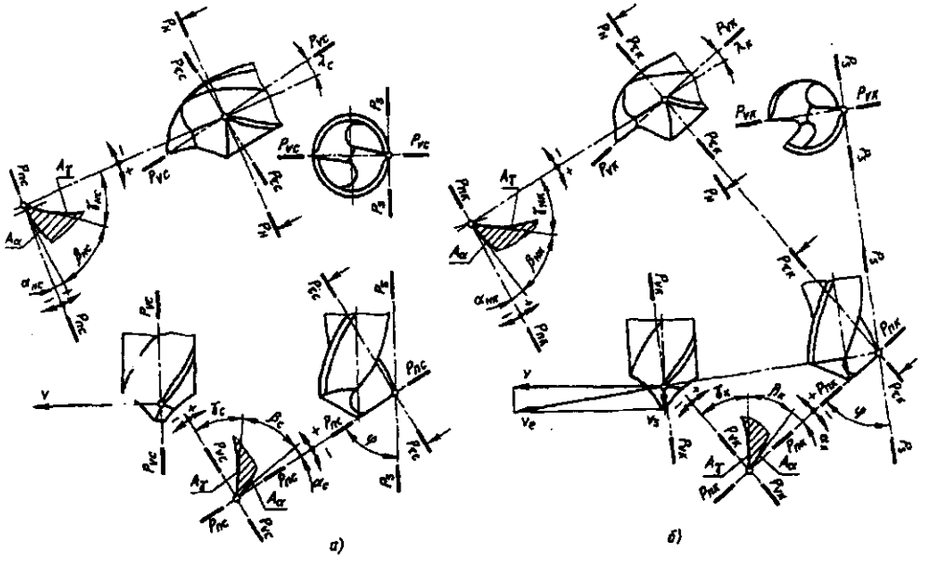


Рис. 4. Углы спирального сверла в системе координат: *а* – статический; *б* – кинематический

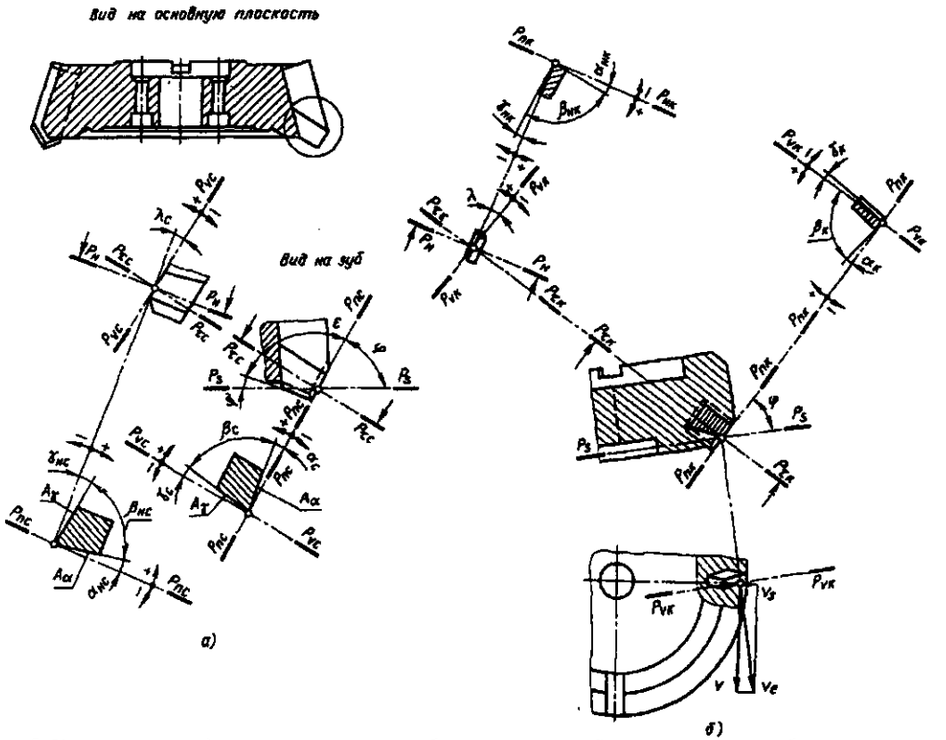


Рис. 5. Углы торцовых фрез: *а* – со вставными зубьями в статической системе координат; *б* – со вставными квадратными пластинами в кинематической системе координат

Инструментальные материалы и области их применения

Большинство конструкций металлорежущего инструмента изготовляют составными – рабочая часть из инструментального материала, крепежная из обычных конструкционных сталей (сталь 45, 50, 40Х и т.п.; в случае тяжело нагруженных корпусов – сталь У10 или 9ХС). Исключение составляют мелкоразмерные или слесарные инструменты, изготовляемые целиком из инструментального материала, а также инструменты, изготовляемые из углеродистых инструментальных сталей и легированных инструментальных сталей.

Рабочую часть инструментов в виде пластин или стержней из быстрорежущей стали соединяют с крепежной частью с помощью сварки. Эксплуатационные и технологические свойства и рекомендуемые области применения наиболее распространенных быстрорежущих сталей приведены в табл. 2.

Твердые сплавы в виде пластин соединяют с крепежной частью с помощью пайки или специальных высокотемпературных клеев. Многогранные твердосплавные пластины закрепляют прихватами, винтами, клиньями и т.д.

Мелкоразмерные твердосплавные инструменты (концевые и дисковые фрезы, сверла, развертки и т.д.) изготовляют в виде припаиваемых к хвостовикам твердосплавных стержней и коронок или целиком из твердого сплава.

Марки твердых сплавов и рекомендуемые области применения твердосплавного инструмента приведены в табл. 3.

Износ инструментов. Металлорежущие инструменты изнашиваются по передней и задней поверхностям (рис. 6). Вид износа определяется величиной подачи, скоростью резания и свойствами обрабатываемого материала.

2. Выбор марок быстрорежущей стали для различных режущих инструментов

Марка стали	Прочность, износостойкость	Шлифуемость	Изготовляемый инструмент
Р 18	Удовлетворительная прочность, повышенная износостойкость при малых и средних скоростях резания, широкий интервал закалочных температур	Удовлетворительная	Режущий инструмент всех видов, в том числе для обработки обычных конструкционных материалов в условиях динамических нагрузок
Р9	Удовлетворительная прочность, повышенная износостойкость при средних и повышенных скоростях резания, более узкий интервал оптимальных закалочных температур, повышенная пластичность при температурах горячей деформации	Пониженная по сравнению со сталью Р18	Простой формы с малым объемом шлифованных поверхностей (резцы, сверла, зенкеры и др.), для обработки обычных конструкционных материалов
Р6М5, 9Х6М3Ф3АГСТ[1], 9Х4М3Ф2АГСТ[1]	Повышенная прочность, более узкий, чем у стали Р18, интервал оптимальных закалочных температур, повышенная склонность к обезуглероживанию и выгоранию молибдена	Удовлетворительная	То же, что и стали Р18. Предпочтительные для инструментов, работающих с ударными нагрузками
Р12Ф3, Р6М5Ф3	Повышенная износостойкость при низких и средних скоростях резания	Низкая; рекомендуется применение эльборовых шлифовальных кругов	Для снятия стружки небольшого сечения; для обработки материалов, обладающих абразивными свойствами в условиях нормального разогрева режущей кромки
Р18К5Ф2, Р9М4К8, Р6М5К5	Повышенные вторичная твердость и износостойкость	Пониженная, рекомендуется применение эльборовых шлифовальных кругов	Для обработки высокопрочных, коррозионностойких и жаропрочных сталей и сплавов в условиях повышенного нагрева режущей кромки

Продолжение табл. 2

Марка стали	Прочность, износостойкость	Шлифуемость	Изготовляемый инструмент
Р10К5Ф5, Р12М3Ф2К8, Р6М5Ф2К8	Повышенная вторичная твердость, высокая износостойкость	Низкая; рекомендуется применение эльборовых шлифовальных кругов	Простой формы с малым объемом шлифовальных поверхностей (резцы, сверла, зенкеры, и др.), для обработки высокопрочных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов, материалов, обладающих абразивными свойствами в условиях повышенного разогрева режущей кромки
Р6М5К5-МП[2], Р9К5-МП[2]	Износостойкость в 1,5 – 2,5 раза выше, чем аналогичных марок обычного производства	Удовлетворительная	Режущий инструмент для обработки высокопрочных и жаропрочных сталей и сплавов
Р9К5	Повышенная вторичная твердость	Пониженная, близкая к стали Р9	Для обработки сталей и сплавов повышенной твердости и вязкости; пригодна для работы с ударом
Р9К10	Повышенная вторичная твердость (пониженная ударная вязкость)		С малым объемом шлифовальных поверхностей, для обработки коррозионно-стойких, жаропрочных, а также повышенной твердости и вязкости сталей и сплавов

*[1]Безвольфрамовые быстрорежущие стали.

*[2]Стали, полученные методом порошковой металлургии.

Износ по задней поверхности характерен для малых подач (до 0,1 мм), низких скоростей и обработки хрупких материалов. По мере увеличения скорости резания и подачи появляется износ передней поверхности в виде лунки. Износ по задней поверхности – основная причина потери инструментом его режущих свойств. Критериями износа по задней

3. Выбор марок твердого сплава при различных условиях обработки резанием

Область применения			Марки твердых сплавов					
Группы применения по ИСО		Виды и характер обработки	Обозначения			Свойства		Покрытия
Основная группа	Подгруппа		По ГОСТ 9391–80	Фирменные	Фирма	$\sigma_{изг}$, Н/мм^2	HV (HRA)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
P	P01	Чистовая обработка незакаленных и закаленных углеродистых сталей с малыми сечениями среза (точение, развертывание, нарезание резьбы)	T30K4	T30K4	Победит	1176	(92,0)	
		Финишная и чистовая обработка стали		GC4015	Sandvik			Al_2O_3 + TiN
		Чистовое точение стали		T1	Widia			TiC-TiN Basis +Nb/Co
		Чистовая обработка всех видов сталей кроме коррозионно-стойких		CPX	Hertel			Al_2O_3+ TiN
	P10	Чистовое и получистовое точение, фрезерование, растачивание, развертывание и т.п. углеродистых и легированных сталей	T15K6	T15K6	Победит, Элемаш	1176	1350 (90,0)	
		Универсальный сплав для чистовой и получистовой обработки стали		GC4025	Sandvik			Ti(C,N) +Al_2O_3+ TiN
		Финишная и чистовая обработка стали		GC4015	Sandvik			Al_2O_3+ TiN
		Основная марка для обработки легированных сталей	TT31K10	TTX	Widia	1500	1700	
		Чистовая и получистовая обработка всех сталей, кроме жаропрочных и коррозионно-стойких		13E CW2	Hertel			TiN+ Ti(C,N) + Al_2O_3
		Высокая износостойкость при обработке длинностружечных материалов на высоких скоростях	TT35K10	DP100	Gühring	1550	1800	
	P20	Черновое и получистовое точение, фрезерование, рассверливание литых и кованых заготовок из углеродистых и легированных сталей	T14K8	T14K8	Победит	1274	1325 (89,5)	Без покрытия

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	P20	Универсальный сплав для чистовой и получистовой обработки стали		GC4025	Sandvik			Ti(C,N) +Al_2O_3 +TiN
		Чистовая и получистовая обработки жаропрочной и коррозионно-стойкой стали в тяжелых условиях		GC4035	Sandvik			TiN+ Ti(C,N) +Al_2O_3
		Обработка всех сталей, кроме жаропрочных и коррозионно-стойких		CM3	Hertel			TiN
		Точение чистовое и получистовое стали		TTS	Widia	2200	1450	
		Фрезерование чистовое и получистовое стали		TTM	Widia	2100	1500	
		Универсальный сплав для фрезерования; высокая прочность	TT18K10	DP250	Gühring	2200	1450	
	P25	Фрезерование стального литья, ковкого чугуна	TT20K9	TT20K9	Победит	1470	(89,0)	
		Универсальный сплав для чистовой и получистовой обработки стали		CT25	Sandvik			Ti(C,N) +Al_2O_3 +TiN
		Чистовая и получистовая обработка в тяжелых условиях стального литья и поковок		CT35	Sandvik			Ti(C,N)
		Точение углеродистых и легированных сталей получистовое		TTS	Widia	2200	1450	
		Фрезерование углеродистых и легированных сталей получистовое		TTM	Widia	2100	1500	
		Универсальный сплав для фрезерования; высокая прочность	TT18K10	DP250	Gühring	2200	1450	
	P30	Черновое точение и фрезерование, отрезка поковок, штамповок, отливок по корке и окалине углеродистых и легированных сталей	T5K10	T5K10	Победит	1421	(88,5)	
		Универсальный сплав для чистовой и получистовой обработки стали		GC4025	Sandvik			Ti(C,N) +Al_2O_3 +TiN
		Чистовая и получистовая обработка жаропрочных и коррозионно-стойких сталей в тяжелых условиях		GC4035	Sandvik			Ti(C,N) +Al_2O_3
		Точение поковок, штамповок, отливок, в т.ч. по корке и окалине		TTS	Widia	2200	1450	

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	P30	Фрезерование легированных сталей, в т.ч. по корке и окалине		TTM	Widia	2100	1500	
		Высокая стойкость и прочность; сплав для вращающегося инструмента	TT18K9	DP300	Gühring	2200	1540	
	P40	Тяжелое черновое точение стальных поковок, штамповок, отливок по корке с раковинами, шлаком. Все виды строгания углеродистых и легированных сталей	T5K12 TT7K12	T5K12 TT7K12	Победит	1666	1100 (87,0)	
		Черновое точение, прерывистое резание, фрезерование по окалине и корке	T5K10	T5K10	Победит	1421	(88,5)	
		Чистовая и получистовая обработка жаропрочных и коррозионно-стойких сталей		GC4035	Sandvik			Ti(C,N) $+Al_2O_3$
		Точение и фрезерование стали с переменным сечением по корке и окалине		TTR	Widia			
		Обработка всех сталей, кроме жаропрочных и коррозионно-стойких по корке		CL4	Hertel			TiN+ Ti(C,N) Al_2O_3+ TiN
		Точение и фрезерование аустенитных сталей. Высокая стойкость и вязкость	TT12K11	DP450	Gühring	2500	1420	
	P50	Тяжелое черновое точение, фрезерование, строгание отливок, штамповок, поковок из углеродистых и легированных сталей	TT7K12	TT7K12	Победит	1666	1100 (87,0)	
M	M05	Чистовая и получистовая обработка твердых легированных и отбеленных чугунов, закаленных, жаропрочных сталей и сплавов на основе титана и вольфрама	BK6-OM	BK6-OM	Победит	1274	(90,5)	
	M10	Получистовая обработка жаропрочных, аустенитных сталей, закаленных чугунов, бронз, абразивных неметаллических материалов, стекла, бумаги, пластмасс	BK6M	BK6M	Победит, Элемаш	1421	(90,0)	
		Основная марка для обработки коррозионно-стойких сталей		GC2025	Sandvik			Ti(C,N) $+Al_2O_3$ +TiN
		Чистовая и получистовая обработка стали		GC2015	Sandvik			

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Чистовое точение высоколегированной стали, серого и легированного чугуна		AT10	Widia	1750	1750	
		Чистовое и получистовое точение и фрезерование легированной стали и ковкого чугуна		DM150	Gühring	2000	1500	
	M20	Получистовая обработка жаропрочных, коррозионно-стойких и закаленных сталей. Основная марка для обработки твердых и закаленных чугунов, твердой бронзы, стекла, пластмасс	BK6M	BK6M	Победит, Элемаш	1421	(90,0)	
		Основная марка для обработки коррозионно-стойких сталей		GC2025	Sandvik			Ti(C,N) $+Al_2O_3$
		Черновая обработка коррозионно-стойких сталей		GC2035	Sandvik			Ti(C,N) + Al_2O_3
		Точение и фрезерование аустенитных сталей		AT15	Widia	1900	1550	
		Обработка сталей и чугунов с большими сечениями среза		AT15S	Widia	2000	1500	
		Сплав широкого применения для точения без ударов	TT11K7	DM150	Gühring	2000	1550	
	M30	Черновое точение, строгание, фрезерование, а также сверление, зенкерование серого чугуна, жаропрочных, коррозионно-стойких сталей	BK8	BK8	Победит, Элемаш	1666	(87,5)	
		Фрезерование, сверление, зенкерование, развертывание, зубофрезерование стали, чугуна; монолитный мелкоразмерный инструмент	BK10M	BK10M	Победит	1617	(88,0)	
		Чистовая и получистовая обработка коррозионно-стойкой стали на средних скоростях		GC2035	Sandvik			без покрытия
		Обработка стали при малых скоростях и тяжелых условиях	TT10K12	TTR	Widia	2250	1350	
		Обработка марганцевых сталей и легированных чугунов с большой подачей		AT15S	Widia	2000	1500	

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	М40	Черновая и получистовая обработка твердых, легированных чугунов, сталей и сплавов на основе титана, молибдена, вольфрама; монолитный мелкоразмерный инструмент	ВК10-ОМ	ВК10-ОМ	Победит	1470	(88,5)	
		Тяжелое черновое точение, строгание, фрезерование стальных поковок, отливок, штамповок по корке с раковинами, шлаком, углеродистых и легированных сталей	ТТ7К12	ТТ7К12	Победит	1666	(87,0)	
		Черновая обработка коррозионно-стойких сталей		GC2035	Sandvik			Ti(C,N) +Al_2O_3 +TiN
		Черновое точение жаропрочных и коррозионно-стойких сталей		CM5	Hertel			
К	К01	Чистовое точение, нарезание резьб, развертывание серого чугуна, цветных металлов; резка стекла, резины	ВК3	ВК3	Победит	1176	(89,5)	
		Чистовое точение, растачивание, нарезание резьбы, развертывание твердых, легированных чугунов, закаленных сталей, неметаллических материалов	ВК3М	ВК3М	Победит	1176	(91,0)	
		Окончательная обработка чугунов		GC3005	Sandvik			TiN+ Al_2O_3+ Ti(C,N)
		Мелкозернистый и износостойкий сплав для точения и фрезерования		THF	Widia	1600	1750	
		Окончательная обработка чугунов	ВК5	DK050F	Gühring	2500	1800	
	К10	Чистовое и получистовое точение, фрезерование, растачивание, зенкерование чугуна, титана и его сплавов, цветных металлов	ВК4	ВК4	Победит	1519	(89,5)	
		Окончательная обработка чугуна		GC3005 GC3015	Sandvik			TiN+ Al_2O_3+ Ti(C,N)
		Чистовая и получистовая обработка чугунов		GC3015	Sandvik			TiN+ Al_2O_3+ Ti(C,N)

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Основная марка для отливок легированных сталей	ВК6	THM	Widia	2000	1600	
		Универсальный сорт	Т3К6	DK100	Gühring	2600	1690	
		Универсальный сорт	ТТ2К6	DK120	Gühring	3000	1870	
	К20	Черновое и получистовое точение, фрезерование, растачивание, нарезание резьб, зенкерование в сером чугуне, цветных металлах и их сплавах	ВК6	ВК6	Победит, Элемаш	1519	(88,5)	
		Черновая обработка чугуна		GC3025	Sandvik			
		Чистовая и получистовая обработка чугуна		GC3015	Sandvik			TiN+ Al_2O_3+ Ti(C,N)
		Чистовая и получистовая обработка чугуна	ВК6М	THM	Widia			
	К30	Черновое точение, строгание, фрезерование, сверление, зенкерование серого чугуна, цветных металлов, труднообрабатываемых сталей и сплавов	ВК8	ВК8	Победит, Элемаш	1666	(87,5)	
		Черновое точение, фрезерование серого чугуна, жаропрочных и коррозионно-стойких сталей		GC3024	Sandvik			TiN+ Al_2O_3+ Ti(C,N)
		Черновая обработка чугунов		GC1020	Sandvik			TiN
		Черновая обработка чугунов	ВК9	THR	Widia	2350	1450	
		Черновая обработка сталей и чугунов	Т2К10	DK350F	Gühring	3600	1590	
	К40	Черновое точение, строгание, фрезерование серого чугуна, цветных металлов, жаропрочных и труднообрабатываемых сталей и сплавов	ВК8	ВК8	Победит, Элемаш	1666	(87,5)	
		Режущий инструмент для обработки дерева	ВК15	ВК15	Победит	1862	(86,0)	
		Черновая обработка стали и чугуна	ВК9	GC1025	Sandvik			TiN
		Мелкозернистый и износостойкий сорт	ВК9	THR	Widia	2350	1450	
		Обработка титановых сплавов	ВК10	DK400F	Gühring	3000	1550	
		Обработка чугуна, сплавов, легированных титаном, жаропрочных сплавов	ТТ2К10	DK350F	Gühring	3600	1590	

Примечания: 1. Страны фирм производителей твердого сплава:
Победит, Элемаш – Россия;
Widia, Gühring, Hertel – Германия;
Sandvik – Швеция – Россия, Швеция.
2. Маркировочный цвет по ИСО основных групп применения:
Р – синий; М – желтый; К – красный.

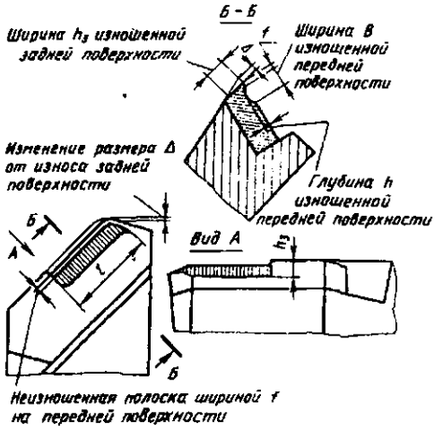


Рис. 6. Схема износа резца

поверхности считают наибольшую ширину h_3 площадки износа. По величине h_3 определяют нормы износа инструмента. Обработка чистовыми и мерными инструментами прекращается, если обработанная поверхность перестает удовлетворять требованиям по точности и шероховатости, т. е. при технологическом критерии износа.

РЕЗЦЫ

Резцы из быстрорежущей стали и с пластинами из твердого сплава

4. Токарные проходные отогнутые резцы (правые и левые)

Размеры, мм

Резцы	H	B	L	m	a	r
С пластинами из быстрорежущей стали (по ГОСТ 18868–73)						
	16	10	100	6	10	0,5
	20	12	120	7	12	1
	25	16	140	8	16	1
	32	20	170	10	20	1
	40	25	200	12	25	1,5

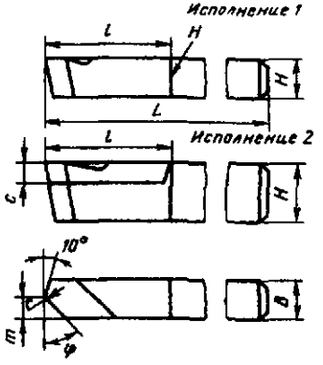
Продолжение табл. 4

Резцы	H	B	L	m	a	r
С пластинами из твердого сплава						
	16	10	100	8	8	0,5
	16	12	100	7	10	1
	20	12	120	7	10	1
	20	16	120	8	14	1
	25	16	140	8	14	1
	25	20	140	10	18	1,5
	32	20	170	10	18	1,5
	40	25	200	12	25	2
	50	32	240	14	25	2

5. Токарные проходные прямые резцы (правые и левые)

Размеры, мм

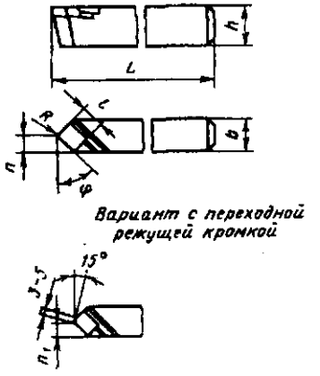
С пластинами из быстрорежущей стали (по ГОСТ 18869-73)



H	B	L	l	m			c	r
				φ=45°	φ=60°	φ=75°		
10	10	60	30	–	–	3	–	0,5
16	10	100	40	6	4,5		–	0,5
16	16	80	30	9	7		–	1,0
20	12	120	40	7	6	–	6	1,0
20	20	120	40	12	9		6	1,0
25	16	140	50	9	7		8	1,0
32	20	170	60	12	9		10	1,0

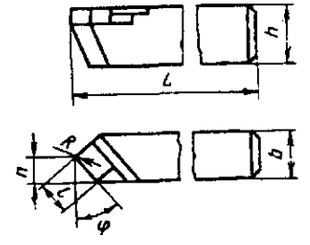
Продолжение табл. 5

С пластинами из твердого сплава (по ГОСТ 18878-73)



h	b	L	n		n_1		l	R
			φ = 45°	φ = 60°	φ = 45°	φ = 60°		
16	10	100	6	4,5	5	4	8	0,5
20	12	120	7	6	5,5	5,5	10	1,0
20	16	120	9	7	8	6,5	12	1,0
25	16	140	9	7	8	6,5	12	1,0
32	20	170	12	9	10,5	8,5	16	1,5
32	25	170	14	11	12,5	10,5	20	2,0
40	25	200	14	–	12,5		20	2,0

С пластинами из твердого сплава, с углом врезки пластины в стержень 0° (по ГОСТ 18878-73)



h	b	L	n		l	R
			φ = 45°	φ = 60°		
16	10	100	6	4,5	8	0,5
20	12	120	7	6	10	1,0
20	16	120	9	7	12	1,0
25	16	140	9	7	12	1,0
32	20	170	12	9	16	1,5
32	25	170	14	11	20	2,0
40	25	200	14	11	20	2,0

6. Токарные проходные упорные отогнутые резцы с углом в плане 90° (правые и левые)

Размеры, мм

Резцы	h	b	L	n	l	R
С пластинами из быстрорежущей стали (по ГОСТ 18870–73)						
	16	10	100	4	12	0,5
	20	12	120	5	16	1,0
	25	16	140	6	20	1,0
	32	20	170	7	25	1,0
	40	25	200	9	30	1,5
С пластинами из твердого сплава (по ГОСТ 18879–73)						
	16	10	100	4	10	0,5
	16	12	100	5	12	1,0
	20	16	120	6	16	1,0
	25	16	140	7	16	1,0
	25	20	140	8	20	1,5
	32	20	170	8	20	2,0
	40	25	200	10	25	2,0
С пластинами из твердого сплава с углом врезки пластин в стержень 0° (по ГОСТ 18879–73)						
	16	10	100	4	10	0,5
	16	12	100	5	12	0,5
	20	16	120	6	16	1,0
	25	16	140	7	16	1,0
	25	20	140	8	20	1,5
	32	20	170	8	20	1,5
	40	25	200	10	25	2,0

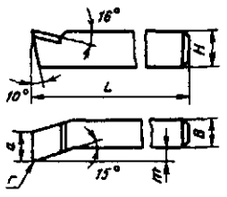
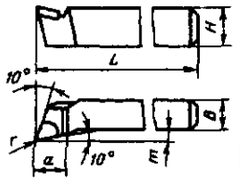
7. Проходные упорные прямые резцы с пластинами из твердого сплава с углом в плане 90° (по ГОСТ 18879–73)

Размеры, мм

Резцы	h	b	L	l	R
	20	12	100	12	1,0
	25	16	120	15	1,0
	32	20	140	20	1,5

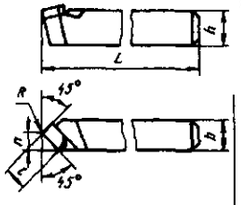
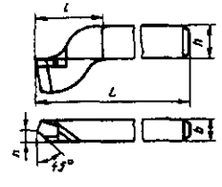
8. Токарные подрезные отогнутые резцы (правые и левые)

Размеры, мм

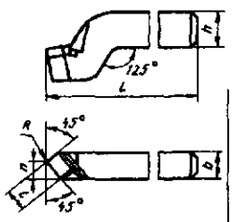
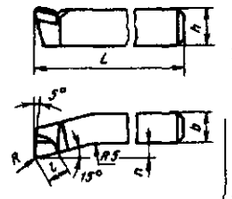
Резцы	H	B	L	m	a	r
С пластинами из быстрорежущей стали (по ГОСТ 18871–73)						
	16	10	100	4	10	0,5
	20	12	120	5	12	1,0
	25	16	140	6	16	1,0
	32	20	10	8	20	1,0
	40	25	200	10	25	1,5
С пластинами из твердого сплава (по ГОСТ 18880–73)						
	16	12	100	5	12	1,0
	20	12	120	7	12	1,0
	20	16	120	8	15	1,0
	25	16	140	10	15	1,0
	25	20	140	11	20	1,5
	32	20	170	11	20	1,5
	40	25	200	13	25	2,0

9. Строгальные резцы

Размеры, мм

Резцы	h	b	L	n	l	R
Проходные прямые с углом в плане φ=45° с пластинами из твердого сплава (правые и левые) (по ГОСТ 18891–73)						
	20	16	170	9	12	1,5
	25	20	200	12	16	2,0
	32	25	250	14	20	2,5
	40	32	300	18	25	3,0
Проходные изогнутые с пластинами из быстрорежущей стали (по ГОСТ 18887–73)						
	25	16	220	9	50	–
	32	20	280	12	63	
	40	25	340	14	80	

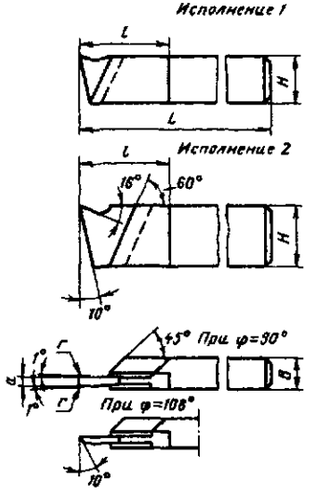
Продолжение табл. 9

Резцы	h	b	L	n	l	R
Проходные изогнутые с пластинами из твердого сплава (по ГОСТ 18891–73)						
	20	16	190	9	12	1,5
	25	20	220	12	16	2,0
	32	25	280	14	2,5	
	40	32	340	18	25	3,0
Проходные прямые (правые и левые) с пластинами из твердого сплава (по ГОСТ 18893–73)						
	20	16	170	8	12	1,5
	25	20	200	10	16	2,0
	32	25	250	12,5	20	2,5
	40	32	300	15	25	3,0

10. Токарные отрезные резцы

Размеры, мм

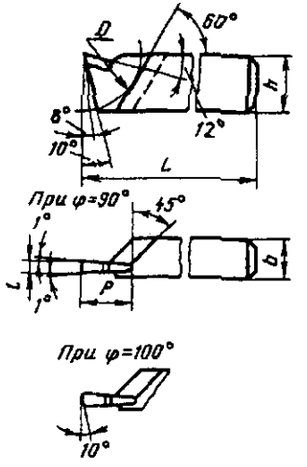
Из быстрорежущей стали (по ГОСТ 18874–73)



Продолжение табл. 10

H	B	L	l	a	r	Наибольший диаметр обработки D
16*[1]	10	100	30	3	0,2	30
20*[2]	12	120	50	3	0,2	30
				4		35
25*[2]	16	140	60	3	0,2	30
				5		50
32*[2]	20	170	60	4	0,2	35
				6		60

С пластинами из твердого сплава (по ГОСТ 18884-73)



h	b	L	P	l	Наибольший диаметр обработки D
16	10	100	20	3	30
20	12	120	25	4	35
25	16	140	35	5	50
32	20	170	38	6	60
40	25	200	45	8	70

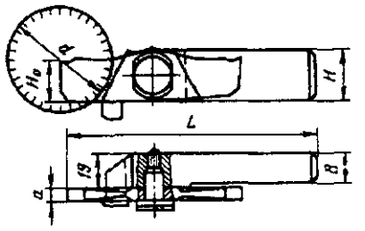
*[1]Резцы исполнения 1.

*[2]Резцы исполнения 2.

11. Отрезные сборные резцы (правые и левые)

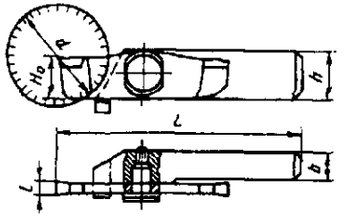
Размеры, мм

Из быстрорежущей стали



H	B	H_0	L	a	d*
30	18	20	130	4	40
		25	140	5	60
		30	175	5	75

С пластинами из твердого сплава

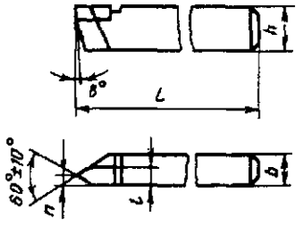


h	b	H_0	L	a	d*
30	18	20	130	4	40
		25	140	5	60
		30	175	5	75

*Наибольший диаметр обработки.

12. Токарные резьбовые резцы с пластинами из твердого сплава (по ГОСТ 18885-73)

Размеры, мм

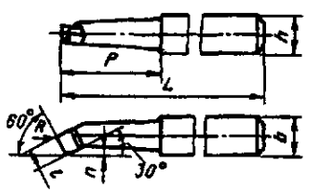


h	b	L	n	l	Шаг резьбы
20	12	120	3	6	0,8 – 3
25	16	140	4	8	1,25 – 5
32	20	170	5	10	2 – 6

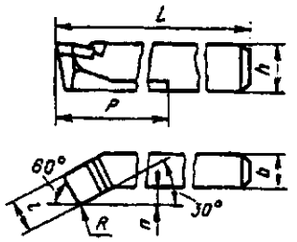
13. Токарные расточные резцы с углом в плане $\varphi = 60°$ с пластинами из твердого сплава (по ГОСТ 18882–73)

Размеры, мм

Исполнение 1



Исполнение 2



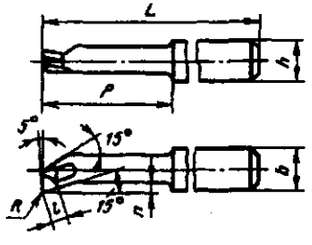
Исполнение 1						Исполнение 2					
h	*b*	*L*	*P*	*n*	*l*	*h*	*b*	*L*	*P*	*n*	*l*
16	16	120	25	3,5	8	16	12	170	80	6	12
		140	40								
			35	4,5							
		170	60								
20	20	140	40	5,5	10	20	16	200	100	8	14
		170	70								
			50	6,0	12						
		200	80								
25	25	200	70	8,0	14	25	20	240	120	10	18
		240	100			32	25	280	160	12	22

Примечание. Для резцов исполнений 1 и 2 размер $R = 1$ мм.

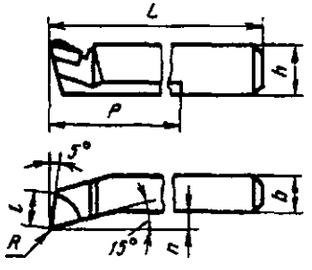
14. Токарные расточные резцы с углом в плане $\varphi = 95°$ (по ГОСТ 18883–73)

Размеры, мм

Исполнение 1



Исполнение 2



Продолжение табл. 14

Исполнение 1						Исполнение 2					
h	*b*	*L*	*P*	*n*	*l*	*h*	*b*	*L*	*P*	*n*	*l*
16	16	120	25	3,5	8	16	12	170	80	6	12
		140	30								
			40	4,5							
		170	60								
20	20	140	40	6	10	20	16	200	100	8	16
		170	70		12						
			50								
		200	80								
25	25	200	70	8,0	16	25	20	240	120	10	20
		240	100			32	25	280	160	12	25

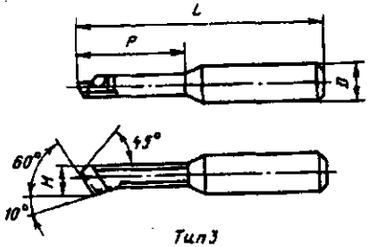
Примечание. Для резцов исполнений 1 и 2 размер $R = 1$ мм.

15. Расточные цельные резцы из твердого сплава со стальным хвостовиком

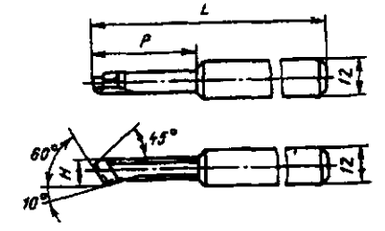
Размеры, мм

Для сквозных отверстий (по ГОСТ 18062-72)

Типы 1, 2

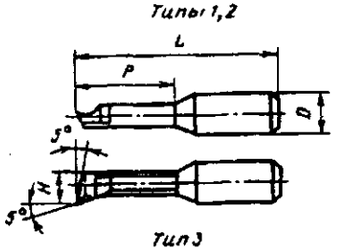


Тип 3

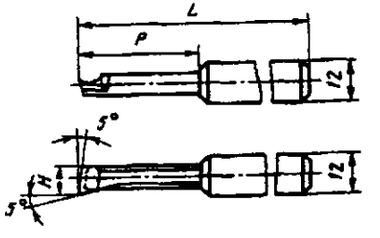


Для глухих отверстий (по ГОСТ 18063-72)

Типы 1, 2



Тип 3



Продолжение табл. 15

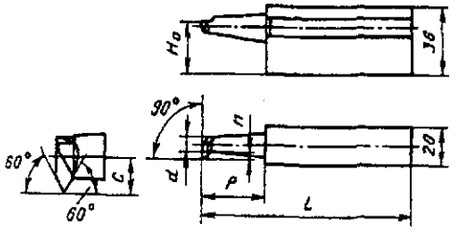
Тип 1					Тип 2					Тип 3			
H	D	L	P	D_{min}**	H	D	L	P	D_{min}**	H	L	P	D_{min}**
2,8	6*	40	10	3	2,8	10	70	20	3	2,8	120	20	3
		50	20										
3,8		40	10	4	3,8				4	3,8			4
		50	20										
4,7	10	45	15	5	5,5		90	30	6	5,5	130	30	6
		60	30										
5,5		45	15	6	7,5	15	100	40	8	7,5	140	40	8
		65	35										
6,5	12	45	15	7									
7,5		65	35										
		50	20	8									
		70	40										

* Для глухих отверстий D = 2,8 мм.

**Минимальный диаметр растачиваемого отверстая.

16. Расточные резцы с напаянной пластиной из твердого сплава и пружинящей оправкой

Размеры, мм



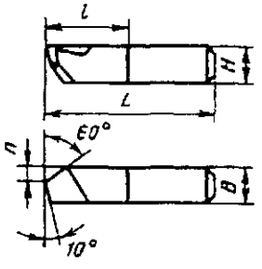
d	L	H_0	P	n	c	D_{min}*
6	130	26	25; 35	6	7,2	12
8	140	26,5	30; 40	7,5	9,5	14
10	150	27	35; 50	10,0	11	16

D_{min}*– минимальный диаметр растачиваемого отверстия.

17. Расточные державочные резцы с углом в плане φ = 60° для прямого крепления

Размеры, мм

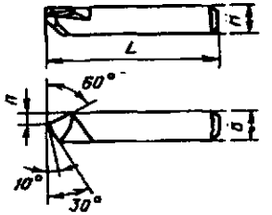
Из быстрорежущей стали, тип 1 (по ГОСТ 10044-73)



H	B	L	n
6	6	20; 25; 32	2
8	8	25; 32; 40	3
10	10	32; 40; 50	4
12	12	40; 50; 63	5
16*	16	63; 80	6

Продолжение табл. 17

С пластинами из твердого, сплава, тип 1 (по ГОСТ 9795–84)



H	B	L	n
10	10	32; 40; 50	5
12	12	40; 50; 63;	5
16	16	63; 80	6
20	20	70; 80; 100	7
25	25	100; 127	7

*l = 30 мм.

18. Расточные державочные упорные рерцы с углом в плане φ = 90° для прямого крепления

Размеры, мм

Резцы	H	B	L
Из быстрорежущей стали, тип 2 (по ГОСТ 10044–73)	6	6	20; 25; 32
	8	8	
	10	10	40
	12	12	40; 50
	16*	16	63; 80
С пластинами из твердого сплава, тип 2 (по ГОСТ 9795–84)	6	6	25
	8	8	25; 32; 40
	10	10	32; 40; 50
	12	12	40; 50; 63
	16	16	63; 80
	20	20	80; 100
	25	25	100; 125
	32	32	125; 140
	40	40	160; 180

*l = 30 мм.

19. Расточные державочные резцы для косого крепления

Размеры, мм

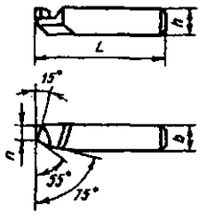
Резцы	H	B	L	m
Из быстрорежущей стали, тип 3 (по ГОСТ 10044–73)	6	6	20; 25; 32	3,5
	8	8	20; 25; 32; 40	5,0
	10	10	32; 40; 50	6
	12	12	40; 50; 63	7
	16*	16	63; 80	9
С пластинами из твердого сплава, тип 3 (по ГОСТ 9795–84)	6	6	25; 32	3,5
	8	8	25; 32; 40	5,0
	10	10	32;40; 50	7,0
	12	12	40;50; 63	7.0
	16	16	63; 80	9,0
Из быстрорежущей стали, тип 4 (по ГОСТ 10044–73)	8	8	20; 25; 32; 40	4,0
	10	10	32;40;50	5,0
	12	12	40	6,0
	12*	12	50;63	6,0
	16*	16	63;80	8,0
С пластинами из твердого сплава, тип 4 (по ГОСТ 9795–84)	8	8	25;32;40	3,5
	10	10	32; 40; 50	5,0
	12	12	40;50;63	5,0
	16	16	63;80	8,0
	20	20	80; 100	8,0
	25	25	100; 125	11,0
	32	32	140; 160	14,0
	40	40	180; 200	18,0

*l = 30 мм.

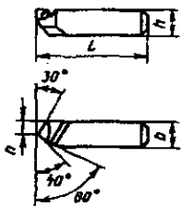
20. Расточные державочные резцы с пластинами из твердого сплава для косого крепления (по ГОСТ 9795-84)

Размеры, мм

Типа 5, крепление под углом 45°



Типа 6, крепление под углом 60°

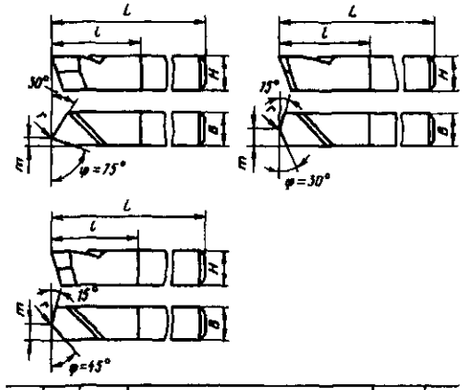


h	b	L	n	h	b	L	n
12	12	40; 50; 63	8	16	16	63; 80	8
16	16	63; 80	10	20	20	80; 100	10
				25	25	100; 125	12

21. Специальные автоматные резцы из быстрорежущей стали (правые и левые)

Размеры, мм

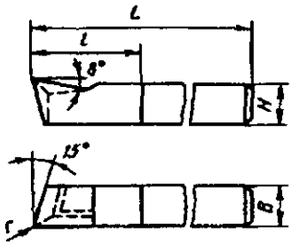
Проходные



H	B	L	m			r	l
			φ =75°	φ =45°	φ =30°		
8	8	50	2	4	5	0,5	–
10	10	60	3	5; 6	6	0,5	–
12	12	70	3	6; 8	8	0,5	–
14	14	70	–	9	–	0,5	–
16	16	80	4	8; 10	11	1,0	–
20	20	100	5	10	14	1,0	50

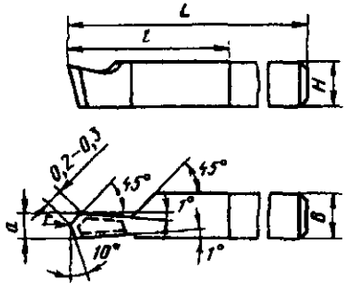
Продолжение табл. 21

Подрезные



H	B	L	r	l
8	8	30; 50; 70; 120; 150	0,3	–
10	10	60; 65	0,5	–
		100; 110		50
12	12	65; 70	0,6	–
		100; 120; 175		50
16	16	80	0,8	–
20	20	100	0,8	50

Отрезные

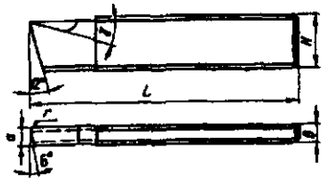


H	B	L	a	r	l
8	8	50	1,5	1,0	–
		70	2,0	1,0	
		120	2,0	1,0	
		150	1,5	1,5	
10	10	80	2,0	1,0	50
		100	1,5		
		110	2,5		
		175	2,0		
		175	2,5		

Продолжение табл. 21

H	B	L	a	r	l
12	12	65	3,0	1,0	–
		70	1,5	1,5	
		100	2,0	1,0	60
		120	2,5	1,5	–
		175	2,0	1,5	60
		200	2,0	1,0	
		200	2,5	1,5	70
		200	3,0	1,0	
14	14	100	3,0	1,0	50

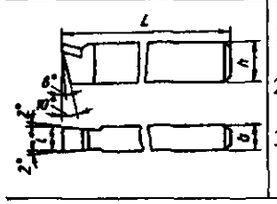
Отрезные пластинчатые*



H	B	L	a	γ°
12	3	85; 100	3	8
18	4	125; 150	4	10
12	5	125; 150	5	12
20	5	125; 150	5	12
25	5	125; 150	5	12
25	6	125; 150	6	12

* r = 0,2 мм.

22. Токарные чистовые широкие резцы с пластинами из твердого сплава (по ГОСТ 18881–73)

Резец	h	b	L	l
	16	10	100	10
	25	16	140	16
	32	20	170	20

Резцы с механическим креплением многогранных пластин из твердого сплава и керамики

Применение многогранных твердосплавных неперетачиваемых пластин на резцах обеспечивает:

повышение стойкости на 20 – 25 % по сравнению с напаянными резцами;

простоту восстановления режущих свойств многогранных пластин путем их поворота;

сокращение:

затрат на инструмент в 2 – 3 раза;

потерь вольфрама и кобальта в 4 – 4,5 раза;

вспомогательного времени на смену и переточку резцов;

упрощение инструментального хозяйства;

уменьшение расхода абразивов.

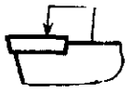
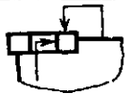
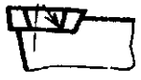
Многогранные пластины различных форм имеют плоскую переднюю поверхность с выкружкой или вышлифованные лунки для частных случаев обработки. Ряд конструкций резцов может оснащаться многогранными пластинами из керамики (в случае крепления пластин без отверстия с плоской передней поверхностью).

Форма и размеры пластин из керамики аналогичны форме и размерам пластин из твердого сплава.

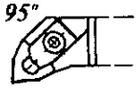
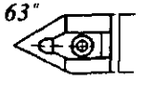
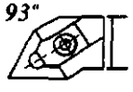
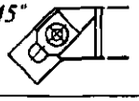
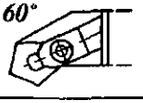
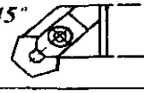
Разработана система токарных резцов новых конструкций, предназначенных для выполнения различных операций на универсальных станках, станках с ЧПУ, многоцелевых станках и др.

Несмотря на многообразие конструкторских решений в части закрепления пластин, в резцах используют ограниченное число базовых способов крепления. Для точения и растачивания за базовые приняты четыре конструкторских решения (табл. 23). Обозначение методов крепления пластин в резцах соответствует международной классификации и ГОСТ 26476-85.

23. Условное обозначение способов крепления пластин токарных резцов по ГОСТ 26476-86 (ИСО 5608-80)

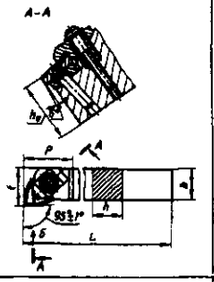
Символ	Схема и способ крепления пластины		Характеристика пластины
C		Крепление сверху	Без отверстия
M		Крепление сверху прихватом и через отверстие	С отверстием
P		Крепление через отверстие	С отверстием
S		Крепление винтом через отверстие	С отверстием

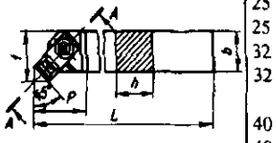
24. Номенклатура резцов с креплением пластин с отверстием клин-прихватом (тип M_3)

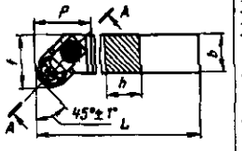
Главный угол в плане φ	Диапазон сечений, мм									
	16×16	20×16	20×20	25×20	25×25	32×25	32×32	40×32	40×40	50×40
	Длина режущей кромки, мм									
95° 	6	6	6 8	6 8	8 10	8 10	10 12	10 12	12	12
63° 	16	16	16	16	16 22	16 22	22 27	22 27	27	27
93° 	16	16	16	16	16 22	16 22	22 27	22 27	27	27
45° 			11	11	11 13	13	13 16	13 16	16	16
60° 	9	9	9 12	9 12	12 16	12 16	16 19	16 19	25	25
45° 			9	9	11	11	11 12	11 12	12	12

Токарные резцы с креплением многогранных твердосплавных пластин клин-прихватом. Для выполнения одним резцом предварительных и окончательных операций на универсальных станках с ручным управлением выпускается гамма резцов с модернизированным клиновым креплением (тип M_3) пластин клином-прихватом (табл. 24). Индекс 3 обозначает использованием опорной пластины под режущей пластиной. Клин прижимает пластину не только к штифту, на котором она крепится центральным отверстием, но и к опорной пластине (табл. 25, 26).

25. Токарные проходные резцы с механическим креплением многогранных твердосплавных пластин клин-прихватом

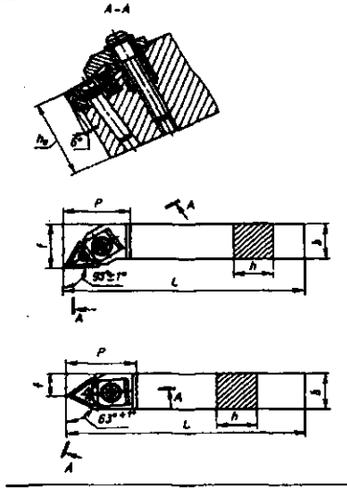
Резцы	h	b	h_0	f	L	P
С трехгранными пластинами 	16	16	16	20	100	25
	20	16	20	20	125	25
	20	20	20	25	125	32
	25	20	25	25	150	32
	25	25	25	32	150	32; 36
	32	25	32	32	170	32
	32	32	32	40	170	36
	40	32	40	40	200	45; 36
	40	40	40	50	200	45
	50	40	50	50	250	45

Резцы	h	b	h_0	f	L	P
С четырехгранными пластинами 	16	16	16	20	100	25
	20	16	20	20	125	25
	20	20	20	25	125	32
	25	20	20	25	150	32
	25	25	25	32	150	36
	32	25	32	32	170	36
	32	32	32	40	170	36; 45
	40	32	40	40	200	45
	40	40	40	50	200	45; 50
	50	40	50	50	250	50

Резцы	h	b	h_0	f	L	P
С шестигранными пластинами 	25	25	25	32	150	32
	32	25	32	32	170	32
	32	32	32	40	170	36; 38
	40	32	40	40	200	36; 38
	40	40	40	50	200	38
	50	40	50	50	250	38

Примечание. Сечения *А – А* для всех резцов, приведенных в табл. 25, аналогичны.

26. Токарные сборные контурные резцы с креплением клин-прихватом трехгранных пластин из твердого сплава



Размеры, мм

h	b	h_0	f*	f**	L	P*	P*
16	16	16	20	9	100	30	32
20	16	20	20	9	125	30	32
20	20	20	25	10	125	30	32
25	20	25	25	10	150	30	32
25	25	25	32	12,5	150	30	32; 36
32	25	32	32	12,5	170	30; 36	32; 36
32	32	32	40	16	170	36; 40	42
40	32	40	40	16	200	36	36; 42
40	40	40	50	20	200	40	42
50	40	50	50	20	250	40	42

* Для резцов с главным углом в плане φ = 93°.
** Для резцов с главным углом в плане φ = 63°.

Токарные резцы с креплением многогранных твердосплавных пластин *L*-образным рычагом (ГОСТ 24996–81).

При креплении многогранных пластин по методу Р наиболее рациональной является конструкция, в которой пластины закрепляют с помощью *L*-образного рычага (табл. 27). Многогранная пластина базируется в закрытом гнезде державки, а рычаг, приводимый в действие винтом, подтягивает ее к двум базовым стенкам гнезда и прижимает к опоре. Опорную пластину закрепляют разрезной втулкой. Данная конструкция позволяет применять всю гамму новых прогрессивных отечественных и зарубежных пластин, а также пластин со сложной формой передней поверхности, обеспечивающей хорошее дробление стружки в широком диапазоне подач и глубин резания (табл. 28).

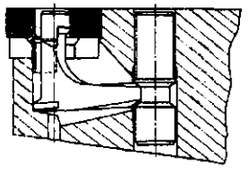
27. Номенклатура резцов с креплением пластин с отверстием (тип P_3)

Эскиз резца проходного	Диапазон сечений, мм: 16×16	20×16	20×20	25×20	25×25	32×25	32×32	40×32	40×40	50×40
	Длина режущей кромки, мм									
90°	16	16	16	16	16/22	22	22	22	27	27
45°	19	19	12	12	12/15	15	15/19	19	25	25
75°	9	9	12	12	12/15	15	15/19	19	25	25
75°					12	12	16	16	19	19
95°	9	9	12	12	12/16	16	16	16	19	19
63°			15	15	15	15	15/19	19	19	19
93°			15	15	15	15	15/19	19	19	19
			9	9	12/15	12/15	15/19	25	25	25

Продолжение табл. 27

Эскиз резца расточного	Диаметр хвостовика, мм: 32	40	50
	Длина режущей кромки, мм		
90°	16	22	22
75°	12	12/15	15
95°	12	12/16	16
93°	–	15	15

Примечание.

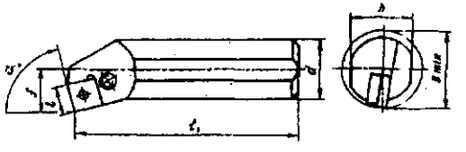


Крепление пластины с отверстием *L*-образным рычагом (тип P_3)

28. Резцы с креплением многогранных твердосплавных пластин *L*-образным рычагом

Размеры, мм

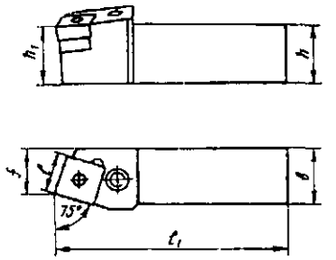
Резец расточной с квадратной пластиной (φ = 75°)



d (*g* 7)	*h*	*l*	l_1 (*k* 16)	*f* (–0,25)	D_{min}
32	30	12,7	250	22	40
			170		
40	37		300	27	50
			200		
		15,9	300		
			200		
50	47		350	35	63
			250		

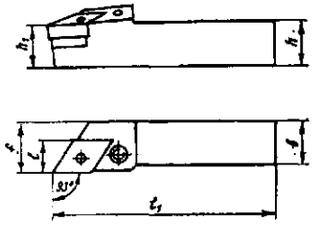
Продолжение табл. 28

Резец токарный проходной с квадратной пластиной (φ = 75°)



Сечение резца *h*×*b* (*h* 13)	h_1 (*js* 14)	*l*	l_1 (*k* 16)	*f* (+0,5)
20 × 20	20	12,70	125	25
25 × 25	25	15,90	150	32
32 × 25	32	12,70	170	
32 × 32		15,90		40
40 × 32	40		200	
40 × 40		19,05		50

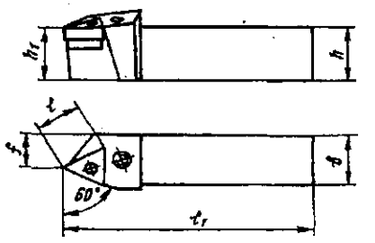
Резец контурный с ромбической пластиной (ε = 55°, φ = 93°)



Сечение резца *h*×*b* (*h* 13)	h_1 (*js* 14)	*l*	l_1 (*k* 16)	*f* (+0,5)
20 × 20	20	15,5	125	25
25 × 25	25		150	32
32 × 25	32		170	
32 × 32				40
40 × 32	40		200	
40 × 40				50

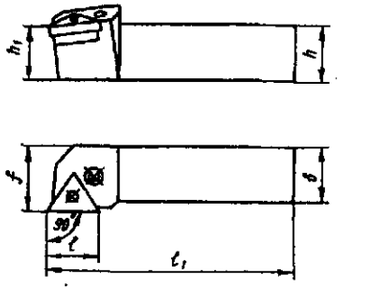
Продолжение табл. 28

Резец проходной с трехгранной пластиной (φ = 60°)



Сечение резца *h*×*b* (*h* 13)	h_1 (*js* 14)	*l*	l_1 (*k* 16)	*f* (+0,5)
20 × 20	20	16,5	125	17
25 × 25	25	22,0	150	22
32 × 25	32		170	
32 × 32		27,5		27
40 × 32	40		200	
40 × 40				35

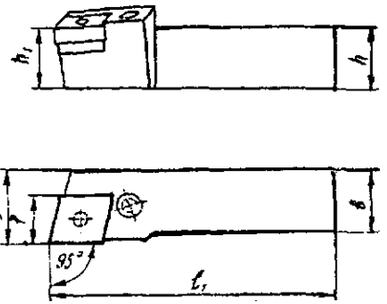
Резец проходной с трехгранной пластиной (φ = 90°)



Сечение резца *h*×*b* (*h* 13)	h_1 (*js* 14)	*l*	l_1 (*k* 16)	*f* (+0,5)
20 × 20	20	16,5	125	17
25 × 25	25	22,0	150	22
32 × 25	32		170	
32 × 32		27,5		27
40 × 32	40		200	
40 × 40				35

Продолжение табл. 28

Резец проходной с ромбической пластиной ($\varepsilon = 80°$, $\varphi = 95°$)



Сечение резца $h \times b$ (h 13)	h_1 (js 14)	l	l_1 (k 16)	f (+0,5)
20 × 20	20	12,9	125	25
25 × 25	25	16,1	150	32
32 × 25	32	12,9	170	
32 × 32		16,1		40
40 × 32	40	19,3	200	
40 × 40				50

Токарные резцы с креплением сменных пластин прихватом сверху (ГОСТ 26611–85, ГОСТ 26612–85 в ред. 1992 г.)

Многогранные пластины без отверстия закрепляют по методу С (табл. 29). Пластины базируют в закрытом гнезде державки по двум базовым поверхностям и сверху прижимают к опорной поверхности прихватом. Быстрый зажим пластины осуществляется дифференциальным винтом. Опорную пластину закрепляют винтом на державке или разрезной пружинящей втулкой.

Метод крепления имеет следующие исполнения:

C_1 и C_2 – для режущих пластин с задним углом;

C_3 и C_4 – без заднего угла.

На передней поверхности режущих пластин с задним углом выполнены стружколомающие канавки для дробления и отвода сливной стружки. При использовании пластин без заднего угла применяют накладные стружколомы, которые закрепляют с помощью прихвата и дифференциального винта. Резцы исполнений C_2 и C_4 без опорной пластины применяют при растачивании отверстий малого диаметра, а также при точении резцами с малым сечением державки 12 × 12 ... 16 × 16 мм (табл. 30, 31).

29. Номенклатура резцов с креплением сменных пластин прихватом (тип С)

Для пластин с задними углами: $\alpha = 11°$ – тип C_{1p}, $\alpha = 7°$ – тип C_{1c}, для пластин без задних углов – тип C_3

Эскиз резца проходного	Диапазон сечений, мм: 16×16	25×16	20×20	32×20	25×25	32×25	32×32	40×32	40×40
	Длина режущей кромки, мм								
90°	–	–	16	16	16	16	22	22	22
90°	–	–	16	16	16	16	22	22	22
60°	–	–	16	16	16	16	22	22	22
60°	–	–	16	16	16	16	22	22	22
45°	9	9	9/12	12	12	12/15	19	–	15/19
45°	9	9	9/12	12	12	12/15	19	19	–
60°	9	9	9/12	12	12	12/15	19	19	–
60°	9	9	9/12	12	12	12/15	19	19	15/19

Продолжение табл. 29

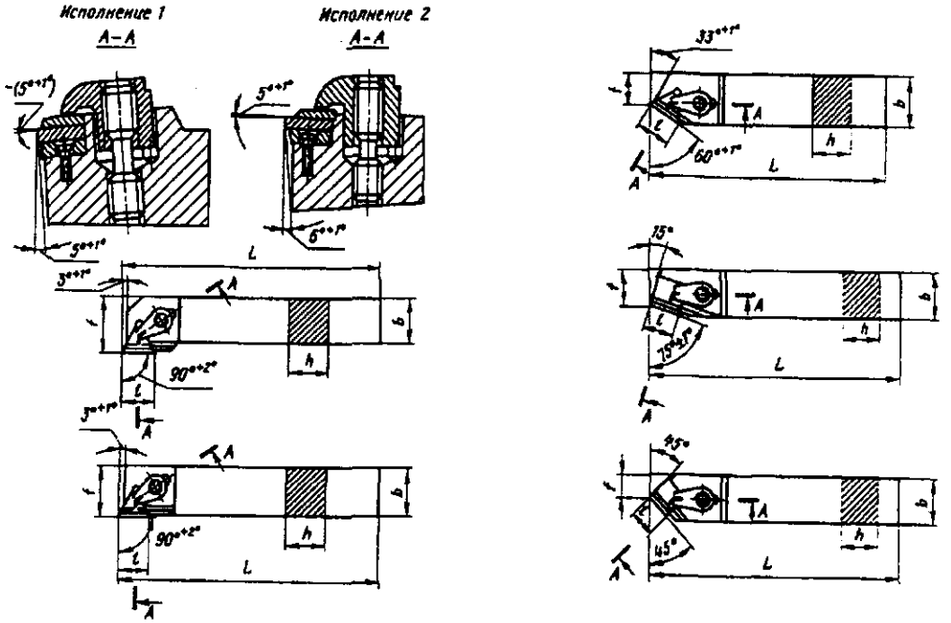
Эскиз резца подрезного	Диапазон сечений, мм: 16×16	25×16	20×20	32×20	25×25	32×25	32×32	40×32	40×40
	Длина режущей кромки, мм								
75°	9	9	9/12	12	12	12/15	19	19	19
75°	9	9	9/12	12	12	12/15	19	19	15/19
95°	–	–	–	–	12	12	16	–	16
60°	–	–	–	–	12	12	16	–	16
	9	–	9	–	12	12	–	–	–
90°	–	–	16	16	16	16	22	22	22
75°	9	9	9/12	12	12	12/15	19	19	19

Продолжение табл. 29

Эскиз резца расточного	Диаметр растачиваемого отверстия, мм, не менее	Державка, мм: d	L	Длина режущей кромки
		мм		
93°	45	32	200 250	16
	63	50	250 350	
45°	45	32	200 250	12
	63	50	250 350	
60°	45	32	200 250	12
	63	50	250 350	
75°	45	32	200 250	12
	63	50	250 350	
93°	45	32	200 250	12
	63	50	250 350	

30. Токарные сборные проходные резцы с креплением многогранных пластин из твердого сплава без отверстия

Размеры, мм



h	b	L	f при φ°, равном					l*2	l*3
			90*1	90	60	75	45		
12	12	80	16	12,5	13	–	6	11	9
16	16	100	20	16,5	13	13	8	11; 16	9
20	20	125	25	20,5	17	17	10	16	12
25	25	150	32	25,5	22	22	12,5	16	12
32	25	170	32	25,5	22	22	12,5	16	12
32	32	170	40	33	27	27	16	22	19
40	40	200	50	41	35	35	–	22; 27	19
50	50	250	60	–	–	43	–	–	25

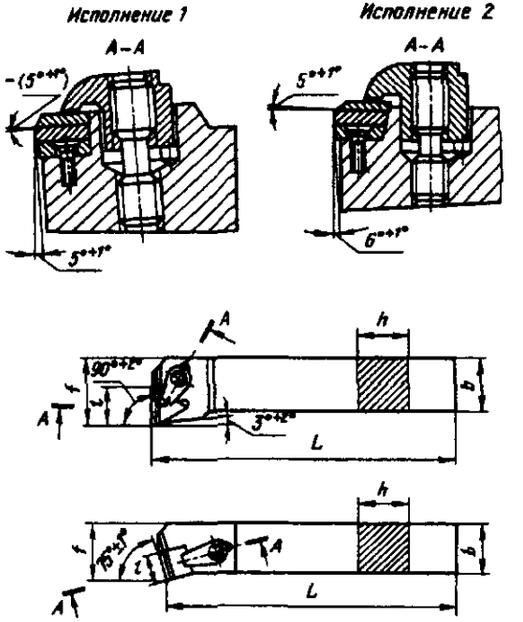
*1 Отогнутый резец.

*2 Резцы с трехгранными пластинами.

*3 Резцы с четырехгранными пластинами.

31. Токарные сборные подрезные резцы с креплением пластин из твердого сплава без отверстия

Размеры, мм



Трехгранные пластины					Четырехгранные пластины				
h	b	L	l	f	h	b	L	l	f
12	12	80	11	16	16	16	100	9	20
20	12	125	11	16	25	16	150	9	20
16	16	100	11	20	20	20	125	12	25
25	16	150	11	20	32	20	170	12	25
20	20	125	16	25	25	25	150	12	32
32	20	170	16	25	32	25	170	18	32
25	25	150	16	32	32	32	170	18	40
32	25	170	16	32	40	32	200	18	40
32	32	170	22	40	–	–	–	–	–
40	32	200	22	40	–	–	–	–	–

Токарные резцы с креплением многогранных твердосплавных пластин с фасонным отверстием винтом (ТУ2-035-892-82).

Резцы с закреплением многогранных пластин по методу S имеют два исполнения: S_1 – с опорной пластиной и S_2 – без нее. Для наружного точения применяются резцы обоих исполнений, для растачивания – в основном исполнении S_2 (табл. 32).

В исполнении S_1 резьбовая втулка прижимает буртом опорную пластину к державке. Винт, ввернутый в резьбовую втулку, конусной головкой прижимает режущую пластину к боковой и опорной поверхностям.

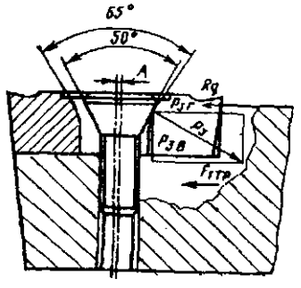
В исполнении S_2 конусная головка винта крепит режущую пластину непосредственно к опорной поверхности державки.

Преимуществом данной конструкции резцов является компактность узла крепления, хороший отвод стружки с открытой передней поверхности (табл. 33). Основная область их применения – растачивание отверстий малого диаметра (10 … 30 мм) на легких и средних станках с ЧПУ и автоматах. Основные размеры державок: 8 × 8, 10 × 10, 12 × 12 и 16 × 16 мм.

32. Номенклатура резцов с креплением пластин с фасонным отверстием винтом (тип S_2)

Эскиз резца проходного	Диапазон сечения, мм				
	8 × 8	10 × 10	12 × 12	16 × 16	20 × 20
	Длина режущей кромки, мм				
90°	9	9	11	11/16	16
90°	9	9	11	11/16	16
45°	–	6	9	9/12	12
75°	–	6	9	9/12	12
95°	6	6	9	9	12
93°				11	15
63°				11	15

Эскиз резца расточного	Диаметр хвостовика, мм			
	12	16	20	25
	Длина режущей кромки, мм			
90°	11	11	11	16
75°	–	9	9	9
95°	–	9	9	9
93°	–	–	11	11



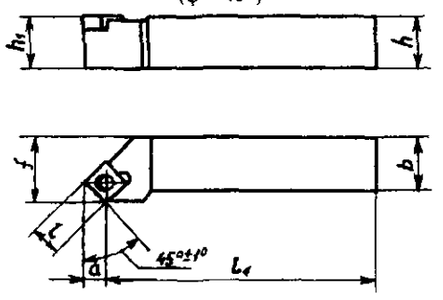
Примечание.

Крепление пластин с фасонным отверстием винтом (тип S_2)

33. Резцы с механическим креплением винтом многогранных пластин из твердого сплава

Размеры, мм

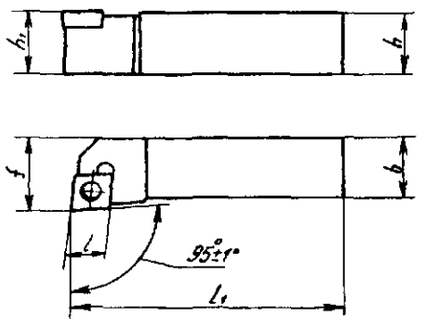
Резец проходной с квадратной пластиной ($\varphi = 45°$)



Сечение резца $h \times b$ (h 13)	h_1 (js 14)	l	l_1 (k 16)	f (+0,5)
8 × 8	8	6,3	60	10
10 × 10	10		70	12
12 × 12	12	9,5	80	16
16 × 16	16		100	20
20 × 20	20	12,7	125	25

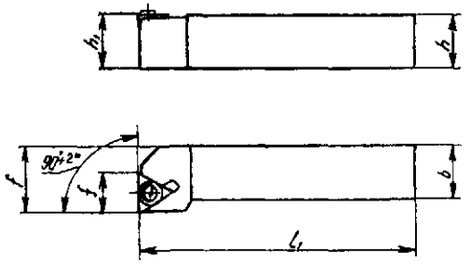
Продолжение табл. 33

Резец проходной с ромбической пластиной ($\varphi = 95°$)



Сечение резца $h \times b$ (h 13)	h_1 (js 14)	l	l_1 (k 16)	f (+0,5)
8 × 8	8	6,4	60	10
10 × 10	10		70	12
12 × 12	12	9,7	80	16
16 × 16	16		100	20
20 × 20	20	12,9	125	25

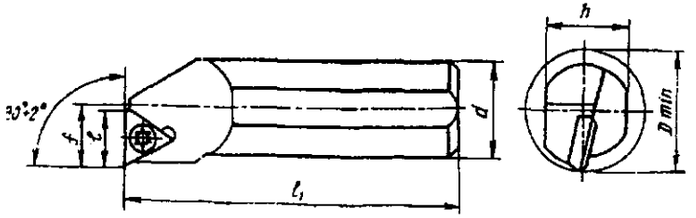
Резец подрезной с трехгранной пластиной ($\varphi = 90°$)



Сечение резца $h \times b$ (h 13)	h_1 (js 14)	l	l_1 (k 16)	f (+0,5)
8 × 8	8	9,6	60	10
10 × 10	10		70	12
12 × 12	12	11,0	80	16
16 × 16	16		100	20
20 × 20	20	16,5	125	25

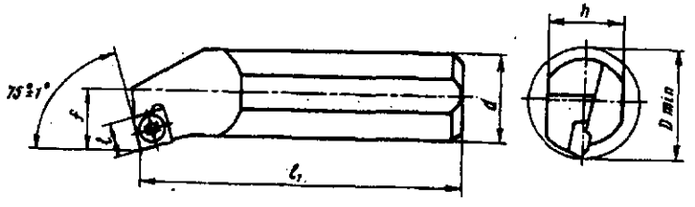
Продолжение табл. 33

Резец расточной с трехгранной пластиной (φ = 90°)

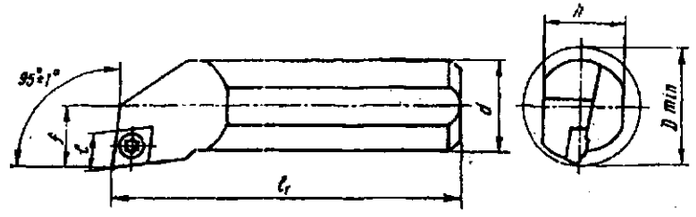


d (g 7)	h	l	l_1 (k 16)	f (–0,25)	D_{min}
12	11	11,0	125	9	16
			80		
16	15		150	11	20
			100		
20	18		180	13	25
			125		
25	23	16,5	200	17	32
			150		

Резец расточной с квадратной пластиной из твердого сплава (φ = 75°)



Резец расточной с ромбической пластиной (ε = 80°; φ = 95°)



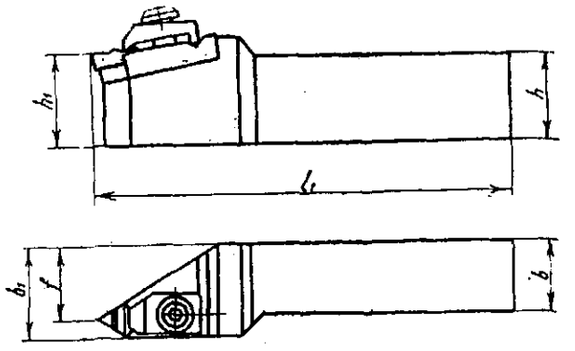
d (g 7)	h	l	l_1 (k 16)	f (–0,25)	D_{min}
16	15	9,5 (9,7)	150	11	20
			100		
20	18		180	13	25
			125		
25	23		200	17	32
			150		
			200		

Резцы резьбовые с креплением многогранных пластин из твердого сплава прихватом. Для нарезания резьб с шагом P = 1,5 ... 6 мм используют резцы с креплением ромбических пластин (ε = 59°30'). Использование ромбических заготовок позволило разработать конструкцию пластин, зачищающих профиль резьбы. Такие пластины имеют центральную поперечную V-образную канавку, в которую входит вершина (носик) прихвата. При закреплении пластины винтом прихват подтягивает ее к боковым базовым поверхностям гнезда и надежно прижимает к опорной поверхности (табл. 34).

34. Резцы резьбовые с ромбической пластиной из твердого сплава для нарезания метрической резьбы

Размеры, мм

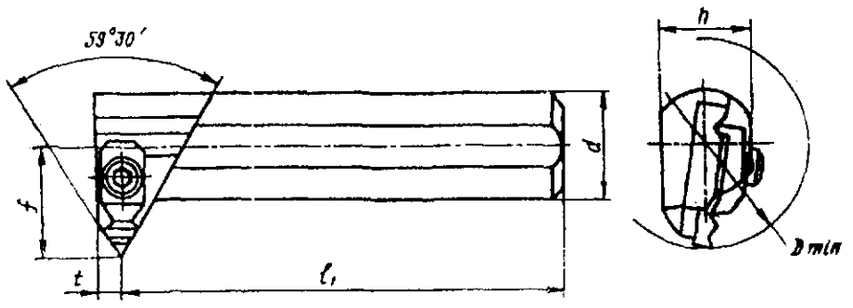
Для нарезания наружной резьбы



Шаг нарезаемой резьбы	Сечение резца h × b (h 13)	h_1	l_1	f (+0,5)	b
1,5 ... 2,5	20 × 20	20	125	20	25
	25 × 20	25	150		26
3,0 ... 4,5					
5,0 ... 6,0	25 × 25			25	
1,5 ... 2,5	32 × 20	32	170	20	25
3,0 ... 4,5					26
5,0... 6,0	32 × 25			25	31
	40 × 25	40	200		

Продолжение табл. 34

Для нарезания внутренней резьбы



Шаг нарезаемой резьбы	D_{min}	h	d (g 7)	l_1 (k 16)	f (–0.25)	t (+0,1)
1,5 … 2,0	40	23	25	150	22	5
				200		
3,0 … 4,0	50	30	32	170	27	6
				250		

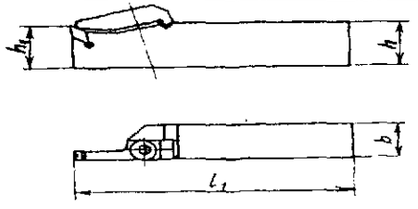
Резцы отрезные с креплением неперетачиваемых пластин из твердого сплава прихватом. Для выполнения отрезки или канавок шириной 3 … 6 мм при глубине до 40 … 60 мм используют резцы с механическим креплением неперетачиваемых пластин из твердого сплава прихватом (табл. 35).

Резцы токарные с креплением перетачиваемых пластин из твердого сплава для обработки канавок и резьбы (ОСТ 2И10-7-84, ОСТ 2И10-8-84, ОСТ 2И10-9-84).

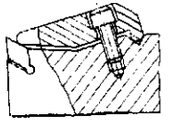
Для нарезания резьб с шагом $P \le 1,5$ мм и различных канавок используют резцы с механическим креплением перетачиваемых режущих пластин (табл. 36).

35. Резец отрезной с креплением прихватом пластин

Размеры, мм



b (h 13)	h (h 13)	h_1 (gs16)	l_1 (k 16)
16	20	20	125
20	25	25	150
25	32	32	170

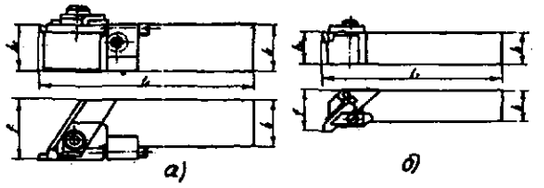


Крепление прихватом неперетачиваемых пластин из твердого сплава для отрезных резцов

36. Резцы токарные с креплением перетачиваемых пластин для обработки канавок и резьбы

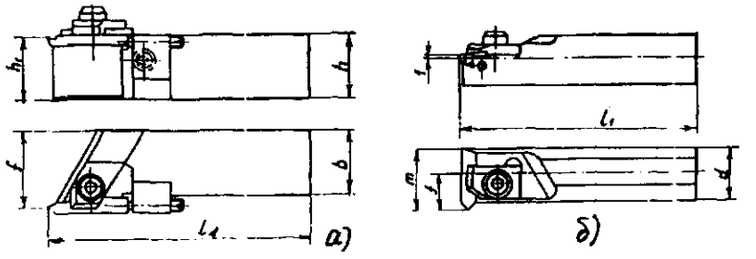
Размеры, мм

Для обработки наружных прямых (*а*) и угловых (*б*) канавок



Сечение резца h×b	h_1	f (+0,5)	l_1 (k 16)
16 × 16	16	20	100
			70
20 × 20	20	25	125
			80
25 × 25	25	32	150
			100
32 × 32	32	40	170
			125
40 × 40	40	50	200
			150

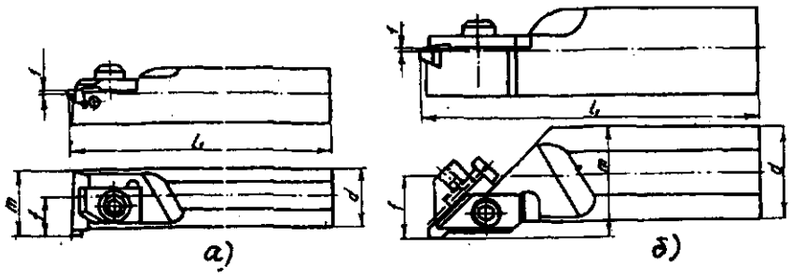
Для обработки наружной (*а*) и внутренней (*б*) резьбы



Сечение резца h×b	h_1	f (+0,5)	l_1 (k 16)	d (g7)	l_1 (k 16)	f (+0,5)	m
16 × 16	16	20	100	20	125	13	23
			70		180		
20 × 20	20	25	125				
			80				
25 × 25	25	32	150	25	150	17	29,5
			100		200		
32 × 32	32	40	170	32	170	22	38
			125		250		
40 × 40	40	50	200				
			150				

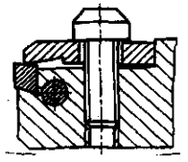
Продолжение табл. 36

Для обработки внутренних прямых (*а*) и угловых (*б*) канавок



d (g7)	l_1 (k 16)	f (–0,25)	m
20	125	13	23
	180		
25	150	17	29,5
	200		
32	170	22	38
	250		

Крепление прихватом неперетачиваемых пластин из твердого сплава для канавочных и резьбовых резцов



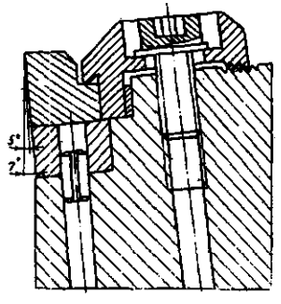
Резцы токарные со ступенчатой пластиной из твердого сплава для тяжелых станков. Для тяжелых токарных и карусельных станков разработаны конструкции резцов с механическим креплением перетачиваемых режущих пластин из твердого сплава в державке и блоке (табл. 37).

Резцы, в которых пластины крепятся на державке, в основном применяются на токарных станках с диаметром обрабатываемых деталей 800 ... 1250 мм и карусельных станках с диаметром стола 1600 ... 2800 мм при глубине резания 7 ... 25 мм.

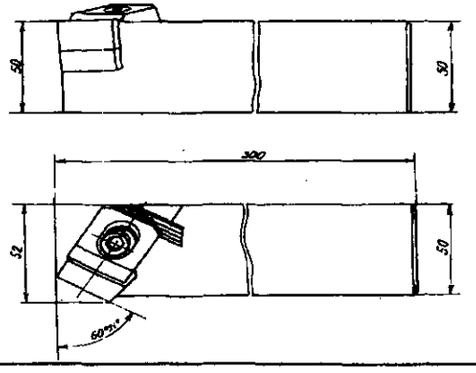
В блоке пластины закрепляют прихватом, а сам блок устанавливают в паз корпуса. Такие резцы применяют при глубине резания 7 ... 40 мм. Рабочая высота блоков в сборе: 63; 80; 100 и 150 мм.

37. Резцы токарные со ступенчатой пластиной

Крепление прихватом перетачиваемых ступенчатых пластин в державке

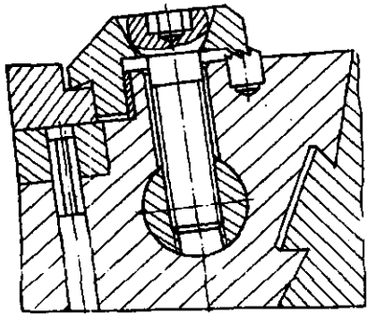


Резец проходной со ступенчатой пластиной (φ = 60°)

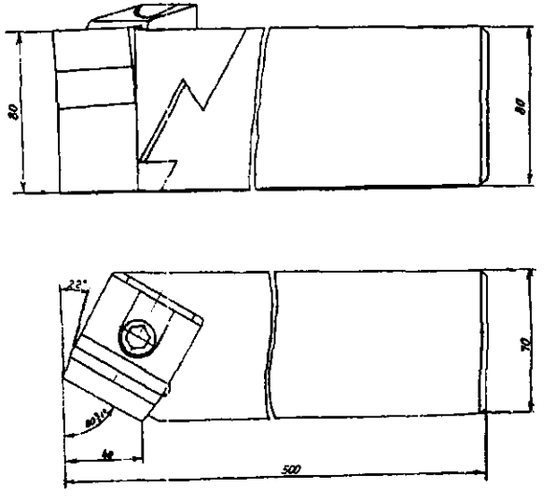


Продолжение табл. 37

Крепление прихватом перетачиваемых ступенчатых пластин в блоке



Резец проходной со сменным блоком, ступенчатой пластиной (φ = 60°)



38. Токарные проходные резцы отогнутые, оснащенные пластинами из композита

Резцы	H	B	L	φ°
С двухслойной пластиной	20	12	125	90
	25	16	140	
С цилиндрической вставкой	16	16	100	45
	20	20	125	
Резцы	8	8	32	45; 60
	10	10	40	
	10	10	65	
	12	12	70	

Резцы с лезвиями из композита

Сверхтвердые инструментальные материалы предназначены для чистовой обработки материалов с высокими скоростями резания (св. 500 м/мин), а также материалов с большой твердостью (*HRC* ≥ 60). Наиболее распространенными сверхтвердыми материалами являются материалы на основе кубического нитрида бора. Изготовляют резцы, оснащенные режущими пластинами из композита, причем режущие элементы могут быть как перетачиваемыми, так и в виде многогранных неперетачиваемых пластин (табл. 38 – 43).

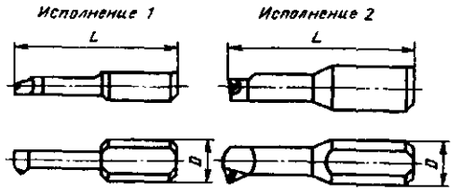
39. Токарные подрезные резцы с креплением цилиндрической вставки, оснащенной режущим элементом из композита

Размеры, мм

Резцы	H	B	L	φ°
	16	16	100	93
	20	20	125	

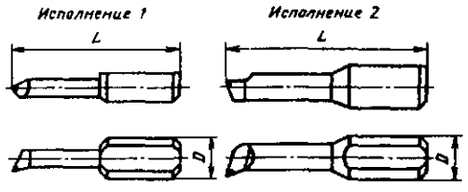
40. Расточные резцы круглого сечения с режущим элементом из композита

Для сквозных отверстий



D, мм	8	10
L, мм	40; 50	40; 50

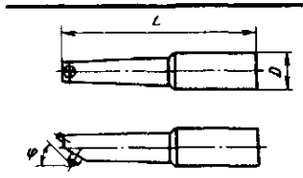
Для глухих отверстий

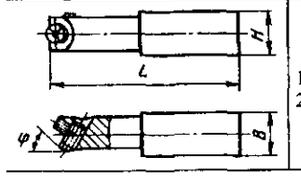


D, мм	12	14
L, мм	50	50

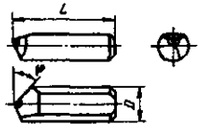
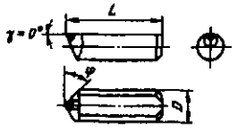
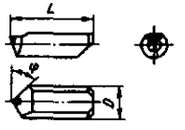
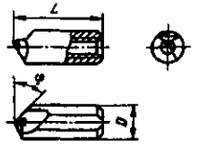
41. Токарные расточные резцы с креплением цилиндрической вставки, оснащенной режущим элементом из композита

Размеры, мм

Резцы	D	L	φ°
	20 25	180 200	45

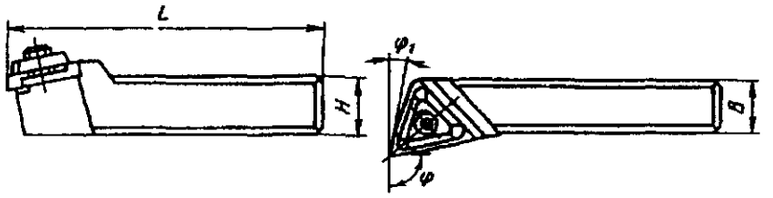
Резцы	H	B	L	φ°
	16 25	16 20	125 170	45

42. Расточные державочные резцы круглого сечения, оснащенные композитом

Резцы	D, мм	L, мм
φ = 10; 15; 35; 40; 50° 	8 8 8 10 12	16 18 20 25 25
	16	30 34 60 80
φ = 35; 45° 	16	30 34 60 80
φ = 10; 15; 35; 40; 50° 	8	16 18 20
	10	25
φ = 10; 15; 35; 40; 50° 	16	30

43. Токарные резцы с креплением пластин из композита

Проходные резцы

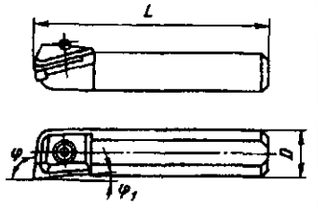


H	B	L	Пластины							
			четырехгранные		круглые		трехгранные		ромбические	
			φ°	φ°1	φ°	φ°1	φ°	φ°1	φ°	φ°1
20	20	125	75	15	–	–	93	27	95; 75	5; 25
25	25	150								
25*	20*	125*								
32	25	170								

*Для резцов с круглами пластинами.

Продолжение табл. 43

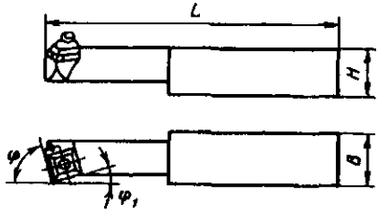
Расточные резцы



D	L	Пластины					
		круглые		трехгранные		ромбические	
		φ°	φ°1	φ°	φ°1	φ°	φ°1
20	180	–	–	93	27	95	5
25	200						

Продолжение табл. 43

Расточные резцы с четырехгранными пластинами



H	B	L	φ°	φ°1
25	20	170	75	15

СВЕРЛА, ЗЕНКЕРЫ, ЦЕКОВКИ, ЗЕНКОВКИ

Сверла

44. Основные типы сверл

Размеры, мм

Наименование	Стандарты или ТУ (в ред. 1988 г.)	Диаметр сверла d	Длина сверла L	Длина рабочей части l
Сверла спиральные из быстрорежущей стали с цилиндрическим хвостовиком:				
короткая серия	ГОСТ 4010–77	0,5 – 20	20 – 131	3 – 66
средняя серия	ГОСТ 10902–77	0,3 – 20	19 – 205	3 – 140
длинная серия	ГОСТ 886–77	1,0 – 20	56 – 254	33 – 166
длинная серия (с коротким хвостовиком)	ГОСТ 12122–77	1,0 – 9,5	48 – 155	25 – 110
малоразмерные:	ГОСТ 8034–76			
короткая серия		0,1 – 1,5	14 – 32	0,6 – 9,0
длинная серия		0,1 – 1,5	14 – 32	1,2 – 9,0
специальные:	ТУ 2–035–402–75			
исполнение 1		2 – 9	120 – 280	50 – 110
исполнение 2		2 – 9	140 – 300	55 – 120
для станков с ЧПУ:				
средняя серия	ОСТ 2 И20–1–80	3 – 20	61 – 205	33 – 140
короткая серия		0,5 – 20	20 – 131	3 – 60
Сверла спиральные из быстрорежущей стали с коническим хвостовиком:				
нормальным		5 – 80	133 – 514	52 – 260
усиленным	ГОСТ 10903–77	12 – 76	199 – 514	101 – 260
удлиненные	ГОСТ 10903–77	6 – 30	225 – 395	145 – 275
длинные	ГОСТ 2092–77	6 – 30	160 – 350	80 – 230
для станков с ЧПУ	ГОСТ 12121–77 ОСТ 2 И20–2–80	6 – 30	133 – 296	57 – 175
с удлиненной рабочей частью и с подводом СОЖ	ТУ 2–035–721–80	10 – 55	210 – 600	130 – 415
Сверла из быстрорежущей стали специализированные и специальные:				
спиральные с износостойким покрытием нитридом титана	ТУ 2–035–813–81	5 – 20	–	–
ступенчатые для одновременного снятия фаски и сверления под резьбу (для автоматических линий):				
с цилиндрическим хвостовиком (рис. 7, *б*)	ОСТ 2 И21–1–76	Под резьбу М6 – М10	–	–
с коническим хвостовиком (рис. 7, *а*)	ОСТ 2 И21–2–76	Под резьбу М6 – М27		

Продолжение табл. 44

Наименование	Стандарты или ТУ (в ред. 1988 г.)	Диаметр сверла d	Длина сверла L	Длина рабочей части l
Сверла спиральные из быстрорежущей стали для труднообрабатываемых материалов:				
с коническим хвостовиком:				
средняя серия	ГОСТ 20697–75	6 – 20	140 – 240	60 – 140
короткая серия	ГОСТ 20696–75	6 – 20	105 – 180	30 – 180
с цилиндрическим хвостовиком, средняя серия	ГОСТ 20695–75	3 – 10	60 – 135	32 – 90
для обработки глубоких отверстий	ТУ 2–035–731–80	4,5 – 10	139 – 205	87 – 140
Сверла спиральные для обработки легких сплавов:				
с цилиндрическим хвостовиком:				
средняя серия	ГОСТ 19543–74	1 – 12	34 – 151	12 – 101
длинная серия	ГОСТ 19544–74	1,95 – 12	85 – 205	56 – 134
левые	ГОСТ 19545–74	1 – 20	34 – 205	12 – 140
с коническим хвостовиком	ГОСТ 19546–74	6 – 30	138 – 324	57 – 175
удлиненные с коническим хвостовиком	ГОСТ 19547–74	6 – 30	225 – 420	145 – 275
Сверла шнековые:				
с цилиндрическим хвостовиком, с износостойким покрытием нитридом титана (рис. 8, *а*)	ТУ 2–035–948–84	5 – 10	130 – 185	85 – 120
с коническим хвостовиком (рис. 8, *б*)	ТУ 2–035–426–75	10 – 14	250 – 265	170 – 185
Сверла спиральные конические конусностью 1:50:				
с цилиндрическим хвостовиком (рис. 9, *а*)	ОСТ 2И20–11–87	3 – 10	80 – 300	50 – 230
с коническим хвостовиком (рис. 9, *б*)	ОСТ 2И20–12–87	12 – 32	290 – 545	190 – 395
Сверла сборные перовые:				
с цилиндрическим регулируемым хвостовиком (для станков с ЧПУ сверлильно-фрезерной группы), рис. 10, *а*	ТУ 2–035–741–81	25 – 80	–	–
с коническим хвостовиком (конус Морзе), рис. 10, *б*	ТУ 2–035–741–81	25 – 130	–	–
Державки регулируемые для крепления пластин перовых сверл	ТУ 2–035–741–81	25 – 80	–	–
Пластины сменные режущие из быстрорежущей стали для сборных перовых сверл ($2\varphi = 90$; 118; 132; 180°), рис. 10, *в*	ГОСТ 25526–82	25 – 130	–	–
Сверла центровочные:				
комбинированные (типы A, B, C и R)	ГОСТ 14952–75	–	–	–
спиральные с цилиндрическим хвостовиком для зацентровки под сверление	ОСТ 2 И20–5–80	5, 10, 16 и 20		
комбинированные односторонние (типы A, B и R)	ТУ 2–035–428–75	–	–	–

Продолжение табл. 44

Наименование	Стандарты или ТУ (в ред. 1988 г.)	Диаметр сверла d	Длина сверла L	Длина рабочей части l
Сверла центровочные:				
комбинированные с износостойким покрытием (типы A, B, C и R)	ТУ 2-035-835-81	–	–	–
двусторонние (для железнодорожных рельс)	ТУ 2-035-501-76	19 – 36	–	–
Сверла-зенкеры комбинированные	ТУ 2-035-525-76	50 – 80	470 – 642	–
Сверла кольцевые со вставными ножами из быстрорежущей стали, в том числе с износостойким покрытием (рис. 11)	ТУ 2-035-524-76	70 – 200	225 – 625	–
Сверла твердосплавные и оснащенные пластинами из твердого сплава:				
спиральные с цилиндрическим хвостовиком:	ГОСТ 22735-77			
укороченная серия		5 – 16	70 – 138	36 – 80
нормальная серия		5 – 16	85 – 178	62 – 120
спиральные цельные укороченные	ГОСТ 17273-71	1,5 – 6,5	35 – 65	6 – 25
спиральные цельные с цилиндрическим хвостовиком, короткая серия	ГОСТ 17274-71	1 – 12	32 – 100	6 – 50
спиральные цельные, средняя серия	ГОСТ 17275-71	3 – 12	55 – 120	24 – 70
спиральные с цилиндрическим хвостовиком для труднообрабатываемых материалов, короткая серия	ГОСТ 20694-75	3 – 10	45 – 90	16 – 45
спиральные с коническим хвостовиком:	ГОСТ 22736-77			
укороченная серия		10 – 30	140 – 275	60 – 125
нормальная серия		10 – 30	168 – 324	87 – 175
спиральные цельные с коническим хвостовиком:	ГОСТ 17276-71			
исполнение 1		6 – 12	120 – 150	42 – 75
исполнение 2		6 – 12	120 – 150	36 – 65
комбинированные для печатных плат	ГОСТ 20686-75	0,8 – 2,5	32 – 38	–
спиральные для сверления отверстий в печатных платах на станках с ЧПУ (рис. 12:)	ТУ 2-035-853-81			
короткая серия		0,4 – 2	30	3 – 12
длинная серия		0,4 – 2	38	8 – 15
одностороннего резания с внутренним подводом СОЖ (рис. 13)	ТУ 2-035-655-79	4 – 20	250 – 2000	–
Сверла твердосплавные и оснащенные пластинами из твердого сплава:				
ружейные одностороннего резания с внутренним подводом СОЖ	ТУ 2-035-722-80	7,5 – 30	140 – 1700	–
одностороннего резания с внутренним отводом стружки (рис. 14, *а*)	ТУ 2-035-859-81	20 – 60	–	–
с эжекторным отводом стружки (рис. 14, *б*)	ТУ 2-035-857-81	20 – 60	270; 400; 630; 1070	–
с механическим креплением многогранных твердосплавных пластин (рис. 15)	ТУ 2-035-720-80 и ГОСТ 27724-88	20; 25; 30; 38; 40; 50; 55	–	–

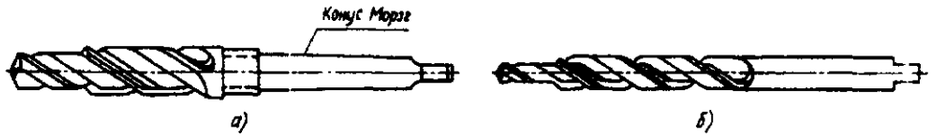


Рис. 7. Ступенчатые сверла из быстрорежущей стали с хвостовиком: *а* – коническим; *б* – цилиндрическим

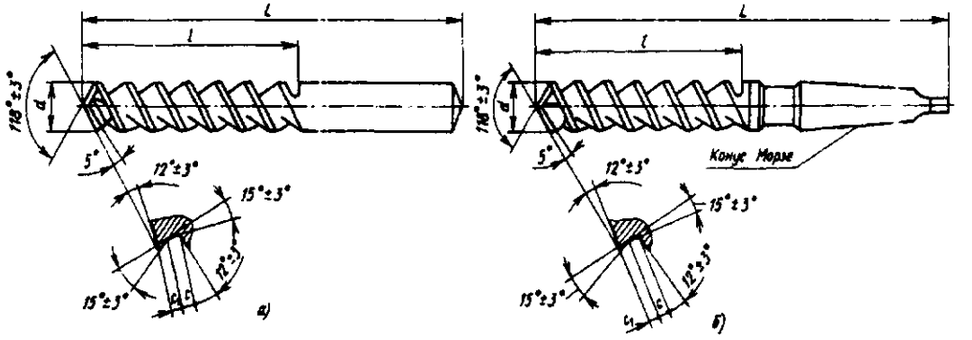


Рис. 8. Шнековые сверла с хвостовиком: *а* – цилиндрическим; *б* – коническим

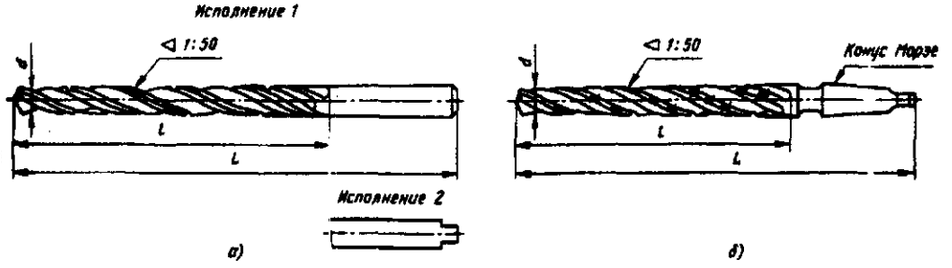


Рис. 9. Спиральные конические сверла с хвостовиком: *а* – цилиндрическим; *б* – коническим

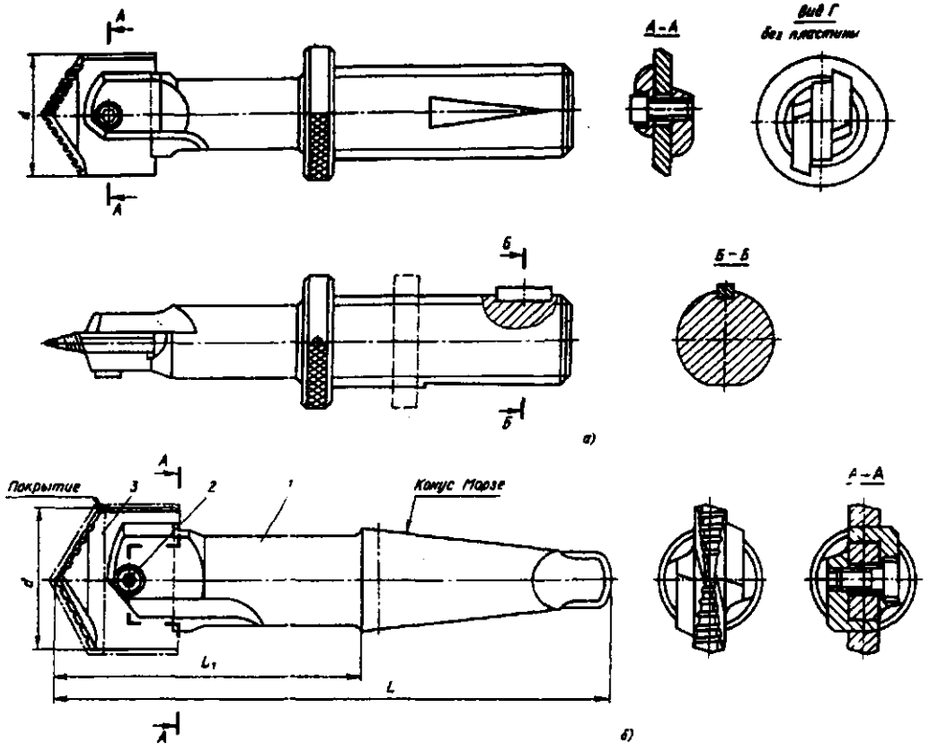


Рис. 10. Сборные перовые сверла:
1 – державка; *2* – фиксирующий винт; *3* – пластина

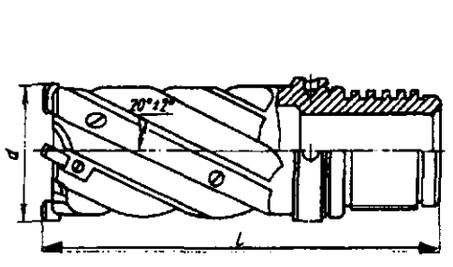


Рис. 11. Кольцевое сверло

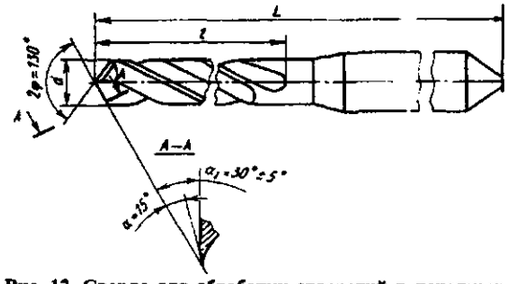


Рис. 12. Сверло для обработки отверстий в печатных платах (исполнение 1)

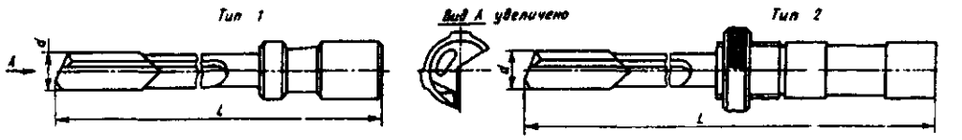


Рис. 13. Сверло одностороннего резания с внутренним подводом СОЖ

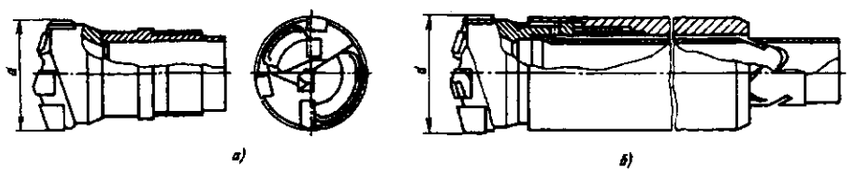


Рис. 14. Сверла одностороннего резания с внутренним отводом СОЖ и стружки

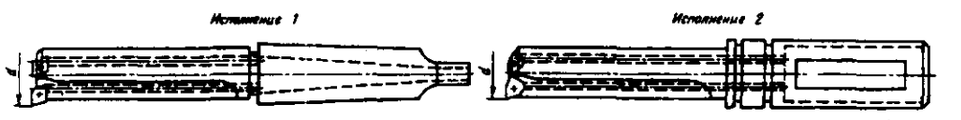


Рис. 15. Сверло с многогранными сменными пластинами для обработки коротких отверстий (до 2,5 *d*)

45. Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком по ГОСТ 886–77; ГОСТ 4010–77; ГОСТ 10902–77; ГОСТ 12122–77 (в ред. 1989 г.)

Размеры, мм

d	ГОСТ 886-77		ГОСТ 4010-77		ГОСТ 10902-77		ГОСТ 12122-77	
	L	*l*	*L*	*l*	*L*	*l*	*L*	*l*
0,30	–	–	–	–	19	3	–	–
0,32; 0,35; 0,38					19	4		
0,40; 0,42; 0,45; 0,48					20	5		
0,50			20	3,0	22	6		
0,52			–	–				
0,55; 0,58; 0,60					24	7		
0,62; 0,65					26	8		
0,68; 0,70; 0,72					28	9		
0,75			23	4,5				

Продолжение табл. 45

d	ГОСТ 886-77		ГОСТ 4010-77		ГОСТ 10902-77		ГОСТ 12122-77	
	L	l	L	l	L	l	L	l
0,78	–	–	–	–	30	10	–	–
0,80			24	5,0				
0,82			–	–				
0,85			24	5,0				
0,88			–	–	32	11		
0,90			25	5,5				
0,92			–	–				
0,95			25	5,5				
0,98			–	–	34	12	48	25
1,00	56	33	26	6,0				
1,05	–	–						
1,10	60	37	28	7,0	36	14	50	28
1,15	–	–						
1,20	65	41	30	8,0	38	16	52	30
1,25	–	–						
1,30	65	41						
1,35	–	–	32	9	40	18	55	32
1,40	70	45						
1,45	–	–						
1,50	70	45						
1,55	–	–	34	10	43	20	60	35
1,60	76	50						
1,65	–	–	34	10	43	20	60	35

Продолжение табл. 45

d	ГОСТ 886-77		ГОСТ 4010-77		ГОСТ 10902-77		ГОСТ 12122-77	
	L	l	L	l	L	l	L	l
1,70	76	50	34	10	43	20	*60*	35
1,75	–	–	36	11	46	22	62	38
1,80	80	53						
1,85	–	–						
1,90	80	53						
1,95; 2,00; 2,05; 2,10	85	56	38	12	49	24	65	40
2,15; 2,20; 2,25; 2,30; 2,35	90	59	40	13	53	27	70	45
2,40; 2,45; 2,50; 2,55; 2,60; 2,65	95	62	43	14	57	30		
2,70; 2,75; 2,80; 2,85; 2,90; 2,95; 3,00	100	66	46	16	61	33	75	48
3,10	106	69	49	18	65	36	80	50
3,15							(80)	(50)
3,20; 3,30							80	50
3,35							(80)	(50)
3,40; 3,50; 3,60; 3,70	112	73	52	20	70	39	85	55
3,80; 3,90; 4,00; 4,10; 4,20	119	78	55	22	75	43	90	60
4,25							(90)	(60)
4,30; 4,40; 4,50; 4,60; 4,70	126	82	58	24	80	47	100	65
4,80; 4,90; 5,00; 5,10; 5,20; 5,30	132	87	62	26	86	52	105	70
5,40; 5,50; 5,60; 5,70; 5,80; 5,90	139	91	66	28	93	57	115	80
6,00					101	63		
6,10; 6,20; 6,30; 6,40; 6,50; 6,60	148	97	70	31			125	85
6,70							130	90

Продолжение табл. 45

d	ГОСТ 886-77		ГОСТ 4010-77		ГОСТ 10902-77		ГОСТ 12122-77	
	L	l	L	l	L	l	L	l
6,80; 6,90; 7,00; 7,10; 7,20; 7,30; 7,40; 7,50	156	102	74	34	109	69	130	90
7,60; 7,70; 7,80; 7,90; 8,00; 8,10; 8,20; 8,30; 8,40; 8,50	165	109	79	37	117	75	140	100
8,60; 8,70; 8,80; 8,90; 9,00; 9,10, 9,20; 9,30; 9,40; 9,50	175	115	84	40	125	81	155	110
9,60; 9,70; 9,80; 9,90; 10,00	184	121	89	43	133	87		
10,10; 10,20; 10,30; 10,40; 10,50; 10,60	184	121	89	43	133	87		
10,70; 10,80; 10,90; 11,00; 11,10; 11,20; 11,30; 11,40; 11,50	195	128	95	47	142	94		
11,60			–	–				
11,70; 11,80			95	47				
11,90; 12,00; 12,10; 12,20; 12,30; 12,40; 12,50; 12,60; 12,70; 12,80	205	134	102	51	151	101		
12,90			–	–			–	–
13,00; 13,10; 13,20			102	51				
13,30			107	54				
13,40			–	–				
13,50	214	140	107	54	160	108		
13,60			–	–				
13,70; 13,75; 13,80; 13,90; 14,00			107	54				
14,25; 14,50; 14,75; 15,00	220	144	111	56	169	114		
15,25; 15,40; 15,50	227	149	115	58	178	120		
15,70	–	–			–	–		
15,75			–	–				
16,00	227	149	115	58	178	120		

Продолжение табл. 45

d	ГОСТ 886-77		ГОСТ 4010-77		ГОСТ 10902-77		ГОСТ 12122-77	
	L	l	L	l	L	l	L	l
16,25, 16,50: 16,75; 17,00	235	154	119	60	185	125		
17,25: 17,40; 17,50; 17,75; 18,00	241	158	123	62	195	130		
18,25; 18.50; 18,75; 19,0	247	162	127	64	200	135	–	–
19,25: 19,40; 19,50; 19,75; 20,00	254	166	131	66	205	140		

Примечания: 1. *d* – диаметр сверла; *L* -длина сверла; *l* – длина рабочей части сверла.
2. Сверла, параметры которых указаны в скобках, изготовляют по согласованию с заказчиком.

46. Сверла спиральные с коническим хвостовиком по ГОСТ 2092–77, ГОСТ 10903–77, ГОСТ 12121–77 (в ред. 1989 г.)

Размеры, мм

d	ГОСТ 2092-77		ГОСТ 10903-77			ГОСТ 12121-77	
	L	l	L*	l	L**	L	l
5,00; 5,20	–	–	133	52		–	–
5,50; 5,80			138	57			
6,00	225	145				160	80
6,10			–	–			
6,20			144	63			
6,30	230	150	–	–		165	85
6,40; 6,50; 6,60			144	63	–		
6,70			–	–			
6,80			150	69			
6,90	235	155	–	–		170	90
7,00			150	69			
7.10			–	–			
7,20	235		150	69			
7,30			–	–	–	170	90
7,40	–	–	150	69			
7,50	235	155					
7,60	235	155	156	75			
7,70			–	–			
7,80	240	160	156	75	–	180	100
7,90			–	–			
8,00			156	75			

Продолжение табл. 46

d	ГОСТ 2092-77		ГОСТ 10903-77			ГОСТ 12121-77	
	L	l	L*	l	L**	L	l
8,10	240	160	–	–	–	180	100
8,20			156	75			
8,30			–	–			
8,40; 8,50			156	75			
8,60; 8,70			–	–	–	190	110
8,80	245	165	162	81			
8,90			–	–			
9,00			162	81			
9,10	–	–	–	–			
9,20	245	165	162	81			
9,30; 9,40			–	–			
9,50			162	81			
9,60; 9,70	250	170	–	–	–	200	120
9,80			168	87			
9,90			–	–			
10,0			168	87			
10,10			–	–			
10,20	250	170	168	87		200	120
10,30; 10,40			–	–			
10,50			168	87			
10,60			–	–			
10,70	255	175				210	130
10,80			175	94			
10,90			–	–			
11,00			175	94			
11,10			–	–			
11,20			175	94			
11,30; 11,40			–	–			
11,50			175	94			
11,60	–	–					
11,70	255	175					
11,80			175	94			
11,90	260	180	–	–	–	220	140
12,00			182	101	199		
12,10			–	–	–		
12,20			182	101	199		
12,30; 12,40				–	–		
12,50			182	101	199		

Продолжение табл. 46

d	ГОСТ 2092-77		ГОСТ 10903-77			ГОСТ 12121-77	
	L	l	L*	l	L**	L	l
12,60: 12,70	260	180	–	–	–	220	140
12,80			182	101	199		
12.90	–	–	–	–	–	220	140
13,00	260	180	182	101	199		
13,10			–	–	–		
13,20			182	101	199		
13.30	265	185	–	–	–	230	150
13,40	–	–					
13.50	265	185	189	108	206		
13,60	–	–	–	–	–		
13,70	265	185					
13,75	–	–	189	108	206	—	—
13.80	265	185				230	150
13,90	–	–	–	–	–		
14,00	265	185	189	108	206		
14,25; 14,50; 14,75; 15,00	290	190	212	120	–	255	155
15,25	295	195	218			260	160
15,40						(260)	(160)
15,50; 15,75; 16,00						260	160
16,25; 16,50; 16,75; 17,00	300	200	223	125		265	165
17,25	305	205	228	130		270	170
17,40; 17,50						(270)	(170)
17,75						270	170
18,00	305	205	228	130	–	270	170
18,25; 18,50; 18,75; 19,00	310	210	233	135	256	275	175
19,25	320	220	238	140	261	280	180
19,40						(280)	(180)
19,50; 19,75; 20,00						280	180
20,25; 20,50; 20,75	330	230	243	145	266	285	185
20,90						(285)	(185)
21,00						285	185
21,25; 21,50	335	235	248	150	271	290	190
21,75	–	–					
22,00; 22,25	335	235					
22,50; 22,75; 23,00	340	240	253	155	276	295	195
23,25; 23,50	360		276			320	200
23,75; 23,90; 24,00; 24,25; 24,50; 24,75; 25,00	365	245	281	160		325	203

Продолжение табл. 46

d	ГОСТ 2092-77		ГОСТ 10903-77			ГОСТ 12121-77	
	L	*l*	*L**	*l*	*L***	*L*	*l*
25,25; 25,50; 25,75; 26,00; 26,25; 26,50	375	255	286	165	–	335	215
26,75; 27,00; 27,25; 27,50; 27,75; 28,00	385	265	291	170	319	345	225
28,25; 28,50; 28,75; 29,00; 29,25; 29,50	395	275	296	175	324	350	230
29,75	–	–					
30,00	395	275					
30,25; 30,50; 30,75; 31,00; 31,25; 31,50	–	–	301	180	329	–	–
31,75			306	185	334		
32,00; 32,25; 32,50; 33,00; 33,25; 33,50			334		–		
34,00; 34,50; 35,00; 35,25; 35,50			339	190			
35,75; 36,00; 36,25; 36,50; 37,00; 37,50			344	195			
38,00; 38,25; 38,50; 39,00; 39,25; 39,50; 40,00			349	200			
40,50; 41,00			354	205	392		
41,25; 41,50; 42,00; 42,50	–	–	354	205	392	–	–
43,00; 43,25; 43,50; 44,00; 44,50; 45,00			359	210	397		
45,25; 45,50; 46,00; 46,50; 47,00; 47,50			364	215	402		
48,00; 48,50; 49,00; 49,50; 50,00			369	220	407		
50,50			374	225	412		
51,00; 51,50; 52,00; 53,00			412		–		
54,00; 55,00; 56,00			417	230			
57,00; 58,00; 59,00			422	235			
60,00; 61,00; 62,00; 63,00			427	240			
64,00; 65,00; 66,00; 67,00			432	245	499		
68,00; 69,00; 70,00; 71,00			437	250	504		
72,00; 73,00; 74,00; 75,00			442	255	509		
76,00			447	260	514		
77,00; 78,00; 79,00; 80,00			514		–		

Продолжение табл. 46

Диаметры сверл	Конус Морзе	Диаметры сверл	Конус Морзе	Диаметры сверл	Конус Морзе
ГОСТ 2092–77 и ГОСТ 12121–77:		ГОСТ 10903–77 (с нормальным		ГОСТ 10903–77 (с усиленным хвостовиком):	
6–14	1	хвостовиком):		12 – 14	2
14,25–23	2	5 – 14	1	18,25 – 23	3
23,25–30	3	14,25 – 23	2	26,75 – 31,75	4
		23,25 – 31,75	3	40,50 – 50,50	5
		32 – 50,50	4	64 – 75	6
		51 – 76	5		
		76 – 80	6		

* Длина сверла с нормальным хвостовиком.

**Длина сверла с усиленным хвостовиком.

Примечание. См. примечания к табл. 45.

Геометрические параметры сверл. Формы заточки и размеры элементов лезвий сверл указаны на рис. 16 и в табл. 47 – 49.

Формы заточки сверл для станков с ЧПУ, обеспечивающие повышенные результаты по точности центрирования заходного отверстия, приведены на рис. 17.

Для двухплоскостной заточки (рис. 17, *а*) размеры $P = r$ принимают в зависимости от диаметра сверла:

d, мм	5 – 8	8 – 12	12 – 14
$P = r$, мм	0,6	0,8	1,0

Для заточки винтовой поверхности с выпуклой сердцевиной (рис. 17, *б*) размер $n \leq 0{,}02d$.

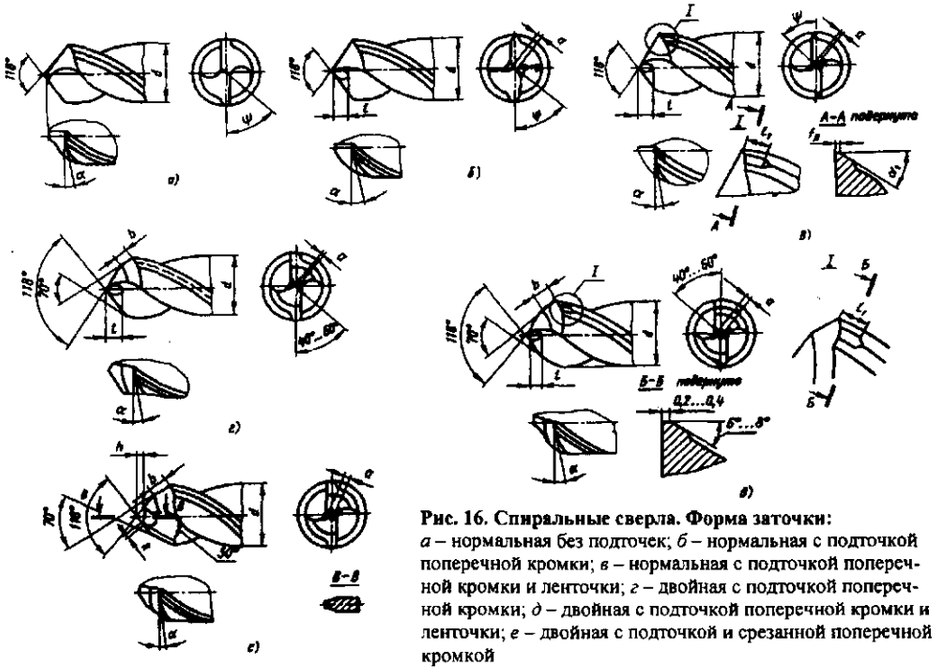


Рис. 16. Спиральные сверла. Форма заточки:
а – нормальная без подточек; *б* – нормальная с подточкой поперечной кромки; *в* – нормальная с подточкой поперечной кромки и ленточки; *г* – двойная с подточкой поперечной кромки; *д* – двойная с подточкой поперечной кромки и ленточки; *е* – двойная с подточкой и срезанной поперечной кромкой

47. Рекомендуемые формы заточки сверл для различных материалов

Форма заточки сверл	Обрабатываемый материал
Нормальная Н	Сталь, стальные отливки, чугун
Нормальная с подточкой поперечной кромки НП	Сталь, стальные отливки с $\sigma_в \le 500$ МПа с неснятой коркой
Нормальная с подточкой поперечной кромки и ленточки НПЛ	Сталь, стальные отливки с $\sigma_в \le 500$ МПа со снятой коркой
Двойная с подточкой поперечной кромки ДП	Стальные отливки с $\sigma_в > 500$ МПа с неснятой коркой и чугун с неснятой коркой
Двойная с подточкой поперечной кромки и ленточки ДПЛ	Сталь и стальные отливки с $\sigma_в > 500$ МПа со снятой коркой
Двойная с подточкой и срезанной поперечной кромкой ДП-2	Чугун со снятой коркой

48. Параметры лезвий сверл (см. рис. 16, *а – в*)

Размеры, мм

d	Заточка			Поперечная кромка		Ленточка		
	Задний угол α°		Угол наклона поперечной кромки ψ°	*a*	*l*	l_1	$f_л$	α°$_1$
	при одноплоскостной заточке	при двухплоскостной и винтовой заточке						
Св. 0,24 до 0,60	30	20	Не регламентируется	–	–	–	–	–
» 0,60 » 0,95								
» 0,95 » 1,70		18						
» 1,70 » 3,00								
» 3,00 » 7,50	–	16	40–60					
» 7,50 » 9,50		12		1,0	2,0			
» 9,50 » 11,80				1,2	2,5			
» 11,80 » 16,00				1,5	2,5	1,5	0,2–0,4	6–8
» 16,00 » 20,00		11		2,0	3,5			
» 20,00 » 25,00				2,5	4,5	2,0		
» 25,00 » 31,50				3,0	5,5			
» 31,50 » 40,00				3,5	6,0	3,0		
» 40,00 » 50,00				5,0	8,0			
» 50,00 » 63,00				6,0	10,0	4,0		
» 63,00 » 71,00				7,0	12,0			
» 71,00 » 80,00				8,0	14,0			

49. Параметры лезвий сверл при двойной заточке (см. рис. 16, *г – е*)

Размеры, мм

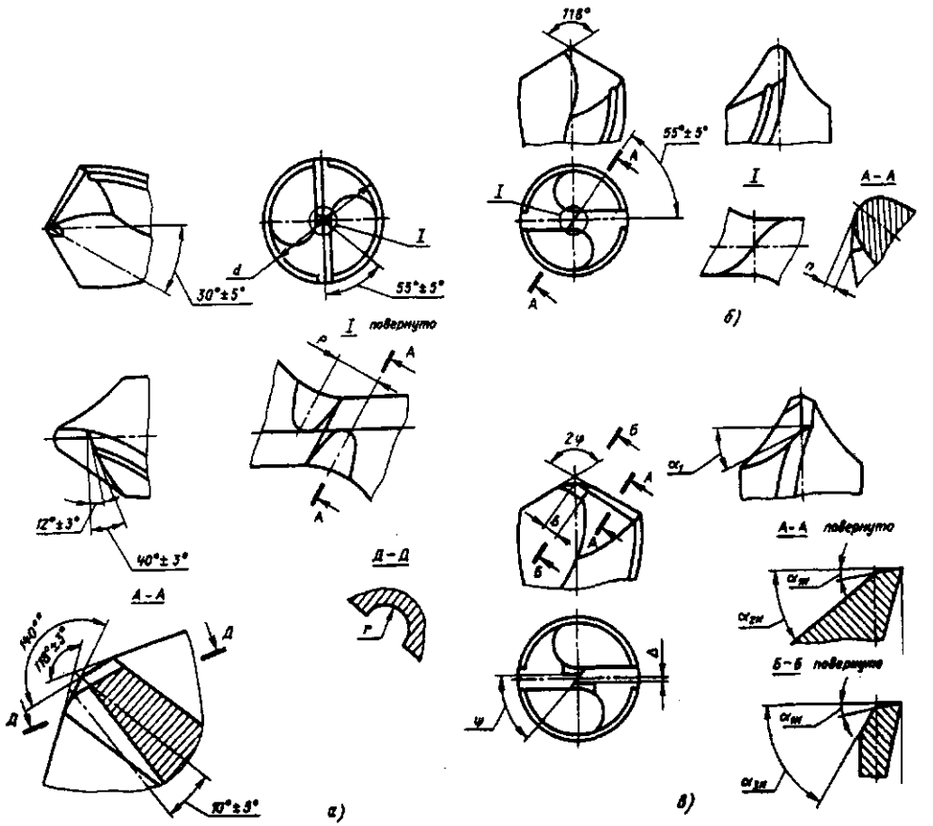
d	Заточка		Поперечная кромка		Перемычка		l_1
	Задний угол α°	*b*	*a*	*l*	*h*	*k*	
Св. 12,0 до 16,0	12	2,5	1,5	3	1,5	2,3	1,5
» 16,0 » 20,0	11	3,5	2,0	4	2,0	2,9	
» 20,0 » 25,0		4,5	2,5	5	2,5	3,6	2,5
» 25,0 » 31,5		5,5	3,0	6	3,3	4,5	
» 31,5 » 40,0		7,0	3,5	7	3,5	5,3	3,0
» 40,0 » 50,0		9,0	5,0	9	4,0		
» 50,0 » 63,0		11,0	6,0	11			4,0
» 63,0 » 71,0		13,0	7,0	13			
» 71,0 » 80,0		15,0	8,0	15			

Для трехплоскостной заточки (рис. 17, *в*) соответствующие параметры приведены в табл. 50, размер *b* принимают равным $0{,}85K$, где K – толщина сердцевины сверла.

50. Параметры трехплоскостной заточки (см. рис. 17, *в*)

Диаметр сверла *d*, мм	Δ, мм, не более	2φ° (пред. откл. ±3°)	α°$_1$ (пред. откл. ±3°)	ψ° (пред. откл. ±5°)	α°$_{1N}$	α°$_{2N}$	α°$_{3N}$
5 – 7,5	0,15	118	16	40	9	25	46
7,5 – 18	0,25		12		6		48
18 – 32	0,35		11		5		49

Рис. 17. Формы заточки сверл для станков с ЧПУ



Зенкеры, цековки и зенковки

51. Основные типы стандартных зенкеров, цековок и зенковок

Размеры, мм

Инструмент	ГОСТ	D	L	l	d
Зенкеры цельные:	12489–71				
с коническим хвостовиком	(в ред. 1992 г.)	7,8 – 50	156 – 369	75 – 220	–
насадные		32 – 80	30 – 52	10 – 18	13 – 32
Зенкеры, оснащенные пластинами из твердого сплава:	3231–71				
с коническим хвостовиком		11,75 – 50	175 – 355	94 – 210	–
насадные		31,6 – 80	45 – 65	–	–
Зенкеры насадные со вставными ножами из быстрорежущей стали	2255–71	50 – 100	60 – 76	–	22 – 40
Зенкеры, оснащенные твердосплавными пластинами, для обработки деталей из коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов:	21540–76				
с коническим хвостовиком		12 – 50	182 – 369	101 – 220	–
насадные		32 – 80	50 – 90	14 – 22	16 – 40
Зенкеры со вставными ножами, оснащенные твердосплавными пластинами, для обработки деталей из коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов:	21541–76				
с коническим хвостовиком		30 – 50	262 – 308	–	–
насадные		50 – 80	58 – 69	–	22 – 32
Зенкеры цельные твердосплавные для обработки деталей из коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов:					
с цилиндрическим хвостовиком	21543–76	3 – 10	61 – 133	12 – 20	–
с коническим хвостовиком	21544–76	7,8 – 12	156 – 182	18 – 22	–
Зенкеры для обработки деталей из легких сплавов:					
с цилиндрическим хвостовиком:					
$\varphi = 30°$	21579–76	3 – 9	61 – 125	33 – 81	–
$\varphi = 90°$	21580–76	3 – 9	61 – 125	33 – 81	
с коническим хвостовиком:					
$\varphi = 30°$	21581–76	10 – 35	168 – 339	87 – 190	–
$\varphi = 90°$	21582–76	10 – 35	168 – 339	87 – 190	
Зенкеры с коническим хвостовиком, оснащенные твердосплавными пластинами, для обработки деталей из легких сплавов	21583–76	18 – 35	228 – 339	130 – 190	–
Зенкеры насадные для обработки деталей из легких сплавов	21584–76	36 – 80	50 – 80	–	16 – 32
Зенкеры насадные, оснащенные твердосплавными пластинами, для обработки деталей из легких сплавов	21585–76	36 – 80	50 – 80	–	16 – 32
Зенкеры для обработки отверстий диаметром от 3 до 80 мм в деталях из легких сплавов	21586–76	3 – 80	–	–	–

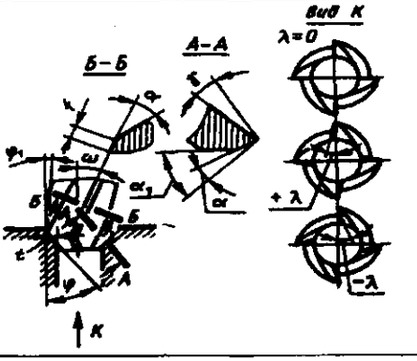
Продолжение табл. 51

Инструмент	ГОСТ	D	L	l	d
Цековки цилиндрические для обработки опорных поверхностей под крепежные детали:	ГОСТ 26258–87				
с цилиндрическим хвостовиком		2,3 – 14	40 – 100	6 – 20	–
с коническим хвостовиком		11 – 40	125 – 250	–	–
насадные		34 – 63	40 – 50	–	–
с байонетным креплением		11 – 63	–	–	–
Ценовки цилиндрические с пластинами из твердого сплава для обработки опорных поверхностей под крепежные детали:	ГОСТ 26258–87				
с коническим хвостовиком		15 – 40	140 – 250	–	–
насадные		34 – 63	40 – 50	–	–
с байонетным креплением		15 – 63	60 – 110	–	–
Цапфы направляющие к цековкам	ГОСТ 26259–87	4,3 – 48	–	–	–
Оправки к насадным цековкам со сменными направляющими цапфами	–	32 – 50	–	–	–
Цековки цилиндрические со сменной направляющей цапфой (для станков с ЧПУ):	ГОСТ 26260–84				
с цилиндрическим хвостовиком		15 – 24	125	22 – 30	–
с коническим хвостовиком		15 – 40	132 – 190	22 – 40	–
Зенковки-подрезки обратные из быстрорежущей стали:	–				
односторонние		25 – 100	–	–	–
двусторонние		22 – 50	–	–	–
Зенковки-подрезки обратные, оснащенные пластинами из твердого сплава	–	25 – 50	–	–	–

Примечания: 1. Обозначения: D – диаметр инструмента, L – общая длина; l – длина рабочей части; d – диаметр посадочного отверстия насадных инструментов.

2. Ножи для зенкеров выполняют с пластинами из твердого сплава и по ГОСТ 16858-71 – из быстрорежущей стали.

52. Геометрические параметры зенкеров



Продолжение табл. 52

Обрабатываемый материал	γ° при режущей части из		α°	φ°	φ°1	ω°	*f*, мм
	быстрорежущей стали	твердого сплава					
Сталь и стальные отливки:							
до 180 *HB*	15 – 20		8 – 10	60	30	25 – 30	0,8 – 2
180 – 225 *HB*	12 – 15	0				10 – 20	
225 – 270 *HB*	5 – 10	0 – (– 5)					
св. 270 *HB*	–	– 10					
Сталь:							
коррозионно-стойкая,	0 – 3	–	6 – 15	30 – 45	15 – 20	15 – 20	0,5 – 1
жаропрочная, жаростойкая							
Закаленная с 51*HRC*	–	–15	10	60	15	10 – 20	0,8 – 2
Жаропрочные сплавы	10	–	8 – 10	30	–		0,5 – 1
Титановые сплавы	4 – 6	–	9 – 11	45	–	20	0,3 – 0,5
Чугун:							
до 150 *HB*	10 – 12	8					
150 – 200 *HB*	6 – 8	5	8 – 10	30 – 60	30	10	0,8 – 2
св. 200 *HB*	–	0					
Алюминиевые и медные сплавы	25 – 30	10 – 20	10	60	–	10 – 20	
Магниевые сплавы		–		45 – 60		20 – 25	0,5 – 1

Примечания: 1. Для увеличения стойкости зенкеров необходимо: делать переходную режущую кромку длиной $l = 3t$ под углом φ_0; подтачивать ленточки у быстрорежущих зенкеров на длине 1,5 – 2 мм от вершины зенкера; затачивать заднюю поверхность по двум плоскостям: под углом $\alpha_1 = 8 \dots 10°$ на длине 0,6 – 1,5 мм, остальную часть под углом $\alpha_1 = 15 \dots 20°$.

При обработке чугуна твердосплавными зенкерами углы $\alpha = 10 \dots 17°$ и $\alpha_1 = 20 \dots 25°$.

2. Отрицательный передний угол у твердосплавных зенкеров образуется созданием фаски шириной 1,5 – 3 мм на передней поверхности.

3. Угол наклона лезвия инструмента:

$\lambda = 0°$ при обработке стали, чугуна и бронзы;

$\lambda = +3 \dots +5°$ для создания условий лучшего отвода стружки;

$\lambda = +12 \dots +20°$ для усиления режущего лезвия на зенкерах, оснащенных твердым сплавом.

4. Для твердых материалов надо брать меньшие, для мягких - большие значения углов a, ω и λ.

5. Для сборных зенкеров с ножами из быстрорежущей стали и оснащенных твердым сплавом рекомендуются: $\gamma = 3°$; $\alpha = 6 \dots 8°$; $\alpha_1 = 15 \dots 20°$; для быстрорежущих зенкеров $\varphi = 45 \dots 60°$ и $\omega = 20°$; для твердосплавных $\varphi = 60°$; $\varphi_0 = 30°$ и $\omega = 12 \dots 15°$.

6. Для зенкерования отверстий с прерывистыми стенками $\omega = 20 \dots 30°$ (независимо от обрабатываемого материала).

Рабочую часть зенкеров и зенковок изготовляют из быстрорежущей стали 63 – 66 *HRC* по ГОСТ 19265-73. Допускается изготовлять из стали 9ХС по ГОСТ 5950-73. Для оснащения рабочей части твердосплавных зенкеров и зенковок применяют твердосплавные пластины.

Пластины изготовляют из сплавов марок ВК6, ВК8, ВК8В, Т5К10, Т15К6, ВК6М, Т14К8 по ГОСТ 3882-74 (состав и свойства сплавов по ГОСТ 4872-75).

В зависимости от допуска на исполнительный диаметр отверстия различают зенкеры № 1 и 2. Зенкер № 1 рекомендуется для обработки отверстий под последующее развертывание, а зенкер № 2 — под окончательную обработку отверстий с полем допуска *H*11.

РАЗВЕРТКИ

Развертка – инструмент для повышения точности формы и размеров предварительно изготовленного отверстия и снижения шероховатости обрабатываемой поверхности. Применение разверток позволяет добиться точности изготовления отверстия по 7,8 квалитетам. Параметры шероховатости поверхности отверстий, обработанных при чистовом развертывании, достигают *Ra*0,8 для отверстий 7 и 8 квалитетов и *Ra*1,6 для отверстий 9 ... 11 квалитетов. При условии тщательного изготовления и доводки и соответствующего построения технологического процесса, применения оптимальных параметров процесса резания и СОЖ развертки могут обеспечивать точность обработки отверстия до 6 квалитета и шероховатость обработанной поверхности до *Ra*0,4.

Основные типы и размеры разверток (табл. 53 – 55). В металлообработке применяют развертки различающиеся:

– по форме тела рабочей части (по форме обрабатываемого отверстия): цилиндрические, конические, ступенчатые, комбинированные;

– по виду базы крепления: хвостовые с цилиндрическим и коническим хвостовиком и насадные;

– *по особенностям конструкции*: цельные, составные неразборные (сварные, паяные, клееные), составные разборные;

– по виду зубьев: с прямыми зубьями, винтовыми зубьями (правыми и левыми);

– по материалу рабочей части: сталь легированная, сталь быстрорежущая, твердый сплав;

– по полю допуска обрабатываемого отверстия: черновые, чистовые;

– по способу применения: ручные, машинные.

Типы и основные размеры разверток приведены в табл. 53, основные термины и определения – в ГОСТ 29240-91.

53. Основные типы и размеры (мм) разверток

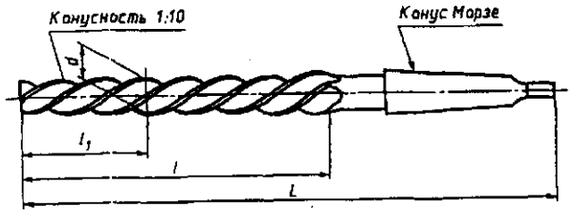
Развертки	ГОСТ	*D*	*L*	*l*
Машинные цельные:	1672–80			
цилиндрическим хвостовиком	(в ред. 1995 г.)	1,4 – 20	40 – 195	8 – 60
с коническим хвостовиком		5,5 – 50	138 – 344	26 – 86
насадные $d = 13 \dots 22$ мм		25 – 50	45 – 63	32 – 45
Машинные с удлиненной рабочей частью:	1172–70			
с цилиндрическим хвостовиком		3 – 10	80 – 140	25 – 80
с коническим хвостовиком		7 – 36	134 – 380	54 – 210
Машинные цельные из твердого сплава: с цилиндрическим хвостовиком и канавками:	16086–70			
прямыми		1 – 10	60 – 100	60 – 100
винтовыми		3 – 10	60 – 100	60 – 100
с коническим хвостовиком и канавками прямыми и винтовыми		6,5 – 12	120 – 150	18 – 22
Машинные котельные с коническим хвостовиком	18121–72 (в ред. 1998 г.)	6,4 – 40	155 – 375	75 – 230
Машинные цилиндрические для обработки отверстий в деталях из легких сплавов:				
с цилиндрическим хвостовиком	19267–73	6 – 9,5	93 – 125	26 – 36
с коническим хвостовиком	19268–73	10 – 32	168 – 240	16 – 77
насадные $d = 13 \dots 40$ мм с зубьями:				
прямыми	20388–74	25 – 80	45 – 90	32 – 63
винтовыми	20389–74	25 – 80	45 – 90	32 – 63
торцовыми	20390–74	25 – 80	45 – 90	32 – 63
насадные со вставными ножами из быстрорежущей стали $d = 16 \dots 32$ мм	20392–74	40 – 80	54 – 84	28 – 36

Продолжение табл. 53

Развертки	ГОСТ	*D*	*L*	*l*
Машинные со вставными ножами из быстрорежущей стали:	883–80			
с коническим хвостовиком		32 – 50	292 – 344	38 – 45
насадные *d* = 16... 40 мм		40 – 100	63 – 90	40 – 56
Машинные со вставными ножами, оснащенными твердосплавными пластинами, для обработки сквозных отверстий в деталях из коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов, насадные *d* = 22; 27; 32 мм	21527–76	50 – 80	58 – 68	26 – 32
Машинные, оснащенные твердосплавными напаиваемыми пластинами:	28321–89			
с коническим хвостовиком		10 – 32	140 – 240	16 – 22
насадные *d* = 13... 32 мм		25 – 80	45 – 80	22 – 32
Сборные с привернутыми ножами, оснащенные пластинами из твердого сплава, насадные *d* = 22 ... 80 мм	11176–71	52 – 300	55 – 100	25 – 58
Ручные цилиндрические	7722–77	1 – 60	38 – 406	12 – 20
Ручные разжимные	3509–71	18 – 50	110 – 380	50 – 150
Машинные конические конусностью 1:50:	10081–84			
с цилиндрическим хвостовиком		2 – 12	86 – 290	48 – 210
с коническим хвостовиком		5 – 50	155 – 550	73 – 360
Машинные конические конусностью 1:30	10082–71	13 – 100	160 – 460	80 – 216
Конические под конусы Морзе:	11182–71			
с цилиндрическим хвостовиком		–	95 – 310	64 – 205
с коническим хвостовиком		–	140 – 385	64 – 205
Конические под укороченные конусы Морзе	11181–71	–	55 – 170	24 – 90
Конические под метрические конусы конусностью 1:20:				
с цилиндрическим хвостовиком	11183–71	–	50 – 385	32 – 260
с коническим хвостовиком	10080–71	–	105 – 505	32 – 260
Конические конусностью: 1:16	6226–71	–	100 – 230	20 – 52
1:10	11179–71	–	160 – 300	90 – 180
1:7	11180–71		100 – 240	60 – 145
Ручные конические конусностью: 1:50	11177–84	–	38 – 460	20 – 360
1:30	11184–84	–	120 – 250	80 – 168

Обозначения: *D* – диаметр развертки, *L* – общая длина развертки; *l* – длина рабочей части развертки; *d* – большой диаметр конического посадочного отверстия насадной развертки.

54. Основные размеры (мм) котельных разверток по ИСО 2238



Диапазон диаметров *d*		*L*	*l*	l_1	Конус Морзе
от	до				
6,0	6,7	151	75	30	1
6,7	7,5	156	80	32	
7,5	8,5	161	85	34	
8,5	9,5	166	90	36	
9,5	10,6	171	95	38	
10,6	11,8	176	100	40	
11,8	13,2	199	105	42	2
13,2	14,0	209	115	46	
14,0	15,0	219	125	50	
15,0	16,0	229	135	54	3
16,0	17,0	251	135	54	
17,0	19,0	261	145	58	
19,0	21,2	271	155	62	
21,2	23,6	281	165	66	
23,6	26,5	296	180	72	
26,5	30,0	311	195	78	
30,0	31,5	326	210	84	4
31,5	33,5	354	210	84	
33,5	37,5	364	220	88	
37,5	42,5	374	230	92	
42,5	47,5	384	240	96	
47,5	50,8	394	250	100	

Примечания: 1. Входной конус развертки равен 1:10, что соответствует углу 5°45'.

2. Выбор длин *L* и *l*.

Длины *L* и *l* для определенного диапазона диаметров изменяются между минимальным и максимальным значениями и соответствуют числам, указанным для ближайшего наименьшего и наибольшего значений в одном диапазоне (общая длина увеличивается или уменьшается за счет разности длин обоих конусов, если конус, соответствующий одному из двух смежных диапазонов, больше или меньше рассматриваемого конуса).

Пример. Для диаметра развертки *d*=13 мм длина *l* изменяется между 100 мм и 115 мм от номинальной величины 105 мм, а длина *L* – между 176 мм и 209 мм от номинальной величины 199 мм.

3. Выбор диаметра *d*.

Диаметры *d* разверток следует выбирать по следующему принципу:

– для заклепок диаметром менее 10 мм диаметр развертки равен диаметру заклепки плюс 0,4 мм;

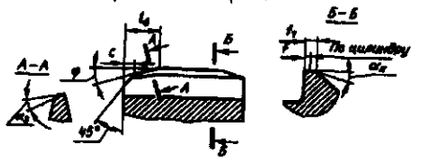
– для заклепок диаметром 10 мм и более диаметр развертки равен диаметру заклепки плюс 1 мм. Допуск на диаметр *k*11.

Геометрические параметры разверток из быстрорежущей стали и оснащенных пластинами из твердого сплава в зависимости от их назначения приведены в табл. 55 – 58.

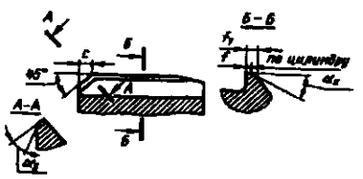
В частных случаях углы разверток назначают с учетом условий резания.

55. Элементы конструкции и геометрические параметры цилиндрических машинных цельных разверток

Исполнение 1 – заборная часть с углом в плане $\varphi = 15°$ или $\varphi = 5°$

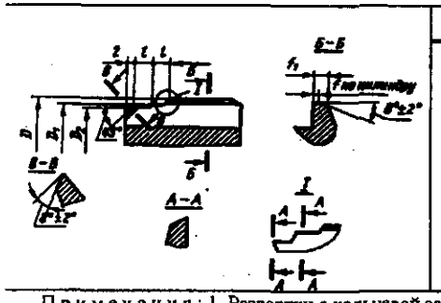


Исполнение 2 – заборная часть с углом в плане $\varphi = 45°$; l_3 от 0,25 ... 0,45 до 1,8 ... 2,4



$D_{ном}$	L_3		c для исполнения		f_1	f	$\alpha_3°$	$\alpha_к°$	Примечание
	$\varphi=5°$	$\varphi=15°$	1	2					
3 – 4 Св. 4 до 6	1,5 2,0	0,8 1,0	–	1,0	0,25 – 0,45 0,4 – 0,6	0,10	15	15	Для обработки отверстий с полем допуска по 8-му квалитету и выше рекомендуется заточка, при которой оставляется ленточка шириной 0,05 – 0,10 мм. Шлифование режущего и калибрующего участков и переходного участка в виде переходной режущей кромки под углом 1 – 2° производится с одного установа
Св. 6 до 9 » 9 » 17	4,5	2,5	1,0		0,5 – 0,9 0,8 – 1,2	0,15	10	10	
» 17 » 24 » 24 » 28			1,5	1,5	1,0 – 1,4 1,2 – 1,6	0,20			
Св. 28 до 34 » 34 » 40 » 40 » 45 » 45 » 50	6,5	3,5	2,0	2,0	1,3 – 1,8 1,5 – 2,0 1,6 – 2,1 1,8 – 2,4	0,30 0,35			

Исполнение 3 — заборная часть ступенчатая (кольцевая)

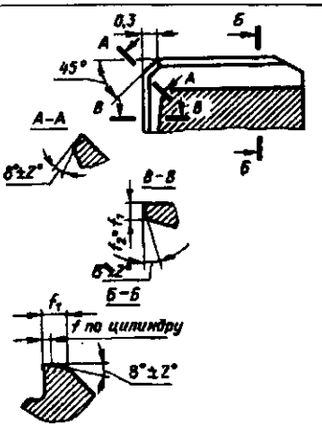


D	l	f	f_1
10	2	0,15	0,6 – 0,9
Св. 10 до 17		0,20	0,8 – 1,2
» 17 » 24	3	0,20	1,0 – 1,4
» 24 » 30		0,30	1,2 – 1,6
» 30 » 34		0,30	1,3 – 1,8
» 34 » 40		0,30	1,5 – 2,0
» 40 » 45		0,35	1,6 – 2,1
» 45 » 50		0,35	1,8 – 2,4

Примечания: 1. Развертки с кольцевой заточкой применяют при снятии увеличенного припуска.
2. Развертки выполняют с $D_1 = D - 0{,}2$ мм; $D_2 = D_1 - 0{,}5$ мм.

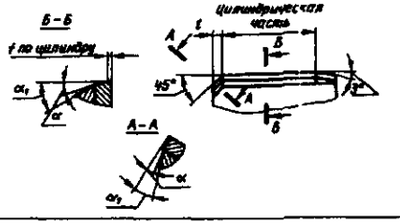
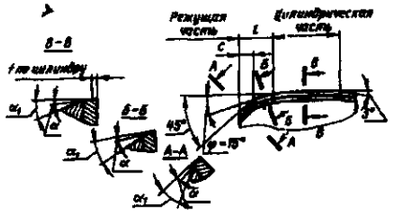
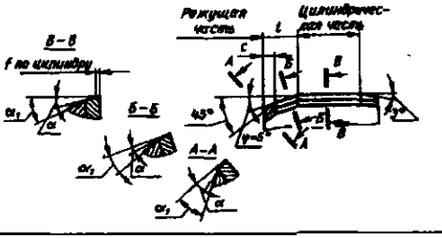
Продолжение табл. 55

Геометрические параметры цилиндрических разверток с торцовыми зубьями (для обработки глухих отверстий)



$D_{ном}$	f	f_1	$D_{ном}$	f	f_1
10	0,15	0,6 – 0,9	Св. 30 до 34	0,30	1,3 – 1,8
Св. 10 до 17	0,20	0,8 – 1,2	» 34 » 40	0,30	1,5 – 2,0
» 17 » 24	0,20	1,0 – 1,4	» 40 » 45	0,35	1,6 – 2,1
» 24 » 30	0,30	1,2 – 1,6	» 45 » 50	0,35	1,8 – 2,4

56. Форма заточки машинных цельных разверток, оснащенных пластинами из твердого сплава

Форма заточки	Эскиз	Область применения
I		Развертывание сквозных и глухих отверстий 8 – 9-го квалитетов и грубее в вязких и хрупких материалах
II		Развертывание сквозных отверстий повышенного качества поверхности и точности 7 – 9-го квалитетов в вязких материалах
III		Развертывание сквозных отверстий повышенного качества поверхности и точности 7 – 9-го квалитетов в хрупких материалах

57. Геометрические параметры машинных цельных разверток (см. эскизы в табл. 56)

Размеры, мм

$D_{ном}$	l для материала		f_1	$\alpha°$	$\alpha_1°$	c	Тип пластины по ГОСТ 25425-82
	вязкого, $\varphi = 15°$	хрупкого, $\varphi = 5°$					
10 – 10,5	2; 2,5 (20…4,5)	4; 4,5	0,15 – 1,25	15	25	1 (1…3)	26090
11 – 15							
16 – 19				10 (12)			26090
20 – 22							
24 – 25							26100
26 – 30							
32 – 50	3,5	6,5	0,2 – 0,4		20	2	26110

В скобках приведены значения для формы заточки II.

Передний γ и задний α углы. Выбор переднего и заднего углов определяется типом развертки, а также материалами заготовки и инструмента. Рекомендуемые значения углов разверток, использующихся в производстве, приведены в табл. 58. Заднюю поверхность зубьев разверток затачивают под одним, двумя или тремя углами. Задний угол на калибрующей части обычно такой же, как и на режущей. Зубья на калибрующей части затачиваются с обязательным оставлением цилиндрической ленточки.

58. Углы элементов лезвия разверток

Обрабатываемый материал	Материал режущего участка				Угол $\alpha_1°$
	Быстрорежущая сталь	Твердый сплав	Быстрорежущая сталь	Твердый сплав	
	Передний угол γ°		Задний угол α°		
Сталь:					
незакаленная	0	0 … 5	6 – 12	6 – 8	10 … 20
закаленная, 50 *HRC*	–	–10 … –15	–	6	10 … 15
коррозионно-стойкая, жаропрочная и жаростойкая	0	5	5 – 8		
Жаропрочные сплавы			6 – 10		
Титановые сплавы		0	8 – 10	10	
Чугун		0 … –5	6 – 8	10 – 17	15 … 30
Алюминиевые и медные сплавы Магниевые сплавы		–	10 – 12	–	
Пластмассы с абразивным наполнителем	–	0	–	14	

Примечания: 1. Большие значения переднего угла соответствуют черновым разверткам и разверткам малого диаметра, а меньшие значения – чистовым разверткам.

2. Отрицательный передний угол создается на длине фаски 0,2 … 0,3 мм (для развертывания закаленной стали 2 … 3 мм), а на остальной части γ = 0°.

59. Величина угла в плане φ

Вид развертки	Вид отверстия	Материал заготовки	φ, °
Ручная	Сквозное	Хрупкий	0,5 … 2
	Глухое	Любой	45
Машинная	Сквозное	Хрупкий, твердый, труднообрабатываемый	3 … 5
		Вязкий	12 … 15
	Глухое	Любой	60
		Любой	15 (с заточкой фаски 45°)
Котельная	Сквозное	Любой	1,5 … 3

Угол в плане φ. Выбор угла в плане для разверток определяется видом отверстия, свойствами обрабатываемого материала, условиями резания и производится в соответствии с ГОСТ. В отдельных случаях для назначения φ можно воспользоваться табл. 59.

60. Рекомендуемое число зубьев ручных и машинных разверток

Диаметр, мм	3 … 10	11 … 19	20 … 30	32 … 45	46 … 50
Число зубьев	6	8	10	12	14

Ленточка обеспечивает направление развертки в отверстии, способствует выглаживанию обработанной поверхности, формирует размер и шероховатость поверхности отверстия, а также определяет размерную стойкость развертки. Размер ленточки зависит от типа развертки и обрабатываемого материала (так при обработке вязких материалов ширина ленточки уменьшается до 0,05 … 0,08 мм).

Окружной шаг зубьев обычно назначают неравномерным для предупреждения появления в развертываемом отверстии продольных рисок, расположенных соответственно шагу зубьев. Для удобства измерения диаметра между любой парой противоположных зубьев должно быть 180°.

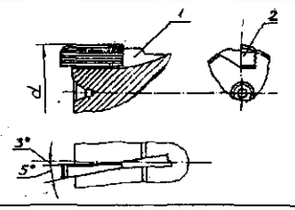
Число зубьев z принимается обычно четным для упрощения измерения диаметра развертки (табл. 60). Сборные развертки изготовляют с меньшим числом зубьев, так как вставные ножи и элементы крепления требуют большего места для их размещения.

По сравнению с цельными и составными неразборными **сборные развертки** (табл. 61) позволяют экономить дорогостоящий инструментальный материал, что особенно существенно для разверток больших диаметров (100 … 300 мм), восстанавливать исходный размер развертки при уменьшении наружного диаметра вследствие износа, многократно использовать корпус развертки, применяя запасные комплекты ножей.

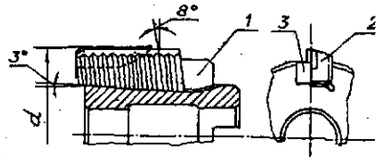
Недостатки сборных разверток: сложность конструкции и необходимость доводки по наружному диаметру после переустановки ножей и их регулирования. Сборные развертки состоят из корпуса, ножей и элементов фиксирования ножей – клиньев, эксцентриков, втулок и др. Корпус и клинья изготовляют из сталей 40Х или 45, твердостью 35 … 45HRC. Ножи могут быть изготовлены из быстрорежущей стали или оснащаться твердосплавными пластинами. Державки ножей, оснащенных твердосплавными пластинами, изготовляют из стали 40Х или У7 и У8, твердостью 30 …45 HRC.

Разжимные развертки позволяют путем разжима увеличивать диаметр в определенных пределах. Такие развертки рекомендуется применять при ремонте, когда необходимо по отремонтированному валу изготовить отверстие. Разжим осуществляется шариком при его вдавливании нажимным стержнем вдоль оси корпуса. В заводской практике применяют еще другие конструкции разжимных разверток.

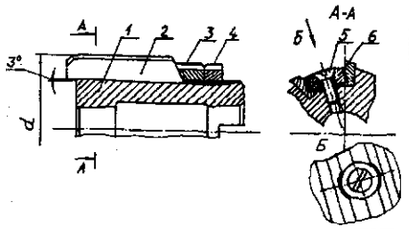
61. Некоторые конструкции сборных разверток



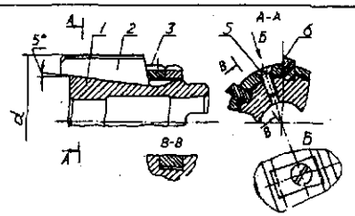
Клиновой нож *2* с углом клина 5° и рифлениями в осевом направлении запрессовывается вдоль оси в корпус развертки *1*. Диаметр развертки изменяют переставлением ножей в радиальном направлении в соседнее рифление



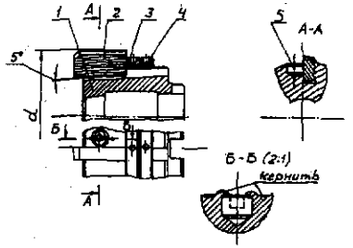
Конструкция позволяет более тонко регулировать величину диаметра развертки за счет базирования ножей *2* по дну наклонного (под углом 3° к оси) паза в корпусе *1*. Рифления, выполненные на ножах и в корпусе в радиальном направлении, позволяют регулировать размер развертки переустановкой ножей в соседнее рифление в осевом направлении. Кроме того, рифления предотвращают сдвиг ножей при их закреплении, которое производится клином *3* в осевом направлении.



В пазах корпуса *1* под углом 3° установлены гладкие ножи *2*. Регулирование величины диаметра производится перемещением ножей вдоль оси развертки при помощи гайки *3*, которая фиксируется контргайкой *4*. Фиксирование ножей осуществляется винтом *5* через цилиндрическую втулку *6*, которая упирается в шлифованные лыски на двух соседних ножах.



Конструкция отличается способом фиксирования ножей с помощью винтов *5* и сектора кольца *6*.



Базирование ножей *2* осуществляется по наклонным рифам в корпусе *1*. Предварительное (грубое) регулирование величины диаметра развертки производится перестановкой ножей в соседнее рифление в радиальном направлении; точное регулирование производится перемещением ножей вдоль оси развертки при помощи гайки *3*, которая стопорится контргайкой *4*. Зажим ножа выполняет кулачок *5*, установленный в корпусе и зафиксированный кернением.

Условное обозначение разверток включает цифровой код по Классификатору Государственных Стандартов (КГС), который присвоен каждому виду развертки и указан в соответствующем ГОСТе, квалитет точности отверстия, который может быть получен при работе данной разверткой и номер ГОСТа.

Пример. Развертка машинная с коническим хвостовиком диаметром 16 мм с углом $\varphi = 15°$ для обработки отверстия с полем допуска H7.

Развертка 2363-0127 H7 ГОСТ 1672-80

Для базирования разверток при изготовлении и переточке предусмотрены центровые отверстия по ГОСТ 14034-74. Развертки малых диаметров имеют внешний (наружный) центр с углом конуса 75° .

Насадные развертки устанавливаются на **коническое базовое отверстие** (конусность 1:30). Для передачи крутящего момента предусмотрен паз под **торцевую шпонку.**

Допуск на диаметр разверток. В централизованном порядке изготовляют развертки для обработки отверстий с полями допусков по K7, H7, H8, H9. Допуски на диаметр таких разверток приведены в табл. 62. Чистовые развертки для отверстий с полями допусков K6, J6, G6, H6, P7, N7, M7, J7, F8, E8, F9, E9, D9, H10, H11, черновые развертки с полем допуска по U8, а также развертки с припуском под доводку изготовляют по требованию потребителя. Поля допусков таких разверток приведены в ГОСТ 13779–77, ГОСТ 11173–76, ГОСТ 28321–89.

62. Предельные отклонения диаметров чистовых разверток, мкм, для отверстий полей допусков K7, H7, H8, H9 (по ГОСТ 13779–77)

Номинальный диаметр разверток, мм	Отклонение	Поля допусков отверстий			
		K7	H7	H8	H9
1 до 3	Верхнее	-2	+8	+11	+21
	Нижнее	-6	+4	+6	+12
Св. 3 до 6	Верхнее	+1	+10	+15	+25
	Нижнее	-4	+5	+8	+14
Св. 6 до 10	Верхнее	+2	+12	+18	+30
	Нижнее	-4	+6	+10	+17
Св. 10 до 18	Верхнее	+3	+15	+22	+36
	Нижнее	-4	+8	+12	+20
Св. 18 до 30	Верхнее	+2	+17	+28	+44
	Нижнее	-6	+9	+16	+25
Св. 30 до 50	Верхнее	+3	+21	+33	+52
	Нижнее	*-6*	*+12*	*+19*	*+30*
Св. 50 до 80	Верхнее	+4	+25	+39	+62
	Нижнее	-7	+14	+22	+36
Св. 80 до 120	Верхнее	+4	+29	+45	+73
	Нижнее	-9	+16	+26	+42

При назначении исполнительных размеров диаметра разверток кроме величины поля допуска отверстия следует учитывать максимальную и минимальную разбивку отверстия, запас на переточку и точность изготовления. Максимальную разбивку и точность изготовления развертки обычно принимают 1/3 от поля допуска отверстия.

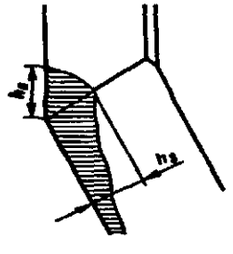


Рис. 18. Форма износа режущих кромок при развертывании: $h_л$ – износ ленточки; $h_з$ – износ по задней поверхности режущей кромки

Износ и заточка разверток. В процессе эксплуатации развертки изнашиваются как по задней и передней поверхностям лезвия, так и *по ленточкам (рис. 18).*

По мере увеличения износа снижается точность обработанных отверстий и увеличиваются параметры шероховатости поверхности. Поэтому не рекомендуется работать развертками, у которых износ достиг предельно

допускаемой величины; их нужно перетачивать. Ориентировочная величина допустимого износа по задней поверхности для быстрорежущих разверток составляет $h_3 = 0{,}5 \ldots 0{,}6$ мм.

Для разверток, оснащенных твердым сплавом, критерием затупления при обработке чугуна является износ ленточек $h_3 = 0{,}5 \ldots 0{,}8$ мм, а при обработке закаленной стали – износ по задней поверхности $h_3 = 0{,}3 \ldots 0{,}35$. Следует также учитывать затупление и износ разверток по диаметру калибрующего участка, чтобы при развертывании диаметр отверстия был больше нижнего предельного отклонения.

Качественная заточка разверток в сочетании с оптимальными геометрическими параметрами режущей кромки предопределяет эксплуатационные свойства развертки (точность размеров обрабатываемого отверстия и качество его поверхности), а также ее стойкость.

КОМБИНИРОВАННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Комбинированные инструменты разделяют на две группы: инструменты для обработки предварительно обработанных отверстий и инструменты для обработки отверстий в сплошном материале. Инструменты обеих групп можно классифицировать:

по профилю обрабатываемых отверстий;

по типу комбинирования – однотипные и разнотипные;

по способу комбинирования режущих зубьев – с профильными зубьями, с зубьями, расположенными по отдельным ступеням, с чередующимися и смешанными зубьями;

по конструктивным признакам – цельные и разъемные;

по характеру работы ступеней – с последовательной работой, с одновременной работой и частичным совмещением переходов обработки;

по способу направления инструмента – по кондукторным втулкам (неподвижным и вращающимся), по ранее обработанному отверстию и т.д.

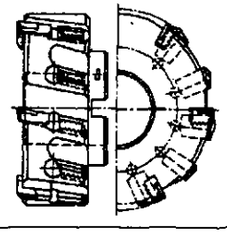
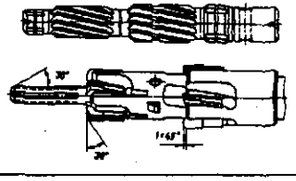
В зависимости от назначения и формы отверстий комбинированные инструменты, составленные из сверл, зенкеров и разверток, метчиков и фрез, разделяют на инструменты: для обработки одного отверстия; для обработки отверстий "в линию"; для черновой и чистовой обработки: для обработки отверстий и плоскостей.

Конструкция комбинированного инструмента будет зависеть от формы и размеров отверстия, расположения и числа отверстий при обработке "в линию", требуемой точности и параметров шероховатости обработанной поверхности и величины припуска на обработку.

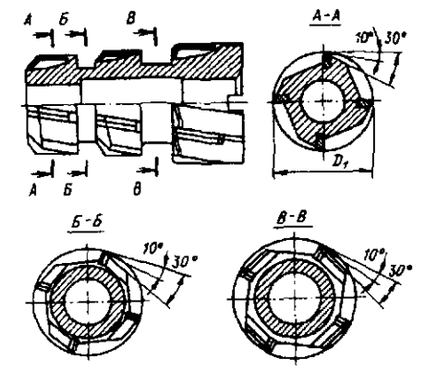
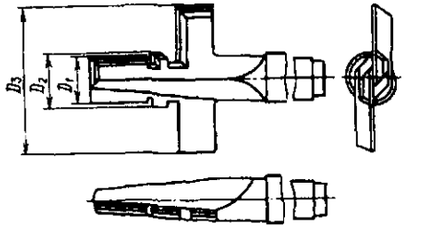
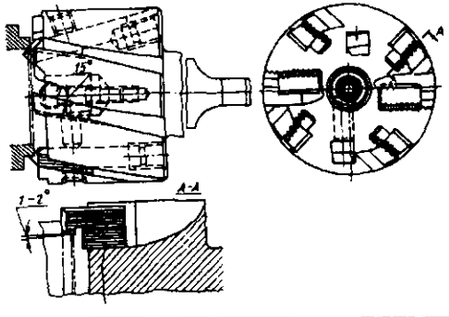
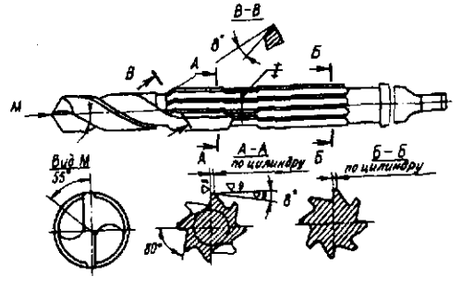
Типовые конструкции комбинированного инструмента приведены в табл. 63.

Форма отверстий, обрабатываемых комбинированными инструментами, основные сочетания различных форм отверстий и плоскостей, обрабатываемых комбинированными инструментами, приведены в табл. 64.

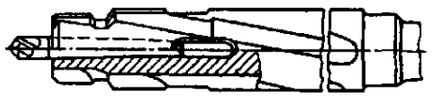
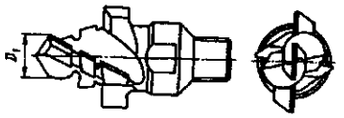
63. Типовые конструкции комбинированного инструмента для обработки отверстий

	Зенкер-развертка со вставными ножами, с последовательной работой ступеней
	Развертка двухступенчатая, цельная, с одновременной работой ступеней с передней и задней направляющими Зенкер двухступенчатый, со вставными ножами, с одновременной работой ступеней с передней направляющей
	Развертка ступенчатая, цельная с профильными зубьями

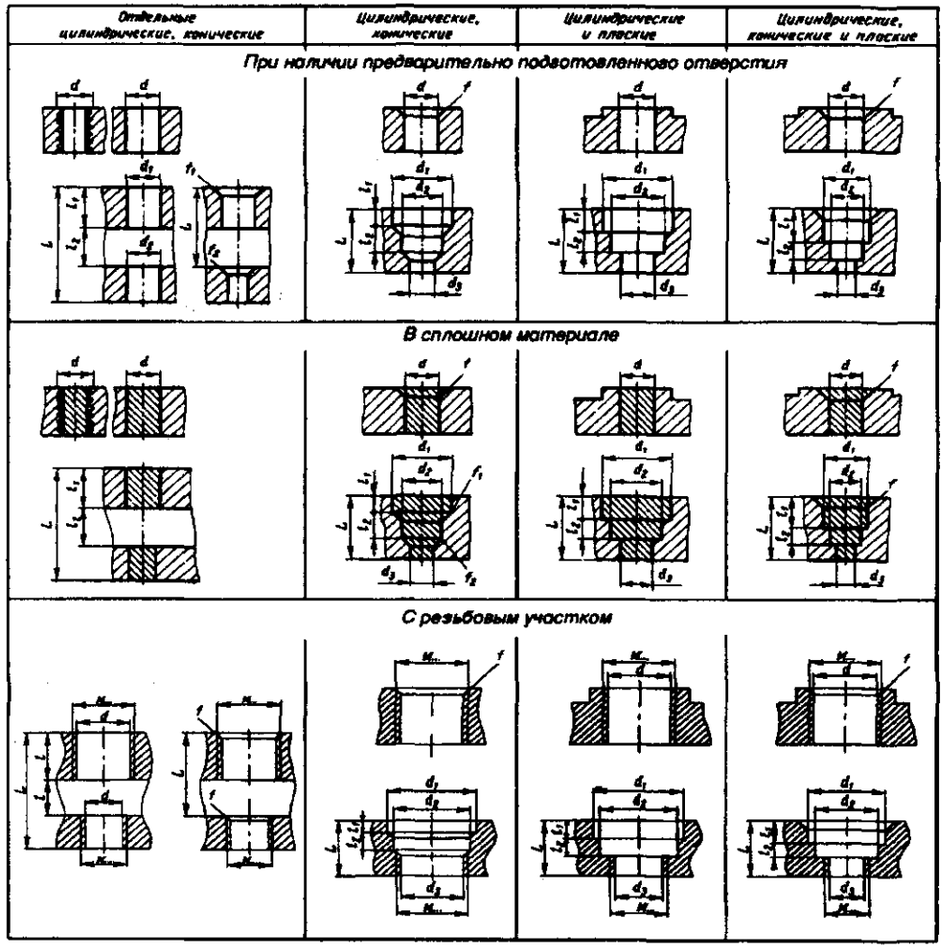
Продолжение табл. 63

	Зенкер трехступенчатый, с пластинами из твердого сплава с одновременной работой ступеней
	Зенкер трехступенчатый, перовой, цельный, с одновременной работой ступеней
	Зенкер со вставными ножами, с чередующимися зубьями, с одновременной работой ступеней
	Сверло-развертка с задней направляющей частью (по кондукторной втулке), с последовательной работой ступеней

Продолжение табл. 63

	Сверло-зенкер двухступенчатый, составной конструкции: разъемная часть – сверло и неразъемная – зенкер, с последовательной работой ступеней
	Сверло-зенкер двухступенчатый, цельный, с последовательной работой ступеней

64. Варианты сочетания поверхностей, обрабатываемых комбинированным инструментом



ПРОТЯЖКИ И ПРОШИВКИ

Протягивание является высокопроизводительным методом обработки внутренних и наружных поверхностей, а также тел вращения. При этом возможно совмещение в одном проходе черновой, получистовой и окончательной обработки. В большинстве случаев протянутые поверхности дальнейшей обработке не подвергаются, так как протягивание позволяет получать детали с точностью до 6-ого квалитета и шероховатостью обработанной поверхности до *Ra*0,32.

Обработка протяжками осуществляется на горизонтально- и вертикально-протяжных станках, а прошивками – на прессах.

При обработке отверстий применяют, как правило, метод свободного протягивания, обеспечивающий заданный контур и размеры поперечного сечения обработанного отверстия. В этом случае центрирование и направление протяжки (или прошивки) относительно обрабатываемой детали обеспечивается равновесием отжимающих сил, действующих одновременно на всех находящихся в процессе резания зубьях.

Метод координатного протягивания применяют для обработки наружных поверхностей, пазов и отверстий сложной конфигурации. При этом, как правило, используют комплект протяжек (или прошивок) и одно или несколько приспособлений, обеспечивающих центрирование и направление протяжки относительно базовых поверхностей обрабатываемой детали. Иногда в качестве направляющих используют поверхности заготовки, обработанные предыдущими номерами протяжек.

Срезание припуска производится по одной из **трех схем резания** (рис. 19): профильной (*а*), генераторной (*б*) и групповой (прогрессивной) (*в*).

Иногда применяют комбинированную (из вышеперечисленных) схему резания. Наиболее распространенной является генераторная схема, благодаря относительно высокой технологичности инструмента.

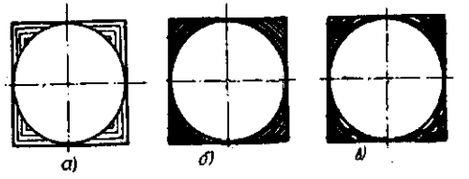


Рис. 19. Схема резания при протягивании

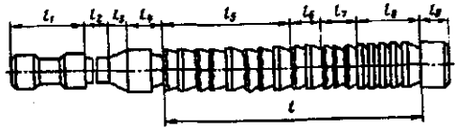


Рис. 20. Основные параметры внутренних протяжек: l – рабочая длина; l_1 – передний хвостовик; l_2 – шейка; l_3 – направляющий конус; l_4 – передняя направляющая часть; l_5 –черновая часть; l_6 – переходная часть; l_7 – чистовая часть; l_8 – калибрующая часть; l_9 – задняя направляющая часть

Прогрессивную схему резания применяют, как правило, в тех случаях, когда из-за малых размеров опасного сечения протяжки необходимо ограничить величину сил протягивания или с целью разделения стружки.

Профильная схема применяется редко из-за технологических трудностей изготовления профильных протяжек.

Внутренние протяжки. Предназначены для обработки круглых, квадратных, многогранных и шлицевых отверстий, а также шпоночных и других фигурных пазов в отверстиях. Данные об основных типах стандартных протяжек для внутреннего протягивания приведены в табл. 65, конструктивные параметры – на рис. 20. Данные о нестандартных протяжках для внутреннего протягивания приведены в табл. 66.

Наружные протяжки. Предназначены для обработки наружных поверхностей, пазов, уступов. Наружное протягивание применяют вместо фрезерования, строгания, шлифования и других операций. Протяжки для наружного протягивания являются специальным видом инструмента и не стандартизованы.

При наружном протягивании объединяют в одну операцию обработку возможно большего числа сопряженных поверхностей деталей: для этого протяжки соединяют в блоки. В блоке секции протяжек размещают параллельно, последовательно или по смешанной схеме.

Производительность и себестоимость операции протягивания зависит не только от схемы срезания припуска и геометрических параметров зубьев протяжки, но и от конструкции протяжного блока.

От конструкции протяжного блока зависит точность и качество обработки, способ перетачивания зубьев и экономичность использования инструментального материала.

При проектировании блока решают следующие задачи: расчленяют сложный профиль детали на элементарные участки, обрабатываемые набором секций простых технологичных протяжек; выбирают последовательность расположения протяжек и схему срезания припуска; назначают систему подналадки протяжек (на станке или вне станка); выбирают способ регулирования черновых и чистовых протяжек; определяют направления сил, действующих в процессе протягивания на деталь (для нежестких деталей); выбирают способ крепления протяжек на державке, обеспечивающий рациональный отвод стружки и быструю замену инструмента.

Данные о секционных протяжках для наружного протягивания приведены в табл. 67.

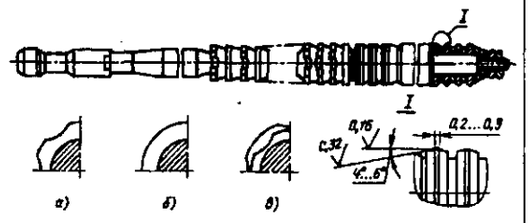
65. Основные типы стандартных протяжек для внутреннего протягивания

Протяжки	ГОСТы (в ред. 1988 г.)	Назначение
Круглые, переменного резания, диаметром 10 – 13 мм	20364–74	Для обработки отверстий с полями допусков *H*7, *H*8, *H*9. Шероховатость обработанной поверхности *Ra* = 0,63 … 2,5 мкм
Круглые, переменного резания, диаметром 14 – 90 мм	20365–74	То же
Для квадратных отверстий со стороной квадрата, мм:		Для обработки квадратных отверстий с полями допусков *H*11, *D*11 и *B*12. Шероховатость обработанной поверхности *Ra* 3,2
10 – 12	26478–85	
св. 14 до 60	26479–85	
» 26 » 41	26480–85	
Шлицевые для отверстий с прямобочным профилем с центрированием по наружному диаметру 20 – 88 мм; комбинированные, переменного резания (одно- и двухпроходные, число шлицев 6, 8, 10)	24818–81 … 24823–81	Для обработки шлицевых отверстий с прямобочным профилем с полями допусков на наружный диаметр *H*7, *H*8 и на ширину впадины *F*8, *F*10, *JS*10. Шероховатость обработанной поверхности наружного и внутреннего диаметров *Ra* ≤ 2,5
Шлицевые для отверстий с прямобочным профилем с центрированием по внутреннему диаметру; комбинированные, переменного резания (одно- и двухпроходные, число шлицев 6, 8, 10)	25969–83 … 25974–83	Для обработки шлицевых отверстий с прямобочным профилем с полями допусков на внутренний диаметр *H*7, *H*8 и ширину впадины *F*8, *H*8, *D*9, D10, *JS*10. Шероховатость обработанной поверхности наружного и внутреннего диаметров *Ra* ≤ 2,5; боковых сторон *Ra* ≤ 5
Для шлицевых отверстий с эвольвентным профилем и центрированием по наружному диаметру 12–90 мм, модулем 1 – 5 мм (одно- и двухпроходные)	25157–82 … 25161–82	Для обработки шлицевых отверстий с эвольвентным профилем с полями допусков на наружный диаметр *H*7, *H*8 и на ширину впадины *H*9 и *H*11. Шероховатость обработанной поверхности наружного диаметра *Ra* 1,6; боковых сторон *Ra* 3,2

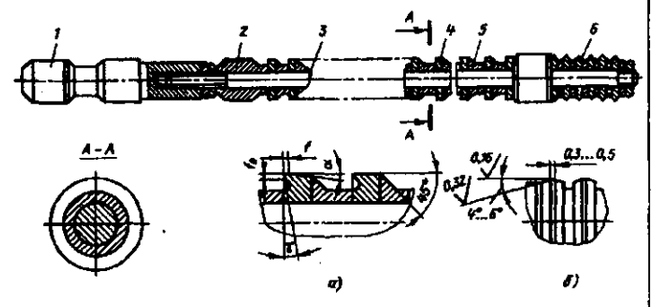
Продолжение табл. 65

Протяжки	ГОСТ	Назначение
Шпоночные для пазов шириной 6 – 50 мм	18217–90	Для обработки пазов с полями допусков на ширину *H*9, *D*10. Шероховатость обработанной поверхности: боковых *Ra* ≤ 5; дна паза *Ra* ≤ 10
Шпоночные для пазов шириной 3 – 10 мм	18218–90	То же
Шпоночные с фасочными зубьями для пазов шириной 3 – 10 мм	18219–90	Для обработки пазов с полями допусков на ширину *H*9, *D*10. Шероховатость обработанной поверхности: боковых: *Ra* ≤ 5; дна паза *Ra* ≤ 10
Шпоночные для пазов шириной 6 – 50 мм	18220–90	То же. Шероховатость боковых поверхностей *Ra* ≤ 2,5; дна паза *Ra* ≤ 10

66. Типовые нестандартные протяжки и прошивки для внутреннего протягивания

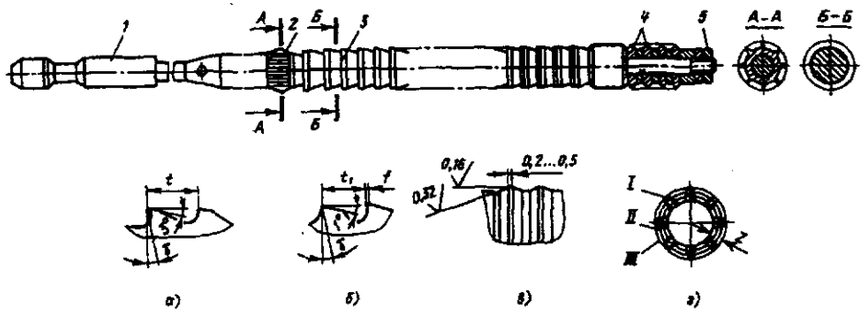


Круглые сборные протяжки с твердосплавными выглаживающими зубьями (кольцами): *а* – профиль нечетных черновых зубьев; *б* – профиль четных черновых и калибрующих зубьев; *в* – профиль переходных несекционных и чистовых зубьев. Предназначены для обработки цилиндрических отверстий диаметром 20 – 70 мм с полями допусков *H*7, *H*9. Имеют повышенную в 2 – 2,5 раза работоспособность по сравнению со стандартными протяжками

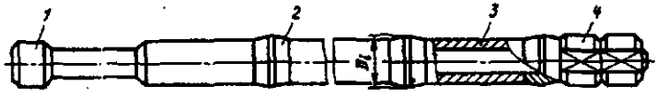


Круглые сборные протяжки с твердосплавными режущими и выглаживающими зубьями (кольцами): *1* – хвостовик; *2* – передняя направляющая; *3* – оправка; *4* – режущие зубья; *5* – дистанционные втулки; *6* – выглаживающие зубья (кольца); *а* – профиль черновых и калибрующих зубьев; *б* – профиль выглаживающих зубьев. Предназначены для обработки чугуна и цветных металлов

Продолжение табл. 66



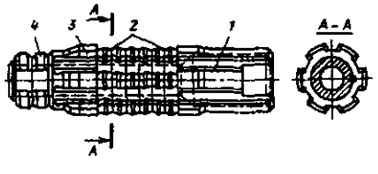
Круглые деформирующе-режущие сборные протяжки с выглаживающими зубьями: *1* – хвостовик; *2* – деформирующий элемент для стружкоделения; *3* – режущая часть; 4 – выглаживающие зубья (кольца); *5* – гайки; *а* – профиль черновых и переходных зубьев; *б* – профиль чистовых и калибрующих зубьев; *в* – выглаживающие зубья; *г* – схема обработки; *Z* – припуск; *I* – деформирование; *II* – резание; *III* – выглаживание. Имеют повышенную в 2 – 4 раза работоспособность по сравнению с работоспособностью протяжек с профильной схемой резания



Круглые сборные протяжки с твердосплавными деформирующими зубьями: *1* – стержень (оправка); *2* – твердосплавные деформирующие зубья (кольца); *3* – дистанционные втулки; *4* – гайки. Предназначены для обработки отверстий деталей типа втулок методом пластического деформирования.

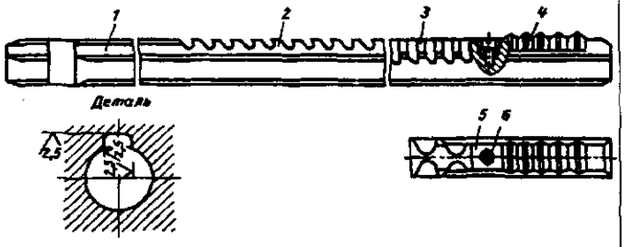
D_i	19,2	19,3	19,4	19,5	19,6	19,7	19,8	19,9	20,0	21,0	20,2	20,3
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Обрабатываемая деталь – сталь 35, 180*НВ*, скорость резания 1 м/мин, сила протягивания 15 кН.

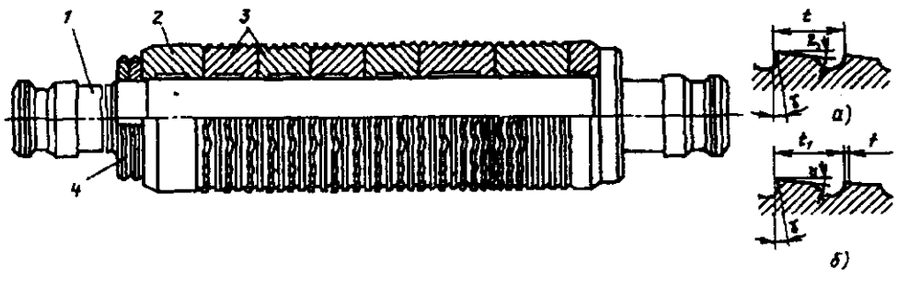


Шлицевые сборные прошивки с твердосплавными выглаживающими зубьями для отверстий с прямобочным профилем и центрированием по наружному диаметру: *1* – оправка; *2* – выглаживающие шлицевые кольца; *3* – направляющая часть; *4* – гайки. Предназначены для калибрования шлицевых отверстий, в том числе и после термической обработки, с полями допусков на наружный диаметр *H*7, *H*8 и на ширину впадины *F*8, *JS*8; *F*10, *JS*10.

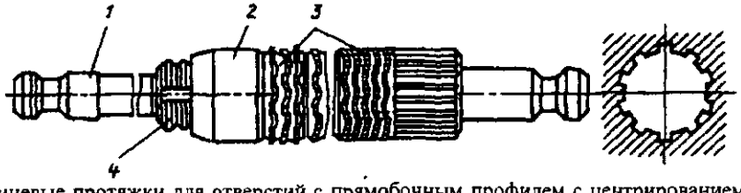
Продолжение табл. 66



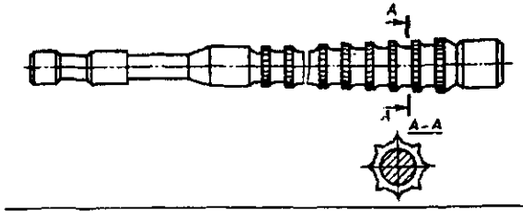
Шпоночные сборные протяжки с выглаживающими твердосплавными элементами: *1* – хвостовик; *2* – режущая часть; *3* – калибрующая часть с боковыми зубьями; *4* – выглаживающая часть, содержащая твердосплавные выглаживающие элементы; *5* – клин; *6* – крепежный винт. Предназначены для обработки точных пазов. Имеют повышенную в 2 – 2,5 раза работоспособность по сравнению со стандартными протяжками



Круглые сборные протяжки переменного резания для обработки отверстий с полями допусков *H*7 и *H*9, диаметром 95 – 200 мм: *1* – оправка с хвостовиками; *2* – направляющая втулка; *3* – секции, включающие черновую, чистовую и калибрующую части; *4* – крепежные гайки; *а* – профиль черновых и переходных зубьев; *б* – профиль чистовых и калибрующих зубьев

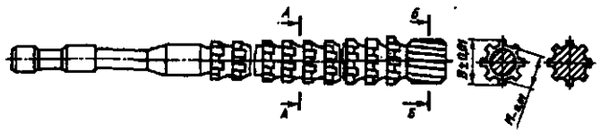
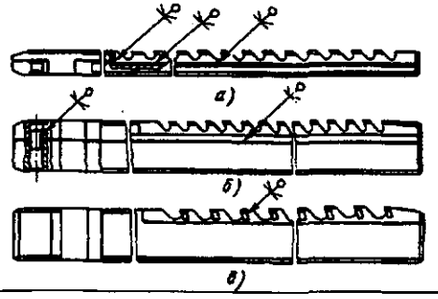


Шлицевые протяжки для отверстий с прямобочным профилем с центрированием по наружному или внутреннему диаметру, сборные комбинированные переменного резания диаметром 95 –160 мм: *1* – оправка с хвостовиками; 2 – направляющая втулка: *3* – секции (шлицевые втулки), включающие черновую, чистовую и калибрующие части; *4* – крепежные гайки



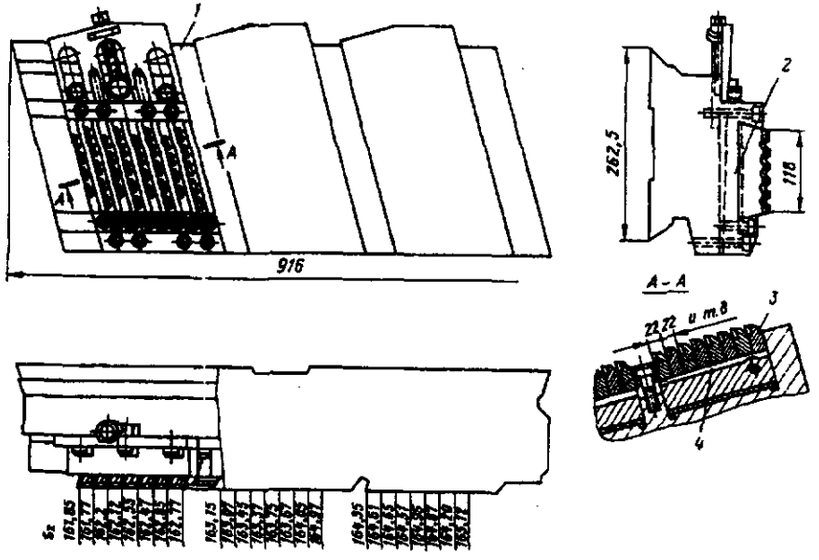
Острошлицевые протяжки. Предназначены для обработки отверстий с треугольным профилем шлицев, диаметром 12 – 200 мм с числом шлицев по окружности до 72

Продолжение табл. 66

	Шлицевые спиральные протяжки. Предназначены для протягивания отверстий как с прямобочными спиральными шлицами, так и с трапециевидными, с углом наклона спирали до 20°, диаметром 20 – 50 мм, с числом заходов 2 – 8
	Клеесборные шпоночные протяжки: *а* – режущие секции вклеены в П-образном пазу корпуса; *б* – режущая секция скреплена с корпусом посредством клея и штифта; *в* – режущие пластины закреплены в пазах корпуса прессованием и последующим склеиванием

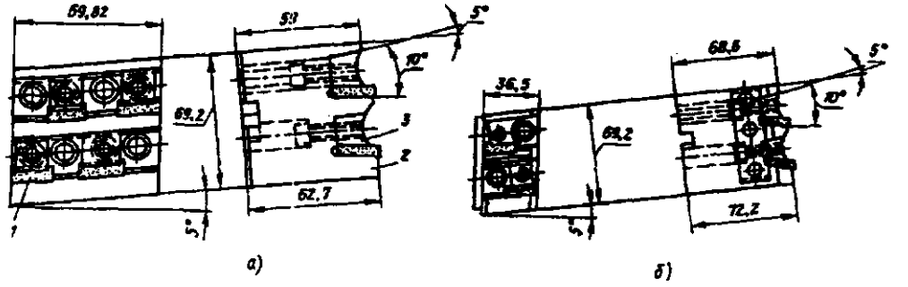
Примечание. Геометрические параметры см. табл. 68 – 70.

67. Типовые нестандартные секционные протяжки для наружного протягивания

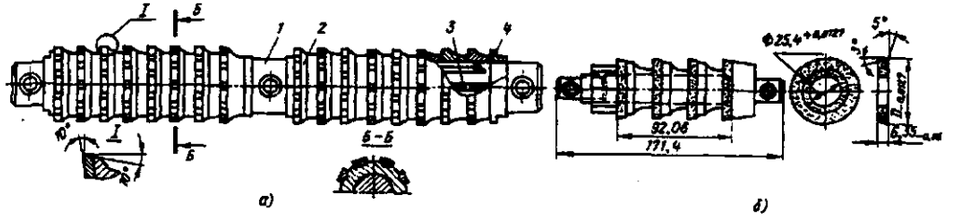


Твердосплавный протяжной блок для обработки корпусной детали: *1* – общая наладка: *2* – кассета; *3* – секции протяжки (ножи); *4* – мерные подкладки для выставления ножей на подъем; S_z – подъем на зуб

Продолжение табл. 67

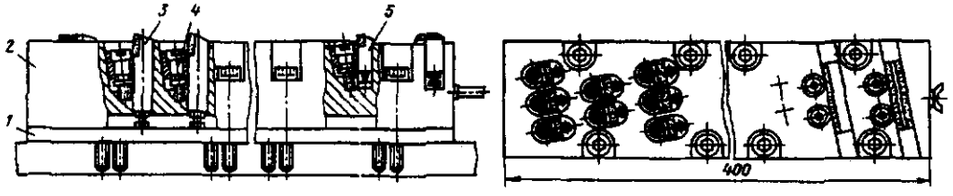


Плоские протяжки с механическим креплением неперетачиваемых пластин из твердого сплава для обработки деталей из чугуна и цветных металлов: *а* – унифицированная секция, набирается в блок для обработки плоскостей; *1* – неперетачиваемая пластина; *2* – корпус; *3* – клин с крепежным винтом; *б* – унифицированная секция, набирается в блок для обработки уступов



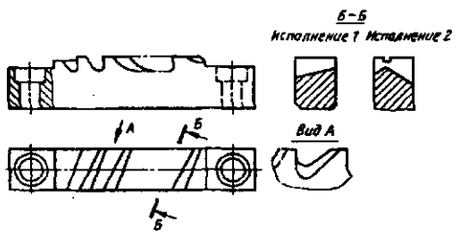
Круглые сборные протяжки для протягивания полуцилиндрических наружных поверхностей корпусных деталей из чугуна и цветных металлов: *а* – черновая секция; *1* – корпус; *2* – зубья; *3* – шпонка; *4* – гайка; *б* – чистовая секция

№ зуба	1	2	3	4
Диаметр кольца *D*, мм	51,87	51,97	52,07	52,07
Допуск, мм	–0,0127			



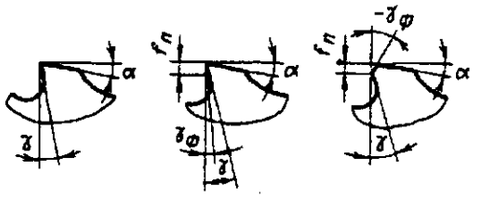
Протяжка, оснащенная взаимозаменяемыми твердосплавными вставками, регулируемыми в направлении по высоте: *1* – опорная плита; *2* – корпус; *3* – режущая вставка; *4* – клин с крепежным винтом; *5* – чистовой нож

Продолжение табл. 67

	Плоская протяжка со свободным выходом стружки по направляющим канавкам. Предназначена для обработки деталей длиной до 300 мм. Исполнение 1 – с односторонним выходом стружки, исполнение 2 – с двусторонним выходом стружки

Примечание. Геометрические параметры см. табл. 68 – 70.

68. Передний угол γ протяжек



Обрабатываемый материал	γ°	Обрабатываемый материал	γ°
Сталь с *НВ*:		Алюминий и сплавы на его основе, красная медь, баббит	20
≤197	20 – 16		
198 – 229	15	Титановые сплавы	10
>229	10		
Серый чугун с *НВ*:		Латунь, бронза с *НВ*:	
≤180	10	≤ 100	10
>180	6	>100	5
Ковкий чугун	10	Порошковые материалы	15

Примечания: 1. Для протяжек с односторонним расположением зубьев (шпоночных, плоских, пазовых и т.п.) передний угол не следует увеличивать более 15° во избежание втягивания протяжки в обрабатываемую поверхность.

2. При обработке стальных деталей круглыми протяжками диаметром до 20 мм допускается уменьшение угла γ до 8 – 10°.

3. Для увеличения работоспособности протяжек на чистовых и калибрующих зубьях рекомендуется дополнительная фаска $f_п$ = 0,5 … 1 мм; углы для ковкого чугуна $\gamma_ф$ = 5°, для серого чугуна, бронзы и латуни $\gamma_ф$ = –5°.

69. Величина заднего угла α° протяжек (см. эскиз в табл. 68)

Протяжки	Зубья: черновые и переходные	Зубья: чистовые	Зубья: калибрующие
	Пред. откл. ±30′		
Внутренние: круглые, шлицевые, шпоночные	3	2	1
Наружные: регулируемые	8 – 10	8 – 10	–
нерегулируемые	3 – 5	2	1 – 2

Примечания: 1. Для сохранения размера при переточках на задних поверхностях калибрующих зубьев протяжек для внутреннего протягивания выполняется равномерная цилиндрическая ленточка шириной 0,2 – 0,6 мм.

2. На черновых, переходных и чистовых зубьях допускается цилиндрическая ленточка не более 0,05 мм.

70. Величины передних и задних углов протяжек из быстрорежущей стали для протягивания жаропрочных и титановых сплавов

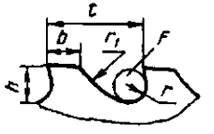
Протяжки	γ°	$\alpha_р$°	$\alpha_к$°
Внутренние	15 / 8 – 10	4 – 5 / 4 – 5	2 – 3 / 2 – 3
Наружные регулируемые		8 – 10 / 8 – 10	6 – 10 / 8 – 10

Примечания: 1. Обозначения: $\alpha_р$ задний угол режущих зубьев; $\alpha_к$ – задний угол калибрующих зубьев.

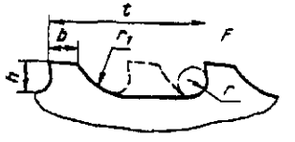
2. В числителе приведены величины углов протяжек для протягивания жаропрочных, в знаменателе – титановых сплавов.

71. Рекомендуемые форма и размеры (мм) профиля черновых зубьев протяжек

Профиль с нормальной канавкой



Профиль с удлиненной канавкой



t	*h*	*r*	*b*	r_1	*F*, мм²	*t*	*h*	*r*	*b*	r_1	*F*, мм²
4,0	1,6	0,8	1,5	2,5	1,77	6,0	1,8*	0,9	2,7	2,8	2,54
	1,8	0,9	1,2	2,8	2,54		2,0	1,0	3,0	3,0	3,14
							2,5	1,3	2,0	4,0	4,90
4,5	1,6	0,8	2,0	2,5	1,77	7,0	2,0*	1,0	3,5	3,0	3,14
	1,8	0,9	1,7	2,8	2,54		2,5	1,3	3,0	4,0	4,90
	2,0	1,0	1,5	3,0	3,14		3,0	1,5	2,3	5,0	7,10
5,0	1,6*	0,8	2,2	2,5	1,77	8,0	2,5	1,3	4,0	4,0	4,90
	1,8	0,9	2,2	2,8	2,54		3,0	1,5	3,3	5,0	7,10
	2,0	1,0	2,0	3,0	3,14		3,6	1,8	2,5	5,5	9,60
5,5	1,6*	0,8	2,5	2,5	1,77	9,0	2,5*	1,3	4,0	4,0	4,9
	1,8	0,9	2,7	2,8	2,54		3,0	1,5	4,3	5,0	7,1
	2,0	1,0	2,5	3,0	3,14		3,6	1,8	3,5	5,5	6,6

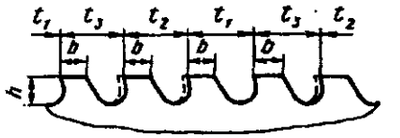
Продолжение табл. 71

t	h	r	b	r_1	F, мм^2	t	h	r	b	r_1	F, мм^2
10	3,0*	1,5	4,3	5,0	7,1	20	7	3,5	9,0	11	38,5
	3,6	1,8	4,5	5,5	9,6		8	4,0	8,0	12	50,3
	4,0	2,0	3,5	6,0	12,6		9	4,5	6,0	14	63,6
11	3,6*	1,8	4,5	5,5	9,6	21	7*	3,5	9,0	11	38,5
	4,0	2,0	4,5	6,0	12,6		8	4,0	9,0	12	50,3
	4,5	2,3	4,0	7,0	15,9		9	4,5	7,0	14	63,6
12	4,0	2,0	5,5	6,0	12,6	22	7	3,5	9,0	11	38,5
	4,5	2,3	5,0	7,0	15,9		8	4,0	9,0	12	50,3
	5,0	2,5	4,0	8,0	19,6		9	4,5	8,0	14	63,6
13	4,0*	2,0	5,5	6,0	12,6	24	8*	4,0	9,0	12	50,3
	4,5	2,3	6,0	7,0	15,9		9	4,5	10,0	14	63,6
	5,0	2,5	5,0	8,0	19,6		10	5,0	6,5	16	78,5
14	4,5*	2,3	6,0	7,0	15,9	25	8*	4,0	10,0	12	50,3
	5,0	2,5	6,0	8,0	19,6		9*	4,5	10,0	14	63,6
	6,0	3,0	4,5	10,0	28,3		10	5,0	9,5	16	78,5
15	4,5*	2,3	6,0	7,0	15,9	26	8*	4,0	10,5	12	50,3
	5,0	2,5	7,0	8,0	19,6		9*	4,5	10,0	14	63,6
	6,0	3,0	5,5	10,0	28,3		10	5,0	10,5	16	78,5
16	5,0*	2,5	7,0	8,0	19,6	28	9*	4,5	10,5	14	63,6
	6,0	3,0	6,5	10,0	28,3		10*	5,0	10,5	16	78,5
	7,0	3,5	5,0	11,0	38,5		12	6,0	9,5	18	113,1
17	5,0*	2,5	7,0	8,0	19,6	30	9*	4,5	12,0	14	63,6
	6,0	3,0	7,5	10,0	28,3		10*	5,0	12,0	16	78,5
	7,0	3,5	6,0	11,0	38,5		12	6,0	11,5	20	113,1
18	6,0	3,0	8,5	10,0	28,3	32	9*	4,5	12	14	63,6
	7,0	3,5	7,0	11,0	38,5		10*	5,0	12	16	78,5
	8,0	4,0	6,0	12,0	50,3		12	6,0	12	20	113,1
19	6*	3,0	8,5	10	28,3						
	7	3,5	8,0	11	38,5						
	8	4,0	7,0	12,	50,3						

*Для профиля с удлиненной канавкой.

Примечание. Шаги чистовых и калибрующих зубьев (t_1, t_2, t_3) неравномерные (см. табл. 72).

72. Рекомендуемые форма и размеры (мм) профиля чистовых и калибрующих зубьев протяжек



Номинальный шаг t	t_1	Номинальный шаг t	t_1	Номинальный шаг t	t_1	Номинальный шаг t	t_1
4	4	9	6	16	11	24	17
4,5	4	10	7	17	12	25	18
5	4	11	7	18	13	26	19
5,5	4	12	8	19	14	28	20
6	4,5	13	9	20	14	30	20
7	5	14	10	21	15	32	22
8	5,5	15	11	22	16		

Примечания: 1. Размеры профиля чистовых и калибрующих зубьев h, b устанавливают в зависимости от шага t_1 (для всех трех шагов одинаковые). Форма профиля зубьев протяжек для шагов t_2 и t_3 удлиненная.

2. При номинальном шаге t = 6 ... 32 мм $t_3 = t_1 + 1$; $t_2 = t_1 + 0{,}5$; при t = 12 ... 19 мм $t_3 = t_1 + 2$.

73. Подачи на зуб s, мм, для протяжек, работающих по профильной и генераторной схемам резания

Внутреннее протягивание

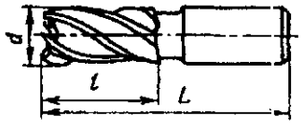
Протяжки	Обрабатываемый материал			
	Сталь	Чугун	Алюминий и сплавы на его основе	Бронза, латунь
Круглые	0,015 – 0,06	0,03 – 0,1	0,02 – 0,05	0,05 – 0,12
Шлицевые с прямоугольными, треугольными и эвольвентными шлицами	0,03 – 0,16	0,05 – 0,12	0,04 – 0,1	0,06 – 0,12
Шпоночные	0,05 – 0,12	0,05 – 0,2	0,05 – 0,08	0,08 – 0,2
Квадратные и шестигранные	0,02 – 0,15	0,05 – 0,2	0,03 – 0,15	0,05 – 0,2

Наружное протягивание

Протяжки	Схема резания	Сталь с $\sigma_в < 500$ и $\sigma_в > 900$ МПа	Сталь с $\sigma_в$ =500 ...900 МПа	Серый и ковкий чугун, бронза	Алюминий и его сплавы
Плоские, угловые и канавочные	Профильная	До 0,1	0,05 – 0,20	0,05 – 0,2	0,03 – 0,2
	Генераторная	0,1 – 0,2	0,3 – 0,8	0,3 – 0,8	До 0,30
Цилиндрические и фасонные	Профильная	До 0,08	До 0,1	0,05 – 0,15	0,03 – 0,1
	Генераторная	0,05 – 0,1	0,1 – 0,2	0,15 – 0,3	До 0,15

ФРЕЗЫ

74. Концевые фрезы с цилиндрическим хвостовиком (по ГОСТ 17025–71 в ред. 1995 г.)



d	L	l	Число зубьев фрез типа	
			1	2
2,0	39	7	3	2
2,5	40	8		
3,0	40	8	4	3
3,5	42	10		
4,0	43	11		
5,0	47	13		
6,0	57	13		
7,0	60	16		
8,0	63	19		
9,0	69	19		
10,0	72	22		
11,0	79	22		
12,0	83	26	5	4
14,0	83	26		
16,0	92	32	6	–
18,0	92	32		
20,0	104	38		
22,0	104	38		4
25,0	121	45		
28,0	121	45		

Технические требования по ГОСТ 17024–82..

Фрезы (см. табл. 74, 75) изготовляют двух типов: *1* – фрезы с нормальным зубом; *2* – фрезы с крупным зубом.

Фрезы каждого типа изготовляют в двух исполнениях: А – фрезы с цилиндрической ленточкой шириной не более 0,05 мм; Б – фрезы, заточенные наостро.

Угол наклона стружечных канавок: фрез типа 1 30 – 35°; фрез типа 2 35 – 45°.

Для повышения виброустойчивости фрезы выполняют с неравномерным окружным шагом зубьев.

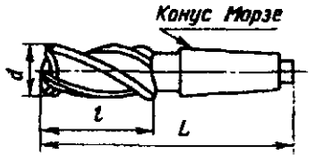
Предельные отклонения фрез не должны быть более:

а) наружного диаметра: нормальной точности *js*14; повышенной точности *js*9;

б) диаметра цилиндрического хвостовика *h*8.

75. Концевые фрезы с коническим хвостовиком (по ГОСТ 17026 – 71 в ред. 1995 г.)

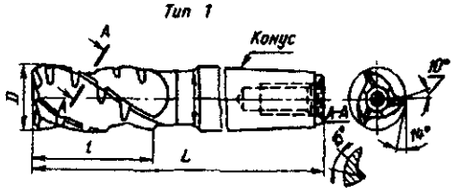
Размеры, мм



d	L	l	Число зубьев фрез типа		Конус Морзе
			1	2	
10	92	22	4	3	1
11					
12	96	26			
12	111				2
14	96				1
14	111				2
16	117	32			
18					
20	123	38	5		2
20	140				3
22	123				2
22	140				
					3
25	147	45			
28					
32	155	53	6	4	
32	173				4
36	155				3
36	178				4
40	188	63			4
40	221				5
45	188				4
45	221				5
50	200	75	8	5	4
50	233				5
56	200				4
56	233				5
63	248	90			5

76. Концевые обдирочные фрезы с коническим хвостовиком (по ГОСТ 15086 – 69 в ред. 1990 г.)

Размеры, мм



D	L	l	Число зубьев	Конус Морзе
25	120	50	3	B24
	150	50		3
	150	80		B24
	180	80		3
32	130	55	4	B32
	180	55		4
	160	85		B32
	210	85		4
	205	130		B32
	255	130		4
40	140	65	4	B32
	190	65		4
	175	100		B32
	225	100		4
	235	160		B32
	285	160		4
50	160	70	4	B45
	225	70		5
	210	120		B45
	275	120		5
	270	180		B45
	335	180		5
63	235	80	5	5
	280	125		5
	290	80		6
	355	200		5
	355	125		6
	410	200		6
80	300	90	7	6
	350	140		
	430	220		
	315	90		80 (метрический)
	365	140		
	445	220		

Фрезы изготовляют двух типов:

1 – с торцовыми зубьями;

2 – без торцовых зубьев.

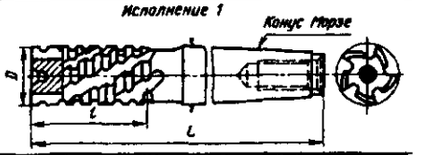
Фрезы изготовляют праворежущими с направлением винтовых стружечных канавок: правым – для фрез с торцовыми зубьями; левым – *Продолжение табл. 76*

для фрез без торцовых зубьев. Фрезы имеют винтовые стружечные канавки с углом наклона ω = 35° и неравномерный окружной шаг зубьев.

Фрезы предназначены для чернового фрезерования открытых широких поверхностей на заготовках, имеющих большие припуски под механическую обработку. На винтовых режущих кромках выполнены стружкоразделительные канавки.

77. Концевые обдирочные фрезы с затылованными зубьями и коническим хвостовиком

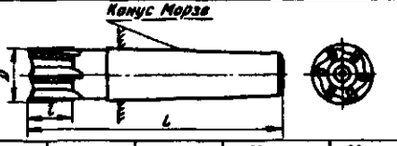
Размеры, мм



D	L	l	Число зубьев	Конус Морзе
32	180	55	5	4
	210	85		
	255	130		
40	190	65	6	
	225	100		
	285	160		
50	225	70		5
	270	115		
	335	180		
63	235	80	8	
	280	125		
	355	200		

78. Концевые фрезы с коническим хвостовиком, оснащенные прямыми пластинами из твердого сплава

Размеры, мм

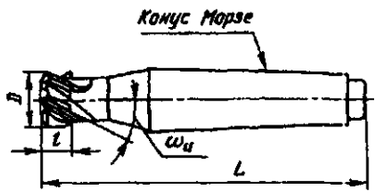


D	L	l	Число зубьев	Конус Морзе
16	105	16	4	2
20	125	20	5	3
25	125	20	5	3
32	150	20	5	4
40	150	25	6	4
50	190	32	6	5

Фрезы оснащают пластинами из твердых сплавов Т5К15, К10, ВК8, ВК6

79. Концевые фрезы, оснащенные винтовыми твердосплавными пластинами

Размеры, мм

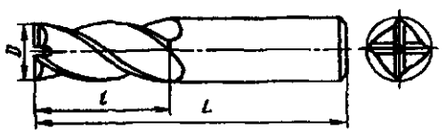


Технические требования по ГОСТ 20539–75

D	l	L	Число зубьев	ω, °	Диаметр хвостовика	Конус Морзе
С цилиндрическим хвостовиком по ГОСТ 20536–75						
10	14	70	2	20	10,0	–
12,5	14	80	2	24	12,5	
16	13	90	3	30	16,0	
20	12	90	4	36	20,0	
С коническим хвостовиком по ГОСТ 20537–75						
12,5	14	115	2	24		2
16	13	120	3	30		2
20	12	135	4	36		3
25	20	160	4	36	–	4
32	19	160	4	40		4
40	24	190	6	34		5
50	22	190	6	40		5

80. Концевые твердосплавные фрезы (по ГОСТ 18372–73 в ред. 1989 г.)

Размеры, мм



D	l	L
3,0; 3,5	8	28
4,0; 4,5	10	32
5,0; 5,5	12	36
6,0; 6,5; 7,0; 7,5	16	40
8,0; 8,5; 9,0; 9,5	20	45
10,0; 10,5; 11,0; 11,5	20	50
12,0	25	60

Примечание. Фрезы диаметром 3,0 –5,5 мм изготовляют с числом зубьев 3 и 4; фрезы диаметром 6,0 – 12,0 – с числом зубьев 3 – 5.

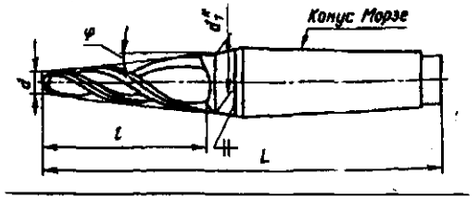
Концевые твердосплавные цельные фрезы нормальной и повышенной точности предназначены для работы по труднообрабатываемым материалам.

Предельные отклонения размеров фрез не должны превышать: а) наружного диаметра фрез: нормальной точности *JS*12, повышенной точности *JS* 9; б) хвостовой части фрез *h*18.

Угол наклона стружечных канавок ω: для фрез с числом зубьев 3 ω = 30 ... 40°: для фрез с числом зубьев 4 и 5 ω = 30 ... 35°. Фрезы выполняют с неравномерным окружным шагом зубьев. Материал фрез – твердые сплавы марок ВК6М, ВК8, ВК10М по ГОСТ 3882 – 74.

81. Концевые конические фрезы с коническим хвостиком

Размеры, мм



Продолжение табл. 81

d (js12)	d_1	l	L	Число зубьев	Конус Морзе
φ = 3°					
4	9,24	50	130	2; 3	
	11,34	70	150		2
	14,48	100	180		
6	11,24	50	130		
	13,34	70	150;155		
	16,48	100	185		
10	17,34	70	170		3
	20,48	100	200		3
	24,68	140	270		4
16	23,34	70	200		4
	26,48	100	230	3; 4	
	30,68	140	270		
25	35,48	100	260		5
	39,68	140	300		
φ = 5°					
3	11,7	50	135		2
	15,26	70	155		
4	12,75	50	135	2; 3	2
	16,26	70	155		2
	21,50	100	200		3
6	14,75	50	135		3
	18,25	70	170		4
	23,50	100	230		4
	30,50	140	270		
10	22,25	70	170		3
	27,50	100	230		4
16	28,26	70	200	3; 4	4
	33,50	100	250		5
	40,50	140	300		5
25	42,50	100	260		5
	49,50	140	300		
φ = 7°					
3	15,30	50	135		2
	20,22	70	170		3
4	16,30	50	135		2
	21,20	70	170		3
	28,60	100	230		4
6	23,20	70	170	2; 3	3
	30,60	100	260		5
	40,40	140	300		5
10	27,20	70	200		4
	34,60	100	260		5
	49,36	160	320		5
16	33,22	70	230	3; 4	5

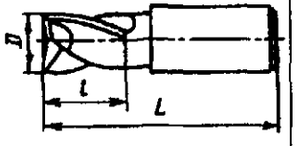
Продолжение табл. 81

d (js12)	d_1	l	L	Число зубьев	Конус Морзе
16	40,60	100	260	3; 4	5
	50,40	140	300		
25	59,40	140	360		6
φ = 10°					
3	20,60	50	150		3
	27,60	70	195		4
4	21,60	50	150		3
	28,60	70	200		4
	39,20	100	260		5
6	30,60	70	200	2; 3	4
	41,20	100	260		5
	55,30	140	300		5
10	34,60	70	230		
	45,20	100	260		
	66,40	160	320		
16	40,60	70	230	3; 4	5
	51,20	100	250		
	65,40	140	300		
25	60,20	100	260		
	74,40	140	360		

82. Шпоночные фрезы (по ГОСТ 9140–78 в ред. 1991 г.)

Размеры, мм

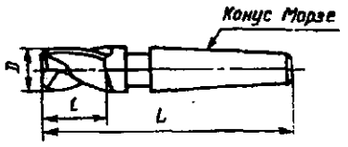
Тип 1 – с цилиндрическим хвостовиком



D (e8)	L	l
2	36	4
3	37	5
4	39	7
5	42	8
6	52	8
7	54	10
8	55	11
10	63	13
12	73	16
14	73	16
16	79	19
18	79	19
20	88	22
22	88	22
25	102	26

Продолжение табл. 82

Тип 2 – с коническим хвостовиком



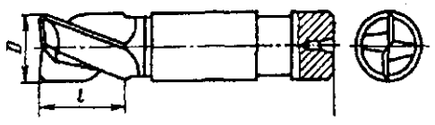
D(e8)	L	l	Конус Морзе
10	83	13	1
12; 14	86; 101	16	1; 2
16; 18	101; 104	19	2
20; 22	107; 124	22	2; 3
25; 28	128	26	3
32; 36	134; 157	32	3; 4
40	163	38	4

Фрезы предназначены для фрезерования шпоночных пазов на шпоночно – фрезерных станках с маятниковой подачей. Угол наклона винтовых стружечных канавок ω=20°.

83. Шпоночные немерные фрезы (по ТУ 2-035-858-82)

Размеры, мм

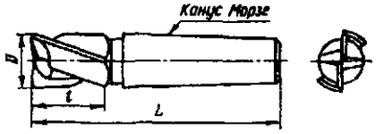
Тип I



Ширина шпоночного паза	D	L	l
С цилиндрическим хвостовиком			
6	5,75	52	8
8	7,75	55	11
10	9,75	63	13
12	11,7	73	16
14	13,7	73	16
16	15,7	79	19
18	17,7	79	19
20	19,7	88	22
22	21,7	88	22
25	24,7	102	26

Продолжение табл. 83

Тип II



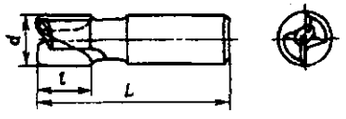
Ширина шпоночного паза	D	L	l
С коническим хвостовиком			
16	15,7	104	19
18	17,7	104	19
20	19,7	107	22
22	21,7	107	22
25	24,7	128	26
28	27,7	128	26
32	31,7	134	32
36	35,7	134	32
40	39,7	163	38
45	44,6	163	40
50	49,6	172	45

Фрезы предназначены для фрезерования шпоночных пазов на шпоночно-фрезерных станках рамочным способом.

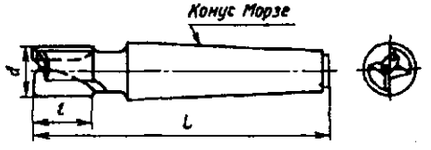
84. Шпоночные фрезы, оснащенные твердосплавными пластинами (по ГОСТ 6396-78 в ред. 1991 г.)

Размеры, мм

Тип 1 – с цилиндрическим хвостовиком



Тип 2 – с коническим хвостовиком



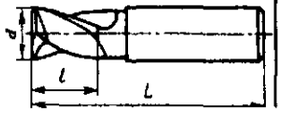
Продолжение табл. 84

Тип 1			Тип 2			
d*	l	L	d*	l	L	Конус Морзе
10	12	62	12	16	86	1
12	16	73			101	1
14	16	73	14	16	86	1
					101	2
16	16	76	16	16	101	2
			18	19	104	
18	19	79	20	19	104	2
					121	3
20	19	85	22	19	104	2
22	19	85			121	3
25	22	98	25	22	124	3
			28			
			32	22	124	3
					147	4
			36	25	127	3
					150	4
			40	25	150	4

Поле допуска *e*8.

85. Шпоночные цельные твердосплавные фрезы (по ГОСТ 16463 – 80 в ред. 1991 г.)

Размеры, мм



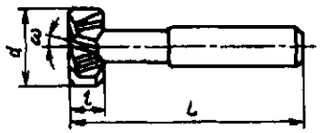
D (e8)	L	l
2	4	25
3	5	30
4	6	32
5	8	32
6	10	35
7	10	35
8	11	40
10	13	45
12	16	50

Фрезы предназначены для обработки шпоночных пазов как в материалах общего назначения, так и в труднообрабатываемых материалах.

86. Фрезы для обработки станочных Т-образных пазов (по ГОСТ 7063-72 в ред. 1990 г.)

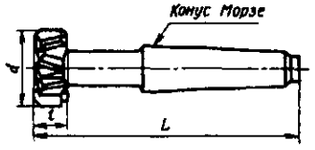
Размеры, мм

Тип 1 – с цилиндрическим хвостовиком



Номинальный размер паза	d*	l	L	Число зубьев
6	12,5	6	57	6
8	16	8	62	
10	18	8	70	
12	21	9	74	
14	25	11	82	
18	32	14	90	8
22	40	18	108	

Тип 2 — с коническим хвостовиком



Номинальный размер паза	d*	l	L	Число зубьев исполнения		Конус Морзе
				1	2	
6	12,5	6	73		–	
8	16	7	77	6	–	1
10	18	8	82		4	
12	21	9	98			
14	25	11	103	8		2
18	32	14	111		6	
22	40	18	138			3
28	50	22	173			
36	60	28	188	–		4
42	72	35	229		8	
48	85	40	240			5
54	95	44	251			

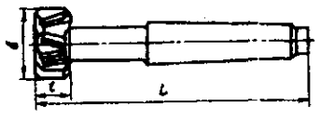
* Поле допуска *h* 12.

Фрезы типов 1 и 2 исполнения 1 рекомендуются для работы по чугуну. Фрезы типа 2 исполнения 2 – для работы преимущественно по стали.

Фрезы выполняют с углом наклона стружечных канавок: ω = 10° – для фрез типа 1; ω = 15 ... 25° – для фрез типа 2.

87. Фрезы с напаянными твердосплавными пластинами для обработки Т-образных пазов (по ГОСТ 10673–75 в ред. 1991 г.)

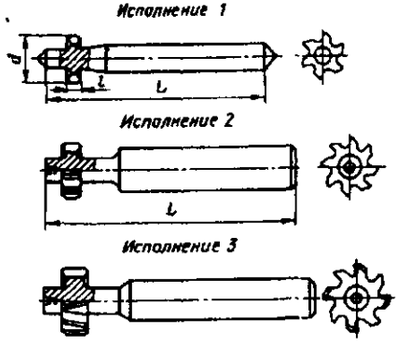
Размеры, мм



Номинальный размер паза	d ($h12$)	l ($h12$)	L	Число зубьев	Конус Морзе
12	21	9	98	6	2
14	25	11	103		
18	32	14	111		3
22	40	18	138		
28	50	22	173		4
36	60	28	188	8	5
42	72	35	229		
48	85	40	240		
54	95	44	251		

88. Фрезы для пазов сегментных шпонок (по ОСТ 2И41–13–87)

Размеры, мм



Номинальный размер шпонок (диаметр × × ширина)	d ($h11$)	l ($e8$)	L	Число зубьев
4 × 1,0	4,3	1,0	40	6
7 × 1,5	7,5	1,5		
7 × 2,0	7,5	2,0		
10 × 2,0	10,8	2,0		
10 × 2,5	10,8	2,5		

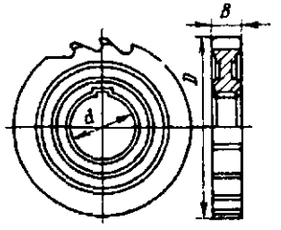
Продолжение табл. 88

Номинальный размер шпонок (диаметр × × ширина)	d ($h11$)	l ($e8$)	L	Число зубьев
13 × 3,0	14,0	3,0	60	6
16 × 3,0	17,3	3,0		8
16 × 4,0	17,3	4,0		
16 × 5,0	17,3	5,0		
19 × 4,0	20,5	4,0		
19 × 5,0	20,5	5,0		
22 × 5,0	23,8	5,0	63	
22 × 6,0	23,8	6,0		
25 × 6,0	27,0	6,0		
28 × 8,0	30,2	8,0	67	
32 × 10,0	34,6	10,0	–	10

Фрезы изготовляют исполнений: 1 – с прямым зубом и наружными центрами (d = 4 … 10 мм); 2 – с прямым зубом и внутренними центрами (d = = 13 … 22 мм); 3 – с разнонаправленным зубом и внутренними центрами (d = 22 … 32 мм).

89. Дисковые пазовые фрезы (по ГОСТ 3964 - 69 в ред. 1988 г.)

Размеры, мм



d ($js16$)	B*	d ($H7$)	Число зубьев
50	3 – 6	16	14
63	5 – 8	22	16
80	8 – 12	27	18
100	10 – 16	32	20
125	8; 12; 16 20; 25	32	22

*В указанных пределах брать из ряда: 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 14; 16 мм.

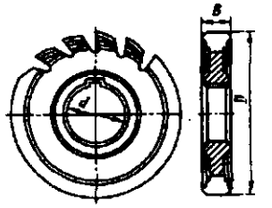
Продолжение табл. 89

B	Предельные отклонения B для паза	
	по $H9$	по $P9$
От 1 до 3	+0,014	– 0,017
	0	– 0,031
Св. 3 » 6	+0,018	– 0,024
	0	– 0,042
» 6 » 10	+0,022	– 0,029
	0	– 0,051
» 10 » 18	+0,027	– 0,035
	0	– 0,062
» 18 » 25	+0,033	– 0,040
	0	– 0,073

Предельные отклонения ширины фрез, мм

90. Пазовые затылованные фрезы (по ГОСТ 8543-71 в ред. 1991 г.)

Размеры, мм



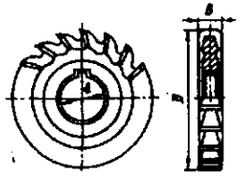
D($js15$)	B	d ($H7$)	Число зубьев
50	4 – 6	16	12
63	5 – 8	22	14
80	(7) – 12	27	14
100	10 – 16	32	16

Примечания: 1. Ширину B в указанных пределах брать из ряда: 4; 5; 6; (7); 8; 10; 12; (14); 16 мм. В скобках – нерекомендуемые значения.

2. Допускаемые отклонения ширины фрез см. табл. 89.

91. Дисковые трехсторонние фрезы (по ГОСТ 28527-90)

Размеры, мм



Продолжение табл. 91

D ($js16$)	B*($K11$)	d ($H7$)	Число зубьев
50	4 – 10	16	14
63	4 – 16	22	16
80	5 – 20	27	18
100	6 – 25	32	20
125	8 – 28	32	22

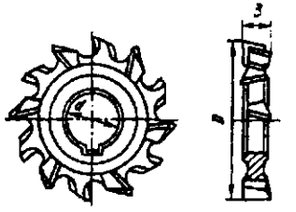
В указанных пределах брать из ряда: 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28 мм.

Предельные отклонения ширины фрез, мм

B	Предельные отклонения B для паза		
	по $H9$	по $P9$	по $N9$
От 4 до 6	+0,018	– 0,024	– 0,012
	0	– 0,042	– 0,030
Св. 6 » 10	+0,022	– 0,029	– 0,014
	0	– 0,051	– 0,036
» 10 » 18	+0,027	– 0,035	– 0,016
	0	– 0,062	– 0,043
» 18 » 28	+0,033	– 0,040	– 0,019
	0	– 0,073	– 0,052

92. Дисковые трехсторонние фрезы с разнонаправленными зубьями (по ГОСТ 28527–90)

Размеры, мм



Продолжение табл. 92

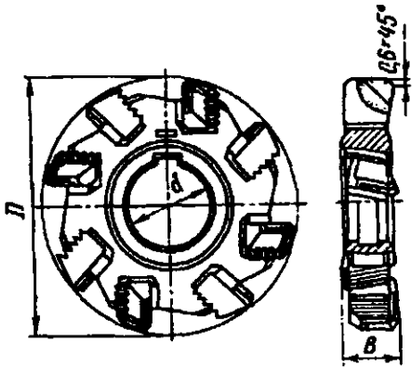
D($js16$)	B*($K11$)	d($H7$)	Число зубьев для типа	
			1	2
63	6 – 16	22	16	12
80	8 – 20	27	18	14
100	10 – 25	32	20	14
125	12 – 28	32	22	18

* В указанных пределах брать из ряда: 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28 мм. Предельные отклонения ширины B см. табл. 91.

93. Дисковые трехсторонние фрезы со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом (по ГОСТ 5348–69)

Размеры, мм

Технические требования по ГОСТ 5808–77 в ред. 1989 г.

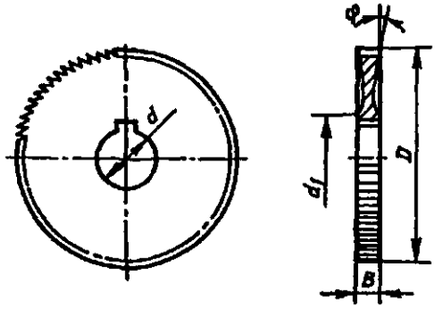


D	B	d(H7)		Число зубьев
		Ряд 1	Ряд 2	
100	14; 18; 22	32	27	8
125	12; 16; 20; 25	40	32	10
160	14; 18; 22; 28	50	40	12
200	12; 16; 20; 25; 32	60	50	14
250	14; 22; 28; 36			18
315	16; 20; 32; 40			20

Примечание. Фрезы первого ряда диаметров являются предпочтительными.

94. Прорезные (шлицевые) и отрезные фрезы (по ГОСТ 2679–93)

Размеры, мм



Фрезы должны изготовляться типов:

1 – фрезы с мелким зубом;

2 – фрезы со средним зубом;

3 – фрезы с крупным зубом

классов:

1 – для прорезки шлицев по ГОСТ 24669;

2 – для прорезных и отрезных работ

Продолжение табл. 94

D*	B	d**	Число зубьев для типа 1	D*	B	d**	Число зубьев для типа 1	D*	B	d**	Число зубьев для типа 1
20	0,20	5	80	25	0,20	8	80	32	0,20	8	100
	0,25		64		0,25		80		0,25		100
	0,30		64		0,30		80		0,30		80
	0,40		64		0,40		64		0,40		80
	0,50		48		0,50		64		0,50		80
	0,60		48		0,60		64		0,60		64
	0,80		48		0,80		48		0,80		64
	1,00		40		1,00		48		1,00		64
	1,20		40		1,20		48		1,20		48
	1,40		40		1,40		48		1,40		48
	1,60		40		1,60		40		1,60		48
	2,00		32		2,00		40		2,00		48
	2,50		32		2,50		40		2,50		40
					2,80		40		2,80		40
					3,00		32		3,00		40
									4,00		40

Продолжение табл. 94

D*	B	d**	Число зубьев для типа			D*	B	d**	Число зубьев для типа		
			1	2	3				1	2	3
40	0,20	10	128	–	–	63	0,25	16	160	–	–
	0,25		100				0,30		128	–	–
	0,30		100				0,40		128	–	–
	0,40		100				0,50		128	64	–
	0,50		80				0,60		100	48	–
	0,60		80				0,80		100	48	–
	0,80		80				1,00		100	48	24 (18)
	1,00		64				1,20		80	40	20 (16)
	1,20		64				1,60		80	40	20 (16)
	1,40		64				2,00		80	40	20 (14)
	1,60		64				2,50		64	32	16 (14)
	2,00		48				3,00		64	32	16
	2,50		48				4,00		64	–	–
	2,80		48				5,00		48	–	–
	3,00		48				6,00		48	–	–
	4,00		40								
	5,00		40								
50	0,20	13	128	–	–	80	0,30	22	160	–	–
	0,25		128	–	–		0,40		160	–	–
	0,30		128	–	–		0,50		128	–	–
	0,40		100	–	–		0,60		128	64	–
	0,50		100	48	–		0,80		128	64	–
	0,60		100	48	–		1,00		100	48	24 (20)
	0,80		80	40	–		1,20		100	48	24 (18)
	1,00		80	40	20		1,60		100	48	24 (18)
	1,20		80	40	20		2,00		80	40	20 (16)
	1,60		64	32	16		2,50		80	40	20 (16)
	2,00		64	32	16		3,00		80	40	20 (14)
	2,50		64	32	16		4,00		64	32	–
	3,00		48	24	–		5,00		64	–	–
	4,00		48	–	–		6,00		64	–	–
	5,00		48	–	–						
	6,00		40	–	–						

Продолжение табл. 94

D*	B	d**	Число зубьев для типа			D*	B	d**	Число зубьев для типа		
			1	2	3				1	2	3
100	0,50	22	160	–	–	200	1,00	32	200	–	–
	0,60		160	80	–		1,20		200	100	–
	0,80		128	64	–		1,60		160	80	–
	1,00		128	64	32 (22)		2,00		160	80	40 (26)
	1,20		128	64	32 (20)		2,50		160	80	40 (26)
	1.60		100	48	24 (20)		3,00		128	64	32 (22)
	2,00		100	48	24 (18)		4,00		128	64	32 (22)
	2,50		100	48	24 (18)		5,00		128	64	32 (20)
	3,00		80	40	20 (16)		6,00		100	48	–
	4,00		80	40	–						
	5,00		80	–	–						
	6,00		64	–	–						
125	0,60	27	160	–	–	250	1,60	32	200	100	–
	0,80		160	80	–		2,00		200	100	–
	1,00		160	80	–		2,50		160	180	40 (28)
	1,20		128	64	–		3,00		160	80	40 (26)
	1,60		128	64	32 (22)		4,00		160	80	40 (26)
	2,00		128	64	32 (20)		5,00		128	64	32 (22)
	2,50		100	48	24 (20)		6,00		128	64	32
	3,00		100	48	24 (18)						
	4,00		100	48	24 (18)						
	5,00		80	–	–						
	6,00		80	–	–						
160	1,00	32	160	80							
	1,20		160	80	40 (26)						
	1,60		160	80	32 (22)	315	2,50	40	200	100	48
	2,00		128	64	32 (22)		3,00		160	100	48
	2,50		128	64	32 (20)		4,00		160	80	40
	3,00		128	64	24 (20)		5,00		160	80	40
	4,00		100	48	–		6,00		160	80	40
	5,00		100	48	–						
	6,00		100	48							

* Поле допуска *h*16.
** Поле допуска *H*7.

Примечания: 1. Предельные отклонения ширины фрез, мм:
для фрез 1-го класса:

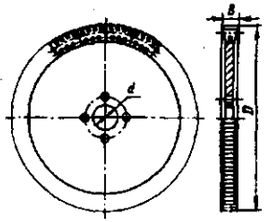
до 1 м	+0,15
	+0,08
св. 1 до 3 мм	+0,26
	+0,16
св. 3	+0,30
	+0,18

для фрез 2-го класса: js11.
Допускается по согласованию фрезы 2-го класса изготовлять с предельными отклонениями по ширине по js13.

2. В скобках приведена 2-я градация чисел зубьев.

95. Дисковые сегментные пилы для металла

Размеры, мм



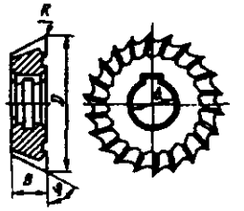
Технические условия по ГОСТ 4047–82 в ред. 1991 г.

D	d	B	Число зубьев пилы при числе зубьев на каждом сегменте		
			4	6	8
250	32	5,0	56	84	112
275*	32*				
315	40				
350*	32*				
400	50	6,0	72	108	144
410*	70*				
500	50				
510*	70*	6,5			
610*	80*		80	120	160
630	80				
710*	80*		94	144	192
800	80	7,0			
1000	100	8,0	120	180	240
1010*	120*				
1250	100	9,0			
1430*	50*	12,5	144	216	288
1600	120				
2000					
2000*	240*	14,5	176	264	352

* Второй ряд диаметров.

96. Одноугловые фрезы (по ТУ 2-035-526-76)

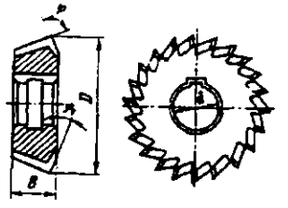
Размеры, мм



D	B	d	φ°
40	8	16	45; 50
	10		60; 65; 70
	12		75; 80; 85; 90
50	10	16	45; 50; 110; 120
	12		55; 60; 65; 70; 100; 105
	16		75: 80; 85; 90
63	12	22	45; 50
	16		55: 60; 65; 70; 100
	20		75; 80; 85; 90

97. Двухугловые несимметричные фрезы (по ТУ 2–035–526–76)

Размеры, мм



φ°	D	B	d
50	80	16; 20	22
55	40	6	16
	50	8	
	63	10	22
	80	16; 20	
60	40	6	16
	50	8	
	63	10	22
	80	16; 20	

Продолжение табл. 97

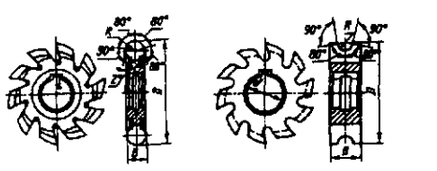
φ°	D	B	d
65	40	6	16
	50	8	
	63	10	22
	80	16; 20; 25	
70	40	8	16
	50	10	
	63	12	22
	80	16; 20; 25	
75	40	8	16
	50	10	
	63	12	22
	80	16; 20; 25	
80	40	10	16
	50	12	
	63	16	22
	80	16; 20; 25	
85	40	10	16
	50	12	
	63	16	22
	80	16; 20: 25	
90	40	10	16
	50	16	
	63	20	22
	80	25	
100	40	12	16
	50	16	
	63	20	22

Примечание. Для фрез с углом φ = 50 ... 85°, углом φ_1 =15°, с углом φ = 90° угол φ_1 = 20°, с углом φ = 100° угол φ_1 = 25°.

98. Полукруглые фрезы (по ГОСТ 9305–93)

Размеры, мм

Выпуклые фрезы Вогнутые фрезы



Продолжение табл. 98

R	D(h15)	B(h14)	d(H7)	Число зубьев
2,5	63	5,0	22	12
3,0		6,0		
4,0		8,0		
4,0	80	8,0	27	10
5,0		10,0		
6,0		12,0		
7,0		14,0		
8,0		16,0		
8,0	100	16,0	32	
9,0		16,0		
10,0		20,0		
11,0		22,0		
12,0		24,0		
12,0	125	24,0		
14,0		28,0		
16,0		32,0		
18,0		36,0		
20,0		40,0		
25,0	130	50,0	40	

Выпуклые фрезы

1,6	50	3,2	22	14
2,0		4,0		
2,5		5,0		

Вогнутые фрезы

1,5	50	7	22	14
1,6				
2,0		8		
2,5		10		
2,5	63	10		12
3,0		12		
4,0		14	27	10
4,0				
5,0	80	18		
6,0		22		
7,0		25		
8,0		28		
8,0	100	28	32	
9,0		32		
10,0		35		
11,0				
12,0				
12,0	125	40		
12,5				
14,0		45		

99. Дисковые фрезы с креплением твердосплавных пластин (ГОСТ 28437-90)

Фрезы предназначены для фрезерования уступов и пазов в чугунных и стальных деталях.

Фрезы изготовляют двух типов:

Тип 1 – фрезы трехсторонние в двух исполнениях:

1 – с креплением ромбических пластин без задних углов штифтом через отверстие;

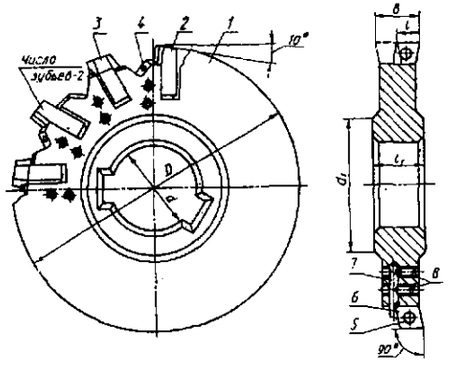
2 – с креплением режущих трехгранных пластин с задними углами винтом через отверстие.

Ширина фрез изменяется перемещением режущих пластин в осевом направлении.

В случае исполнения 1 увеличиваются число режущих кромок и прочность режущего клина. В случае исполнения 2 уменьшаются силы резания и создаются более благоприятные условия для обработки вязких материалов.

Тип 2 – фрезы двухсторонние: праворежущие и леворежущие.

Тип 1, исполнение 1



1 – корпус; *2* – правая державка (кол. *z*); *3* – левая державка (кол. *z*); *4* – специальный винт (кол. 2× *z*); *5* – штифт (кол. 2×*z*); *6* – пластина (кол. 2×*z*); *7* – регулировочный элемент (кол. 2× *z*); *8* – регулировочный винт (кол. 4× *z*)

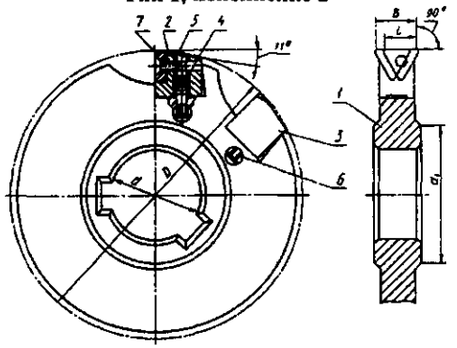
Продолжение табл. 99

Размеры, мм

D	B	d	d_1, не менее	Число зубьев 2 × z	Длина режущей кромки l	l_1
80	10	27	41	2 × 3	6,3	10
		32	47			
	12					12
100	14	27	41		7,9	14
	18				9,5	18
125	12	40	55	2 × 4	6,3	12
	16	32	47		9,5	16
160	14	40	55	2 × 5	7,9	14
	16			2 × 6	9,5	16
	18					18
	20			2 × 4	12,7	20
	22					22
	28			2 × 3	15,9	28
200	16	50	69	2 × 7	9,5	16
	20			2 × 6	12,7	20
	25			2 × 5	15,9	25
	32			2 × 4	19,0	32
250	14	60 (50)	82	2 × 9	7,9	14
	16				9,5	16
	18					18
	20			2 × 8	12,7	20
	22					22
	25			2 × 6	15,9	25
	28					28
315	20	80	100	2 × 10	12,7	20
	25			2 × 8	15,9	25
	32			2 × 7	19,0	32

Продолжение табл. 99

Тип 1, исполнение 2



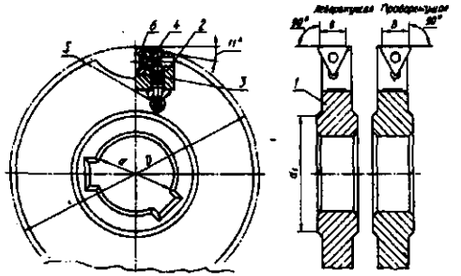
1 – корпус; *2* – правая кассета (кол. *z*); *3* – левая кассета (кол. *z*); *4* – винт (кол. 2×*z*); *5* – винт (кол. 2×*z*); *6* – вставка (кол. 2×*z*); *7* – пластина (кол. 2×*z*)

D	*B*	*d*	d_1, не менее	Число зубьев 2 × *z*	Длина режущей кромки *l*	l_1
80	13–16	27	41	2×3	13	13
100	16–19	32	47			16
	19–22					19
	22–25					22
125	16–19	40	56	2×4		16
	19–22					19
	22–25					22
125	23–26	40	55	2×3	18	23
	26–29					26
	29–32					29
	32–36					32
160	16–19			2×5	13	16
	19–22					19
	22–25					22
	23–26			2×4	18	23
	26–29					26
	29–32					29
	32–36					32
200	16–19	50	69	2×6	13	16
	19–22					19
	22–25					22
	23–26			2×6	18	23
	26–29					26
	29–32					29
	32–36					32

Продолжение табл. 99

D	*B*	*d*	d_1, не менее	Число зубьев 2 × *z*	Длина режущей кромки *l*	l_1
250	16–19	60	82	2×8	13	16
	19–22					19
	22–25					22
	23–26			2×7	18	23
	26–29					26
	29–32					29
	32–36					32
315	16–19	80	120	2 × 10	13	16
	19–22					19
	22–25					22
	23–26			2×9	18	23
	26–29					26
	29–32					29

Тип 2

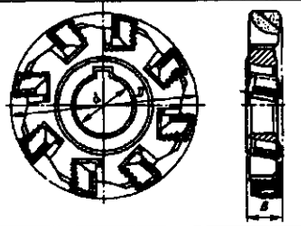


1 – корпус; *2* – кассета (кол. *z*); *3* – винт (кол. *z*); *4* – винт (кол. *z*); *5* – вставка (кол. *z*); *6* – пластина (кол. *z*)

D	*B*	*d*	d_1, не менее	Число зубьев *z*	Длина режущей кромки *l* = *B*	l_1
125	13	40	55	8	13	16
	18			6	18	23
160	13			10	13	16
	18			8	18	23
200	13	50	69	12	13	16
	18				18	23
250	13	60	82	16	13	16
	18			14	18	23
315	13	80	120	20	13	16
	18			18	18	23

100. Фрезы дисковые двусторонние со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом (по ГОСТ 6469–69)

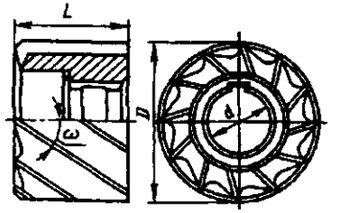
Размеры, мм



D	*B*	*d*	Число зубьев
100	18	32	8
125	20	40	10
160	22	50	12
200	25	60	14
250	28	60	18
315	32	60	20

101. Торцовые насадные фрезы из быстрорежущей стали (по ГОСТ 9304–69)

Размеры, мм



D	*L*	*d*(*H*7)	Число зубьев для фрез типа	
			1	2
40	32	16	10	–
50	36	22	12	–
63	40	27	14	8
80	45	32	16	10
100	50	32	18	12

Фрезы изготовляют двух типов:

тип 1 – фрезы торцовые насадные с мелким зубом:

а) фрезы диаметром 40—50 мм с креплением на продольной шпонке;

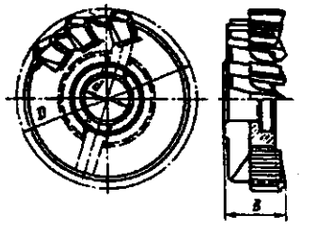
б) фрезы диаметром 63—100 мм с креплением на торцовой шпонке:

тип 2 – фрезы торцовые насадные с крупным зубом.

Фрезы с крупным зубом могут быть изготовлены с неравномерным окружным шагом зубьев. Угол наклона стружечных канавок 25 – 30° для фрез типа 1; 35 – 40° для фрез типа 2.

102. Торцовые насадные фрезы со вставными ножами из быстрорежущей стали (по ОСТ 2И61-10–88)

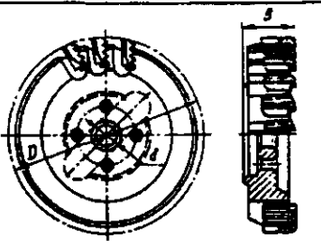
Размеры, мм



D	*B*(*h* 16)	*d*	Число зубьев
100	40	32	10
125	40	40	14
160	45	50	16
200	45	50	20
250	45	50	26

103. Торцовые насадные мелкозубые фрезы со вставными ножами, оснащенными пластинами из твердого сплава (по ГОСТ 9473–80)

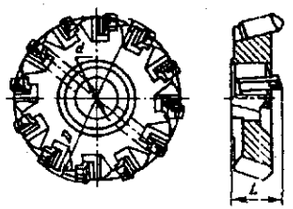
Размеры, мм



D	*B*	*d*(*H*7)	Число зубьев
100	39	32	10
125	42	40	12
160	46	50	16
200	46	50	20
250	47	50	24
315	66	60	30
400	66	60	36
500	71	60	44
630	71	60	52

104. Торцовые насадные фрезы со вставными ножами, оснащенными пластинами из твердого сплава (по ГОСТ 24359–80 в ред. 1990 г.)

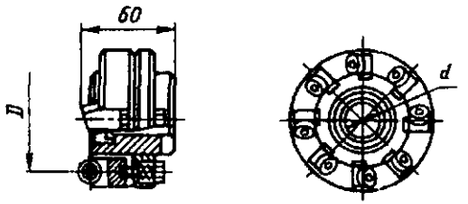
Размеры, мм



D	L	d(H7)	Число зубьев
100	50	32	8
125	55	40	8
160	60	50	10
200	60	50	12
250	75	60	14
315	75	60	18
400	85	60	20
500	85	60	26
630	85	60	30

105. Торцовые фрезы с механическим креплением круглых пластин из твердого сплава (по ГОСТ 26595–85)

Размеры, мм



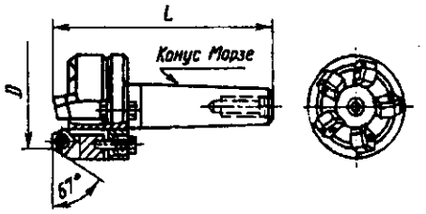
D	L	Число зубьев	d
100	32	10	32
125	40	12	40
160	50	14	50
200	50	16	50

Фрезы предназначены для обработки различных материалов с припуском до 4 мм. Применение фрез тем эффективнее, чем меньше величина снимаемого припуска. При глубине резания l = 4 мм пластину можно повернуть 6 – 7 раз при одностороннем ее использовании и 12 – 14 раз при двустороннем. Уменьшение глубины резания приводит к увеличению стойкости фрез.

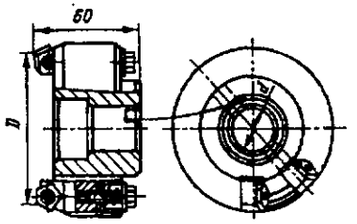
106. Торцовые фрезы с механическим креплением пятигранных твердосплавных пластин

Размеры, мм

Концевые по ГОСТ 22087–76



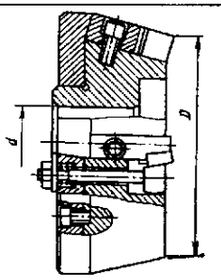
Концевые по ГОСТ 26595–85



D	L	d	Число зубьев	Конус Морзе
Концевые фрезы				
63	172	–	5	4
Насадные фрезы				
100	–	32	6	–
125		40	8	
160		50	10	
200		50	12	

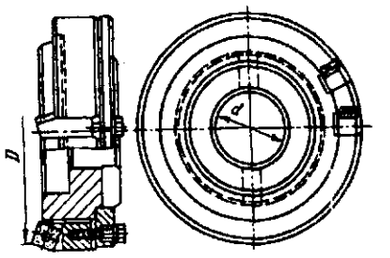
Фрезы предназначены для обработки сталей и других материалов с припуском 9 мм. Главный угол в плане $\varphi = 67°$ и вспомогательный $\varphi_1 = 5°$.

107. Торцовые фрезы с механическим креплением четырехгранных пластин клином



D, мм	d, мм
100	32
125	40
160	50
200	50
250	60
315	60
400	60
500	60

108. Торцовые насадные фрезы с механическим креплением четырехгранных пластин из твердого сплава

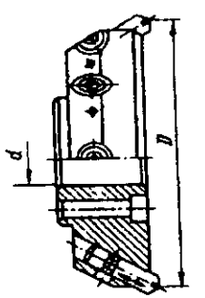


D, мм	d, мм	Число зубьев
100	32	10
125	40	12
160	50	16
200	50	20

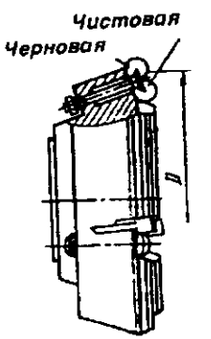
Фрезы предназначены для обработки деталей с неравномерным припуском до 12 мм на фрезерных станках с повышенной жесткостью. Фрезы выполняют с главным углом в плане $\varphi = 75°$.

109. Торцовые фрезы, оснащенные пластинами из композита

Исполнение I



Исполнение II

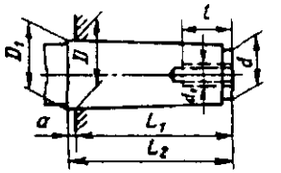


d – диаметр посадочного отверстия

D, мм	d, мм
100	32
125	40
160	50
200	50
250	60
315	60
400	60

Примечание. Торцовые фрезы изготовляют в трех исполнениях: с перетачиваемыми режущими элементами, с неперетачиваемыми круглыми пластинами одноступенчатые и ступенчатые.

110. Наружные конусы для инструментов без лапок

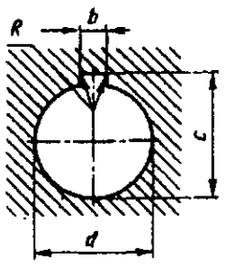


Размеры, мм

Конус Морзе	D	D_1	d	L_1	L_2	a	d_1	l
0	9,045	9,2	6,4	50,0	53	3	–	–
1	12,065	12,2	9,4	53,5	57	3,5	M6	16
2	17,780	18,0	14,6	64,0	69	5	M10	24
3	23,825	24,0	19,8	81,0	86	5	M12	28
4	31,267	31,6	25,9	102,0	109	6,5	M16	32
5	44,399	44,7	37,6	129,5	136	6,5	M20	40
6	63,348	63,8	53,9	182,0	190	8	M24	50

111. Крепление инструмента на цилиндрической оправке и осевой шпонке (по ГОСТ 9472–90)

Размеры, мм



d (поля допусков *H*7 или *H*6)	*h*	c (*H*12)	*R*	
			max	min
8	2	8,9	0,16	0,08
10	3	11,5	0,16	
13	3	14,6	0,16	
16	4	17,7	0,16	
19	5	21,1	0,25	0,16
22	6	24,1	0,25	
27	7	29,8	0,25	
32	8	34,8	0,25	
40	10	43,5	0,4	0,25
50	12	53,5	0,4	
60	14	64,2	0,4	
70	16	75,0	0,4	
80	18	85,5	0,4	
100	25	107,0	0,6	0,40

Примечание. Предельные отклонения ширины *b* не должны быть:

отверстия C11

оправки:

короткой (консольной) ... *H*9 или *P*9; *N*9

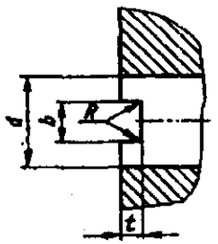
длинной (двухопорной) ... *H*11 или *P*9; *N*9

шпонки ..... *h*9 или e7

Для отрезных и прорезных фрез, а также для фрез толщиной менее 6 мм допускается изготовлять шпоночный паз по ширине *b* с полем допуска *B*12, по высоте *c* – *H*14.

112. Крепление инструмента на цилиндрической оправке и торцовой шпонке (по ГОСТ 9472–90

Размеры, мм



d(*H*7 или *H*6), *h*6 или *h*5*)	*b* (*h*11)	*t* (*H*13)	*R*	
			min	max
5	3,3	2,5	0,4	0,6
8	5,4	4,0	0,4	0,6
10	6,4	4,5	0,6	0,8
13	8,4	5,0	0,7	1,0
16	8,4	5,6	0,7	1,0
19	10,4	6,3	0,9	1,2
22	10,4	6,3	0,9	1,2
27	12,4	7,0	0,9	1,2
32	14,4	8,0	1,2	1,6
40	16,4	9,0	1,5	2,0
50	18,4	10,0	1,5	2,0
60	20,5	11,2	1,5	2,0
70	22,5	12,5	2,0	2,5
80	24,5	14,0	2,0	2,5
100	24,5	16,0	2,5	3,0

* Допускается вместо поля допуска *h*5 применять g5.

ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Зубообрабатывающие инструменты изготовляют из легированных и быстрорежущих сталей, твердых сплавов, абразивных, эльборовых и других материалов. При выборе материала для зубообрабатывающего инструмента учитывают различные факторы: обрабатываемость материала, характер операции (черновая или чистовая обработка), режимы резания, период стойкости инструмента и другие. Основным критерием оценки эффективности использования инструмента является его стоимость, отнесенная к одной обработанной детали.

Сравнительно простые зуборезные инструменты: дисковые и пальцевые модульные фрезы, зубострогальные резцы – изготовляют обычно из легированной инструментальной стали с твердостью 61 – 64 HRC и красностойкостью 300 – 350 °С.

Часто для зуборезных инструментов применяют быстрорежущие стали нормальной и повышенной производительности. К сталям нормальной производительности относят стали Р18, Р9, Р12, Р6М5. Твердость инструментов из этих сталей 63 – 66 HRC, красностойкость 550 – 600 °С, достаточно высокая прочность. Используют при скорости резания 50 – 70 м/мин.

Быстрорежущие стали повышенной производительности Р9К10, Р9Ф5, Р9М4К8 имеют более высокую твердость 64-68HRC, работают при скорости резания 60 – 80 м/мин. Легирование этих сталей кобальтом, ванадием, хромом повышает их красностойкость до 630 – 670 °С и износостойкость в 1,5 – 3 раза по сравнению со сталью Р18. Однако это делает их более чувствительными к обезуглероживанию и плохо шлифуемыми.

Зуборезные инструменты из твердого сплава вольфрамовой группы ВК6М, ВК8 применяют для обработки зубчатых колес из чугуна, цветных металлов и неметаллических материалов. Стальные зубчатые колеса до модуля примерно 2,5 мм обрабатывают фрезами из сплавов титановольфрамовой группы Т5К10, Т15К6, Т30К4, Т30К8, со скоростью резания 200 – 300 м/мин.

Нанесение износостойких покрытий (нитрида титана, карбида титана и др.) на режущие поверхности зубообрабатывающего инструмента из быстрорежущей стали и твердого сплава повышает его стойкость в два и более раза. Высокая твердость и низкий коэффициент трения покрытия снижает термическую нагрузку на режущие поверхности инструмента. Толщина покрытия 3 – 5 мкм практически не влияет на геометрические параметры обрабатываемых зубчатых колес.

Для шлифования зубчатых колес часто используют абразивные шлифовальные круги, изготовленные из керамически связанного корунда. Для зубчатых колес из незакаленных и закаленных легированных сталей и чугуна с твердостью до 63 HRC применяют шлифовальные круги из белого электрокорунда высшею качества. Зубчатые колеса из закаленных с твердостью более 63 HRC и других плохо обрабатываемых сталей, в том числе быстрорежущих, шлифуют кругами из смеси монокристаллического корунда и белого электрокорунда высшего качества. Круги из монокристаллического корунда применяют только для шлифования быстрорежущих сталей. Шлифовальные круги из сверхтвердого материала – кубического нитрида бора (эльбора) для обработки зубчатых колес применяют двух видов: на керамической связке и на металлической основе с гальваническим покрытием.

Дисковые модульные фрезы применяют для чернового и чистового нарезания прямозубых цилиндрических колес, чернового нарезания зубьев косозубых колес, чернового, а иногда чистового нарезания прямозубых конических колес, зубчатых реек, шлицевых валов методом копирования.

Фрезы изготовляют двух типов: черновые с нешлифованным профилем для чернового зубонарезания и чистовые со шлифованным профилем. Фрезы затылованные, профиль зуба выполнен по эвольвенте. На профиле зубьев черновых фрез делают канавки для дробления стружки: передний угол равен 5 – 10°, задний угол 10 – 15°. У чистовых фрез передний угол равен нулю.

Теоретически для каждого нарезаемого колеса необходимо иметь свою фрезу. Практически, допуская некоторые погрешности профиля, одной фрезой данного модуля можно обрабатывать зубчатые колеса с числом зубьев, находящихся в пределах определенного интервала. Профиль зуба фрезы, входящий в набор, соответствует наименьшему числу зубьев этого интервала. Например, профиль фрезы № 5 рассчитан по впадине зуба колеса с числом зубьев 26.

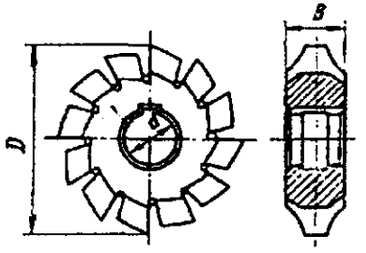
Выпускают два набора фрез: набор из восьми фрез для нарезания зубчатых колес с модулем до 8 мм; набор из пятнадцати фрез рекомендуется для колес с модулем свыше 8 мм. Номер фрезы из набора выбирают в зависимости от числа зубьев обрабатываемого колеса (табл. 113).

113. Наборы дисковых модульных фрез

Набор	Номер фрезы														
	1	1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	4 1/2	5	5 1/2	6	6 1/2	7	7 1/2	8
	Число зубьев колеса														
Из 8 фрез	12 – 13	–	14 – 16	–	17 – 20	–	21 – 25	–	26 – 34	–	35 – 54	–	55 – 134	–	135 – рейка
Из 15 фрез	12	13	14	15 – 16	17 – 18	19 – 20	21 – 22	23 – 25	26 – 29	30 – 34	35 – 41	42 – 54	55 – 79	80 – 134	135 – рейка

Основные размеры дисковых фрез приведены в табл. 114.

114. Основные размеры (мм) дисковых модульных фрез



Модуль	*D*	*d*	*z*	Ширина *B* для фрез № 1 – 8
1,125 – 1,375	50	19	14	4 – 5,5
1,5 – 1,75	55	22	14	5 – 7
2 – 2,25	63	22	12	6 – 8,5
2,5 – 2,75	70	22	12	7,5 – 10,5
3 – 3,75	80	27	12	9 – 14
4 – 4,5	90	27	12	11,5 – 16,5
5 – 5,5	100	27	12	14,5 – 20
6 – 7	110	32	10	17 – 24,5
8 – 9	125	32	10	22 – 28
10 – 11	140	40	10	27 – 37
12 – 14	160	40	10	32 – 47
16	180	50	10	42 –53

Примечание: Бо́льшие значения *B* относятся к меньшим номерам фрез.

Пальцевые модульные фрезы (рис. 21) применяют для нарезания прямозубых, косозубых цилиндрических и шевронных зубчатых колес крупного модуля (m = 10 … 50 мм). Пальцевые фрезы состоят из двух частей: режущей *1* и хвостовой *2* для закрепления фрезы на шпинделе станка. Режущая часть фрезы может быть цельной, сборной со вставными или припайными пластинами. Черновые пальцевые фрезы изготовляют с передним углом 5 – 10° и канавками для дробления стружки. У чистовых пальцевых фрез передний угол равен нулю. Профиль зуба шлифован и затылован.

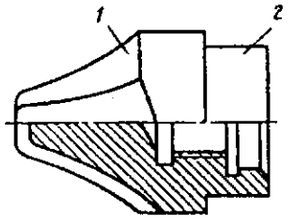


Рис. 21. Пальцевая модульная фреза

Для прямозубых цилиндрических колес профиль зубьев фрезы соответствует форме впадины зуба колеса. Для косозубых и шевронных колес профиль зуба фрезы отличается от профиля впадины колеса; в этом случае необходим специальный расчет профиля зуба фрезы.

Гребенки зуборезные разделяют на прямозубые и косозубые, работающие методом обкатки и врезания с периодическим делением.

Прямозубые зуборезные гребенки (рис. 22, *а*) применяют для черновой и чистовой обработки прямозубых и косозубых цилиндрических колес внешнего зацепления, зубчатых реек, звездочек, а также шевронных колес с широкой разделительной канавкой между зубьями.

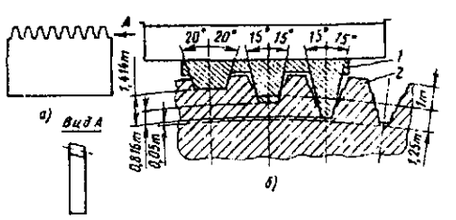


Рис. 22. Гребенки зуборезные: *а* – прямозубая; б – прямозубая с переменной высотой и углом профиля

Прямозубые гребенки с двумя (до модуля m = 50 мм) и тремя (до m = 40 мм) зубьями *1* с переменной высотой и углом профиля (рис. 22, *б*) предназначены для чернового нарезания зубчатых колес *2* средних и крупных модулей методом врезания. Этот инструмент обеспечивает высокую производительность.

Косозубые гребенки целесообразно применять при обработке косозубых цилиндрических колес с ограниченным выходом инструмента, с большими углами наклона линии зуба, а также шевронных колес с узкой разделительной канавкой. Длина хода косозубой рейки по сравнению с прямозубой уменьшается, время обработки сокращается. Профиль зубьев гребенки имеет стандартную и модифицированную форму. Фланк используется для небольшого среза головки или снятия фаски на вершине зуба колеса.

Для зубчатых колес, зубья которых шлифуют или шевингуют, применяют гребенки с усиком (утолщением) для подрезания ножки зуба колеса или со специальным профилем только для скругления впадины зуба колеса по радиусу. Передний угол рейки, равный 6°30', образуется при ее установке в державку зубострогального станка. Когда зубья колеса обрабатывают за несколько проходов, припуск на сторону зуба перед чистовой обработкой при угле профиля 20° равен $0{,}5 + 0{,}15\sqrt{m}$.

Чистовыми гребенками обычно обрабатывают только боковые стороны зубьев, для чего черновое нарезание зубьев выполняют на $0{,}05m$ глубже, чем чистовое. Припуск на сторону зуба под шлифование для колес с модулем до 10 мм равен $0{,}11 + 0{,}15m$, для модуля более 10 мм – $0{,}26m$. Число зубьев рейки уменьшается с увеличением модуля. Рейки с модулем 1 – 1,75 мм имеют 24 зуба, а с модулем 24 – 50 мм 2 – 3 зуба.

Однозубый инструмент применяют при обработке зубчатых колес крупного модуля, выходящего за пределы технической характеристики станка. Преимуществом обработки однозубым инструментом является его универсальность. Такой инструмент особенно выгодно применять при обработке зубчатых колес с малым числом зубьев.

Если при обработке колес малых и средних модулей наибольшую производительность обеспечивает зубофрезерование червячными фрезами, то при обработке зубчатых крупномодульных колес самым производительным и

экономичным является метод зубострогания гребенками. Стоимость зуборезных гребенок при обработке крупномодульных колес значительно ниже стоимости червячных фрез, а достигаемая точность выше (4 – 5-я степень точности по ГОСТ 1643-81).

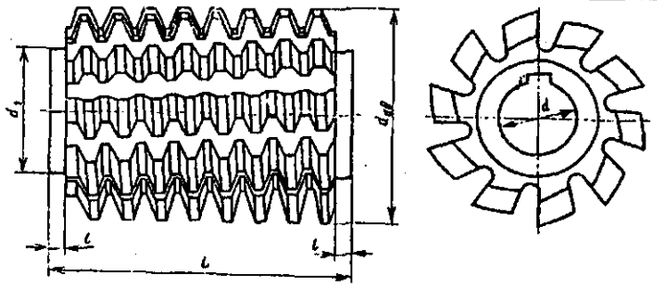
Червячные фрезы представляют собой одно-, двух- или многозаходный червяк. Расположенные вдоль оси профильные стружечные канавки образуют зубья, которые имеют передний и задние по вершине и боковым сторонам углы, необходимые для обеспечения резания. Зубья фрезы затылованы. Червячные фрезы применяют для нарезания цилиндрических колес с прямыми и косыми зубьями внешнего зацепления, червячных колес и шлицевых валов. Фрезы разделяют на черновые, чистовые и прецизионные.

Черновые червячные фрезы предназначены для предварительного нарезания зубьев, например, под получистовое, чистовое нарезание и шлифование зубьев. Для повышения производительности и облегчения условий резания их делают многозаходными с передним углом, равным 5 – 10°. У сборных черновых острозаточенных фрез для получения больших задних углов по вершине и боковым сторонам (10 – 15°) зубья не затылуют, а затачивают по задним поверхностям. Эти фрезы позволяют увеличить производительность и период стойкости.

Прецизионные и чистовые фрезы. Фрезы червячные чистовые однозаходные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем по ГОСТ 9324-80 изготовляют трех типов и шести классов точности.

Тип 1 – цельные прецизионные фрезы модулей 1 – 10 мм классов точности ААА и АА (табл. 115).

115. Основные размеры (мм) червячных фрез (по ГОСТ 9324-80 в ред. 1992 г.)



Модуль m_0	d_{a0}	d	d_1, не более	L*	l	Число стружечных канавок z_0
Цельные прецизионные фрезы типа 1 классов точности ААА и АА						
1; 1,125; 1,25	71	32	50	71	5	16
1,375; 1,5; 1,75	80			80		
2; 2,25	90	40	60	90		14
2,5; 2,75	100			100		
3; 3,25; 3,5; 3,75	112			112		
4; 4,25; 4,5	125	50	75	125		
5; 5,5	140			140		
6; 6,5; 7	160	60	90	155	6	12
8	180			175		
9; 10				180		

Продолжение табл. 115

Модуль m_0	d_{a0}	d	d_1, не более	L*	l	Число стружечных канавок z_0
Цельные фрезы типа 2 классов точности АА; А, В, С и D						
1	40	16	25	32/50	4	12
1,125	50	22	33	32/63		
1,25; 1,375				40/70		
1,5; 1,75	63	27	40	50/80		
2				50/90		
2,25	71			56/90		
2,5; 2,75				63/100		
3; 3,25	80	32	50	71/112		10
3,5				71/125		
3,75	90			80/125		
4				80/140		
4,25; 4,5				90/140		
5	100	32	50	100/140	4	10
5,5; 6	112	40	60	112/160		
6,5	118	40	60	118/160		9
7				125/160	5	
8	125			132/180		
9	140			150/180		
10	150	50	75	170/200		
11	160			180		
12	170			200		
14	190		85	224		
16	212	60	100	250	6	8
18	236			280		
20	250			300		

* В числителе – нормальная длина, в знаменателе – увеличенная.

Примечания: 1. Фрезы типа 1 модулей 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8 и 10 и фрезы типа 2 модулей 1; 1,25; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16 и 20 являются предпочтительными для применения.

2. Фрезы типа 2 допускается изготовлять с заборным конусом, с гнездами под торцовые шпонки и увеличенной шириной буртика.

Тип 2 – цельные фрезы модулей 1 – 10 мм классов точности А, В, С, D и класса точности АА (для экспортных поставок); модулей 11 – 14 мм классов точности АА, А, В, С и D; модулей 16 – 20 мм классов точности АА и А. Фрезы модулей 1 – 10 мм изготовляют двух исполнений: 1 – нормальной длины, 2 – увеличенной длины. Фрезы модулей 11 – 20 мм изготовляют нормальной длины (см. табл. 116).

Тип 3 – сборные фрезы модулей 8 – 25 мм классов точности А, В, С, D. Фрезы модулей 10 – 25 мм изготовляют двух исполнении: 1 – нормальных размеров (d_{a0}, d, L); 2 – уменьшенных размеров (d_{a0}, d, L). Фрезы модулей 8 и 9 мм выполнены с нормальными размерами (табл. 116).

Фрезы классов точности ААА, АА и А изготовляют с модификацией профиля зубьев или без модификации. Червячные прецизионные фрезы класса ААА предназначены для нарезания колес 5-6-й степени точности; фрезы класса АА для нарезания колес 7-й степени точности; фрезы классов точности А, В, С и D предназначены для обработки зубчатых колес соответственно 8, 9, 10 и 11-й степеней точности по ГОСТ 1643–81.

116. Основные размеры (мм) сборных червячных фрез типа 3 классов точности A, B, C и D (см. эскиз к табл. 115)

Модуль m_0	Исполнение	d_{a0}	L	d	z_0, не менее
8	1	180	165	50	10
9	1	200	170	60	10
10	1	200	210	60	10
	2	180	180	40	8
11	1	212	215	60	10
	2	180	180	40	8
12	1	225	240	60	10
	2	200	200	50	8
14	1	250	240	70	10
	2	200	200	50	8
16	1	265	270	70	10
	2	225	225	50	8
18	1	280	290	80	10
	2	225	225	50	8
20	1	300	310	80	10
	2	250	250	60	8
22	1	320	330	80	10
	2	270	325	70	8
25	1	340	360	80	10
	2	305	360	70	8

Примечания: 1. Фрезы типа 3 изготовляют с прямыми осевыми стружечными канавками, их допускается изготовлять с заборным конусом.

2. Фрезы модулей 8; 10; 12; 16; 20 и 25 являются предпочтительными для применения.

Цельные фрезы и зубчатые рейки к сборным фрезам изготовляют из быстрорежущей стали. Твердость фрез типов 1 и 2 и реек фрез типа 3 равна 63 – 66 HRC. При содержании в стали ванадия и кобальта твердость составляет 64-66 HRC. Профиль зубьев шлифован. У чистовых фрез передний угол равен нулю.

Фрезы для нарезания прямозубых и косозубых колес с малым углом наклона зубьев изготовляют без заборного конуса. Заборный конус необходим для нарезаняя колес с углом наклона зубьев свыше 30°. Стружечные канавки обычно располагают параллельно оси. Фрезы одного номера изготовляют правозаходными и левозаходными.

Сборные червячные фрезы с поворотными вставными рейками (рис. 23) широко применяют в автомобильной промышленности. Фрезы имеют большую длину рейки l(120 – 200 мм), ширину режущей части рейки до 27 мм, диаметр до 150 мм, число заходов 1 – 3 и число реек 11 – 15, реже 17; их обычно применяют для пяти – семизаходных фрез. Диаметр отверстий для фрез 32 и 40 мм. Рейки *1* сборной фрезы запрессовывают в прямоугольные пазы рабочего корпуса *3* с подогревом корпуса или сажают на клей. Такая посадка гарантирует высокую жесткость против осевого смещения. Дополнительно рейки удерживаются закрепленными с обоих торцов крышками *2*. Вставные рейки сборных фрез обеспечивают: экономию быстрорежущей стали, более однородную структуру и твердость после термообработки, а также меньшие остаточные напряжения.

Шлифование профиля зубьев рейки осуществляют в технологическом корпусе на резьбо-шлифовальном станке без затылования аналогично шлифованию винта большим шлифовальным кругом с высокой производительностью и точностью. Задние углы режущих кромок образуются соответствующей установкой реек в рабочем корпусе. Благодаря большой длине и ширине режущей части срок их службы в 3 – 5 раз выше, чем у стандартных фрез, и работают они на повышенных режимах резания (v = 60 … 80 м/мин; s = 3 … 6 мм/об).

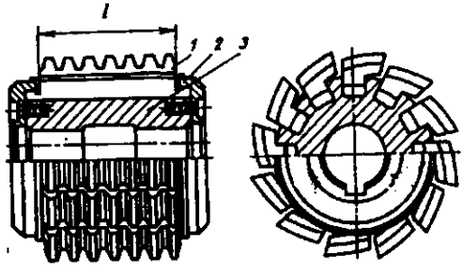


Рис. 23. Сборная червячная фреза с поворотными вставными рейками

Червячные фрезы с нешлифованным профилем повышенной точности отличаются от шлифованных тем, что профиль их зубьев после закаливания не шлифуют, окончательно профиль зубьев обрабатывают резцом на токарно-затыловочном станке. У фрез с нешлифованным профилем зубьев по сравнению с цельными фрезами, затылованными шлифовальным кругом, значительно увеличивается используемая часть профиля, а задние и боковые углы имеют большие значения. Эти же фрезы по сравнению со сборными фрезами с поворотными рейками имеют меньший внешний диаметр и большее число стружечных канавок, что позволяет при одинаковой скорости резания работать с большей производительностью.

Точность фрез с нешлифованным профилем ниже точности фрез со шлифованным профилем примерно на один класс и соответствует классу точности В. В отечественной практике их применяют под получистовое зубофрезерование или перед шлифованием шлицевых валов. Их стойкость в 1,5 – 2 раза выше, чем стойкость цельных фрез со шлифованным профилем.

Твердосплавные червячные фрезы двух типов – сборные и цельные (до m = 3 мм). Твердосплавные фрезы применяют для нарезания мелкомодульных зубчатых колес из стали, чугуна, неметаллических материалов, цветных металлов в приборостроении, а также колес из стали до модуля примерно 2,5 мм в массовом производстве; скорость резания 200 – 300 м/мин. Наилучшие условия резания достигают при нарезании стальных зубчатых колес с большим углом профиля, малым углом наклона линии зуба, незначительной высотой зуба и большим числом зубьев.

Сборные твердосплавные червячные фрезы применяют для окончательного нарезания зубьев закаленных цилиндрических колес с твердостью до 64 HRC и модулем 5 – 25 мм взамен шлифования или перед прецизионным шлифованием для уменьшения припуска. Режущая кромка имеет отрицательный угол до 30°. Твердосплавные пластины припаяны. Обрабатывают только боковые поверхности зуба с припуском на сторону 0,1 – 0,4 мм.

Червячные фрезы для нарезания червячных колес конструктивно зависят от метода нарезания. Для нарезания с радиальной подачей фреза имеет цилиндрическую форму. Червячные колеса с углом наклона линии зуба свыше 8° нарезают с тангенциальной (осевой) подачей фрезы с заборным конусом. Угол заборной части выбирают в пределах 20 – 26°. Заборная часть составляет примерно 3/4 длины фрезы. Цилиндрическая – калибрующая часть фрезы имеет один полный виток.

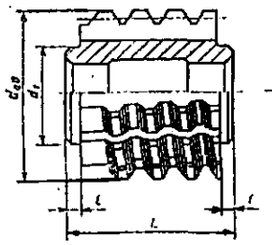
Геометрические параметры фрезы для нарезания червячных колес должны соответствовать параметрам червяка. Число заходов червячной фрезы равно числу заходов червяка. Толщина зуба фрезы должна быть больше толщины зуба червяка на величину зазора между зубьями червячной передачи, а внешний диаметр больше на удвоенную величину радиального зазора в передаче. Когда фрезерование производят в две операции – черновую и чистовую, то черновая фреза имеет большую высоту головки, а чистовая фреза большую толщину зуба.

Многозаходные червячные фрезы применяют для повышения производительности, точность обработки ими ниже, а параметры шероховатости поверхности больше, чем при работе однозаходными фрезами. При применении многозаходных фрез число зубьев обрабатываемого колеса не должно быть кратным числу заходов фрезы, чтобы не вызвать ошибки в шаге зубьев колеса. При переходе с однозаходных фрез на двухзаходные производительность повышается на 40 – 50 %, а на трехзаходные – на 60 – 70 %. Двухзаходные фрезы широко применяют под последующее шевингование, трехзаходные имеют ограниченное применение. Пяти-семизаходные червячные фрезы класса АА и А с числом стружечных канавок 17 и более используют на мощных зуборезных станках.

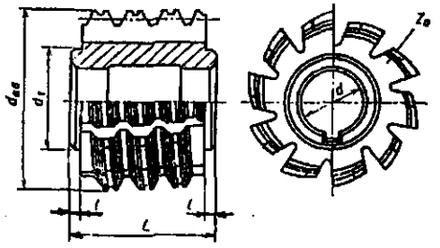
Чистовые и черновые червячные фрезы для шлицевых валов с прямобочным профилем изготовляют по ГОСТ 80270–86 (табл. 117).

117. Основные размеры (мм) чистовых и черновых червячных фрез для шлицевых валов с прямобочным профилем (по ГОСТ 8027-86)

Тип 1



Тип 2



Размеры шлицевого вала серий			Размеры червячной фрезы							
легкой $z \times d \times D$	средней $z \times d \times D$	тяжелой $z \times d \times D$	d_{a0} для серий		L	d	d_1, не менее	Число зубьев z_0 фрезы для серий		l*
			легкой	средней и тяжелой				легкой	средней и тяжелой	
–	6 × 16 × 20	10 × 16 × 20	–	63	50	22	34	–	10	4
–	6 × 18 × 22	10 × 18 × 23	–							
–			–							
–	6 × 21 × 25	10 × 21 × 26	–	70	56	27	40			
	6 × 23 × 28	10 × 23 × 29								
6 × 26 × 30	6 × 26 × 32	10 × 26 × 32	70	80	63			12		5
6 × 28 × 32	6 × 28 × 34	10 × 28 × 35								
8 × 32 × 36	8 × 32 × 38	10 × 32 × 40								
8 × 36 × 40	8 × 36 × 42	10 × 36 × 45	80	90	70	32	50			
8 × 42 × 46	8 × 42 × 48	10 × 42 × 52								
8 × 46 × 50	8 × 46 × 54	10 × 46 × 56	90	100	80			14	12	
8 × 52 × 58	8 × 52 × 60	16 × 52 × 60								
8 × 56 × 62	8 × 56 × 65	16 × 56 × 65								
8 × 62 × 68	8 × 62 × 72	16 × 62 × 72	100	112	90	40	60			
10 × 72 × 78	10 × 72 × 82	16 × 72 × 82								
10 × 82 × 88	10 × 82 × 92	20 × 82 × 92								
10 × 92 × 98	10 × 92 × 102	20 × 92 × 102	112	125	100					
10 × 102 × 108	10 × 102 × 112	20 × 102 × 115								
10 × 112 × 120	10 × 112 × 125	20 × 112 × 125	125	140	112					

* Приведены значения l для средней и тяжелой серий, для легкой серии l = 5 мм.

Примечания: 1. Фрезы типа 2 изготовляют только легкой и средней серий.

2. Фрезы изготовляют правозаходными с левым направлением винтовых стружечных канавок.

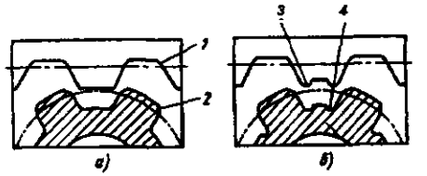


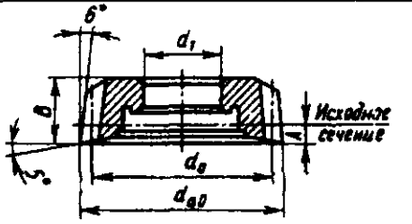
Рис. 24. Профили червячной фрезы: *а* – с фланком; *б* – с фланком и усиком

Фрезы изготовляют типов 1; 2 и классов точности А, В, и С. Фрезы типа 1 предназначены для обработки шлицевых валов с центрированием по наружному диаметру. В основании зубья фрезы имеют фланк *1* (рис. 24, *а*) для снятия фаски *2* на вершине шлицев; в ряде *случаев высоту шлицев увеличивают. При центрировании* шлицевых валов по внутреннему диаметру зубья фрезы снабжают усиками *3* (рис. 24, *б*). Назначение усика – прорезать канавку *4* во впадине для выхода шлифовального круга. Когда центрирование прямобочных шлицевых соединений осуществляют одновременно по внутреннему диаметру и боковым поверхностям, профиль зубьев фрезы имеет более сложную форму. Такие фрезы трудоемки в изготовлении и имеют невысокую стойкость, поэтому в ряде случаев канавку во впадине зубьев прорезают дисковыми фрезами на отдельной операции.

Для нарезания шлицев на валах с эвольвентным профилем зубья фрезы имеют прямые профили. Такой фрезой нарезают на валах различное число шлицев, но одного модуля и угла профиля.

Долбяки зуборезные чистовые изготовляют пяти типов и трех классов точности. Долбяки класса точности АА предназначены для нарезания колес 6-й степени точности, класса точности А – для колес 7-й степени точности и класса точности В – для колес 8-й степени точности. Тип 1 – дисковые прямозубые долбяки классов точности АА, А и В (табл. 118). Тип 2 – дисковые косозубые долбяки классов точности А и В (табл. 119). Долбяки обоих типов предназначены для обработки цилиндрических колес внешнего зацепления. Тип 3 – чашечные прямозубые долбяки классов точности АА, А и В номинальными делительными диаметрами 80, 100, 125 мм (табл. 120) предназначены для нарезания закрытых зубчатых венцов. В этом случае конец шпинделя и зажимная гайка находятся во внутренней части долбяка. Чашечные долбяки жестче, чем хвостовые, поэтому их применяют для обработки более точных зубчатых колес внутреннего зацепления. Тип 4 – хвостовые прямозубые долбяки классов точности А и В (табл. 121) и тип 5 – хвостовые косозубые долбяки класса точности В (табл. 122) применяют для колес внутреннего зацепления малого размера.

118. Основные размеры (мм) дисковых прямозубых долбяков типа 1 (по ГОСТ 9323–79 в ред. 1987 г.)



Модуль m_0	Число зубьев z_0	Диаметр окружности: делительный d_0	Диаметр окружности: вершин зубьев d_{a0}	A	Высота B (ступицы)
Номинальный делительный диаметр 80 мм; d_1 = 31,75 мм					
1	76	76	79,82	6,3	12 (8)
1,25	60	75	79,38	5,9	
1,5	50	75	79,95	5,7	
2	38	76	82,12	5,3	15 (8)
2,5	30	75	82,25	4,8	
3	25	75	83,4	4,3	17 (8)
4	19	76	86,72	3,4	
5	16	80	93,1	2,8	
Номинальный делительный диаметр 100 мм; d_1 = 44,45 мм					
1	100	100	104,3	8,6	17 (8)
1,25	80	100	104,88	8,3	

Продолжение табл. 118

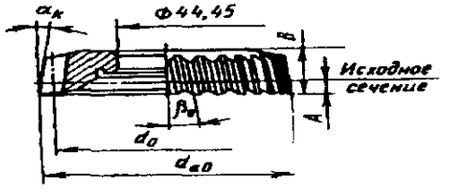
Модуль m_0	Число зубьев z_0	Диаметр окружности: делительный d_0	Диаметр окружности: вершин зубьев d_{a0}	A	Высота B (ступицы)
1,5	68	102	107,49	8,3	17 (18)
2	50	100	106,6	7,6	20 (10)
2,5	40	100	107,75	7,1	
3	34	102	110,94	6,8	
4	25	100	111,2	5,7	
5	20	100	113,5	4,8	
6	17	102	117,84	4	22 (12)
8	14	112	132,64	3	
Номинальный делительный диаметр 125 мм; $d_1 = 44{,}45$ мм					
2	62	124	131,08	9,9	22 (10)
2,5	50	125	133,25	9,5	
3	42	126	135,42	9,1	
4	31	124	135,68	8	24 (10)

Продолжение табл. 118

Модуль m_0	Число зубьев z_0	Диаметр окружности: делительный d_0	Диаметр окружности: вершин зубьев d_{a0}	A	Высота B (ступицы)
5	25	125	139	7,1	28 (14)
6	21	126	142,32	6,3	
8	16	128	148,96	4,6	
10	14	140	165,68	3,8	
Номинальный делительный диаметр 160 мм; $d_1 = 88{,}9$ мм					
6	27	162	179,04	9,7	30 (16)
8	20	160	181,6	7,6	32 (20)
10	16	160	186,2	5,7	
Номинальный делительный диаметр 200 мм; $d_1 = 101{,}6$ мм					
8	25	200	222,4	11,4	40 (25)
10	20	200	227	9,5	
12	17	204	235,68	8	

A – расстояние исходного сечения от передней поверхности.

119. Основные размеры (мм) дисковых косозубых долбяков типа 2 с номинальным диаметром 100 мм



Нормальный модуль m_{n0}	Число зубьев z_0	Диаметр окружности: делительной d_0	Диаметр окружности: вершин зубьев d_{a0}	Угол наклона зуба β_0	A	Высота B (ступицы)
Номинальный угол наклона зуба 15°						
1	100	103,626	108,13	15°12'10"	9,18	17
1,25	80	103,626	108,75	15°12'10"	9,18	(8)
1,5	66	102,515	108,26	15°02'50"	9,10	
2	50	103,626	110,63	15°12'10"	9,18	20
2,5	40	103,626	111,89	15°12'10"	9,18	(10)
3	32	99,195	108,62	14°34'51"	8,84	
4	25	103,626	115,63	15°12'10"	9,18	

Продолжение табл. 119

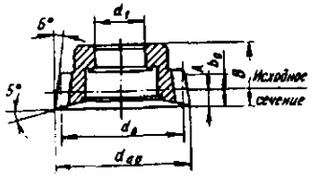
Нормальный модуль m_{n0}	Число зубьев z_0	Диаметр окружности: Делительной d_0	Диаметр окружности: вершин зубьев d_{a0}	Угол наклона зуба β_0	A	Высота B (ступицы)
5	20	103,626	118,13	15°12'10"	9,18	22
6	16	99,195	116,12	14°34'51"	8,84	(12)
Номинальный угол наклона зуба 23°						
1	94	102,212	106,59	23°07'26"	8,23	17 (8)
1,25	76	103,501	108,52	23°23'04"	8,3	
1,5	62	100,93	106,55	22°51'50"	8,15	
2	47	102,212	109,09	23°07'26"	8,23	20
2,5	37	100,292	108,39	22°44'02"	8,12	(10)
3	32	104,798	114,22	23°38'44"	8,37	
4	23	99,655	111,5	22°36'15"	8,08	
5	19	103,501	117,9	23°23'04"	8,30	
6	16	104,798	121,72	23°38'44"	8,37	22 (12)

Примечания: 1. Делительный ход зуба долбяка с номинальным углом наклона зуба 15° P_z = 1198,0 мм; задний угол при вершине в осевом сечении $\alpha_k = 6°12'$.

2. Делительный ход зуба долбяка с номинальным углом наклона зуба 23° P_z = 751,96 мм; задний угол при вершине в осевом сечении $\alpha_k = 6°30'$.

3. *A* – расстояние исходного сечения от передней поверхности.

120. Основные размеры (мм) чашечных прямозубых долбяков типа 3



Модуль m_0	Число зубьев z_0	Диаметр окружности: делительной d_0	Диаметр окружности: вершин зубьев d_{a0}	A	Длина зубьев b_0	Высота B (ступицы)
Номинальный делительный диаметр 50 мм: $d_1 = 20$ мм						
1	50	50	53,3	3,8	12	25 (10)
1,25	40	50	53,88	3,6		
1,5	34	51	55,47	3,4		
2	25	50	55,6	2,8	15	25 (12)
2,5	20	50	56,75	2,4		
3	17	51	58,92	2	17	

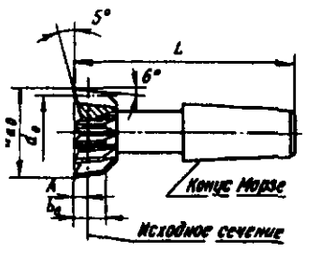
Продолжение табл. 120

Модуль m_0	Число зубьев z_0	Диаметр окружности: делительной d_0	Диаметр окружности: вершин зубьев d_{a0}	A	Длина зубьев b_0	Высота B (ступицы)
Номинальный делительный диаметр 80 мм: $d_1 = 31{,}75$ мм						
1	76	76	79,82	6,3	12	28 (8)
1,25	60	75	79,38	5,9		
1,5	50	75	79,95	5,7		
2	38	76	82,12	5,3	15	30 (10)
2,5	30	75	82,25	4,8		
3	25	75	83,4	4,3	17	
Номинальный делительный диаметр 100 мм: $d_1 = 44{,}45$ мм						
1	100	100	104,3	8,6	17	30
1,25	80	100	104,88	8,3		
1,5	68	102	107,49	8,3		
2	50	100	106,5	7,6	20	32
2,5	40	100	107,75	7,1		
3	34	102	110,94	6,8		
4	25	100	111,2	5,7		
5	20	100	113,5	4,8		

Продолжение табл. 120

Модуль m_0	Число зубьев z_0	Диаметр окружности: делительной d_0	Диаметр окружности: вершин зубьев d_{a0}	A	Длина зубьев b_0	Высота B (ступицы)
6	17	102	117,84	4	22	34
Номинальный делительный диаметр 125 мм; d_1 = 44,45 мм						
5	25	125	139	7,1		
6	21	126	142,32	6,3	26	38
8	16	128	148,96	4,6		

121. Основные размеры (мм) хвостовых прямозубых долбяков типа 4

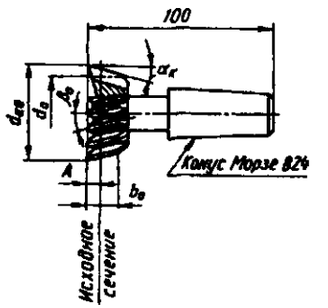


Модуль m_{n0}	Число зубьев z_0	Диаметр окружности: делительной d_0	Диаметр окружности: вершин зубьев d_{a0}	A	Длина зубьев b_0
Номинальный делительный диаметр 25 мм; конус Морзе B18, L = 80 мм					
1	26	26	28,8	1,4	
1,25	20	25	28,38	1,2	10
1,5	18	27	30,99	1,1	
2	12	24	29,08	0,38	12
2,5	10	25	31,25	0	15
3	9	27	34,44	-0,29	

Продолжение табл. 121

Модуль m_0	Число зубьев z_0	Диаметр окружности: делительной d_0	Диаметр окружности: вершин зубьев d_{a0}	A	Длина зубьев b_0
Номинальный делительный диаметр 38 мм; конус Морзе B24, L = 100 мм					
1	38	38	41,06	2,66	
1,25	30	37,5	41,12	2,4	12
1,5	25	37,5	41,7	2,1	
2	19	38	43,36	1,7	
2,5	15	37,5	44	1,2	15
3	12	36	43,62	0,6	
4	10	40	50	0	17

122. Основные размеры (мм) хвостовых косозубых долбяков типа 5 с номинальным делительным диаметром 38 мм



Нормальный модуль m_{n0}	Число зубьев z_0	Диаметр окружности: делительной d_0	Диаметр окружности: вершин зубьев d_{a0}	Угол наклона зуба β_0	A	Длина зубьев b_0
Номинальный угол наклона зуба 15°						
1	36	37,218	39,92	14°41'47"	0,92	
1,25	30	38,882	42,26	15°19'24"	1,15	12
1,5	24	37,218	41,27	14°41'47"	1,38	
2	18	37,218	42,62	14°41'47"	1,84	
2,5	15	38,882	45,63	15°19'24"	2,29	15
3	12	37,218	45,32	14°41'47"	2,76	
4	9	37,218	48,02	14°41'47"	3,68	17

Продолжение табл. 122

Нормальный модуль m_{n0}	Число зубьев z_0	Диаметр окружности: делительной d_0	Диаметр окружности: вершин зубьев d_{a0}	Угол наклона зуба β_0	A	Длина зубьев b_0
Номинальный угол наклона зуба 23°						
1	35	38,023	40,72	23°00'03"	0,88	
1,25	28	38,023	41,4	23°00'03"	1,09	12
1,5	23	37,384	41,44	22°39'14"	1,32	
2	18	39,315	44,72	23°41'51"	1,74	
2,5	14	38,023	44,78	23°00'03"	2,19	15
3	12	39,315	47,42	23°41'51"	2,61	
4	9	39,315	50,12	23°41'51"	3,48	17

Примечание. Делительный ход зуба P_Z = 445,80 мм и задний угол при вершине в осевом сечении α_k =6°12' для β = 15°; P_Z = 281,40 мм и α_k =6°30' для β = 23°.

Размеры долбяков 1 – 5 типов приведены только по предпочтительному для применения 1-му ряду модулей.

Долбяки имеют форму закаленного шлифованного колеса с затылованными зубьями. Так как зубья долбяка имеют небольшой конус, после заточки толщина зуба и внешний диаметр уменьшаются, профиль зубьев изменяется.

Для повышения срока службы при нарезании колес внешнего зацепления у нового долбяка увеличивают диаметр делительной окружности. Передний угол для облегчения резания равен 5°. Задний угол при вершине 6 – 6°30', боковые задние углы по нормали 2 – 2°30'. При нарезании колес внешнего зацепления долбяки выбирают максимально возможного диаметра, точность обработки и период стойкости при этом повышаются.

Долбяки каждого номера изготовляют без модификации профиля и с модификацией. Число зубьев долбяка по возможности не должно быть кратным числу зубьев обрабатываемого колеса.

Для нарезания колес внешнего зацепления направления угла наклона зубьев долбяка и нарезаемого колеса противоположны, для внутреннего – направления углов наклона зубьев долбяка и колеса одинаковые. Косозубый долбяк проектируют для определенного колеса, его параметры должны быть согласованы с имеющимися на зубодолбежном станке направляющими копира.

Для колес внутреннего зацепления число зубьев долбяка должно быть равно или несколько меньше числа зубьев сопряженной шестерни. При увеличении диаметра долбяка происходит срезание уголков на вершине зубьев колеса при врезании на полную глубину. В этом случае необходима дополнительная проверка на отсутствие срезания.

Долбяки для шевронных колес изготовляют комплектно – один с правым наклоном зуба, другой с левым для обработки обеих половин шевронного колеса. Диаметры долбяков в комплекте как новые, так и после заточки должны быть одинаковыми.

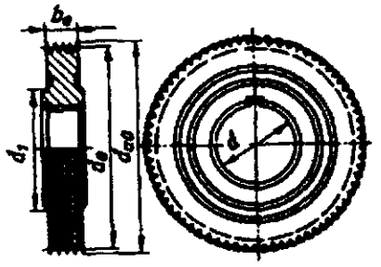
Дисковые шеверы по ГОСТ 8570-80 в *ред. 1990 г. изготовляют двух типов и трех* классов точности: при обработке зубчатых колес с числом зубьев более 40 – шеверы класса АА – для колес 5-й степени точности; класса А – для колес 6-й степени точности и класса В – для колес 7-й степени точности.

Тип 1 – шеверы с модулем 1 – 1,75 мм с номинальными делительными диаметрами 85 и 180 мм и углами наклона винтовой линии зубьев на делительном цилиндре 5, 10 и 15° (табл. 123). Тип 2 – шеверы с модулем 2 – 8 мм с номинальными диаметрами 180 и 250 мм (табл. 124), углом наклона зубьев 5 и 15°. Шевер каждого размера изготовляют с правым и левым направлениями линии зуба.

Дисковый шевер имеет форму закаленного и шлифованного зубчатого колеса с прямыми или косыми зубьями с большим числом стружечных канавок, расположенных на боковой поверхности зубьев. Шеверы типа 1 имеют сквозные стружечные канавки (табл. 125), а шеверы типа 2 – глухие (табл. 126), расположенные параллельно торцам, перпендикулярно направлению линии зуба, и канавки трапецеидальной формы.

Шеверы с канавками, расположенными параллельно торцам, получили наибольшее применение. Прочность зубчиков с канавками трапецеидальной формы выше прочности зубчиков с параллельными боковыми сторонами, условия резания хуже. Шеверы изготовляют из быстрорежущей стали. Твердость режущей части шевера 62-65 HRC. При содержании в стали ванадия и кобальта твердость 63-65 HRC. Шероховатость поверхностей: боковых зубьев *Rz* 1,6; торцовой *Ra* 0,40; посадочного отверстия *Ra* 0,25 ... 0,32.

123. Основные размеры (мм) шеверов типа 1



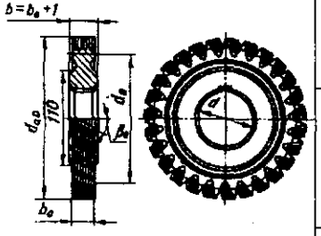
Модуль m_0	Число зубьев z_0	d_{a0}	Делительный диаметр d_0	Основной диаметр d_{b0}	Угол наклона линии зуба β_0
*Номинальный делительный диаметр шевера 85 мм; b_0 = 15 мм; d_1 = 60 мм; d = 31,75 мм**					
1,000	86	89,53	87,327	81,911	
1,125	76	89,29	86,819	81,435	
1,250	67	87,79	85,042	79,769	10
1,375	62	89,59	86,565	81,197	
1,500	58	91,64	88,342	82,864	

Продолжение табл. 123

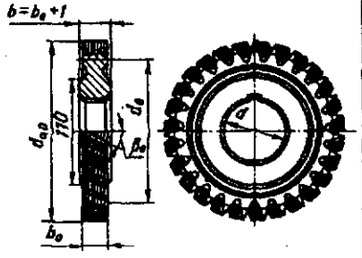
Модуль m_0	Число зубьев z_0	d_{a0}	Делительный диаметр d_0	Основной диаметр d_{b0}	Угол наклона линии зуба β_0
Номинальный делительный диаметр шевера 180 мм; b_0 = 20 мм; d_1 = 110 мм; d = 63,5 мм					
1,250	115	149,25	144,300	135,537	5
		153,77	148,822	139,262	15
1,375		163,95	158,729	149,090	5
		168,93	163,704	153,189	15
1,500		178,66	173,159	162,643	5
		184,09	178,585	167,115	15
1,750	100	181,73	175,670	165,000	5
		187,23	181,174	169,537	15

* Допускается выполнять отверстия диаметром 31,743 мм.

124. Основные размеры (мм) шеверов типа 2

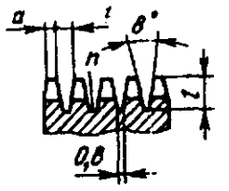
Эскиз	Модуль m_0	Число зубьев z_0	Угол наклона линии зуба β_0°					
			5			15		
			d_{a0}	Делительный диаметр d_0	Основной диаметр d_{b0}	d_{a0}	Делительный диаметр d_0	Основной диаметр d_{b0}
	Номинальный делительный диаметр шевера 180 мм; b_0 = 20 мм							
	2,00	83	171,72	166,634	156,515	176,94	171,856	160,818
	2,25	73	170,51	164,877	154,865	175,68	170,044	159,122
	2,50	67	174,33	168,140	157,929	179,60	173,409	162,271
	2,75	61	175,13	168,391	158,165	180,40	173,667	162,513
	3,00	53	168,51	159,607	149,915	172,33	164,609	154,036
	3,25	53	182,96	172,908	162,408	186,58	178,326	166,873
	3,50	47	175,73	165,128	155,100	179,76	170,303	159,365
	3,75	43	174,01	161,866	152,036	178,16	166,938	156,216
	4,00	41	177,73	164,626	154,629	181,88	169,785	158,880
	4,25	41	188,34	174,916	164,293	192,86	180,397	168,810
	4,50	37	182,14	167,136	156,986	186,40	172,373	161,302
	5,00	31	173,49	155,592	146,143	177,36	160,468	150,161
	5,50	29	179,71	160,109	150,386	183,82	165,126	154,520
	6,00	29	195,46	174,664	164,038	199,97	180,138	168,568

Продолжение табл. 124

Эскиз	Модуль m_0	Число зубьев z_0	Угол наклона линии зуба β_0°					
			5			15		
			d_{a0}	Делительный диаметр d_0	Основной диаметр d_{b0}	d_{a0}	Делительный диаметр d_0	Основной диаметр d_{b0}
	2,00	115	235,82	230,878	216,858	243,05	238,113	222,819
	2,25	103	238,27	232,635	218,508	245,56	239,925	224,515
	2,50	91	234,56	228,369	214,501	241,71	235,525	220,398
	2,75	83	235,86	229,122	215,208	243,04	236,302	221,124
	3,00	73	227,54	219,836	206,486	234,42	226,725	212,163
	3,25	71	239,88	231,631	217,565	247,14	238,900	223,546
	3,50	67	244,19	235,396	221,101	251,57	242,772	227,179
	3,75	61	238,97	229,624	215,679	246,16	236,819	221,609
	4,00	53	222,71	212,810	199,886	229,38	219,478	205,382
	4,25	53	236,56	226,110	212,379	243,64	233,196	218,218
	4,50	51	241,38	230,377	216,386	248,60	237,596	222,335
	5,00	43	229,91	215,821	202,715	235,49	222,584	208,288
	5,50	41	241,91	226,361	212,615	247,76	233,455	218,460
	6,00	37	240,71	222,848	209,315	246,47	229,831	215,069
	6,50	37	261,31	241,419	226,758	267,54	248,984	232,992
	7,00	31	241,25	217,829	204,601	246,87	224,655	210,225
	8,00	29	259,59	232,886	218,744	265,61	240,184	224,757

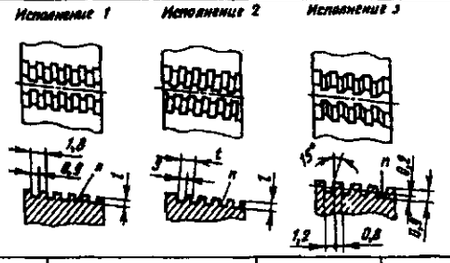
Примечание. Шеверы с модулями 3,25; 3,75; 4,25 и 6,50 мм допускается изготовлять для цилиндрических зубчатых колес, применяемых в тракторной и автомобильной промышленности.

125. Размеры (мм) сквозных стружечных канавок на боковых сторонах зубьев шевера типа 1



Модуль m_0	Номинальный делительный диаметр	l	a	t	Число канавок n
1	85	3,0	1,6	2,1	6,0
1,125; 1,25		4,5	1,3	2,7	5,0
1,375; 1,5		5,0			
1,25	180	4,5	3,0	3,0	5,0
1,375		4,8			
1,5		5,0			
1,75		5,6			

126. Размеры (мм) глухих стружечных канавок на боковых сторонах зубьев шевера типа 2



Модуль m_0	Исполнение 1					Исполнение 2		Исполнение 3	
	Номинальный делительный диаметр								
	180; 250	180	250	180; 250		180	250	180	250
	l	n		t не более	s	Число канавок n, не менее		Число канавок n	
2–2,75	0,6	10	12	2,2	1,1	7	9	9	11
3	0,8								
Св. 3 до 5	1,0								
Св. 5 до 8	1,0	9	11	2,4	1,2	7	8		

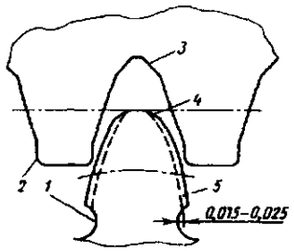


Рис. 25. Форма зуба фрезы и колеса

Диаметр шевера следует выбирать максимально возможным по размерам шевинговального станка, особенно при обработке колес с малым числом зубьев. Число зубьев шевера не должно быть кратным числу зубьев обрабатываемого колеса. Углы скрещивания, обеспечивающие хорошие условия резания, для колес внешнего зацепления 10 – 15°, для внутреннего зацепления – около 3°. Увеличение угла скрещивания улучшает условия резания, но ухудшает направляющее действие зубьев шевера во впадине зуба колеса; погрешность профиля увеличивается.

Под шевингование зубья червячной фрезы или долбяка должны иметь модифицированный профиль (рис. 25). Утолщения (усики) *2* на головке зуба фрезы служат для подрезания *1* зуба колеса с целью обеспечения зазора головке зуба шевера при шевинговании. Величина подрезания должна быть на 0,015 – 0,025 мм больше, чем снимаемый припуск 5 со стороны зуба. Фланкированный участок *3* на зубьях фрезы делается для снятия небольших фасок *4* на головке зуба обрабатываемого колеса.

В крупносерийном и массовом производстве, а также при изготовлении тяжело нагруженных и бесшумных зубчатых колес для каждого колеса проектируют свой шевер и червячную фрезу. Для сопряженной пары обычно изготовляют один шевер с чистозольвентным профилем зубьев, у другого профиль зубьев корригируют для компенсации деформации при термической обработке и снижения уровня шума.

Стружечные канавки у шеверов для касательного и врезного шевингования расположены по винтовой линии, чтобы заменить отсутствие продольной подачи при снятии стружки. При врезном шевинговании зубья шевера в продольном направлении имеют вогнутую форму; если необходимо, учитывается бочкообразность зубьев колеса.

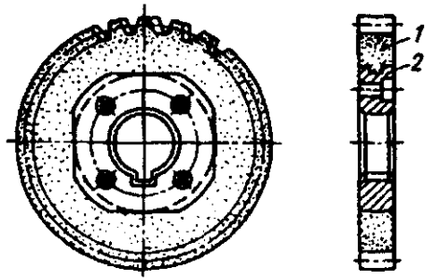


Рис. 26. Зубчатый хон

Зубчатые хоны с внешним зацеплением представляют собой прямозубые или косозубые колеса, обычно состоящие из стальной ступицы *2* (рис. 26) и абразивного зубчатого венца *1*. Зубчатый хон изготовляют того же модуля, что и обрабатываемое колесо, его проектируют для каждого зубчатого колеса с делительным диаметром, увеличенным на 15 –20 мм. Внешний диаметр хона выбирают в пределах 220 – 250 мм, ширину венца 20 – 25 мм, угол скрещивания осей хона и обрабатываемого колеса 10 – 15 °. Число зубьев хона не должно быть кратным числу зубьев обрабатываемого колеса.

Абразивные хоны изготовляют на основе эпоксидных смол с добавлением карбида кремния различной зернистости и в разных пропорциях. Хоны отливают в формах, изготовленных по мастер-колесу 5-й степени точности по ГОСТ 1643-81. Радиальное биение зубчатого венца нового хона 0,07 – 0,10 мм. После износа хоны не восстанавливаются, а стальная ступица используется несколько раз.

Для повышения срока службы (до 30 %) зубчатых колес после шлифования их хонингуют. У хона зубья шлифуют, чтобы уменьшить шероховатость поверхности на зубьях колеса до *Ra* 0,2.

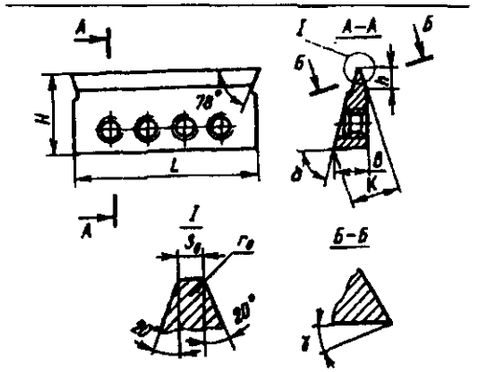
Для обработки мелкомодульных зубчатых колес применяют хоны со стальным корпусом и абразивным покрытием зубьев. У хонов из синтетических алмазов зерна нанесены тонким слоем на боковые поверхности стальных зубьев. После износа покрытие может быть снято и заменено новым.

Зубчатые хоны с внутренним зацеплением изготавливают из корунда, связанного синтетической смолой. Абразивное цилиндрическое кольцо с предварительно спрофилированными внутренними зубьями устанавливают в хонинговальную головку станка.

Перед началом и в процессе работы абразивные хоны правят с помощью алмазного зубчатого колеса и алмазного кольца. Оправку с правящими элементами устанавливают в центре станка вместо детали и с помощью осевой и радиальной подач, а также осциллирующего движения проводят правку зубьев хона. Геометрия зубьев правящего колеса полностью соответствует геометрии обрабатываемого колеса, включая модификации профиля и направления зуба. Алмазное зубчатое колесо правит боковые поверхности и дно впадины зубьев хона, а алмазное кольцо – его внутренний диаметр. В зависимости от размеров обрабатываемых колес и их точности число хонингуемых колес между двумя правками хона может составлять 10 – 20 штук.

Резцы зубострогальные (табл. 127) применяют для нарезания прямозубых конических колес. Их разделяют на черновые и чистовые. Стандартизованы (ГОСТ 5392-80 в ред. 1987 г.) размеры и конструкция резцов. Резцы изготовляют четырех типов: 1 – длиной L = 40 мм двух исполнений: 1 – угол δ = 73 °; 2 – угол δ = 70°; 2 – длиной L = 75 мм; 3 – длиной L = 100 мм; 4 – длиной L = 125 мм двух исполнений. Резцы типа 1 исполнения 2 предназначены для работы на зубострогальных станках в одной впадине зуба. Все остальные резцы типа 1 (исполнение 1), 2, 3 и 4 применяют для нарезания соседних впадин зубьев.

127. Основные размеры (мм) зубострогальных резцов (по ГОСТ 5392-80)



Модуль m*	B	h	$S_в$	r_0
Резцы типа 1; K= 18,63; H = 27 мм				
0,30; 0,35	10,44/12,22	1,2/2,2	0,16	0,12
0,40; 0,45	10,51/12,26	1,4/2,5	0,20	0,15
0,50; 0,55	10,66/12,30	1,8/3,0	0,24	0,18

Продолжение табл. 127

Модуль m*	B	h	$S_в$	r_0
0,60; 0,70	10,36/12,18	1,0/2,0	0,12	0,08
0,80; 0,90	10,80/12,38	2,2/3,5	0,32	0,24
1,00; 1,125	11,09/12,46	3,0/4,0	0,40	0,30
1,25; 1,375	11,18/12,56	3,3/4,5	0,50	0,38
1,50; 1,750	11,53/12,66	4,2/5,5	0,60	0,45
2,0; 2,250	11,93/12,86	5,3/6,0	0,80	0,60
2,50	12,18/13,06	6,0/6,0	1,00	0,75
Резцы типа 2; K= 25,85; H = 33 мм				
0,50; 0,55	16,01	1,4	0,20	0,15
0,60; 0,70	16,16	1,8	0,24	0,18
0,80; 0,90	16,30	2,2	0,32	0,24
1,00; 1,125	16,59	3,0	0,40	0,30
1,25; 1,375	16,68	3,3	0,50	0,38
1,50; 1,750	17,03	4,2	0,60	0,45
2,00; 2,250	17,43	5,3	0,80	0,60
2,50; 2,750	17,86	6,0	1,00	0,75
3,00; 3,25	18,27	7,6	1,20	0,80
3,50; 3,75	18,70	8,8	1,40	1,00
4,00; 4,25; 4,50	19,36	10,6	1,60	1,20
5,00; 5,50	20,24	13,0	2,0	1,50
Резцы типа 3; K= 27,39; H = 43 мм				
1,00; 1,125	14,59 14,70	3,0	0,4	0,30
1,25; 1,375	15,03 15,59	3,3	0,5	0,38
1,50; 1,750	15,87 16,27	4,2	0,6	0,45
2,00; 2,250	16,70 17,36	5,3	0,8	0,60
2,50; 2,750		6,5	1,0	0,75
3,00; 3,25	18,23 19,14	7,6	1,2	0,80
3,50; 3,75	19,51 20,42	8,8	1,4	1,0
4,00; 4,25; 4,50	21,33 22,24	10,6	1,6	1,20
5,00; 5,50		13,0	2,0	1,50
6,00; 6,50		15,5	2,4	1,80
7,00		16,5	2,8	2,10
8,00		19,0	3,2	2,40
9,00		21,5	3,6	2,70
10,00		24,0	4,0	3,00
Резцы типа 4; исполнение 1, K=39,78 мм; H = 60 мм для m = 3 ... 12 мм; исполнения 2, K = 44,915 мм, H = 75 мм для m = 14 ... 20 мм				
3,00; 3,25	23,27	7,6	1,2	0,8
3,5; 3,75	23,70	8,8	1,4	1,0
4,0; 4,25; 4,50	24,36	10,6	1,6	1,2
5,0; 5,5	25,23	13,0	2,0	1,5
6,0; 6,50	26,14	15,5	2,4	1,8
7,0	26,51	16,5	2,8	2,1
8,0	27,42	19,0	3,2	2,4

Продолжение табл. 127

Модуль m*	B	h	$S_в$	r_0
9,0	28,33	21,5	3,6	2,7
10,0	29,24	24,0	4,0	3,0
11,0	29,89	25,8	4,4	3,3
12,0	30,73	28,1	4,8	3,6
14,0	32,44	32,8	5,6	4,2
16,0	34,15	37,5	6,4	4,8
18,0	35,86	42,2	7,2	5,4
20	37,61	47,0	8,0	6,0

* Значения модулей, указанных первыми, за исключением 3,5; 7,0; 9,0; 11,0; 14,0; 18,0, являются предпочтительными.

Примечание. В числителе даны размеры для резцов исполнения 1, в знаменателе – *исполнения 2.*

Резцы выполняют в виде призматического тела, по задней поверхности они не затылованы. Для образования задних углов по вершине и на боковой режущей кромке резцы устанавливают в резцедержателях станка под углом 12° к направлению движения и закрепляют винтами.

Опорную плоскость державки выполняют под углом δ, равным: 70° – для резцов типа 1 (исполнение 2); 73° – для резцов типа 1 (исполнение 1), 2 и 3; 75° – для резцов типа 4. Высоту режущей кромки резца h выбирают достаточной для полного профилирования зубьев колеса. Ширина носика чистового резца $S_в$ ($S_в \approx 0{,}4\ m$) должна быть не менее половины ширины дна впадины у внешнего конца зуба и не более ширины дна впадины у внутреннего конца.

При выполнении указанных выше условий и угла профиля одним комплектом резцов можно обрабатывать зубчатые колеса с широким диапазоном модулей. Это особенно экономично в единичном и мелкосерийном производстве. Стойкость резцов и прочность зубьев колеса повышаются с увеличением радиуса закругления вершины резца на рабочей стороне профиля r_0 ($r_0 \approx 0{,}3\ m$).

Цельные резцы изготовляют из быстрорежущей стали. Для резцов типов 2, 3 и 4 допускается сварная конструкция: режущая часть – из быстрорежущей стали (62 – 65 HRC, а державки из сталей 45, 40Х, 35 – 40 HRC). В единичном и мелкосерийном производстве чистовые резцы могут быть использованы как черновые при обработке способом одинарного деления за несколько проходов с небольшой глубиной резания и низких режимах резания.

В условиях массового и крупносерийного производства, особенно при обработке способом двойного деления, применяют специальные черновые резцы с трапециевидным и криволинейным профилями. Это позволяет значительно повысить режимы резания и стойкость резцов при чистовом нарезании, а также уменьшить припуск. Резцы работают по два в комплекте, каждый из резцов обрабатывает одну сторону зуба. Во время резания используют два конца резцов. После затупления одной стороны резцы меняют местами и поворачивают на 180°.

Стойкость резцов, покрытых нитридом титана, повышается, особенно существенно до первой заточки. Для чистовой обработки стальных зубчатых колес передний угол резца γ = 20°, а для колес из латуни и бронзы γ = 5 … 10°.

Критерием затупления считают износ резцов по задней поверхности. Износ не должен превышать: 0,3 мм при обработке колес с модулем до 2,5 мм; 0,4 мм – с модулем до 10 мм; 0,5 мм – с модулем св. 10 мм.

Головки зуборезные для нарезания прямозубых конических колес изготовляют сборными со вставными резцами. Резцовые головки с номинальным диаметром d_0 = 150 мм (ОСТ 2И45 7-76 … ОСТ 2И45 9-76) предназначены для обработки колес модулем m = 0,5 … 3 мм, с d_0 = 278 мм (ОСТ 2И45 10-76 и ОСТ 2И45 11-76) для m = 1,5 … 8 мм, с d_0 = 450 мм для m = = 3 … 12 мм (ОСТ 2И45 1-74 … ОСТ 2И45 3-74).

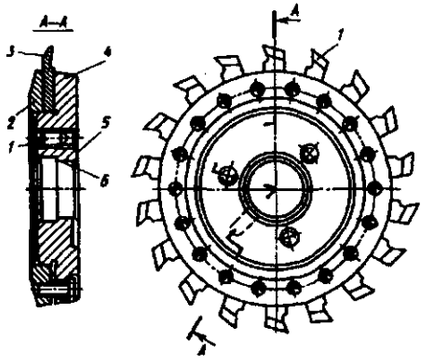


Рис. 27. Резцовая головка для нарезания прямозубых конических колес

Комплект резцовых головок состоит из праворежущей (нижней) головки, которая вращается против часовой стрелки, если на нее смотреть с лицевой стороны, и леворежущей (верхней), вращающейся по часовой стрелке. Праворежущая резцовая головка с d_0 = 278 мм показана на рис. 27. Затылованные резцы *3* устанавливают в корпусе *4* и закрепляют диском *2*, в котором выполнены пазы. На шпиндель зубофрезерного станка головку устанавливают по посадочному конусу *6* с опорой на торец *5*. Для съема головки со станка предназначены выжимные винты *1*.

Нарезание конических колес с бочкообразными зубьями производят резцами, режущая кромка которых имеет угол поднутрения β. С увеличением этого угла бочкообразность зубьев увеличивается, пятно контакта на зубьях обрабатываемого колеса становится короче.

Резцы изготовляют из быстрорежущей стали твердостью 62 – 65 HRC, а корпус из сталей марок 40Х (45 – 50 HRC) или ХВГ (50 – 55 HRC). Передний угол резцов γ для обработки конических колес из стали равен 20°, из более мягких металлов (латуни и бронзы) 10 – 15°. После сборки и заточки резцовой головки радиальное биение вершин резцов относительно оси посадочного отверстия должно быть не более 0,03 – 0,04 мм.

Торцовое биение резцов зуборезных головок, измеренное посередине режущих кромок:

Модуль, мм. .	≤ 3	Св. 3 до 4	Св. 4 до 6	Св. 6 до 8	Св. 8 до 12
Торцовое биение, мм	0,01	0,012	0,016	0,02	0,025

Резцовые головки-протяжки для нарезания прямозубых конических колес относят к наиболее сложным зуборезным инструментам. Различают комбинированные, чистовые и черновые резцовые головки-протяжки. Комбинированные резцовые головки-протяжки (рис. 28) применяют для окончательной обработки зубьев конических колес с модулем 5 мм и менее. Они состоят из черновых, получистовых и чистовых резцов, объединенных в блоки по 4 – 6 резцов. Резцы в протяжках затылованы, задние углы по вершине равны 12°, а по боковой режущей кромке ~5°. Боковые поверхности резцов имеют вогнутую форму, выполненную дугой окружности одного радиуса. Угол профиля резцов протяжки равен 22°30'. Передний угол резцов γ получают во время заточки, обычно он равен 15 °.

Резцовая головка-протяжка в процессе резания не имеет подачи на изделие, подача достигается подъемом резцов в радиальном направлении в пределах 0,1 – 0,2 мм. Профиль чистовых резцов, взаимосвязанный с продольным перемещением протяжки, обеспечивает правильную конусность и кривизну боковой поверхности в любой точке зуба.

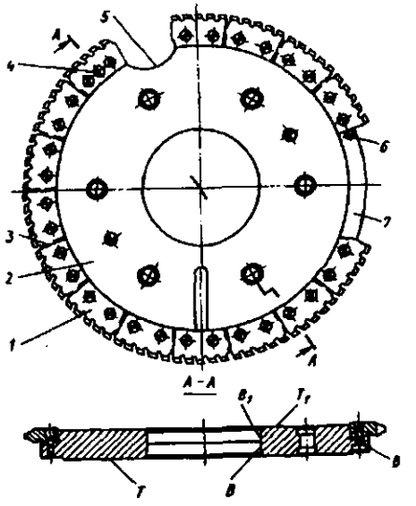


Рис. 28. Комбинированная резцовая головка-протяжка

Блоки резцов *1* (см. рис. 28) в корпусе протяжки 2 базируют по цилиндрической и конической поверхностям и закрепляют двумя винтами *8*. Затяжку винтов производят динамометрическим ключом с определенным крутящим моментом. Между собой блоки контактируют по выступу *3*. При сборке протяжки первоначально в корпус устанавливают блоки, которые фиксируются в угловом положении по установочным штифтам *4* и 6. Затем последовательно собирают блоки с меньшими порядковыми номерами. Зазор между посадочными поверхностями блоков и установочных штифтов должен быть менее 0,025 мм. В протяжке предусмотрены два безрезцовых участка *5* и 7, которые предназначены соответственно для установки державки с резцом для снятия фаски на внешнем конце зуба и деления заготовки для обработки следующего зуба без отвода протяжки.

Установку резцовой головки-протяжки на шпиндель зубопротяжного станка осуществля-

ют одновременно по конусному отверстию B и торцу T с минимальным натягом 0,15 – 0,25 мм. Если высота зуба не позволяет комбинированной протяжкой завершить обработку зуба за одну операцию (как правило, конических колес с модулем более 5 мм), то применяют раздельно черновые и чистовые головки.

Черновые резцовые головки-протяжки состоят только из черновых резцов, у них отсутствует фасочный резец, на место которого установлен дополнительный 16-й блок резцов. Чистовые протяжки имеют получистовые и чистовые резцы.

В табл. 128 приведены основные технические характеристики комбинированных, черновых и чистовых резцовых головок-протяжек.

Резцовые головки-протяжки могут быть праворежущими, вращающимися против часовой стрелки, и леворежущими. При обработке на зубопротяжных станках 5245 и Ст-1222 используют праворежущие резцовые головки, а на станках 5С268 и 5С269 – леворежущие. Если на станке необходимо использовать резцовую головку-протяжку, направление вращения которой противоположно направлению вращения шпинделя, то протяжку на станок устанавливают на противоположный торец T_1 и конусное отверстие B_1. Для совмещения оси симметрии резцов с осью заготовки на шпиндель станка устанавливают переходник требуемой высоты.

Головки зуборезные, изготовленные по метрической системе (ГОСТ 11902-77, ГОСТ 11903-77), разделяют на цельные с номинальным диаметром от 20 до 80 мм и сборные с

128. Основные технические характеристики резцовых головок-протяжек

Тип головки	Номинальный диаметр головки		Наибольшая высота зуба, мм	Наибольшая длина зуба, мм	Теоретическое число делений	Число резцов в головке			Крутящий момент при затяжке винтов, Н·м	Число	
	дюймы	мм				черновых	получистовых	чистовых		резцов в блоке	блоков
Комбинированная	21	533,4	10,67	25,4	90	50	5	20	62,2	5	15
Черновая			14,86	28,6	90	80	–	–		5	16
Чистовая			17,02	34,9	72	–	32	28		4	15
Комбинированная	25	635,0	12,7	27,0	108	60	6	24	82,9	6	15
Черновая			15,87	28,6	108	96	–	–		6	16
Чистовая			15,87	28,6	90	–	40	35		5	15

номинальным диаметром от 100 до 1000 мм для нарезания конических колес с круговыми зубьями и исходным контуром по ГОСТ 16202-81, а также на сборные головки для нарезания гипоидных зубчатых колес с номинальным диаметром от 160 до 500 мм и диапазонами углов профилей резцов: наружных от 10 до 26° и внутренних от 14 до 36° для нарезания гипоидных зубчатых колес. Для чистовых головок установлены следующие номера резцов N: 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 30, 36, 42; для черновых – 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24. Углы профилей рабочих сторон резцов цельных головок, черновых и чистовых сборных головок (рис. 29) определяют по формулам: наружных $\alpha^{\circ}_{oc} = \alpha_n - 10N$, внутренних $\alpha^{\circ}_{oi} = \alpha_n + 10N$, где N в угл. мин.

Цельные резцовые головки (рис. 29, *а*) изготовляют двусторонними с наружными *1* и внутренними 2 резцами, устанавливаемыми поочередно, двух типов: 1 с нормальным и тип 2 с увеличенным числом резцов. Материалом для головок служит быстрорежущая сталь с твердостью рабочей части инструмента 62 – 65HRC. Головки могут быть нормальной и повышенной точности. Торцовое биение вершин резцов головок нормальной точности между резцами 0,015 мм, в пределах одного оборота 0,025 мм и головок повышенной точности – соответственно 0,010 и 0,020 мм. Радиальное биение вершин резцов посередине режущих кромок головок нормальной точности 0,010 мм, повышенной точности 0,005 мм.

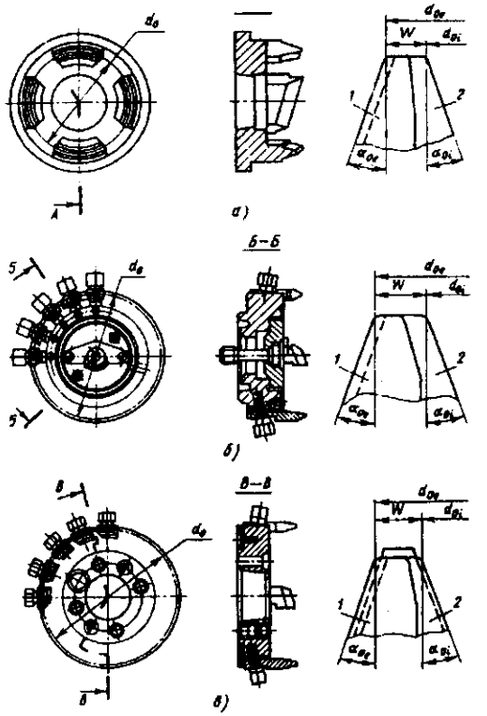


Рис. 29. Зуборезные головки: *а* – цельные, *б* – сборные чистовые; *в* – сборные черновые

Сборные чистовые резцовые головки могут быть двусторонними, односторонними, праворежущими и леворежущими. Двусторонние чистовые резцовые головки (рис. 29, *б*), содержащие наружные и внутренние *2* резцы, применяют в основном для чистового нарезания зубьев колеса. В единичном и мелкосерийном производстве чистовые двусторонние резцовые головки можно использовать как черновые. В этом случае целесообразно нарезать зуб на полную высоту за несколько проходов при более низких режимах резания.

Резцы чистовых головок изготовляют из быстрорежущей стали (56 – 62HRC). Их можно регулировать в радиальном направлении. Резцы головок с номинальным диаметром 250 мм и более допускается изготовлять сварными. Корпуса чистовых головок изготовляют из сталей 12ХН3А и 20ХН2М (56 – 62HRC). Предельные отклонения чистовых резцовых головок после сборки, заточки и регулирования резцов приведены в табл. 129.

Черновые резцовые головки изготовляют двух типов: двусторонние и трехсторонние. Двусторонние резцовые головки, каждый резец которых в процессе резания одновременно обрабатывает боковую сторону и часть дна впадины зуба, применяют при нарезании зубьев методом обкатки и врезания. В массовом и крупносерийном производстве их используют главным образом при обработке методом обкатки.

Трехсторонние резцовые головки (рис. 29, *в*) применяют только при работе методом врезания в условиях массового и крупносерийного производства. Они содержат резцы трех типов: наружные *1*, внутренние *2* и средние. Наружные и внутренние резцы предназначены для обработки только боковых сторон зуба и не касаются дна впадины. Средние резцы устанавливают на 0,20 – 0,25 мм выше наружных и внутренних, они обрабатывают только дно впадины зуба. Число средних резцов в головке равно половине общего числа резцов.

Резцы черновых головок не регулируют в корпусе. Их изготовляют из быстрорежущей стали (62 – 65HRC), а корпус из стали марки 40ХН2МА (40 – 45HRC). После сборки и заточки резцов торцовое биение по вершинам от резца к резцу не должно превышать 0,025 – 0,030 мм, в пределах одного оборота 0,05 – 0,06 мм.

129. Основные точностные показатели (мм) чистовых резцовых головок (по ГОСТ 11906-77)

Номинальный диаметр d_0	Торцовое биение по вершинам резцов		Допуск радиального биения резцов посередине режущих кромок
	от резца к резцу	в пределах одного оборота головки	
100; 125	0,010/0,005	0,030/0,016	0,0025/0,0016
160; 200	0,012/0,007	0,030/0,020	0,0025/0,0016
250; 315	0,015/0,010	0,035/0,025	0,0025/0,0016
400; 500	0,020/0,010	0,040/0,030	0,0040/0,0025
630 – 1000	0,025/–	0,050/–	0,0060/–

Радиальное биение резцов посередине режущих кромок – не более 0,03 – 0,04 мм. В табл. 130 – 132 приведены основные геометрические параметры резцовых головок для конических и гипоидных зубчатых колес. Образующие диаметры рассчитывают в зависимости от номинального диаметра d_0 резцовой головки и развода резцов W (см. рис. 29): для наружных резцов $d_{0e} = d_0 + W$; для внутренних $d_{0i} = d_0 - W$.

Большое распространение получила также дюймовая система номинальных диаметров

130. Основные геометрические параметры (мм) цельных резцовых головок (по ГОСТ 11902-77)

Номинальный диаметр головки d_0	Образующие диаметры резцов		Параметры обрабатываемых колес		Развод резцов W	Число наружных и внутренних резцов типа	
	наружных d_{oe}	внутренних d_{oi}	Наибольшая внешняя высота зуба h_e	Наибольший нормальный модуль m_n		1	2
20	20,20 – 20,70	19,80 – 19,30	3	0,80	0,2 – 0,7	4	–
25	25,20 – 25,80	24,80 – 24,20	3	1,00	0,2 – 0,8	4	–
32	32,32 – 33,00	31,68 – 31,00	4	1,25	0,32 – 1,0	4	8
40	40,32 – 41,30	39,68 – 38,70	5	1,50	0,32 – 1,3	4	8
50	50,32 – 51,60	49,68 – 48,40	6	2,00	0,32 – 1,6	4	12
60	60,32 – 61,80	59,68 – 58,20	7	2,25	0,32 – 1,8	4	12
80	80,32 – 82,00	79,68 – 78,00	8	2,50	0,32 – 2,0	8	16

131. Основные геометрические параметры (мм) сборных чистовых резцовых головок (по ГОСТ 11902-77)

Номинальный диаметр головки d_0	Образующие диаметры резцов двусторонних головок		Параметры обрабатываемых колес	
	наружных d_{oe}	внутренних d_{oi}	Наибольшая внешняя высота зуба h_e	Наибольший внешний окружной модуль m_{te}
100	100,4 – 102,6	99,6 – 97,4	9	4,0
125	125,4 – 127,8	124,6 – 122,2	10	4,5
160	160,6 – 163,6	159,4 – 156,4	13	5,0
200	200,6 – 204,0	199,4 – 196,0	16	6,0
250	250,6 – 255,2	249,4 – 244,8	20	8,0
320	321,0 – 326,5	319,0 – 313,5	24	10,0
400	401,0 – 408,0	399,0 – 392,0	30	13,0
500	501,0 – 510,0	499,0 – 490,0	36	16,0
630	632,0 – 642,0	628,0 – 618,0	45	20,0
800	802,0 – 816,0	798,0 – 784,0	60	26,0
1000	1003,2 – 1020,0	996,8 – 980,0	70	30,0

132. Основные геометрические параметры (мм) сборных черновых головок (по ГОСТ 11902-77)

Номинальный диаметр головки d_0	Образующие диаметры резцов головок			
	Двусторонних		трехсторонних	
	наружных d_{oe}	внутренних d_{oi}	наружных d_{oe}	внутренних d_{oi}
160	160,6 – 163,2	159,4 – 156,8	162,6 – 163,2	157,4 – 156,8
200	200,6 – 203,6	199,4 – 196,4	202,6 – 203,6	197,4 – 196,4
250	250,6 – 254,6	249,4 – 245,4	252,6 – 254,6	247,4 – 245,4
320	321,0 – 326,0	319,0 – 314,0	322,6 – 326,0	317,4 – 314,0
400	401,0 – 407,0	399,0 – 393,0	402,6 – 407,0	397,4 – 393,0
500	501,0 – 509,0	499,0 – 491,0	502,6 – 509,0	497,4 – 491,0

резцовых головок (табл. 139). Резцовые головки с номинальным диаметром до 2" изготовляют цельными, а головки с диаметром 3,5" и выше – сборными.

Среди чистовых резцовых головок наиболее распространены головки типа Хардак (рис. 30). Их изготовляют односторонними и двусторонними с номинальными диаметрами: 5; 6; $7\frac{1}{2}$; 9; 12 и 16". Точное изготовление корпуса *3*, закаленного до твердости 57HRC, резцов 7, регулировочных клиньев *5* с винтами *4* и подкладок *6* обеспечивает идентичность образующих диаметров резцовых головок в пределах 0,254 мм и позволяет сохранить практически неизменными форму и расположение пятна контакта на зубьях обрабатываемых колес при замене головки.

Посадку резцовой головки на шпиндель станка осуществляют одновременно на конусное отверстие *10* и торец *9* с небольшим натягом, который контролируется зазором 0,076 – 0,127 мм между торцами головки и шпинделя в первоначальный момент ее установки. Кольцевая канавка *11* предотвращает износ шпинделя

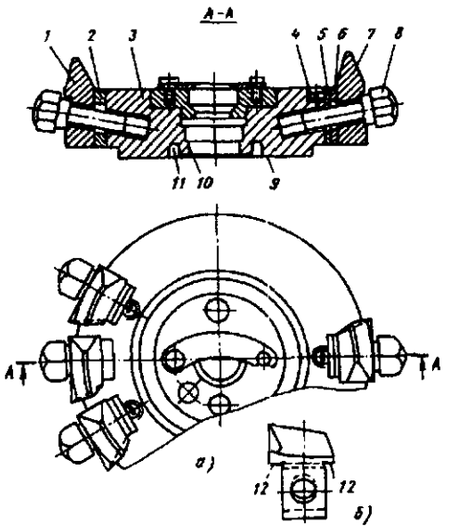


Рис. 30. Чистовая резцовая головка типа Хардак: *а* – общий вид головки; *б* – резец

133. Основные геометрические параметры резцовых головок в дюймовой системе

Номинальный диаметр головки d_0		Параметры обрабатываемых колес, мм		
мм	дюймы	Внешнее конусное расстояние R_e	Наибольшая ширина зубчатого венца b	Наибольшая внешняя высота зуба h_e
12,7	0,5	6 – 13	5	1,75
27,94	1,1	13 – 19	6,5	3,5
38,1	1,5	19 – 25	8	5
50,8	2,0	25 – 38	11	5
69,85	2,75	32 – 45	14	6,5
88,9	3,5	38 – 70	19	9
114,3	4,5	63 – 76	25	9,5
127	5	65 – 80	28	9,5
152,4	6	70 – 89	32	9,5
190,5	7,5	89 – 102	38	13
228,6	9	102 – 133	48	14,5
304,8	12	133 – 190	64	19,5
406,4	16	190 – 381	89	19,5
457,2	18	190 – 381	102	19,5
457,2	18	190 – 381	102	14,5 – 33,5

и деформацию корпуса головки при установке ее на станок. Резцы закрепляют винтами *8* под углом 10°, благодаря чему обеспечивается плотная посадка обоих буртиков *12* резца на передний торец головки без дополнительного подстукивания по его вершине.

Крутящий момент при затяжке резцов головок 5 и 6" равен 35 Н · м, головок 7,5 и 9" – 55 Н · м, головок 12 и 16" – 69 Н · м. Торцовое биение вершин резцов: от резца к резцу 0,05 мм, в пределах одного оборота 0,076 мм. Радиальное биение вершин резцов посередине режущих кромок от резца к резцу 0,0003 мкм.

С помощью регулировочных клиньев *5*, изготовленных с отклонением от номинального угла на величину ±0,5; ±1,0; ± 1,5', в головках выдерживаются отклонения угла профиля резцов относительно базового резца *1* с точностью 0,0015 мм на длине режущей кромки. Для повышения точности расположения базового резца в головке вместо регулировочного клина и подкладки в паз устанавливают мастер-подкладку 2, которую изготовляют с высокой точностью.

Для чистового нарезания зубьев колеса полуобкатных конических и гипоидных передач методом копирования применяют резцовые головки-протяжки, которые за один оборот

обрабатывают одну впадину зубьев колеса. Радиус расположения режущих кромок наружных резцов в протяжке от первого к последнему равномерно возрастает, а радиус внутренних, наоборот, равномерно уменьшается.

Резцовые головки-протяжки типа Формейт изготовляют с номинальными диаметрами 5; 6; 7,5;9 и 12" со вставными резцами или сегментами, состоящими из двух – четырех резцов. Припуск, снимаемый каждым резцом, одинаков. В зависимости от диаметра резцовой головки и качества чернового нарезания зубьев он равен 0,02 – 0,04 мм. Разница в радиусах первого и последнего одноименных резцов равна припуску на сторону зуба 0,2 – 0,4 мм. Последние два резца в головке являются калибрующими, их высота на 0,05 – 0,10 мм меньше высоты предшествующих калибрующих. С целью повышения точности обработки калибрующие резцы расположены таким образом, что они вступают в резание после того, как предшествующий закончит обработку.

Резцовые головки-протяжки типа Геликсформ изготовляют с номинальными диаметрами 5; 6; 7,5; 9 и 12" со вставными резцами без клиньев и подкладок. Так как в процессе нарезания зубьев кроме вращения требуется еще осевое перемещение резцов, число резцов в головке ограничено. Независимо от номинального диаметра головки имеют по восемь резцов, расположенных с угловым шагом 36°. Припуск, снимаемый резцовой головкой за один оборот, составляет 0,2 мм на сторону зуба.

Резцовые головки с острозаточенными резцами (рис. 31) предназначены для нарезания зубьев конических и гипоидных колес. Корпус головки *1* установлен с натягом в массивном кольце *2*. В радиальных пазах корпуса устанавливают острозаточенные наружные *3*, средние *4* и внутренние *5* резцы, которые закрепляют винтами 6 через прокладки 7. Конструкция острозаточенных резцов значительно упрощена. Их выполняют из прямоугольного бруска без затылования. Задние углы по вершине и на боковой режущей кромке образуются за счет наклона резца в корпусе головки на угол 12°.

Изготовление резцов и их заточку по длине резца осуществляют на профильно-шлифовальном станке по боковым поверхностям *8* и вершине *9*. Переднюю поверхность 10 у наружных и внутренних резцов не затачивают, ее изготовляют в первоначальный момент в заготовке под углом 20° и покрывают износостойким материалом для предотвращения образования лунки и уменьшения трения при сходе стружки с передней поверхности резцов. Резцы в головке в радиальном направлении не регулируют, после изготовления и заточки их устанавливают в корпусе по высоте до упора.

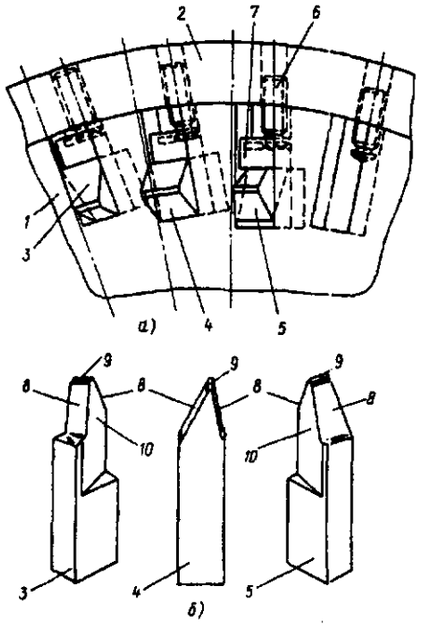


Рис. 31. Схема установки острозаточенных резцов в корпусе (*а*) и конструкция резцов (*б*)

Резцовые головки с острозаточенными резцами изготовляют черновыми и чистовыми. Черновые резцовые головки могут быть двусторонними и трехсторонними (последовательность расположения резцов в последних – наружный, средний, внутренний, средний и т.д.). Чистовые головки изготовляют двусторонними и трехсторонними (последовательность расположения резцов в последних – наружный, внутренний, средний, наружный и т.д.). Увеличение числа наружных и внутренних резцов в чистовых трехсторонних головках позволяет уменьшить шероховатость боковых поверхностей зубьев при нарезании колес из целых заготовок. Радиальное биение режущих кромок чистовых резцов после заточки и сборки не должно превышать 0,0025 мм, черновых – 0,025 мм.

Преимущество резцовых головок с острозаточенными резцами по сравнению с затылованными – низкая стоимость и простота изготовления резцов, повышение периода стойкости резцов в 2 – 5 раза за счет увеличения числа переточек до 40 – 45, возможность размещения большого числа резцов в головке.

Основные геометрические параметры острозаточенных резцовых головок и число резцов в головках, изготовленных в дюймовой системе, приведены в табл. 134, 135.

134. Основные геометрические параметры острозаточенных резцовых головок

Номинальный диаметр головки d_0		Наибольшая внешняя высота зуба h_e, мм, для резцовых головок			Длина резца*, мм
мм	дюймы	черновых	чистовых трехсторонних	чистовых двусторонних	
5	127	12,7	–	12,7	101,6
6	152,4	12,7	14,0	12,7	101,6
7,5	190,5	14,2	17,1	14,2	101,6
9	228,6	14,2	19,7	14,2	101,6
10,5	266,7	19,4	22,9	14,2	101,6
12	304,8	19,4	25,4	19,4	108,0
14	355,6	25,4	28,0	19,4	108,0
16	406,2	25,4	30,5	25,4	123,2
18	457,2	25,4	–	–	123,2

* Допустимая величина стачивания резца 46 мм.

135. Число резцов в головках, изготовленных в дюймовой системе

Номинальный диаметр головки d_0		Чистовые резцовые головки			Черновые резцовые головки			
		острозаточенные						
мм	дюймы	трехсторонние	двусторонние	типа Хардак	острозаточенные	типа Рафак	типа Риджак	типа Вейджак
5	127	24	24	12	20	12	16	20
6	152,4	30	30	16	24	16	20	24
7,5	190,5	36	36	16	28	20	24	28
9	228,6	39	38	20	32	24	28	32
10,5	266,7	39	38	–	32	–	–	–
12	304,8	45	44	28	36	32	36	–
14	355,6	48	48	–	36	–	–	–
16	406,2	54	54	36	40	40	40	–
18	457,2	–	–	–	44	–	40	–

РЕЗЬБОНАРЕЗНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Головки винторезные самооткрывающиеся с круглыми гребенками по ГОСТ 21760-76 обеспечивают нарезание резьбы среднего класса точности. Они предназначены для нарезания наружных метрических и дюймовых резьб с номинальным диаметром 4 – 60 мм и шагом до 4 мм (табл. 136).

Тип головки и ее размер выбирают в соответствии с применяемым оборудованием:

1К-5К – револьверные, токарные станки;

1КА-5КА – сверлильные станки, автоматы;

1КИ-25А – автоматы 1124, 1136.

Для невращающихся головок типов 1К-5К и 1КИ для обеспечения нормальных условий работы и получения качественной резьбы величина несовпадения осей шпинделя и гнезда для крепления инструмента в револьверной головке не должна превышать (мм):

1К-20; 1К-25; 1КИ-25А 0,08

2К-25; 2К-30; 3К-30; 3К-38 0,1

4К-45; 4К-70 0,15

5К-45; 5К-70 0,2

При установке вращающихся головок 1КА-5КА допустимое биение по наружному диаметру гребенок не более 0,1 мм.

Круглые гребенки, применяемые на винторезных самооткрывающихся головках, изготовляют из быстрорежущей стали Р18 или Р6М5. С целью повышения ресурса работоспособности круглые гребенки изготовляют с износостойким покрытием нитридом титана (TiN).

В зависимости от обрабатываемого материала назначают геометрические параметры: передний угол γ, угол наклона передней поверхности к оси гребенки λ и величину превышения a вершины первого полного витка направляющей части гребенки относительно оси резьбы (определяющую наряду с другими факторами задний угол α) (табл. 137).

Головки резьбонарезные самооткрывающиеся с тангенциальными плоскими плашками типов РГТ, С-225 и др. предназначены для нарезания наружных метрических, а также трубных цилиндрических и конических резьб на болторезных, трубонарезных, токарных, револьверных и других станках. Точность элементов резьбы обеспечивается для метрических резьб в соответствии с полями допусков 6*h*, 6*g*, 8*h*, 8*g* по ГОСТ 16093-81 и для трубной резьбы в пределах классов точности А или В по ГОСТ 6357-81.

136. Типоразмеры резьбонарезных головок и нарезаемой резьбы

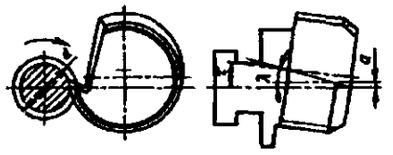
Метрическая резьба	Трубная цилиндрическая резьба	Типоразмер головки
4 × 0,5; 4 × 0,7; 4,5 × 0,5; 5 × 0,5; 5 × 0,8; 5,5 × 0,5; 6 × 0,5; 6 × 1; 7 × 0,5; 7 × 1; 8 × 0,5; 8 × 0,75; 8 × 1; 8 × 1,25; 9 × 0,75; 9 × 1,25; 10 × 1,5; 11 × 1; 12 × 1; 12 × 1,25; 12 × 1,75; 14 × 0,75; 14 × 1; 14 × 1,5; 15 × 1	–	1К-20; 1К-25; 1КА-25; 1КИ-25А
6 × 0,75	–	1Е-20; 1К-25; 1КИ-25А; 1КА-25
6 × 0,75; 6 × 1; 7 × 0,5; 7 × 0,75; 7 × 1; 8 × 0,75; 8 × 1; 8 × 1,25; 9 × 0,75; 9 × 1; 9 × 1,25; 10 × 0,75; 10 × 1; 9 × 1; 9 × 1,25; 10 × 0,75; 10 × 1; 10 × 1,25; 10 × 1,5; 11 × 0,75; 11 × 1; 11 × 1,5; 12 × 1; 12 × 1,25; 12 × 1,5; 12 × 1,75; 14 × 0,75; 14 × 1; 14 × 1,25; 14 × 1,5; 14 × 2	–	2К-25; 2К-30; 2КА-30
9 × 0,75; 9 × 1; 9 × 1,25; 10 × 0,75; 10 × 1; 10 × 1,25; 10 × 1,5; 11 × 0,75; 11 ×1; 11 × 1,5; 12 × 1; 12 × 1,25; 12 × 1,75; 14 × 1; 14 × 1,5; 14 × 2; 16 × 1; 16 × 1,5; 16 × 2; 18 × 1; 18 × 1,5; 18 × 2,5; 20 × 1; 20 × 1;5; 20 × 2; 20 × 2,5; 22 × 1; 22 × 1,5; 22 × 2,5; 24 × 1,5; 24 × 2; 24 × 3	$^1/_8$"; ¼"; $^3/_8$"; ½"; $^5/_8$"	3К-30; 1К-38; 3КА-30; 3КА-40
12 × 1; 12 × 1,25; 12 × 1,5; 12 × 1,75; 14 × 1; 14 × 1,5; 14 × 2; 16 × 1; 16 × 1,5; 16 × 2; 18 × 1; 18 × 1,5; 18 × 2,5; 20 × 1; 20 × 1,5; 20 × 2,5; 22 × 1; 22 × 1,5; 22 × 2,5; 24 × 1,5; 24 × 2; 24 × 3; 27 × 1,5; 27 × 2; 27 × 3; 30 × 1,5; 30 × 2; 33 × 1,5; 33 × 2; 36 × 1; 36 × 2; 36 × 3; 39 × 1,5; 39 × 2; 39 × 3; 40 × 1,5; 42 × 1,5; 42 × 2; 42 × 3	¼"; $^3/_8$"; ½"; $^5/_8$"; ¾"; $^7/_8$"; 1"; $1^1/_8$"; 1"; ¼"	4К-45; 4К-70; 4КА-45; 4КА-70
24 × 1; 24 × 1,5; 24 × 2; 24 × 3; 27 × 1; 27 × 2; 27 × 3; 30 × 1; 30 × 1,5; 30 × 2; 30 × 3,5; 33 × 1; 33 × 1,5; 33 × 2; 33 × 3,5; 35 × 1,5; 36 × 1,5; 36 × 2; 36 × 3; 36 × 4; 39 × 1; 39 × 2; 39 × 3; 39 × 4; 42 × 1; 42 × 1,5; 42 × 2; 42 × 3; 45 × 1; 45 × 1,5; 45 × 2; 45 × 3; 48 × 1; 48 × 1,5; 48 × 2; 48 × 3; 50 × 1,5; 52 × 1; 52 × 1,5; 52 × 2; 52 × 3; 56 × 1; 56 × 1,5; 56 × 2; 56 × 3; 56 × 4; 60 × 1; 60 × 1,5; 60 × 2; 60 × 3; 60 × 4	¾"; 1"; 1¼"; 1½"; 2"	5К-45; 5К-70; 5КА-45; 5КА-70

Примечание. Для каждой из указанных резьбонарезных головок стандартами предусмотрена номенклатура круглых гребенок и кулачков, обеспечивающих использование одного и того же инструмента для группы размеров резьб.

Гребенки резьбонарезные плоские (тангенциальные) по ГОСТ 2287-88 (рис. 32 и табл. 138) изготовляют двух типов, отличающихся конструкцией крепежных элементов. Каждая конструкция имеет две разновидности заточки (в случае нарезания резьбы на станках без ходового винта гребенки затачивают по форме I, а для работы на станках с ходовым винтом – по форме II).

Гребенки изготовляют из быстрорежущей стали. При применении высокованадиевых сталей Р9Ф5 и Р14Ф4, обеспечивающих увеличение стойкости в 1,5 – 2 раза, необходимо шлифование резьбового профиля, а также заточку по передней поверхности и переточку производить эльборовыми шлифовальными кругами. В соответствии с ГОСТ 2287-88 плоские гребенки изготовляют также с износостойким покрытием нитридом титана.

137. Параметры установки резьбонарезных гребенок



Обрабатываемый материал	γ°	Превышение a, мм, при наружном диаметре нарезаемой резьбы d, мм							λ
		До 8	8-10	11-14	16-20	22-27	30-42	45-60	
Алюминий	25	0,03	0,08	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	2°+τ
Бронза алюминиевая	20								1°30' + τ
Медь твердая	25								2°+τ
Стали конструкционные малоуглеродистые, легированные и твердые	25; 20	0,00	0,05	0,07	0,12	0,17	0,21	0,25	1°30'+ τ
Инструментальные стали	15	0,00	0,05	0,07	0,12	0,17	0,21	0,25	30' + τ
Чугун	10								30' + τ
Медь мягкая	5	0,1	0,12	0,14	0,30	0,25	0,30	0,33	2°+τ

Примечание. τ – угол подъема винтовой поверхности резьбы.

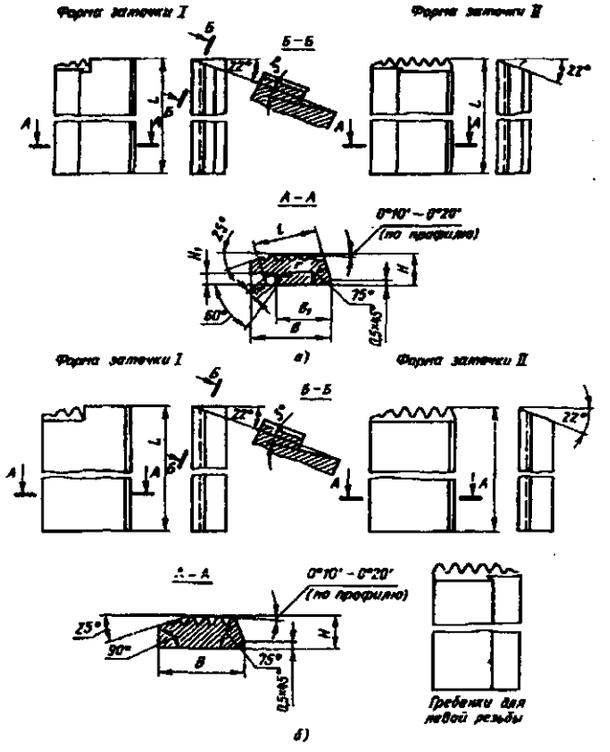


Рис. 32. Резьбонарезные плоские гребенки: *а* – тип А; *б* – тип Б (размеры см. табл. 138)

Гребенки всех типов (представляющих собой своеобразные круглые или призматические фасонные резцы) устанавливают так, чтобы их резьбовые вершины находились всегда выше центра детали на некоторую величину *a*. В результате такой установки между резьбовыми поверхностями нарезаемой детали и профильными поверхностями резьбовых элементов гребенок образуются контактные площадки как следствие упругой и пластической деформаций материала заготовки. Эти контактные площадки необходимы для обеспечения центрирования и подачи резьбонарезной головки. Чем больше эти контактные площадки, тем надежнее осуществляется процесс самозатягивания, уменьшаются погрешности нарезаемой резьбы. Величина контактных площадок зависит от типа применяемых гребенок. Плоские тангенциальные гребенки имеют наибольшую величину контактных площадок и наиболее надежно обеспечивают самоподачу. Плоские гребенки радиального типа имеют уменьшающуюся (по мере переточек) величину контактных площадок, что ухудшает условия самоцентрирования и самоподачи.

Кроме того, эти гребенки допускают малое число переточек. Поэтому резьбонарезные головки с плоскими гребенками практически вышли из употребления. Наименьшая величина контактных площадок у круглых гребенок. Однако они более технологичны, компактны и допускают большое число переточек. Поэтому резьбонарезные головки с круглыми гребенками получили наибольшее распространение.

С целью уменьшения погрешностей шага, профиля, а в некоторых случаях подрезания резьбы с одной стороны профиля, нередко возникающих при нарезании резьбы на средних и тяжелых станках, когда нарезаемая деталь должна в процессе самоподачи увлекать не только винторезную головку, но и тяжелую револьверную головку станка, целесообразно применять простейшее приспособление (рис. 33). Это приспособление, фланцем прикрепляемое к револьверной головке, воспринимает крутящий момент, возникающий при нарезании резьбы, и обеспечивает свободное перемещение резьбонарезной головки вдоль оси нарезаемой детали.

138. Плоские резьбонарезные гребенки к винторезным головкам для нарезания метрической, дюймовой и трубной резьб по ГОСТ 2287-88 (см. рис. 32)

Размеры, мм

Резьба			H	B	L	H_1	B_1	r	l	d ролика
метрическая, шаг P	число ниток на 1"									
1 – 2	20 – 10	19; 14	7,5	19,5	40	2,8	12,5	0,3	14,2	3
1 – 2	20 – 10	19; 14; 11	9	20	75; 100	3	17	0.3	17,7	2,5
2,5 – 4	9 – 6	–	10	25	100	3	17	0,3	17,7	2,5
4 – 6	6 – 4	–	16	40	100	5	29	0,5	30,6	4,5
–	–	14; 11	10	25	100	–	–	–	–	–
–	–	19; 14; 11	11	29	100	–	–	–	–	–
–	–	14; 11	11	33	100	–	–	–	–	–
–	–	11	18	48	130	–	–	–	–	–

Примечание. Длина режущей части $l_1 = (h_{1наиб} + h_{2наим} + 1)2{,}15$, где h_1 – высота головки; h_2 – высота ножки винтового гребня.

При нарезании резьб резьбонарезными головками станок должен отвечать установленным для него нормам точности. Особенно важно соблюдение требований по биению шпинделя и соосности детали и резьбонарезной головки.

Резьбонарезные головки для внутренних резьб вследствие нежесткого консольного крепления гребенок не могут обеспечить нарезание точных резьб и, поэтому, имеют ограниченное применение.

Вследствие сложностей размещения элементов крепления и управления движениями гребенок нарезание резьб диаметром менее 36 мм невозможно. Преимуществом этих головок является отсутствие необходимости реверсирования рабочих движений для вывинчивания головки из нарезанной резьбы.

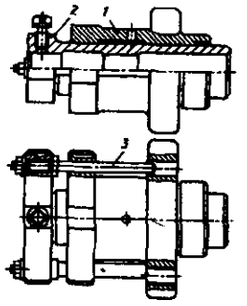


Рис. 33. Приспособление для крепления резьбонарезных головок: *1* – корпус; *2* – пиноль для крепления резьбонарезных головок; *3* – скалка

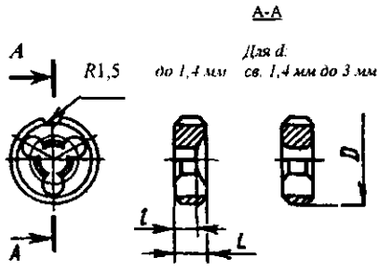
Альтернативой резьбонарезных головок для обработки внутренних резьб являются корончатые метчики, представляющие собой 4-х и более зубчатые метчики, сформированные на трубчатых заготовках из быстрорежущей стали. При нарезании резьб корончатыми метчиками удовлетворительно решаются вопросы подвода СОЖ и удаления стружки даже из глухих отверстий.

Плашки круглые предназначены для нарезания правых и левых метрических резьб диаметром 1 – 76 мм (табл. 139), правой и левой трубной цилиндрической резьбы от 1/16 до 2" (табл. 140, дюймовой конической резьбы от К 1/16" до К 2" и трубной конической резьбы от *R* 1/16" до *R* 2" (табл. 141).

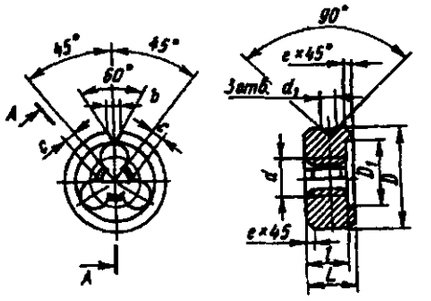
139. Круглые плашки (по ГОСТ 9740-71 в ред. 1992 г.) для нарезания метрических резьб

Размеры, мм

Тип 1



Тип 2 для $d = 1 \ldots 6$ мм



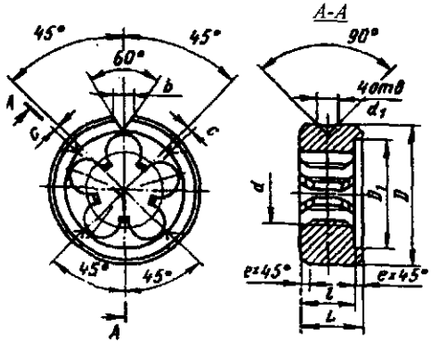
Номинальный диаметр резьбы d для рядов		Шаг резьбы P		Тип	D	L	l	D_1	d_1	b	c
крупный	мелкий										
1	2										
1; 1,2	1,1	0,25	0,2	1	12	3	1,5	–	–	–	–
				2	16	5	2	11	3	3,2	0,5
–	1,4	0,3		1	12	3	1,5	–	–	–	–
				2	16	5	– 2,5(2)	11	3	3,2	0,5
1,6	1,8	0,35		1	12	3	–	–	–	–	–
				2	16	5	2,5(2)	11	3	3,2	0,5
2,0	–	0,4	0,25	1	12	3	–	–	–	–	–
				2	16	5	3(2)	11	3	3,2	0,5
–	2,2	0,45		1	16	3	–	–	–	–	–
				2	16	5	3(2)	11	3	3,2	0,5
2,5	–		0,35	1	16	3	–	–	–	–	–
				2	16	5	3 (2,5)	11	3	3,2	0,5

Продолжение табл. 139

Номинальный диаметр резьбы d для рядов		Шаг резьбы P		Тип	D	L	l	D_1	d_1	b	c
1	2	крупный	мелкий								
3,0	–	0,5	0,35	1	16	3	–	–	–	–	–
						5	3	15	4	3,2	0,6
–	3,5	0,6		2	20	5	–	–	4		
4,0	–	0,7				5					
–	4,5	0,75	0,5			7(5)					
5,0	–	0,8									
6,0	–	1,0	0,75; 0,5			7(5)					

Примечание. Размеры L и l, указанные в скобках, относятся к плашкам с мелким шагом.

Тип 3
для d св. 6 до 52 мм



Номинальный диаметр резьбы d для рядов			Шаг резьбы P		D	L	l	D_1	d_1	b	c
1	2	3	крупный	мелкий							
–	–	7	1,0	0,75	25	9	–	–	5	4	0,8
			–	0,5		7					
8	–	9	1,25	1,0; 0,75	25	9					
			–	0,5		7					
10	–	–	1,5	1,25; 1,0	30	11	–	–	5	4	1,0
			–	0,75			8	24			
			–	0,5		8	–	–			
–	–	11	(1,5)	1,0	30	11	–	–	5	4	1,0
			–	0,75			8	24			
			–	0,5		8	–	–			
12	–	–	1,75	–	38	14			6	5	1,2
				1,5; 1,25; 1		10					
				0,75; 0,5			7	30			

Продолжение табл. 139

Номинальный диаметр резьбы d для рядов			Шаг резьбы P		D	L	l	D_1	d_1	b	c
1	2	3	крупный	мелкий							
–	14	–	2,0	–	38	14	–	–	6	5	1,2
			–	1,5; 1,25; 1		10					
			–	0,75; 0,5			7	30			
–	–	15	–	1,5; 1,0	38		–	–			
16	–	–	2,0	–	45	18					
			–	1,5		14					
			–	1,0		14	10	36			
			–	0,75; 0,5		10	7				
–	–	17	–	1,5	45	14	–	–	6	5,3	1,2
			–	(1,0)			10	36			
20	18		2,5	–		18	–	–			
		–	–	2,0; 1,5		14					
			–	1,0			10	36			
			–	0,75	45	10	–	–	6	5,3	1,2
			–	0,5			7	36			
–	22	–	2,5	–	55	22	–	–	8	6,5	1,5
			–	2,0; 1,5		16					
			–	1,0			12	45			
			–	0,75; 0,5		12	8	45			
24	–	–	3,0	–	55	22	–	–			
			–	2,0; 1,5		16		–			
			–	1,0			12	45			
			–	0,75		12	8	45			
–	–	25	–	2,0; 1,5	55	16	–	–			
			–	(1,0)			12	45			
–	–	(26)	–	1,5			–	–			
–	27	–	3,0	–	65	25	–		8	6,5	1,8
			–	2,0		18					
			–	1,5			14	–			
			–	1,0			12	54			
			–	0,75		14	10				
–	–	(28)	–	2,0	65	18	–	–	8	6,5	1,8
			–	1,5			14	54			
			–	1,0			12				
30	–	–	3,5	(3,0)	65	25	–	–			
			–	2,0		18					
			–	1,5		14	12	54			
			–	1,0							
			–	0,75			10				
–	–	(32)	–	2,0	65	18	–	–			
			–	1,5			14	54			
–	33	–	3,5	(3,0)	65	25	–	–			
			–	2,0; 1,5		18	–	–			
			–	1,0		14	12	54			
			–	0,75			10				

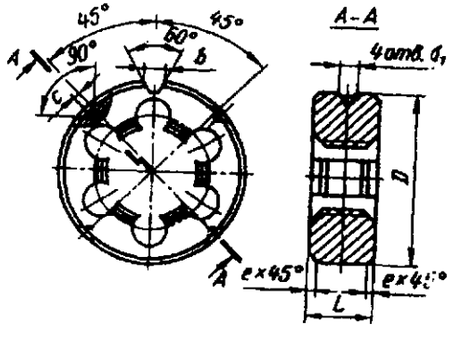
Продолжение табл. 139

Номинальный диаметр резьбы d для рядов			Шаг резьбы P		D	L	l	D_1	d_1	b	c
			крупный	мелкий							
1	2	3									
–	–	35	–	1,5	65	18	–	–	8	6,5	1,8
36	–	–	4,0	3,0	65	25	–	–			
				2,0; 1,5		18					
			–	1,0		14	12	54			
–	–	38	–	1,5	75	20	16	63	8	7	1,8
–	39	–	4,0	3,0	75	30	–	–	8	7	1,8
			–	2,0; 1,5		20					
			–	1,0		16	12	63			
–	–	40	–	(3,0)	75	30	–	–			
			–	(2,0); 1,5							
42	–	–	4,5	(4,0); 3,0	75	30	–	–			
			–	2,0; 1,5		20					
			–	1,0		16	12	63			
–	45	–	4,5	(4,0); 3,0	90	36	–	–	8	9	2
			–	2,0; 1,5		22					
			–	1,0		18	14	75			
–	–	50	–	(3,0)	90	36	–	–			
			–	(2,0); 1,5		22					
48	52	–	5,0	(4,0); 3,0	90	36	–	–	8	9	2
			–	2,0; 1,5		22					
			–	1,0		18	14	75			

Примечание. Размеры, указанные в скобках, применять не рекомендуется.

140. Круглые плашки (по ГОСТ 9740-71 в ред. 1992 г.) для нарезания трубной цилиндрической резьбы 1/16-2"

Размеры, мм

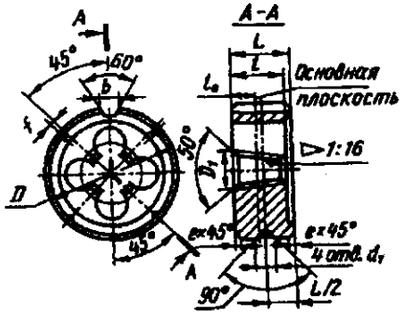


Номинальный диаметр резьбы d, дюймы	Число ниток на 1"	D	L	d_1	b	c
1/16	28	25	9	5	4	0,8
1/8	28	30	8	5	4	1,0
1/4	19	38	10	6	5	1,2
3/8	19	45	14	6	5,3	1,2
1/2	14	45	14	6	5,3	1,2
3/4 (5/8)	14	55	16	8	6,5	1,5
(7/8)	14	65	18	8	6,5	1,8
1	11	65	18	8	6,5	1,8
1¼ (11/8)	11	75	20	8	7,0	1,8
1½ (13/8)	11	90	22	8	9,0	2,0
2 (1¾)	11	105	22	10	10	2,5

Примечание. Без скобок приведены диаметры 1-го ряда, которые следует предпочитать диаметрам 2-го ряда, заключенным в скобках.

141. Круглые плашки (по ГОСТ 6228-80 в ред. 1991 г.) для нарезания дюймовой конической резьбы с углом профиля 60° и трубной конической резьбы

Размеры, мм



Обозначение размера резьбы, дюймы		Число ниток на 1"	D	D_1	d_1	L	l_0	l	b	f	e
дюймовой конической	трубной конической										
	$R^1/_{16}$	28	30	8,3	5,2	11	8	10	4,0	1,0	1
$K^1/_{16}$		27	25	8,4	5,2	11	4,4		4,0	0,8	
	$R^1/_8$	28	30	10,4	6,0	11	8	10	5,0	1,0	
$K^1/_8$		27	30	10,7	6,0	12	4,4		4,0	1,0	
	$R¼$	19	38	13,9	6,5	14	8	14	5,3	1,2	
$K¼$		18	38	14,2	6,5	18	7,2		5,0	1,2	
	$R^3/_8$	19	45	17,4	7,5	18	8,6	15	5,3	1,2	
$K^3/_8$		18	45	17,7	7,5	18	7,2		5,3	1,2	
	$R½$	14	55	21,9	7,5	22	10,8	19	6,5	1,5	2
$K½$		14	45	22,1	7,5	24	9,1		5,3	1,2	1
	$R¾$	14	55	27,3	8,5	22	10,5	20	6,5	1,5	2
$K¾$		14	55	27,4	8,5	24	9,1		6,5	1,5	
	$R1$	11	65	34,4	10,0	25	13,6	24	6,5	1,8	
$K1$		11,5	65	34,3	10,0	28	11,8		6,5	1,8	
	$R1¼$	11	75	43,1	11,5	30	13,3	26	7,0	1,8	
$K1¼$		11,5	75	43,1	11,5	30	11,8		7,0	1,8	
	$R1½$	11	90	49,0	11,5	'36	13,3	26	9,0	2,0	
$K1½$		11,5	90	49,2	11,5	30	12,4		9,0	2,0	
	$R2$	11	105	60,9	13,0	36	15,1	31	10	2,5	
$K2$		11,5	105	61,2	13,0	32	12,4		10	2,0	

Точность элементов нарезаемой резьбы обеспечивается для метрических резьб в соответствии с полями допусков 6*h*; 8*h*6*h*; 8*h*; 6*g*; 8*g* по ГОСТ 16093-81, а для трубной резьбы в соответствии с требованиями классов А или В по ГОСТ 6357-81.

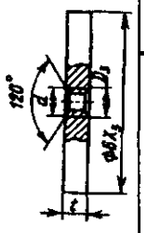
Точность элементов наружных конических резьб должна соответствовать ГОСТ 6111-52 и ГОСТ 6211-81.

Плашки круглые изготовляют из стали 9ХС или ХВСГ.

Нарезание резьбы круглыми плашками производят на токарных, револьверных станках, токарных автоматах,

142. Круглые плашки для нарезания резьб 0,25 – 0,9 мм (по ГОСТ 9000-81)

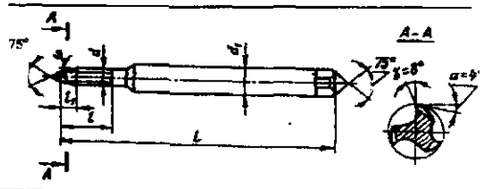
Размеры, мм



Номинальный диаметр резьбы d	Шаг резьбы P	t	D_3
0,25	0,075	0,3	0,27
0,30	0,08	0,3	0,32
0,35	0,09	0,35	0,37
0,40	0,10	0,35	0,42
0,45	0,10	0,35	0,47
0,50	0,125	0,45	0,53
0,55	0,125	0,45	0,58
0,60	0,150	0,55	0,65
0,70	0,175	0,65	0,75
0,80	0,20	0,75	0,85
0,90	0,225	0,85	0,95

143. Короткие метчики с усиленным хвостовиком для метрической резьбы (крупные шаги) (по ГОСТ 3266-81 в ред. 1999 г.)

Размеры, мм



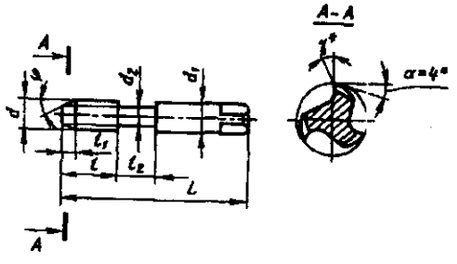
Номинальный диаметр резьбы d для рядов		Шаг резьбы P	L	l	l_1 метчиков				d_1
					одинарных для отверстий		комплектных		
1	2				сквозных	глухих	черновых	чистовых	
1,0	1,1	0,25	38,5	5,5	0,75	0,	0,75	0,	2,
1,2	1,4	0,30	40	7,0	0,9	0,	0,9	0,	2,
1,6	1,8	0,35	41	8,0	1,0	0,	1,0	0,	2,
2,0	.	0,40	41	8,0	1,2	0,	1,2	0,	2,
2,5	2,2	0,45	44,5	9,5	1,4	0,	1,4	0,	2,

Для образования резьбового профиля на деталях приборов точной механики применяют круглые плашки без стружечных отверстий для метрической резьбы диаметром 0,25 – 0,9 мм (табл. 142). Эти плашки изготовляют из стали У10А, У11А, У12А.

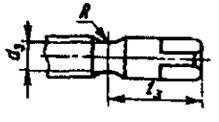
144. Короткие метчики с шейкой для метрической резьбы (крупные шаги) (по ГОСТ 3266-81 в ред. 1999 г.)

Размеры, мм

Исполнение 1



Исполнение 2 для $d_1 \geq 5$ мм



Продолжение табл. 144

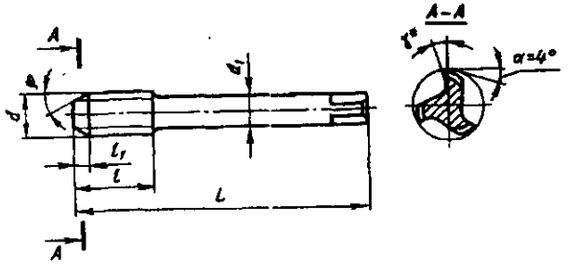
Шаг резьбы P	Номинальный диаметр резьбы d для рядов			L	l	l_1 метчиков				d	l_2	Исполнение 2		
						одинарных для отверстий		комплектных						
	1	2	3			сквозных	глухих	черновых	чистовых			l_3	d_3	R
0,5	3	–	–	48	11	1,5	1,0	1,5	1,0	3,15	7	–	–	–
0,6	–	3,5	–	50	13	1,8	1,2	1,8	1,2	3,55	7	–	–	–
0,7	4	–	–	53	13	4,2	2,1	4,2	1,4	4,0	8	–	–	–
0,75	–	4,5	–	53	13	4,5	2,2	4,5	1,5	4,5	8	–	–	–
0,8	5	–	–	58	16	4,8	2,4	4,8	1,6	5,0	9	13	4,5	4,5
1,0	6	–	–	66	19	6,0	3,0	6,0	2,0	6,3	11	15	5,5	4,5
1,00	–	–	7	66	19	6,0	3,0	6,0	2,0	7,1	11	15	6,0	4,5
1,25	8	–	–	72	22	7,5	3,8	7,5	2,5	8,0	13	16	7,0	4,5
1,25	–	–	9	72	22	7,5	3,8	7,5	2,5	9,0	14	17	8,0	4,5
1,5	10	–	–	80	24	9,0	4,5	9,0	3,0	10,0	15	18	9	4,5

Примечание. Для метчиков с $d < 3,5$ мм $\gamma = 8°$, с $d > 3,5$ мм $\gamma = 10°$.

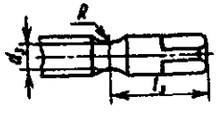
145. Короткие метчики с проходным хвостовиком для метрической резьбы (крупные шаги) (по ГОСТ 3266-81 в ред. 1999 г.)

Размеры, мм

Исполнение 1



Исполнение 2 для $d_1 \geq 5$ мм



Номинальный диаметр резьбы для рядов		Шаг резьбы P	L	l	l_1 метчиков				d	Исполнение 2	
					одинарных для отверстий		комплектных				
1	2				сквозных	глухих	черновых	чистовых		l_3	d_3
3	–	0,5	48; (66)	11	1,5	1,0	1,5	1,0	2,24		
–	3,5	0,6	50	13	1,8	1,2	1,8	–	2,5		
4	–	0,7	53; (73)	13	4,2	2,1	4,2	1,4	3,15	–	–
4,5	–	0,75	53	13	4,5	2,2	4,5	1,5	3,55		
5	–	0,8	58; (79)	16	4,8	2,4	4,8	1,6	4,0		
6	–	1,0	66; (89)	19	4,5	2,2	4,5	1,5	4,5		
–	7,0*	1,0	66; (89)	19	4,5	2,2	4,5	1,5	5,6	14	5,0
8	9,0*	1,25	72	22	7,5	3,8	7,5	2,5	6,3	15	5,5
–	9,0*	1,25	72	22	7,5	3,8	7,5	2,5	7,1	15	6,0
10	–	1,5	80; (108)	24	9,0	4,5	9,0	3,0	8,0	16	7,0; 9,0
–	11*	1,5	80	24	9,0	4,5	9,0	3,0	8,0	16	7,0

Продолжение табл. 145

Номинальный диаметр резьбы для рядов		Шаг резьбы P	L	l	l_1 метчиков				d	Исполнение 2	
					одинарных для отверстий		комплектных				
1	2				сквозных	глухих	черновых	чистовых		l_3	d_3
12	–	1,75	89; (119)	29	10,5	5,2	10,5	3,5	9,0	17	8,0
–	14	2,0	95; (127)	30	12,0	6,0	12,0	4,0	11,2	19	10
16	–	2,0	102; (137)	32	12,0	6,0	12,0	4,0	12,5	20	11,0
–	18	2,5	112; (149)	37	15,0	7,5	15,0	5,0	14,0	22	12,0
–	18	0,75	95	20	4,5	2,2	4,5	15	14,0	22	12,0
20	–	2,5	112; (149)	37	15	7,5	15	5,0	14,0	22	12,0
–	22	2,5	118; (158)	38	15	7,5	15	5,0	16,0	24	14,0
24	–	3,0	130; (172)	45	18	–	18	6,0	18,0	26	16,0
–	27	3,0	135	45	18	–	18	6,0	20,0	28	18,0
30	–	3,5	138	48	21	–	21	7,0	20,0	28	18
–	33	3,5	151	51	21	–	21	7,0	22,4	32	20
36	–	4,0	162	57	24	–	24	8,0	25	34	22
–	39	4,0	170	60	24	–	24	8,0	28	36	25
42	–	4,5	170	60	27	–	27	9,0	28	36	25
–	45	4,5	187	67	27	–	27	9,0	31,5	40	29
48	–	5,0	187	67	30	–	30	10,0	31,5	40	29
–	52	5,0	200	70	30	–	30	10,0	35,5	45	33

* Диаметры 3-го ряда.

Примечания: 1. В скобках даны размеры метчиков с проходным удлиненным хвостовиком.
2. Для метчиков с $d \le 3$, мм $\gamma = 8°$, с $d \ge 3{,}5$ мм $\gamma = 10°$.
3. Для метчиков исполнения 2 $R = 4{,}5$ мм при $d = 7 \ldots 14$ мм; $R = 6$ мм при $d = 16 \ldots 52$ мм.

146. Метчики для нарезания трубной и дюймовой резьб (по ГОСТ 3266-81) (см. эскиз в табл. 145)

Размеры, мм

Номинальный диаметр резьбы d, дюймы	Шаг резьбы P	Число ниток на 1"	L	l	l_1 метчиков				d	Исполнение 2		
					одинарных для отверстий		комплектных					
					сквозных	глухих	черновых	чистовых		l_3	d_3	R
Трубная резьба												
1/8	0,907	28	80	18	5,5	2,8	5,5	1,8	8,0	16	7	
1/4	1,337	19	19	25	8,0	4,0	8,0	2,5	10,0	18	9	
3/8			100						14,0	22	12	
1/2									16,0	24	14	4,5
5/8	1,814	14	135	32	11,0	5,5	11,0	3,6	18,0	26	16	
3/4									22,4	32	20	
7/8									25,0	34	22	

Продолжение табл. 146

Номинальный диаметр резьбы d, дюймы	Шаг резьбы P	Число ниток на 1"	L	l	l_1 метчиков				d	Исполнение 2		
					одинарных для отверстий		комплектных					
					сквозных	глухих	черновых	чистовых		l_3	d_3	R
1									28	36	25	
1 1/8			140									
1 1/4									31,5	40	29	6,0
1 3/8	2,309	11	160									
1 1/2				40	14	7,1	14	4,5	35,5	45	33	
1 3/4			195									
2									40,0	48	37	
Дюймовая резьба												
1/4	1,270	20	65	18	7,6	3,8	7,6	2,5	6,3	15	5,5	
5/16	1,411	18	70	20	8,5	4,2	8,5	2,8	8,0	16	7,0	
3/8	1,588	16	80	25	9,5	4,7	9,5	3,2	10,0	18	9,0	4,5
7/16	1,814	14	85	25	10,8	5,4	10,8	3,6	8,0	16	7,0	
1/2	2,117	12	90	28	12,7	6,3	12,7	4,2	9,0	17	8,0	
9/16	2,117	12	95	30	12,7	6,3	12,7	4,2	11,2	19	10,0	
5/8	2,309	11	100	32	13,8	6,9	13,8	4,6	12,5	20,0	11,0	
3/4	2,540	10	110	36	15,2	7,8	15,2	5,0	14,0	22,0	12,0	
7/8	2,822	9	120	40	16,9	8,4	16,0	5,6	16,0	24	14	
1	3,175	8	130	45	19		19	6,3	18,0	26	16	
1 1/8	3,629	7	140	50	21,8		4,8	7,2	20,0	28	18	6,0
1 1/4	3,629	7	150		21,8		21,8	7,2	22,4	32	20	
1 3/8	4,233	6	160		25,4	–	25,4	8,4	25,0	34	22	
1 1/2	4,233	6	170	60	25,4		25,4	8,4	28,0	36	25	
1 5/8	5,080	5	170		30,5		30,5	10,2	28,0	36	25	
1 3/4	5,080	5	185		30,5		30,5	10,2	31,5	40	29	
1 7/8	5,644	4,5	185		34,0		34,0	11,2	31,5	40	29	
2	5,644	4,5	200	70	34,0		34,0	11,2	35,5	45	33	

Примечание. Для дюймовой резьбы ¼ – 3/8" см. эскиз к табл. 144.

Метчики применяют для нарезания правых и левых резьб в сквозных и глухих отверстиях.

Ручные метчики комплектные (из двух штук) черновые и чистовые с нешлифованным профилем для нарезания метрической резьбы изготовляют диаметром 4 – 27 мм по ОСТ 2 И50 – 73; со шлифованным профилем – диаметром 1 – 16 мм по ТУ 2-035-775-80.

Машинно-ручные метчики со шлифованным профилем для нарезания метрических (табл. 143 – 146), трубной и дюймовой (табл. 146) резьб изготовляют по ГОСТ 3266-81.

Допуски на резьбу метчиков для метрической резьбы – по ГОСТ 16925-93. метчиков для дюймовой резьбы – по ГОСТ 7250-60, метчиков для трубной резьбы – по ГОСТ 19090-93.

Резьбы всех размеров в сквозных и глухих отверстиях нарезают машинным способом и вручную (вручную – резьбы с шагом до 3 мм включительно).

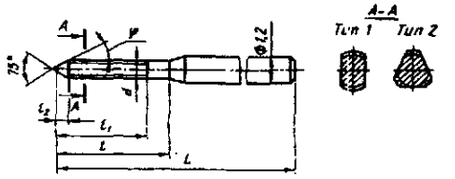
Машинно-ручные метчики изготовляют трех видов: одинарные (всех размеров), комплектные (из двух штук) для $d = 1 \ldots 52$ мм. комплектные (из трех штук) для $d = 24 \ldots 52$ мм и применяют для нарезания метрической резьбы по ГОСТ 16093 – 81, трубной резьбы по ГОСТ 6357 – 81 и дюймовой.

Машинные метчики для нарезания метрических резьб диаметром 0,25 … 0,9 мм (табл. 147) изготовляют с цилиндрическим хвостовиком. Их применяют для нарезания резьб в сквозных и глухих отверстиях в деталях приборов точной механики.

Гаечные метчики (табл. 148) со шлифованным профилем резьбы изготовляют следующих степеней точности: H1, H2, H3, H4 и G1.

147. Машинные метчики для нарезания метрической резьбы диаметром 0,25 – 0,9 мм

Размеры, мм



Номинальный диаметр резьбы d	Шаг P	L	l	l_1	l_2 для нарезания отверстий	
					сквозных ($\varphi = 14°\pm1°$)	глухих ($\varphi = 23°\pm1°$)
0,25	0,075	16	2,8	2,5	0,23	0,15
0,3	0,08	16	2,8	2,5	0,24	0,15
0,35	0,09	16	3,0	2,5	0,27	0,16
0,40; 0,45	0,10	16	3,2	2,8	0,3	0,18
0,50; 0,55	0,125	16	4,0	3,2	0,37	0,20
0,60	0,150	20	4,5	3,6	0,44	0,26
0,70	0,175	20	5,8	4,5	0,53	0,30
0,80	0,20	20	6,0	4,8	0,60	0,35
0,90	0,225	20	6,5	5,0	0,70	0,40

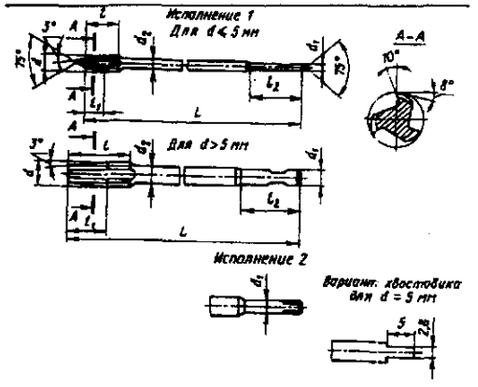
Примечание. Метчики изготовляют двух типов: 1) с двухгранной заточкой для нарезания резьбы в материалах с $\sigma_в$ до 588 МПа; 2) с трехгранной заточкой для нарезания резьбы в материалах с $\sigma_в$ более 588 МПа.

Их применяют для нарезания сквозных резьб и гаек с метрической резьбой по ГОСТ 9150-81 и дюймовой резьбой по ОСТ НКТП 1260 на гайкорезных автоматах и сверлильных станках.

Автоматные гаечные метчики с изогнутым хвостовиком (табл. 149) применяют для нарезания гаек с метрической резьбой (по ГОСТ 16093-81) и дюймовой резьбой (по ОСТ НКТП 1260) на специальных гайкорезных автоматах 5084, 5085А, 5086А, 5087, 2061, 2062, 2064.

148. Гаечные метчики для нарезания метрических и дюймовых резьб (крупные шаги)

Размеры, мм



Метчики для метрической резьбы

Номинальный диаметр резьбы d первого ряда	Шаг резьбы P	L	l	l_1	l_2	d_1	d_2
3	0,5	70;120	10	6	20	2,24	2,24
3,5*	(0,6)	80;120	12	7		2,5	2,5
4	0,7	90;160	14	8		2,8	2,8
4,5	(0,75)	100;160	16	9		3,15	3,3
5	0,8	110;180	16	10	22	3,55	3,6
6;7**	1,0	120;200	20	12	22	4,5	4,5
8;9**	1,25	140;220	25	15	25	7,1	7,1
10;11**	1,50	160;250	30	18	32	8,0	8,0
12	1,75	180;280	36	21		9,0	9,3
14*	2,0	180;280	40	24		10,0	10,0
16	2,0		40	24	40	12,5	12,9
18*	2,5	200;320	50	30		14,0	14,2
20		220;360				16,0	16,2
22*						18,0	18,2
24	3,0	250;360	60	36		18,0	19,4
27*					45	20,0	22,4
30	3,5	280;360	70	40	50	22,4	24,6
33*						25	28,9
36	4,0	320;360	80	48	55	28	29,9
39*						31,5	32,9
						31,5	35,1
42	4,5	360;450	90	54			
45*	4,5	360;450	90	54	60	35,5	38,1
48	5,0	400;500	100	60		35,5	40,4
52		400		48		40,0	45,9

Продолжение табл. 148

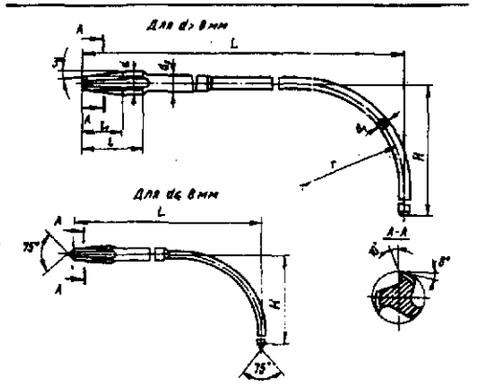
Метчики для дюймовой резьбы

Номинальный диаметр резьбы d, дюймы	Шаг резьбы P	Число ниток на 1"	L	l	l_1	d_1
1/4	1,270	20	120;200	25	15	4,5
5/16	1,411	18	140;220	28	17	5,6
3/8	1,588	16	160;250	32	19	7,1
(7/16)	1,814	14	100;250	36	22	8,0
1/2	2,117	12	180;280	40	25	9,0
9/16	2,117	12	180;280	40	25	10,0
5/8	2,309	11	200;320	45	28	12,5
3/4	2,54	10	200;320	50	32	14,0
1	3,175	8	250;360	60	38	18,0
1 1/8	3,629	7	280;360	70	45	22,4
1 1/4	3,629	7	280;360	70	45	25,0

* Диаметры 2-го ряда.
** Диаметры 3-го ряда.

149. Гаечные метчики с изогнутым хвостовиком (крупные шаги)

Размеры, мм



Продолжение табл. 149

Номинальный диаметр резьбы d 1-го ряда	Шаг резьбы P	L	l	l_1	d_1	d_2	H	r
Метчики для метрической резьбы								
3	0,50	135 140	10	6	2,24	2,24	55 25	32 15
4	0,70	135 140	14	8	2,8	2,8	55 25	32 15
5	0,8	135 140	16	10	3,60	3,6	55 25	32 15
6	1,0	135 200	20	12	4,40	4,40	55 45	32 30
8	1,25	165 200	25	16	5,50	6,30	80 45	43 30
10	1,50	165 200	30	18	7,30	8,00	80 45	43 30
12	1,75	250 300	36	22	9,00	9,30	115 60	60 50
14*	2,00	250 300	40	25	10,5	10,9	115 60	60 50
16	2,00	250 300	40	25	12,5	12,9	115 60	60 50
18*	2,5	340 300	50	30	13,8	14,2	150 60	95 50
20	2,5	340 300	50	30	15,8	16,2	150 100	95 70
22*	2,5	340 420	50	30	17,8	18,2	150 100	95 70
24	3,0	340 420	60	36	19,0	19,4	150 100	95 70
27*	3,0	420	60	36	21,8	22,4	100	70
30	3,5	420	70	40	24	24,6	100	70
Метчики для дюймовой резьбы								
1/4"	1,270 (20)	135 200	25	16	4,4	4,4	55 45	32 30
5/16"	1,411 (18)	165 200	28	18	5,2	60,	80 45	43 30
3/8"	1,588 (16)	165 200	30	18	6,6	7,4	80 45	43 30
1/2"	2,117 (12)	250 300	40	25	9,2	9,9	115 60	60 50
5/8"	2,309 (11)	250 300	45	28	12,0	12,9	115 60	95 50
3/4"	2,540 (10)	340 300	50	30	14,9	15,7	150 60	95 50
7/8"	2,822 (9)	340 420	55	36	17,8	18,6	150 100	95 70
1"	3,170 (8)	340 420	60	36	20,4	21,3	150 100	95 70

*Резьба второго ряда.

Примечание. В скобках дано число ниток на 1".

Размеры присоединительных элементов метчиков одного и того же номинального диаметра с мелким и крупным шагом одинаковы. Различие состоит в уменьшенной длине заборной части (тем меньшей, чем меньше шаг резьбы) и уменьшенной длине калибрующей части метчика с мелким шагом. В связи с этим общую длину метчика с мелким шагом также уменьшают (в некоторых случаях по технологическим соображениям оставляют неизменной).

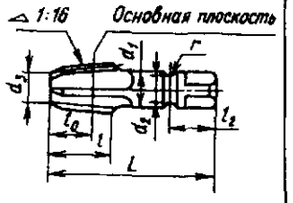
Конические метчики (табл. 150) применяют для нарезания конической дюймовой резьбы с углом профиля 60° и трубной конической резьбы на сверлильных и резьбонарезных станках с использованием специальных патронов, позволяющих регулировать величину передаваемого крутящего момента.

Допуски на резьбу метчиков предусмотрены стандартом на пять элементов – шаг резьбы, половину угла профиля, наружный, средний и внутренний диаметры. Величина допусков должна соответствовать требованиям ГОСТ 16925-93 (ИСО 2857-73) для метрической, ГОСТ 19090-93 (ИСО 5969-79) для трубной, ГОСТ 7250-60 для дюймовой резьб.

Передача крутящего момента осуществляется с помощью лысок или квадратов с размерами по ГОСТ 9523-84.

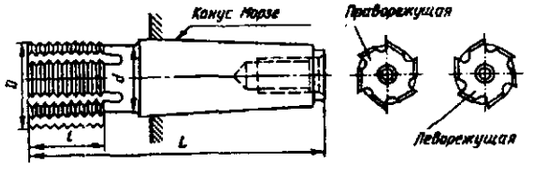
Ручные метчики всех размеров и машинные для нарезания резьб диаметром 0,25 – 0,9 мм изготовляют из стали У11А, У12А.

150. Основные размеры, мм, метчиков для конической резьбы



Резьба, дюймы	ГОСТ 6111-52						ГОСТ 621 1 - 81						r
	L	l	l_0	l_1	d_1	d_2	L	l	l_0	l_2	d_1	d_2	
1/16	50	16	10	15	6,3	5,5	52	14	10,1	13	5,6	5	4,5
1/8	55	18	11	16	11,2	10	59	15	10	16	8,0	7	
1/4	65	24	15	22	14	12	67	19	15	18	10	9	
3/8	75	26	16	22	14	12	75	21	15,4	20	12,5	11	
1/2	85	30	21	26	18	16	87	26	20,5	24	16	14	6
3/4	95	32	21	32	22,4	20	96	28	21,8	28	20	18	
1	110	40	26	36	28	25	109	33	26	34	25	22	
1¼	120	42	27	40	31,5	29	119	36	28,3	40	31,5	29	
1½	140	42	27	45	35,5	33	125	37	28,3	45	35,5	33	
2	140	45	28	52	45	42	140	41	32,7	48	40	37	

151. Основные размеры, мм, гребенчатых резьбовых фрез с коническим хвостовиком



D	L	$l_{ном}$	l при шаге P												d	Конус Морзе
			0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3		
10	92	10	10	10,2	9,8	9,75	9,6	10	10	9	–	–	–	–	10	2
	98	16	16	16,2	16,1	15,75	16	16	16,25	16,5						
12	94	12	12	12	11,9	12	12	12	12,5	12	12,25				12	
	102	20	20	19,8	20,3	20,25	20	20	20	19,5	19,25					
16	98	16	16,0	16,2	16,1	15,75	16	16	16,25	16,5	15,75	16			16	
	107	25	25,0	25,2	25,2	24,75	24,8	25	25	25,5	24,5	24				
20	102	20	–	–	–	20,25	20	20	20	19,5	19,25	20	20	21		
	114	32				32,25	32	32	32,5	31,5	31,5	32,0	32,5	30		

Продолжение табл. 151

D	L	$l_{ном}$	l при шаге P												d	Конус Морзе
			0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3		
25	127	25	–	–	–	–	–	25	25	25,5	24,5	24	25	24	20	3
	142	40						40	40	40,5	40,25	40	40	39	20	
32	134	32						32	32,5	31,5	31,5	32	32,5	30	22	
	152	50						50	50	49,5	49	50	50	48		

Машинно-ручные и конические метчики диаметром 12 мм и более, а гаечные 10 мм и более изготовляют сварными. Рабочую часть изготовляют из быстрорежущей стали (марка стали Р6М5 как наиболее распространенная не маркируется). Применение стали Р9Ф5 увеличивает стойкость по сравнению с Р18 или Р6М5 в 1,5 – 2 раза, но при этом требуется заточка и шлифование резьбового профиля эльборовыми кругами. Хвостовики изготовляют из стали 45 или 40Х (для гаечных метчиков с изогнутым хвостовиком – из стали марки У7).

Гребенчатые резьбовые фрезы с кольцевым расположением зубьев применяют на резьбо-фрезерных станках для нарезания коротких наружных и внутренних резьб.

Нарезание резьбы полного профиля на всей требующейся длине производится за 1 – 1¼ оборота заготовки, что наряду с отсутствием обратных ходов обеспечивает увеличение производительности в несколько раз по сравнению с обычным нарезанием резьбы резцами. Фрезы изготовляют из быстрорежущей стали Р6М5 право- и леворежущими с коническим хвостовиком (табл. 151) и насадными (табл. 152).

Дисковые резьбовые фрезы (табл. 153) применяют на специальных резьбофрезерных станках для предварительного нарезания трапецеидальных наружных резьб с крупным шагом (св. 4 мм). В зависимости от профиля нарезаемой резьбы фрезы могут иметь симметричный или несимметричный профили. После фрезерования окончательную обработку резьбы выполняют резцом или профильным шлифовальным кругом.

Вихревые головки (рис. 34) применяют на специально приспособленных токарных станках для нарезания одно- и многозаходных винтов и червяков в условиях крупносерийного и массового производства. Диаметр нарезаемой резьбы 20 – 200 мм, в редких случаях до 1000 мм. Шаг нарезаемой резьбы 4 мм и более. Головка эксцентрично расположена относительно нарезаемой заготовки и оснащена резцами с пластинками из твердого сплава (от 1 до 12). Скорость резания при нарезании 100 – 450 м/мин, классы точности нарезаемых резьбовых элементов – грубый и средний.

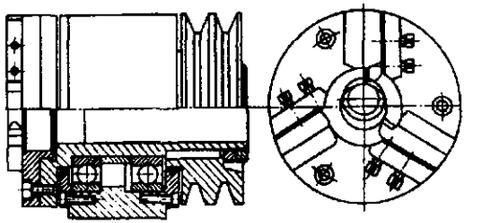


Рис. 34. Вихревая головка для нарезания наружной резьбы

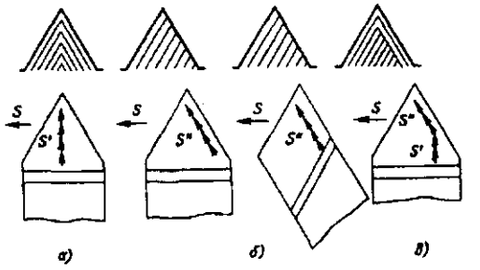
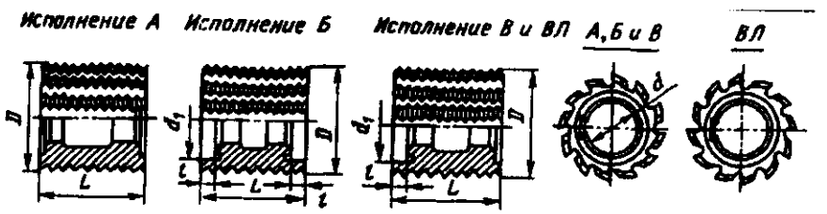


Рис. 35. Схемы резания при резьбонарезании: S – осевая подача; *S'* – радиальная (поперечная) подача; *S''* – подача под углом (в направлении образующей профиля резьбы)

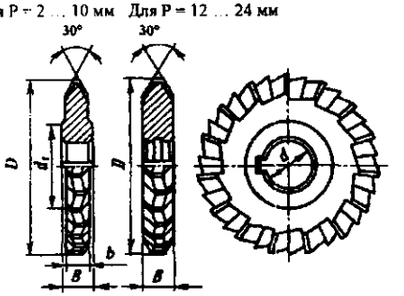
152. Основные размеры, мм, насадных гребенчатых резьбовых фрез



D	$L_{ном}$	L при шаге													d	d_1	l
		1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0			
32	16	16	15	15	–	–				–	–				13	16	
	20	20	19,5	19,5													
	25	25	24	24								–	–	–			4
36	20	20	20	19,5	19,25	20									16	22	
	25	25	25	24	24,5	24											
	32	32	31,25	31,5	31,5	32	30	30									
40	32	32	32,5	31,5	31,5	32	32,5	30									5
	40	40	40	40,5	40,25	40	40	39									
50	32	–	–	31,5	31,5	32	30	30	31,5	32					22	30	6
	40			40,5	40,25	40	40	39	38,5	40							
	50			49,5	49	50	50	48	49	48							
63	40			40,5	40,25	40	40	39	38,5	40	40,5	40			32	42	10
	50			49,5	49	50	50	48	49	48	49,5	50					
	63			63	63	62	62,5	63	63	60	63	60					
80	50			49,5	49	50	50	48	49	48	49,5	50			40	52	
	63			63	63	62	62,5	63	63	60	63	60					
	80			79,5	78,75	80	80	78	77	80	76,5	80					
100	63			–		62	62,5	63	63	60	63	60	60,5	60	50	–	–
	80				–	80	80	78	77	80	76,5	80	77	78			
	100					100	100	99	98	100	99	100	99	96			

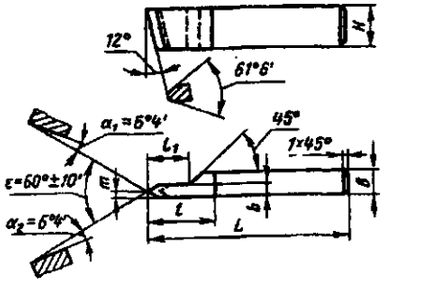
153. Дисковые резьбовые фрезы для трапецеидальной резьбы

Размеры, мм



Шаг резьбы P	D	b	B	d	d_1	Глубина (фрезерования
2	80	3	5	–	–	1,25
3		3	5			1,75
4		4	6			2,25
5		5	8	22	40	3,0
6		6				3,5
8		8	10			4,5
10		10	12			5,5
12						
16	100	–				6,5
20			14	27	–	9,0
24			16			11,0
			18			13,0

154. Размеры, мм, резьбовых резцов для нарезания наружной метрической резьбы



Наибольший шаг резьбы	B	H	L	l	l_1	b	m
2	10	16	125	25	15	6	1,5
3	12	20		30	20	8	2
4	16	25	150	35	25	10	2,5

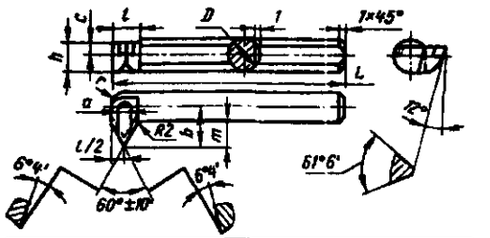
Резьбовые резцы применяют для нарезания наружной и внутренней резьб по профильной (рис. 35, *а*), генераторной (рис. 35, *б*) и смешанной профильно-генераторной (рис. 35, *в*) схемам резания. Трапецеидальные резьбы нарезают преимущественно по профильной схеме резания, которая менее производительна, чем генераторная, но позволяет получать меньшую шероховатость поверхности резьбы.

Смешанная схема резания по производительности занимает промежуточное положение между профильной и генераторной при получении хорошего качества поверхности.

Резьбовые резцы разделяют на плоские (стержневые) (табл. 154 и 155), призматические (типа призматических фасонных резцов) и круглые (типа круглых фасонных резцов).

Геометрические параметры резьбонарезных инструментов. Угол обратного конуса φ' на метчиках делают для предотвращения защемления метчика в нарезаемой резьбе. Для образования угла φ' наружный, средний и внутренний диаметры резьбы метчика уменьшают по направлению к хвостовой части из расчета на 100 мм длины:

155. Размеры, мм, резьбовых резцов для нарезания внутренней метрической резьбы



D	L	l	b	h	m
8	140	20	5	6,5	4
10	150		6	8	
12					5
15	220	25	–	10	8
20	250	30	9	15	12
			14		
25	280	35	18	20	15
30	300			25	

а) у ручных и машинных метчиков: для резьбы с шагом P = 0,2 … 1 мм
на 0,1 мм;
то же P = 1,25 … 2,5 мм
на 0,08мм;
» P = 3 … 5 мм
на 0,05 мм;

б) у гаечных и автоматных метчиков: для резьбы с шагом P = 0,2 … 1 мм;
на 0,15 мм;
то же P = 1,25 … 2,5 мм
на 0,12 мм;
» P = 3 … 5 мм на 0,1 мм.

При нарезании резьбы в легких сплавах величина уменьшения диаметров составляет 0,2 – 0,3 мм на 100 мм длины.

При нарезании резьбы гребенками различного типа необходимо устанавливать гребенки так, чтобы образовался угол $\varphi' = 0°30' \ldots 1°$.

Угол наклона режущей кромки λ затачивают на длине заборной части l_1 у метчиков, плашек и гребенок для направления стружки вперед по движению инструмента. Исключение составляют инструменты, предназначенные для нарезания резьбы в глубоких и глухих отверстиях. Величины задних и передних углов приведены в табл. 156, 157.

У бесканавочных метчиков угол $\lambda = 9 \ldots 12°$; у круглых плашек и гребенок для резьбонарезных головок $\lambda = 1 \ldots 2°$. Для выхода срезаемой стружки из зоны резания на метчиках изготовляют винтовые зубья с углом подъема стружечных канавок до ±30°. Знак угла подъема зависит от необходимости вывода срезаемой стружки в направлении осевого движения метчика или в противоположном направлении.

156. Задние углы α резьбонарезных инструментов

Инструмент	Задний угол α
Гаечные и машинные метчики	10 – 12
Ручные метчики	6 – 8
Метчики для легких сплавов:	
в сквозных отверстиях	5 – 8
в глухих	3 – 4
Круглые плашки	10 – 12
Тангенциальные гребенки	8 – 10
Дисковые фрезы	5 – 8
Гребенчатые фрезы	8 – 10

157. Передние углы γ° резьбонарезных инструментов

Обрабатываемый материал	Метчики	Круглые плашки	Круглые гребенки	Тангенциальные гребенки
Мягкая сталь	12-10	20-25	25	
Сталь средней твердости	8-10	15-20		
Твердая сталь	5	10-12	20	
Чугун и бронза	0-5		10	
Латунь	10	20	25	
Легкие сплавы	16-25	25	25	30
Автоматная сталь	10		25	
Легированная сталь			25	20
Инструментальная сталь	5	12	15	
Ковкий чугун	8	20	20	

РЕЗЬБОНАКАТНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Накатывание резьбы применяется для металлов с $\sigma_в \le 850$ МПа и твердостью до 37HRC.

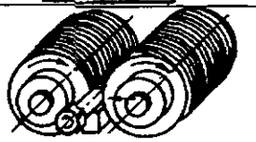
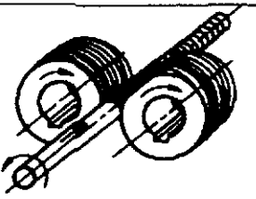
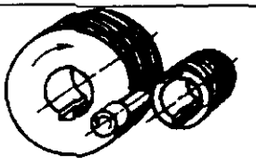
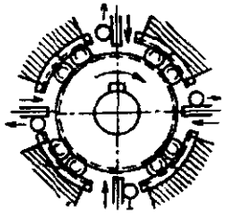
Инструменты для накатывания наружных резьб

Основные способы накатывания резьб, используемые в машиностроении, и области их применения приведены в табл. 158.

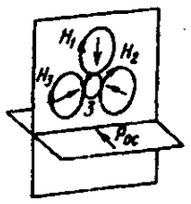
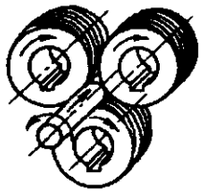
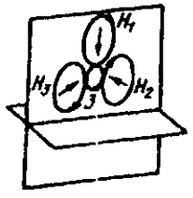
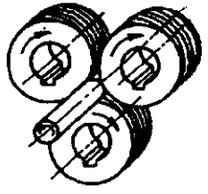
Накатывание плоскими плашками осуществляют на резьбонакатных станках и резьбонакатных автоматах. Плашки работают в комплекте из двух штук: одна плашка неподвижна, а другая совершает возвратно-поступательное движение. Направление угла подъема резьбовых гребней на плашках противоположно направлению накатываемой ими резьбы.

Размеры плашек для накатывания метрических резьб диаметром от 1,6 до 27 мм регламентированы ГОСТ 2248 - 80 (табл. 159). Размеры плашек для накатывания резьб диаметром менее 1,6 и более 27 мм зависят от типа

158. Способы накатывания наружной резьбы и области их применения

Способ накатывания	Эскиз	Область применения
Плоскими плашками		Крепежные резьбы диаметром до 35 мм. Резьба на шурупах для дерева и самонарезающих шурупах для металла
Роликами с радиальной подачей роликов на накатываемую деталь		Метрические резьбы повышенной точности диаметром от 2 до 100 мм
Роликами с осевой подачей накатываемой детали		Метрические и трапецеидальные резьбы обычной точности при любой длине накатываемой детали
Роликами с тангенциальной подачей накатываемой детали		Крепежные резьбы диаметром от 1 до 10 мм
Вращающимся роликом и неподвижными сегментами		Крепежные резьбы диаметром до 10 мм

Продолжение табл. 158

Способ накатывания	Эскиз	Область применения
Тремя роликами с осевой подачей накатываемой детали 		Крепежные резьбы диаметром от 4 до 33 мм (используются в резьбонакатных нераскрывающихся головках – плашках)
Тремя роликами с радиальной подачей роликов 		Крепежные резьбы диаметром от 2 до 52 мм (используются в резьбонакатных раскрывающихся головках)

Обозначения: H_1, H_2, H_3 – накатной инструмент; 3 – заготовка; $P_{ос}$ – усилие осевой подачи заготовки; $P_т$ – усилие тангенциальной подачи.

159. Размеры, мм резьбонакатных плашек (по ГОСТ 2248-80 в ред. 1991 г.) (см. рис. 36)

Диаметры накатываемых резьб	B	H	Длина плашки	
			подвижной L	неподвижной L_1
1,6; 1,8; 2	16; 25	25	60	55
2; 2,2; 2,5; 3,0; 3,5	16; 25; 32		60; 85	55; 78
4; 4,5; 5; 5.5	25; 32; 40		85; 125	78; 110
6; 7	25; 32; 40	25; 32	125; 170	110; 150
8; 9; 10	32; 40; 50	32; 40	170; 220	150; 200
10; 11; 12	50; 63; 80	40; 45	220; 250	200; 230
14; 15; 16; 17; 18	40; 50; 63; 80	45; 50	250; 310	230; 285
18; 20; 22; 24; 25; 26; 27	50; 63; 80; 100	50	310; 400	285; 375

Примечания: 1. Предельные отклонения длины L высоты H и ширины B плашек – h 14.

2. Разность между размерами B подвижной и неподвижной плашек, входящих в комплект, не должна превышать допуска $IT8$.

3. Предельные отклонения шага между любыми двумя нитками ±0,03 на длине 25 мм.

4. Предельное отклонение направления нитки от теоретического на длине 100 мм не должно превышать ±0,03 мм.

5. Допускаемое отклонение от параллельности между плоскостью, проходящей через вершины резьбы, и опорной поверхностью на всей ширине плашки не должно превышать 0,02 мм; на длине до 170 мм – 0,03 мм, на длине св. 170 до 250 мм – 0,05 мм, на длине св. 250 до 400 мм – 0.07 мм.

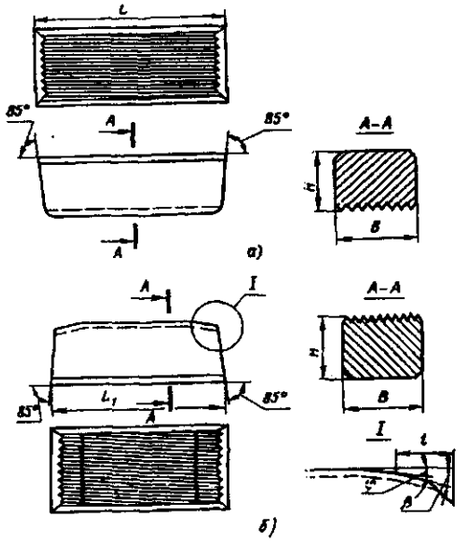


Рис. 36. Резьбонакатные плашки

станка и определяются в каждом конкретном случае.

Резьбонакатные плоские плашки при накатывании резьб на изделиях с $\sigma_в \le 600$ МПа изготовляют из сталей Х12М, Х6ВФ, Х12Ф1 (допускается марку Х12М не маркировать). При накатывании резьб на изделиях с $\sigma_в \le 850$ МПа плашки изготовляют из стали 6Х6В3МФС. Твердость резьбонакатных плашек 57 – 60 HRC.

Плоские резьбонакатные плашки обеспечивают получение на изделии резьбы 6-й степени точности по ГОСТ 16093-81.

Основным элементом, определяющим процесс формирования резьбы при накатывании плашками, является заборная часть.

На подвижной плашке (рис. 36, *а*) для резьб с шагом до 1 мм нитки по всей длине фрезеруют параллельно основанию; для резьб с шагом 1,25 мм и более заборную часть шлифуют поверху под углом $\varphi = 0°7' \dots 0°21'$.

На неподвижной плашке (рис. 36, *б*) нитки на заборной части фрезеруют по всему профилю под углами $\beta = 3°$ и $\varphi = 0°$ для резьб с шагом $P \le 1{,}0$ мм и под углами $\beta = 5°$ и $\varphi = 0°7 \dots 0°22'$ для резьбы с шагом св. 1,0 мм.

С целью лучшего захвата заготовок на заборной части плашек l, начиная с шага резьбы 1,25 мм, делают поперечные канавки с шагом 3 – 4 мм и глубиной 0,3 – 0,4 мм.

Для указанного диапазона резьб длина подвижной плашки 125 – 400 мм, неподвижной 110 – 375 мм. Предусмотрено для каждого комплекта 3 – 4 варианта по ширине плашек в диапазоне размеров: 25; 32; 40; 50; 63; 80 и 100 мм.

Профиль резьбы плашек выполняется аналогично профилю резьбонакатных роликов. Накатывание производится с обильным охлаждением сульфофрезолом или другой масляной СОТС. Критерием затупления комплекта плашек является потеря точности накатываемой резьбы и наличие на резьбе дефектов, не допускаемых ГОСТ 1759.2-82.

Стойкость (табл. 160) плашек определяется средней и установленной безотказной наработкой, измеряемой количеством обработанных изделий до отказа плашки. Контроль средней наработки – один раз в три года, установленной безотказной – один раз в год. Средняя и установленная наработка плашек регламентирована по ГОСТ 2248-80 при твердости заготовок 163 ...187 НВ.

160. Стойкость резьбонакатных плашек

Диаметр накатываемой резьбы, мм	Наработка, тыс. шт.	
	средняя до отказа	установленная безотказная
До 5	87	43
Св. 5 до 7	78	39
Св. 7 до 12	70	35
Св. 12 до 16	50	28
Св. 16	39	19

Резьбонакатные ролики с радиальной подачей применяют для метрических резьб диаметром от 3 до 68 мм и шагом от 0,5 до 6 мм. Накатывание производят на резьбонакатных станках комплектами резьбонакатных роликов, состоящих из двух штук. Оси роликов параллельны оси накатываемой заготовки, которая свободно вращается и перемещается в ради-

альном направлении одним из роликов. Резьба роликов: для правых резьб – левая многозаходная, для левых резьб – правая многозаходная. Число заходов колеблется от 2 до 52: большее число заходов соответствует меньшим диаметрам резьб и меньшим шагам.

Размеры роликов и допускаемые отклонения элементов профиля регламентированы ГОСТ9539-72 в ред. 1991 г. (рис.37, табл. 161).

Для увеличения стойкости роликов, количества его перешлифовок и улучшения процесса накатывания наружный диаметр роликов выбирается максимальным, исходя из возможностей рабочего пространства станка.

Наружный диаметр роликов $D_{нар}$ = = 80 – 207 мм, диаметр посадочного отверстия d = 45 мм при $D_{нар} \le 104$; 54 или 63 мм при $104 < D_{нар} \le 196$ мм, 80 или 100 мм при $D_{нар} > 196$ мм. Для каждого диаметра и шага предусмотрено 4 исполнения роликов по ширине B, которая назначается из ряда: 25; 32; 40; 50; 63; 80, 100 и 125 мм.

Расчетный средний диаметр ролика

$$D_{ср} = d_2 n,$$

где d_2 – средний диаметр накатываемой резьбы; n – число заходов резьбы ролика.

Для увеличения ресурса работы ролика при эксплуатации производится несколько *перешлифовок по профилю его резьбы*. Запас на перешлифовки $m = (0{,}017...0{,}018)D_{ср}$. Фактические значения среднего диаметра будут: нового ролика $D_{ср.нов} = D_{ср} + m$; предельно изношенного $D_{ср.изн} = D_{ср} - m$.

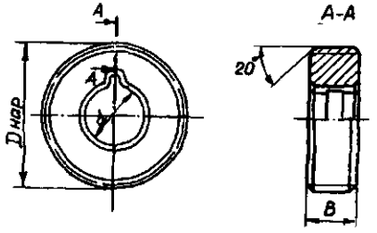


Рис. 37. Резьбонакатной ролик

161. Предельные отклонения параметров и размеров (мм) роликов по ГОСТ 9359-72 в ред. 1991 г.

Параметры	Предельные отклонения для роликов класса точности		
	1	2	3
Шаг между двумя любыми нитками на длине 25 мм для P, мм:			
до 1,5	±0,015	±0,025	±0,025
св. 1,5	±0,020	±0,030	±0,030
Наружный диаметр	±0,500	±0,500	±0,500
Конусность по среднему диаметру для B, мм:			
до 50	0,015	0,030	0,030
св. 50	0,020	0,030	0,100
Допуск биения среднего и наружного диаметров резьбы относительно отверстия	0,030	0,080	0,150
Допуск биения торцов относительно оси отверстия на диаметре 100 мм	0,020	0,030	0,120
Разность наружных диаметров двух роликов в комплекте	0,040	0,150	0,200
Разность средних диаметров двух роликов в комплекте	0,040	0,150	0,200
Половина угла профиля резьбы для P, мм:			
0,5; 0,6	±40'	±55'	±55'
0,7; 0,75; 0,8	±35'	±50'	±50'
1,0	±30'	±45'	±45'
1,25; 1,5; 1,75	±25'	±40'	±40'
2,0; 2,5	±20'	±30'	±30'
3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 6,0	±15'	±30'	±30'

Шероховатость поверхностей роликов, мкм: посадочного отверстия $Ra0{,}8$; торцов $Ra1{,}6$; профиля резьбы класса точности 1 – $Rz3{,}2$; класса точности 2 – $Rz6{,}3$; класса точности 3 – $Rz10$.

По ГОСТ 9539-72 предусмотрено изготовление роликов трех классов точности. Ролики класса точности 1 должны обеспечить получение на изделии резьбы не ниже 4-й, класса точности 2 – не ниже 6-й и класса точности 3 – 8-й степени точности по ГОСТ 16093-81.

Накатывание осуществляется с обильным масляным охлаждением. Скорость накатывания зависит от материала изделия: для латуни – 100 ... 120, мягкой стали – 80 ... 100, стали средней твердости – 40 ... 60, твердой стали – 15 ... 20, титановых сплавов – 12 ... 14 м/мин. Радиальная подача ролика назначается в зависимости от шага резьбы и материала изделия. Стойкость роликов для рекомендованных режимов приведена в табл. 162.

162. Стойкость резьбонакатных роликов

Диаметр накатываемой резьбы, мм	Наработка, тыс. шт.	
	средняя до отказа	установленная безотказная
3	32	19
Св. 3 до 6		
Св. 6 до 12	25	15
Св. 12 до 20	17	10
Св. 20 до 27	12	7
Св. 27	8	5

При накатывании резьбы диаметром менее 3 мм применяют специальные накладные головки к резьбонакатным станкам.

Резьбонакатные тангенциальные головки применяют для получения крепежных резьб на винтах или шпильках, обрабатываемых на станках токарной группы (чаще всего на токарных автоматах и полуавтоматах). Накатная головка (рис. 38) имеет два ролика с параллельным расположением осей, вращение которых осуществляется под действием принудительно вращающейся заготовки. Вершины ниток одного ролика должны располагаться точно против впадин другого.

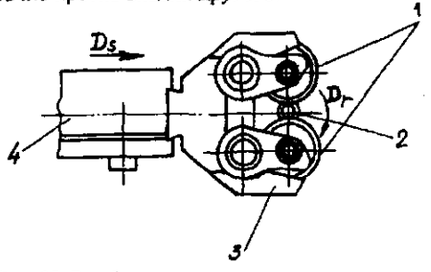


Рис. 38. Резьбонакатная двухроликовая тангенциальная головка: *1* – накатные ролики; *2* – заготовка; *3* – корпус головки; *4* – державка

Головка совершает радиальную подачу, ролики перемещаются касательно к обрабатываемой поверхности. Окончание накатывания произойдет, когда оси роликов и заготовки окажутся в одной плоскости. Длина накатываемой резьбы не превышает ширины роликов. Накатные ролики имеют многозаходную резьбу с направлением, противоположным резьбе детали.

Синхронизация вращения роликов и детали обеспечивается двумя способами: 1) жесткая дополнительными конструктивными элементами; 2) независимое вращение роликов друг от друга, кинематическая связь между ними устанавливается непосредственно при работе за счет осевой самоустановки одного из них. Инструменты с жесткой синхронизацией сложнее, но более надежны в эксплуатации. В инструментах второго типа иногда может происходить неправильная ориентация резьб роликов, что является причиной брака. Промышленность выпускает тангенциальные головки типа ТНГС, ТРГ и ТРГВ.

Головки типа ТНГС имеют микрорегулирование конусности обрабатываемой резьбы и обеспечивают точность обработки не ниже 6-й степени точности. Головки типа ТРГ имеют

повышенную жесткость и рассчитаны на обработку резьб диаметром 2 ... 28 мм с точностью не ниже 4-й степени. Головка ТРГВ разработана для станков с небольшим рабочим пространством, например, токарных многошпиндельных или револьверных автоматов мод. 1112, 1118. Она позволяет получать резьбы диаметром 1,2 ... 12 мм длиной до 15 мм.

Резьбонакатные нераскрывающиеся плашки применяют для накатывания цилиндрических резьб большой длины на универсальных токарных и сверлильных станках, станках-автоматах и резьбонакатных станках (иногда для ручных работ). Плашка (рис. 39) состоит из корпуса *1*, в котором на осях установлено *n* роликов *2* с наклоном под углом, равным углу подъема резьбы детали. Ролики имеют кольцевые нитки со смещением на $1/n$ часть шага в каждом из них. Недостаток конструкции – необходимость обратного свинчивания плашки. Точность накатываемой резьбы – не ниже 6-й степени. За счет эксцентричности осей роликов обеспечивается регулирование среднего диаметра.

Промышленность выпускает два типа резьбонакатных плашек: НП и НТП. Плашки типа НП предназначены для накатывания метрических резьб.

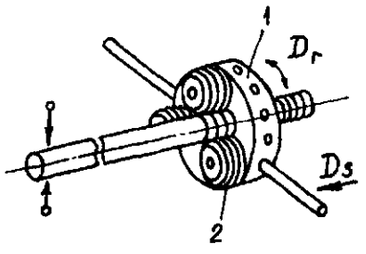


Рис. 39. Резьбонакатная плашка: *1* – корпус; *2* – ролик

163. Размеры резьб, накатываемых плашками НТП

Тип плашки	Размеры, мм, накатываемых резьб и заготовок				Диаметр корпуса плашки, мм	Ширина плашки, мм	Число роликов
	Диаметр	Число ниток на дюйм	Диаметр под накатывание	Толщина стенки трубы			
НТП-1/2 -3/4	½", ¾"	14	20,8±0,4 26,8±0,4	2,2 2,3	90	60	4
НТП-1	1"	11	32,9±0,4	2,8	85	60	6
НТП-1¼	1¼"		41,8±0,4	2,8			
НТП-1½	1½"	11	47,7±0,4	2,8	105	60	6
НТП-2	2"	11	59,8±0,8	3,0	120	60	8

Плашки типа НТП используют для накатывания трубных резьб на тонкостенных трубах (табл. 163).

Конструкция плашек обеспечивает регулирование среднего диаметра накатываемой резьбы за счет эксцентричности осей роликов. Ролики имеют кольцевую нарезку и расположены в корпусе под соответствующим углом.

Резьбонакатные самораскрывающиеся головки (рис. 40) применяют на токарно-винторезных, сверлильных, болторезных станках и токарных автоматах.

Наибольшее распространение получили серийно выпускаемые раскрывающиеся резьбонакатные головки осевого типа модели ВНГН (вращающиеся) для накатывания наружных остроугольных резьб и резьбонакатные головки модели ВНГН-трап для накатывания наружных трапецеидальных резьб.

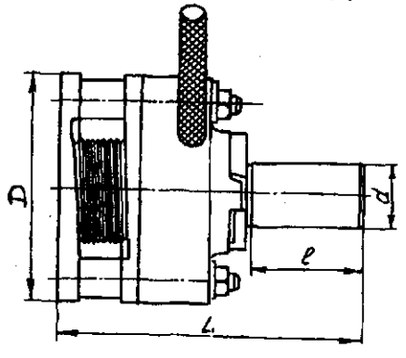


Рис. 40. Резьбонакатная самораскрывающаяся головка

Помимо этих головок применяют резьбонакатные невращающиеся головки типа НГН, а также головки других конструкций, предназначенные для накатывания одно- и многозаходных правых и левых резьб на сплошных и полых заготовках.

Головки работают по принципу самозатягивания, т.е. поступательное движение головки обеспечивается сцеплением резьбы роликов с резьбой изделия. Принудительную подачу рекомендуется применять только до момента захвата заготовки роликами. Резьба роликов кольцевая.

Резьбонакатные ролики имеют заборную и калибрующую части. Комплект роликов данного шага резьбы накатывает резьбу любого диаметра в пределах диапазона диаметров данной головки. Ролики в комплекте отличаются порядковым номером, определяющим величину смещения резьбы от торца ролика, которая изменяется у каждого последующего ролика на величину, равную шагу резьбы, деленному на число роликов в комплекте. Это смещение необходимо для образования непрерывной винтовой линии на накатываемой детали.

Для накатывания левой резьбы необходимо иметь специальные корпуса головок.

Нераскрывающиеся нерегулируемые головки отличаются от регулируемых отсутствием ряда деталей, обеспечивающих регулирование положения роликов, т.е. более простой конструкцией.

Для обеспечения продольной подачи головки вдоль оси детали и предотвращения искажения профиля накатываемой резьбы оси роликов повернуты относительны оси детали на угол β, приблизительно равный углу подъема резьбы.

$$\beta \approx \omega = \operatorname{arctg}\frac{P}{\pi d_2},$$

где P – шаг резьбы, мм; d_2 – средний диаметр резьбы, мм. В зависимости от диаметра, шага и вида резьбы выбирают типоразмер головки (табл. 164).

164. Типы и основные размеры резьбонакатных головок типа ВНГН

Тип головки	Размеры накатываемых резьб, мм		Габариты головки, мм	
	Диаметр	Шаг	*D*	*h*
ВНГН – 2	43 – 7	0,7 – 1	57	120
ВНГН – 3; ВНГН – 3М лев.	8 – 16	0,75 – 2	90	185
ВНГН – 4; ВНГН – 4М лев.	16 – 27	1 – 3	145	250
ВНГН – 5А; ВНГН – 5АМ; ВНГН – 5А лев.; ВНГН – 5АМ лев,	30 – 52	1,5 – 3	200	350
ВНГН – 5Б; ВНГН – 5БМ; ВНГН – 5Б лев.; ВНГН – 5БМ лев.		3,5 – 5		
ВНГН – Трап. 1; ВНГН – Трап. 1М; ВНГН – Трап. 1 лев.; ВНГН – Трап. 1М лев.	22 – 24	5	230	
ВНГН – Трап.2; ВНГН – Трап.2М: ВНГН – Трап.2 лев.; ВНГН – Трап.2М лев.	26 – 34	5 – 6		
ВНГН – Трап. 3; ВНГН – Трап. 3М; ВНГН – Трап. 3 лев.; ВНГН – Трап. 3М лев.	36 – 42	6		
ВНГН – Трап. 4М; ВНГН – Трап. 4М лев.	16 – 20	4	160	275
ВНГН – КР	12 – 14	2,54; 3,175	130	248

К каждой головке прилагается несколько комплектов роликов с кольцевой нарезкой. Комплект роликов данного шага накатывает резьбу любого диаметра в пределах диапазона диаметров данной головки. Ролики в комплекте отличаются порядковым номером, определяющим величину осевого смещения нарезки от торца ролика, которое равно шагу резьбы, деленному на число роликов в комплекте.

Серия конструкций раскрывающихся резьбонакатных головок типа РНГТ предусматривает большее раскрытие и размещение большего числа роликов (РНГТ-1, РНГТ-2, РНГТ-3 и РНГТ-4). Они применяются для накатывания резьб на трубах и других полых тонкостенных деталях. Существует конструкция малогабаритной головки РНГТМ для накатывания резьб диаметром 3-50 мм и шагом до 2 мм.

Резьбонакатные невращающиеся головки типа НГН (табл. 165) предназначены для накатывания конической и метрической резьб на токарных и токарно-револьверных станках.

165. Типы и основные размеры резьбонакатных головок типа НГН

Тип головки	Диаметр накатываемой резьбы			Наибольший шаг резьбы, мм	Размеры головок, мм			
	Метрической, мм	Трубной конической, дюймы	Конической дюймовой, дюймы		D	L	l	d
НГН-2	4 – 6	–	–	1	52	95	40	20
НГН-3	8 – 16	1/8 – 3/8	1/8 – 3/8	2	90	118	43	30
НГН-4	16 – 27	1/2 – 3/4	1/2 – ¾	3	145	168	67	45

Инструменты для накатывания внутренних резьб

Накатывание внутренних резьб выполняется в глухих и сквозных отверстиях в гайках, корпусных и тонкостенных деталях. Так как прочность и жесткость инструмента ниже, чем при наружном накатывании, пластичность обрабатываемого материала должна быть выше, а прочность меньше.

Накатывание внутренних резьб диаметром от 1 до 36 мм осуществляется бесстружечными метчиками, а большего диаметра – накатными головками. Резьбы диаметром 100 мм и более вначале нарезают резцом или фрезой и в подготовленное таким образом отверстие ввинчивают головку для накатывания резьбы.

Для крупных резьб применяют резьбонакатные нераскрывающиеся головки с вращающимися роликами. Сложность обработки внутренних резьб требует более тщательного подбора отверстия под резьбу.

Метчики бесстружечные (раскатники) применяют для получения резьб диаметром от 1 до 36 мм и шагом до 2,5 мм в материалах повышенной пластичности (стали и сплавы с $\sigma_в < 500$ МПа, алюминиевые сплавы, латунь и другие). Их применение в сравнении с режущими метчиками обеспечивает: стабильное получение высокой точности резьбы за один проход метчика; увеличение производительности до двух раз; шероховатость по боковым сторонам профиля $Ra0{,}5$ и упрочнение поверхностного слоя в 1,6 ... 1,8 раз; повышение прочности резьбы на срез до 1,5 раз.

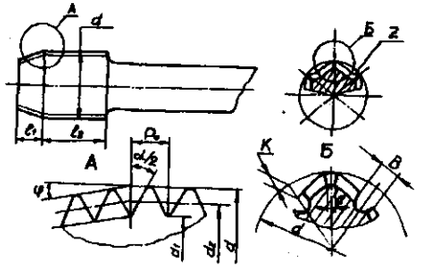


Рис. 41. Метчик бесстружечный

Бесстружечный метчик (рис. 41) представляет собой скругленный l затылованный многогранный стержень с конической полнопрофильной резьбой на заборной части l_1 и цилиндрической на калибрующей части l_2.

Число деформирующих выступов z назначается в зависимости от диаметра метчика: до 6 мм $z = 3$ или 4; свыше 6 до 14 мм – 4 или 6; от 15 до 30 мм – 6 и свыше 30 мм – 8 или 9.

Угол наклона резьбы заборного конуса φ для гаечных метчиков 1°30', для машинных от 1 до 12° в зависимости от вида резьбового отверстия (глухое или сквозное) и свойств обрабатываемого материала.

Затылование выполняется симметрично на рабочей и затылочной части вершин с помощью специальных архимедовых или эксцентриковых кулачков. Величина затылования K назначается из условия обеспечения угла спада затыловочной кривой на вершине в пределах 6 ... 7°.

Для предотвращения образования мелкой стружки на вершинах граней необходимо выполнять скругление, ширина которого $c = 0{,}05$ ... 0,15 мм зависит от диаметра метчика. Для свободного доступа СОТС в зону деформации на впадинах граней метчиков диаметром более 7 мм смазочные канавки шириной 2,5 ... 6 мм. Для создания запаса на износ вершин деформирующих витков максимальный наружный диаметр метчика d определяется по зависимости

$$d \approx D + 0{,}12P,$$

где D – номинальный наружный диаметр; P – шаг резьбы. Средний диаметр d_2 определяется в зависимости от степени точности резьбы.

При обработке бесстружечными метчиками практически отсутствует разбивка резьбы и наблюдается некоторая усадка (уменьшение диаметральных размеров резьбы), поэтому средний диаметр метчиков назначается ближе к максимальному среднему диаметру резьбы.

ГОСТ 18842-73 устанавливает 4 класса точности для метрических резьб с посадками скольжения и два класса точности для резьб с зазорами. Класс точности метчика рекомендуется выбирать в зависимости от степени точности обрабатываемой резьбы:

Степень точности резьбы	4H5H	5H6H	6H	6H и 7H	6G	6G и 7G
Класс точности метчика	1	2	3	4	G1	G2

Внутренний диаметр d_1 ограничивается жестким допуском. Это обеспечивает формирование резьбы по принципу замкнутого контура с исключением складки на вершинах. Однако при обработке резьб в сталях, а также для невысокой точности резьб (степени 7H, 7G) целесообразно ограничивать только максимальный внутренний диаметр (как для режущих метчиков) по зависимости

$$d_{1max} \le D_1,$$

где D_1 – номинальный диаметр обрабатываемой резьбы.

Отклонение шага резьбы P и половины угла профиля $\alpha/2$ для 1, 2 и 3 классов точности метчиков назначаются одинаковыми. Метчики 4 класса точности и класса G2 имеют увеличенные отклонения этих параметров.

Все бесстружечные метчики изготовляют только со шлифованным профилем, профиль резьбы метчика после резьбошлифования необходимо полировать до шероховатости $Ra0{,}32$.

Рабочую часть метчиков изготовляют из быстрорежущей стали (лучшие результаты получены при использовании стали Р18), хвостовик – из стали 45 или 40Х, гаечных метчиков с изогнутым хвостовиком – из стали У7. Твердость рабочей части 62 ... 64 HRC – для метчиков диаметром до 6 мм; 63 ... 66 HRC – для метчиков диаметром свыше 6 мм.

При обработке резьб в коррозионностойких, теплостойких сталях и сплавах, титановых сплавах целесообразно применять твердые сплавы марок ВК10М, ВК15, ВК20 в виде круглых стержней, а при диаметре метчика свыше 30 мм – в виде напайных пластин. Такие материалы обеспечивают более высокую стойкость метчиков и меньшую склонность к образованию нароста на деформирующих вершинах.

На калибрующей части метчика резьба выполняется с обратной конусностью в пределах 0,10 ... 0,15 мм на 100 мм длины.

Крепежная часть бесстружечных метчиков выполняется такой же, как и у режущих. Размеры, предельные отклонения и технические требования на квадраты и лыски хвостовиков по ГОСТ 9523-84.

Остальные технические требования на метчики – по ГОСТ 18844-73.

Обработка резьб метчиками должна выполняться с обильной подачей смазочно-охлаждающей жидкости. Критерием износа метчиков является износ вершин по наружному диаметру резьбы.

Конструктивные размеры машинно-ручных метчиков для обработки метрических

резьб диаметром от 1 до 36 мм и шагом от 0,2 до 2 мм в сквозных и глухих отверстиях регламентированы ГОСТ 18839-73, гаечных метчиков с прямым хвостовиком диаметром от 3 до 36 мм – ГОСТ 18840-73, гаечных с изогнутым хвостовиком диаметром от 3 до 36 мм – ГОСТ 18841-73.

Резьбораскатные головки применяются для получения внутренней резьбы диаметром свыше 50 мм в заготовках из высокопластичных материалов.

Раскатывание резьбы головками осуществляют по двум схемам: 1) с осевой подачей; 2) с осевой и радиальной подачами.

Раскатывание по первой схеме осуществляется вращающейся трех- или четырехроликовой резьбонакатной головкой, имеющей осевую подачу инструмента относительно неподвижной заготовки (рис. 42) или заготовки относительно инструмента.

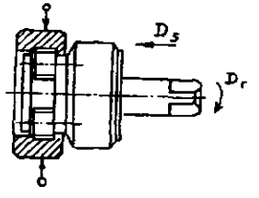


Рис. 42. Резьбонакатная головка

Диаметр роликов должен быть максимально возможным, но в 3 – 4 раза меньше диаметра резьбы обрабатываемой заготовки. Для раскатывания резьбы в тонкостенных заготовках применяются жесткие кольца или режимные цанги в кольце, предотвращающие течение металла в радиальном направлении.

Раскатывание внутренней конической резьбы больших диаметров (127 и более мм) и длины осуществляется с осевым и радиальным движением подачи аналогично накатыванию наружных конических резьб.

ЛЕЗВИЙНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ИЗ ИСКУССТВЕННЫХ АЛМАЗОВ И СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Марки алмазов. Искусственные алмазы марок АСПБ и АСПК применяются при обработке цветных сплавов на основе алюминия и меди со скоростями резания свыше 1000 м/мин.

Из сверхтвердых материалов (СТМ) или композитов можно выделить следующие: композит 01; композит 02; композит 05; композит 10 и 10Д, а также киборит.

Каждая марка СТМ имеет свою область применения, которая обусловлена обрабатываемым материалом и требованиями по точности и шероховатости.

Резцы из композита марок 01 и 02 практически не отличаются по эксплуатационным свойствам и размерам заготовок композита. Диаметр и высота цилиндра заготовок колеблются в пределах 3,5 – 4,5 мм, масса поликристаллов 0,8 карат.

Резцы из композита марок 01 и 02 применяют в основном для непрерывной тонкой и чистовой обработки деталей из закаленной стали твердостью 55 – 70HRC, высокопрочных, закаленных и отбеленных чугунов твердостью до 500 – 600НВ, твердых сплавов марок ВК15, ВК20 и ВК25 твердостью 89 – 90HRA. Глубина резания, как правило, составляет 0,1 – 0,3 мм и не превышает 0,8 – 1,0 мм. Для обработки твердых сплавов могут также применяться поликристаллы марок АСПК.

Из заготовок композита 05 диаметром до 8 мм, высотой около 6 мм и массой около 4 карат изготовляют резцы, которые применяются для непрерывной обработки сталей средней твердости до 55 – 58HRC и чугунов серых и высокопрочных твердостью до 300НВ. Преимущество этого материала состоит в том, что размеры поликристаллов позволяют вести не только чистовую и тонкую, но и получистовую обработку с глубинами резания до 2,5 – 3,0 мм, что значительно расширяет возможности замены твердосплавных резцов резцами из композита 05.

Резцы из заготовок композитов 10; 10Д и киборита диаметром 6 – 7 мм, высотой 4 – 5 мм и массой около 1,5 карат применяют для обработки деталей с прерывистой поверхностью и непрерывным припуском из закаленных сталей и чугунов различной твердости, а также для обработки твердосплавных материалов и различных износостойких наплавок.

В торцовых фрезах наибольшее применение находят композит 01, композит 10 и киборит.

Конструкции инструмента. Специализированными заводами выпускаются около ста типоразмеров цельных и сборных конструкций лезвийного инструмента.

В цельных инструментах поликристаллы композита и искусственного алмаза крепятся неразъемно в тело инструмента. Цельные конструкции инструмента применяют: для резцов

расточных державочных круглого и квадратного сечения с креплением в борштанги, регулируемые оправки и шпиндели горизонтально-расточных, координатно-расточных, алмазно-расточных станков; для резцов с открытыми поверхностями (канавочные, галтельные, копирные, резьбовые, для обработки отверстий диаметром не менее 10 мм); для многолезвийных инструментов (концевые фрезы, специнструмент и т.п.).

Сборные инструменты изготовляют двух типов:

I – поликристаллы композита неразъемно крепятся в переходной вставке, которая механически закрепляется в корпусе инструмента;

II – поликристаллы композита в виде многогранных или круглых пластин механически закрепляются в корпусе инструмента.

Сборные конструкции инструмента применяют: для резцов токарных прямых проходных, подрезных, упорных, расточных, фасочных и др.; для фрез торцовых насадных и хвостовых диаметром более 20 мм при обработке открытых, закрытых поверхностей и уступов; для фрез дисковых при обработке пазов и концевых диаметром более 30 мм и т. п.; для комбинированного инструмента (например, резец-зенкер).

Основным направлением развития конструкций из СТМ является создание резцов и фрез с механическим креплением: цельных и двухслойных, круглых и многогранных режущих пластин.

Перетачиваемый инструмент, оснащенный СТМ, рекомендуется лишь в тех случаях, когда конструкция с механическим креплением пластин технически невозможна (по виду инструмента либо его габаритам, геометрии и т.п.)

Выпускают токарные и расточные резцы с пластинами круглой формы из композита 01, с пластинами круглой, ромбической, квадратной и трехгранной формы из композита 05, а также с двухслойными пластинами круглой и ромбической формы из композита 10Д. Круглая пластина наиболее технологична и особенно эффективна при обработке заготовок из чугуна, так как обеспечивает малую шероховатость обработанной поверхности и повышенную прочность режущей кромки.

Основные направления конструирования торцовых фрез из композита определяются теми технологическими задачами, которые должны эффективно решаться с их применением.

1. Торцовые сборные фрезы диаметром 80 – 250 мм со вставными перетачиваемыми ножами, оснащенными поликристаллами композита 01 или 10 с регулируемым в пределах 2 – 7 мкм торцовым биением. Для снижения шероховатости обработанной поверхности при работе на повышенных подачах вершины ножей выполняют с большим радиусом (порядка 50 мм). Область применения: финишная обработка открытых и закрытых поверхностей на продольно-шлифовальных и плоскошлифовальных станках, а также на станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах, взамен предварительного и окончательного шлифования и частично взамен шабрения. Глубина резания не более 0,5 мм при продольных подачах до 5 – 10 м/мин. Скорость резания чугунов до 3000 м/мин.

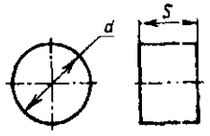
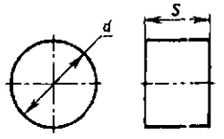
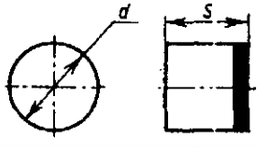
2. Торцовые сборные фрезы диаметром 100-800 мм с механическим креплением высокоточных неперетачиваемых пластин круглой формы из композита 01, 05 и 10Д с регулируемым в пределах 0,01-0,02 мм торцовым биением. Область применения: чистовая обработка взамен фрезерования твердосплавными инструментами и взамен шлифования на фрезерных автоматах и полуавтоматах, на станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах, на продольно-фрезерных, горизонтально-расточных, координатно-расточных, универсальных вертикально-фрезерных станках. Глубина резания не более 1,5 мм. Продольные подачи до 2,5 м/мин.

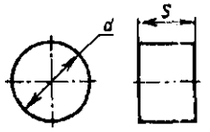
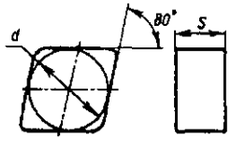
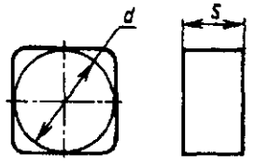
3. Торцовые сборные фрезы диаметром 100 … 800 мм с механическим креплением прецизионных неперетачиваемых пластин круглой формы из композита 05 и 10Д, нерегулируемые и с регулируемым торцовым биением, одно- и двухступенчатые. Область применения: обработка чугунов, в том числе по литейной корке, на фрезерных автоматах и полуавтоматах, на станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах, на продольно-фрезерных, вертикально-фрезерных, горизонтально-расточных станках взамен обработки твердосплавными фрезами. Глубина резания до 3 мм – одноступенчатой, до 6 мм – ступенчатой фрезой при продольной подаче до 2 м/мин. Скорость резания чугунов до 2000 м/мин.

Виды, типоразмеры и основная номенклатура инструмента из композита даны в табл. 166.

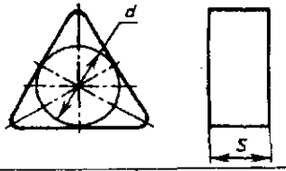
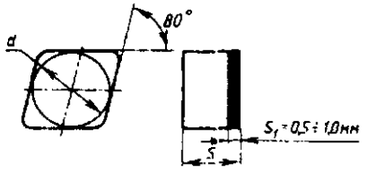
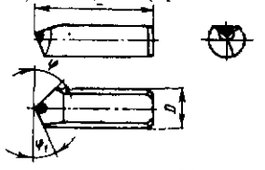
166. Номенклатура режущего инструмента из сверхтвердых материалов на основе нитрида бора разных марок

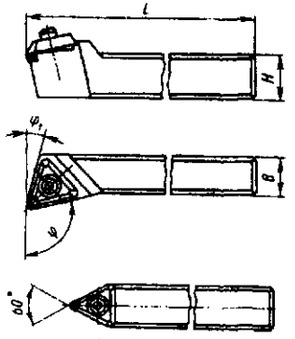
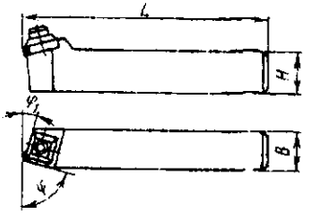
Продолжение табл. 166

Наименование, размеры и обозначение инструмента по ИСО	
1. Пластины режущие цельные сменные неперетачиваемые круглой формы из композита 01 по ТУ 2-035-808-81*[1]	
	
d × *S*, мм	Обозначение по ИСО
3,60 × 3,18	RNUN 03 03 00 F/T RNXN 03 03 00 F/T
3,60 × 2,38	RNUN 03 02 00 F/T
2. Пластины режущие цельные сменные неперетачиваемые круглой формы из композита 05	
	
d × *S*, мм	Обозначение по ИСО
7,0 × 5,0	RNUN 07 05 00 F/T*[2] RNXN 07 05 00 F/T
7,0 × 3,18	RNUN 07 03 00 F/T
8,0 × 3,18	RNUN 08 03 00 F/T
9,52 × 3,18	RNXN 09 03 00 F/T
9,52 × 3,97	RNUN 09 T3 00 F/T
12,7 × 3,97	RNUN 12 T3 00 F/T
3. Пластины режущие двухслойные сменные неперетачиваемые круглой формы из композита 10Д	
	
d × *S*, мм	Обозначение по ИСО
5,56 × 3,97	RNUN 05 T3 00 F/T RNXN 05 T3 00 F/T
5,56 × 3,18	RNUN 05 03 00 F/T

Наименование, размеры и обозначение инструмента по ИСО	
4. Пластины режущие цельные сменные неперетачиваемые круглой формы из композита 10	
	
d × *S*, мм	Обозначение по ИСО
8,0 × 3,97	RNUN 08 T3 00 F/T
5. Пластины режущие цельные сменные неперетачиваемые ромбической формы из композита 05	
	
d × *S*, мм	Обозначение по ИСО
5,56 × 3,18	CNUN 05 03 08 F/T
5,56 × 3,97	CNUN 05 T3 08 F/T
5,56 × 3,18	CNUN 05 03 12 F/T
5,56 × 3,97	CNUN 05 T3 12 F/T
4,76 × 3,97	CNUN 04 T3 08 F/T
4,76 × 3,97	CNUN 04 T3 12 F/T
6. Пластины режущие цельные сменные неперетачиваемые квадратной формы из композита 05	
	
d × *S*, мм	Обозначение по ИСО
5,56 × 3,18	SNUN 05 03 08 F/T
5,56 × 3,97	SNUN 05 T3 08 F/T
5,56 × 3,18	SNUN 05 03 12 F/T
5,56 × 3,97	SNUN 05 T3 12 F/T
4,76 × 3,97	SNUN 04 T3 08 F/T
4,76 × 3,97	SNUN 04 T3 12 F/T

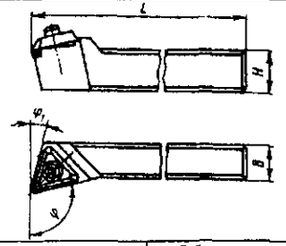
Продолжение табл. 166

Наименование, размеры и обозначение инструмента по ИСО	
7. Пластины режущие цельные сменные неперетачиваемые круглой формы из композита 10	
	
d × *S*, мм	Обозначение по ИСО
5,56 × 3,97	TNUN 09 T3 08 F/T
5,56 × 3,97	TNUN 09 T3 12 F/T
5,56 × 3,97	TNUN 09 T3 16 F/T
4,76 × 3,18	TNUN 08 03 08 F/T
4,76 × 3,18	TNUN 08 03 12 F/T
3,97 × 3,97	TNUN 06 T3 08 F/T
3,97 × 3,97	TNUN 06 T3 12 F/T
8. Пластины режущие двухслойные сменные неперетачиваемые ромбической формы из композита 10Д	
	
d × *S*, мм	Обозначение по ИСО
3,97 × 3,18	CNUN 04 03 08 F/T
3,97 × 3,18	CNUN 04 03 12 F/T
3,97 × 3,97	CNUN 04 T3 08 F/T
3,97 × 3,97	CNUN 04 T3 12 F/T
9. Вставки перетачиваемые к токарным резцам (см. № 14 – 16) с неразъемно закрепленными поликристаллами композита 01 или 10, с углами φ = 10, 15, 35. 45, 60 ° (правые и левые)	
	
D × *L*, мм: 8 × 16; 8 × 18; 8 × 20	

Наименование, размеры и обозначение инструмента по ИСО	
10. Резцы токарные сборные проходные с механическим креплением пластин круглой формы из композита марок 01, 05, 10, 10Д, правые и левые по ТУ 2-035-811-81*[3]	
	
H × *B* × *L*, мм	Обозначение по ИСО
20 × 20 × 125	CRGNR/L/N 2020 K
25 × 25 × 150	CRGNR/L/N 2520 M
32 × 25 × 170	CRGNR/L/N 3225 P
32 × 32 × 170	CRGNR/L/N 3232 P
11. Резцы токарные сборные проходные с механическим креплением пластин квадратной формы из композита 05 с углами φ = 75 и 45°, правые и левые	
	
H × *B* × *L*, мм	Обозначение по ИСО
20 × 20 × 125	CSB/SNR/L 2020 K
25 × 25 × 150	CSB/SNR/L 2525 M
32 × 25 × 170	CSB/SNR/L 3225 P
32 × 32 × 170	CSB/SNR/L 3232 P
12. Резцы токарные сборные, проходные с механическим креплением пластин трехгранной формы из композита 05 с углом φ = 93 °, правые и левые	

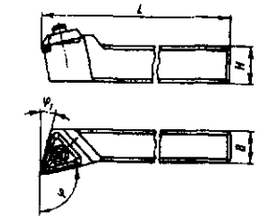
Продолжение табл. 166

Наименование, размеры и обозначение инструмента по ИСО



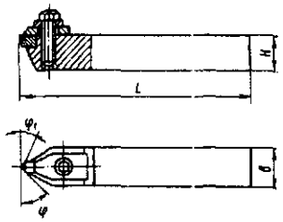
$H \times B \times L$, мм	Обозначение по ИСО
20 × 20 × 125	CTINR/L 2020 K
25 × 25 × 150	CTINR/L 2525 M
32 × 25 × 170	CTINR/L 3225 P
32 × 32 × 170	CTINR/L 3232 P

13. Резцы токарные сборные проходные с механическим креплением пластин квадратной формы из композита 05 и 10Д с углами φ = 95 и 75°, правые и левые



$H \times B \times L$, мм	Обозначение по ИСО
20 × 20 × 125	CCL/BNR/L 2020 K
25 × 25 × 150	CCL/BNR/L 2525 M
32 × 25 × 170	CCL/BNR/L 3225 P
32 × 32 × 170	CCL/BNR/L 3232 P

14. Резцы токарные сборные проходные с механическим креплением пластин трехгранной формы из композита 01 и 10 с углом φ = 45°

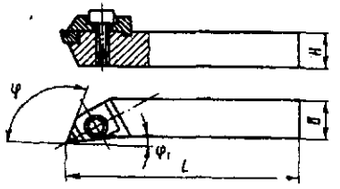


$H \times B \times L$, мм: 16 × 16 × 100; 20 × 20 × 125

Продолжение табл. 166

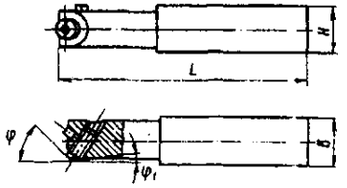
Наименование, размеры и обозначение инструмента по ИСО

15. Резцы токарные сборные подрезные с механическим креплением перетачиваемой цилиндрической вставки с режущим элементом из композита 01 или 10 с углом φ = 93°



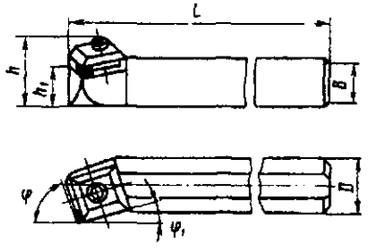
$H \times B \times L$, мм: 16 × 16 × 100; 20 × 20 × 125

Резцы токарные сборные расточные для сквозных отверстий с механическим креплением перетачиваемой цилиндрической вставки с режущим элементом из композита 01 или 10; φ = 45°



$H \times B \times L$, мм: 16 × 16 × 125; 20 × 20 × 170

17. Резцы токарные сборные расточные с механическим креплением пластин квадратной формы из композита 05 с углами φ = 75 и 45°, правые и левые

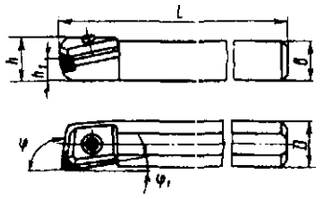


Продолжение табл. 166

Наименование, размеры и обозначение инструмента по ИСО

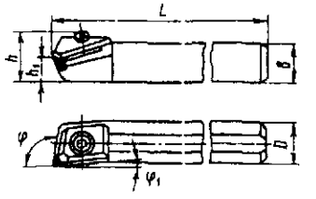
$B \times L \times h \times h_1 \times D_{min}$	Обозначение по ИСО
20 × 200 × 18 × 9 × 25	S20SCSK/SNR/L
25 × 250 × 23 × 11,5 × 32	S25TCSK/SNR/L
32 × 300 × 30 × 15 × 40	S32RCSK/SNR/L

18. Резцы токарные сборные расточные с механическим креплением пластин квадратной формы из композита 05 с углом φ = 93 °, правые и левые



$B \times L \times h \times h_1 \times D_{min}$	Обозначение по ИСО
20 × 200 × 18 × 9 × 25	S20R CTUNR/L
25 × 250 × 23 × 11,5 × 32	S25S CTUNR/L
32 × 300 × 30 × 15 × 40	S32T CTUNR/L

19. Резцы токарные сборные расточные с механическим креплением пластин ромбической формы из композита 05 и 10Д с углом φ = 95°, правые и левые

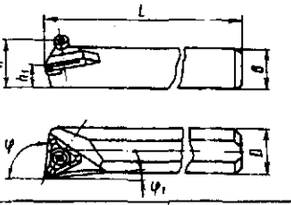


$B \times L \times h \times h_1 \times D_{min}$, мм	Обозначение по ИСО
20 × 200 × 18 × 9 × 25	S20R CCLNR/L
25 × 250 × 23 × 11,5 × 32	S25RSCCLNR/L
32 × 300 × 30 × 15 × 40	S32T CCLNR/L

20. Резцы токарные сборные расточные с механическим креплением пластин круглой формы из композита 01, 05 и 10Д, правые и левые

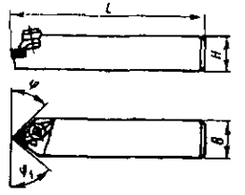
Продолжение табл. 166

Наименование, размеры и обозначение инструмента по ИСО



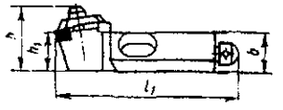
$B \times L \times h \times h_1 \times D_{min}$	Обозначение по ИСО
20 × 200 × 18 × 9 × 25	S20R CRFNR/L
25 × 250 × 23 × 11,5 × 32	S25S CRFNR/L
32 × 300 × 30 × 15 × 40	S25T CRFNR/L

21. *Вставки резцовые с механическим креплением* пластин ромбической формы из композита 05 с углами φ = 45 и 60 °



$H \times B \times L$, мм	Обозначение по ИСО
10 × 10 ×50	CCD/EPL 1010C
12 × 12 × 40	CCD/EPL 1212B
12 × 12 × 50	CCD/EPL 1212C
12 × 12 × 63	CCD/EPL 1212Д
16 × 16 × 63	CCD/EPL 1616Д
20 × 20 × 80	CCD/EPL 2020F
25 × 25 × 80	CCD/EPL 2525F

22. Вставки резцовые согласно ИСО типа T-MAXS с механическим креплением круглых пластин из композита 01 и ромбических пластин из композита 05 (φ = 95°)

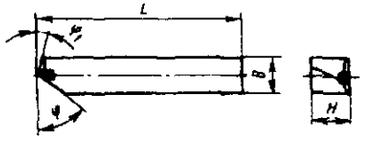


$h \times b \times h_1 \times l_1$, мм	Обозначение по ИСО
12 × 11 × 10 × 50	CRSNR/L 10CA-03
16 × 16 × 12 × 55	CRSNR/L 12CA-03
20 × 20 × 16 × 63	CRSNR/L 16CA-03
12 × 11 × 10 × 50	CRSNR/L 10CA-08

Продолжение табл. 166

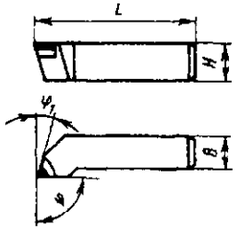
Наименование, размеры и обозначение инструмента по ИСО	
16 × 16 × 12 × 55	CRSNR/L 12CA-08
20 × 20 × 16 × 63	CRSNR/L 16CA-08

23. Резцы токарные прямоугольного сечения перетачиваемые, оснащенные композитом 01 или 10 с углами φ = 45, 60, 30, 15°



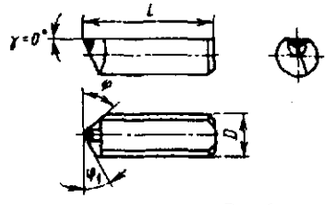
H × *B* × *L*, мм: 8 × 8 × 32; 10 × 10 × 40; 10 × 10 × 65; 12 × 12 × 70

24. Резцы токарные отогнутые с напайной двухслойной пластиной из композита 05 с углом φ = 90°



H × *B* × *L*, мм: 20 × 12 × 125; 25 × 16 × 140

25. Резцы расточные державочные перетачиваемые круглого сечения, оснащенные композитом 01 и 10, с углами φ = 45, 35. 20, 60°, правые и левые

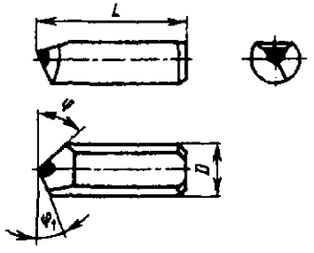


Вставки к токарным резцам *D* × *L*, мм: 8 × 16; 8 × 18; 8 × 20; 10 × 25; 12 × 25 16 × 30; 16 × 34; 16 × 60; 16 × 80

Продолжение табл. 166

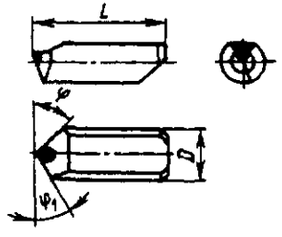
Наименование, размеры и обозначение инструмента по ИСО

26. Резцы расточные державочные перетачиваемые круглого сечения, оснащенные композитом 01 или 10, с углами φ = 10, 15, 35, 40, 50 ° (правые и левые)



D × *L*, мм	*D* × *L*, мм	
16 × 30	8× 16	Вставки к токарным резцам
16 × 34	8 × 18	
16 × 60	8 × 20	
16 × 80	10 × 25	
	12 × 25	

27. Резцы расточные державочные перетачиваемые круглого сечения, оснащенные композитом 01 или 10, с углами φ = 10, 15, 35, 40, 50° (правые и левые)

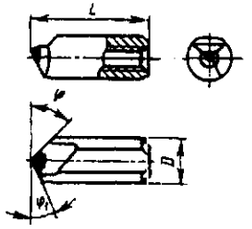


D × *L*, мм: 8 × 16; 8 × 18; 8 × 20; 10 × 25

28. Резцы расточные регулируемые перетачиваемые круглого сечения, оснащенные композитом 01 и 10, с углами φ = 10, 15, 35, 40, 50° (правые и левые)

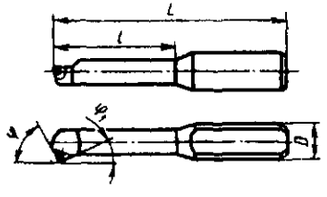
Продолжение табл. 166

Наименование, размеры и обозначение инструмента по ИСО



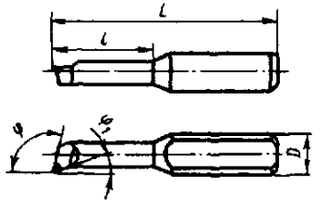
D × *L*, мм
16 × 30

29. Резцы расточные перетачиваемые круглого сечения для сквозных отверстий, в том числе к координатно-расточным станкам, с режущим элементом из композита 01 или 10, с углами φ = 45 и 75 °



D × *L*, мм: 8 × 40; 10 × 40; 8 × 50; 10 × 50; 12 × 50; 14 × 50

30. Резцы расточные перетачиваемые круглого сечения, для глухих отверстий, в том числе к координатно-расточным станкам, с режущим элементом из композита 01 и 10, с углом φ = 93°

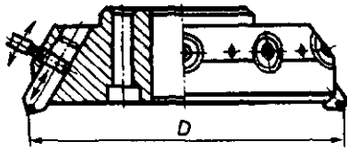


D × *L*, мм: 8 × 40; 10 × 40; 8 × 50; 10 × 50; 12 × 50; 14 × 50

Продолжение табл. 166

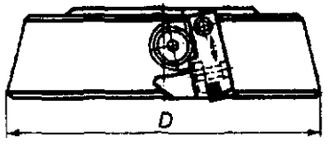
Наименование, размеры и обозначение инструмента по ИСО

31. Фрезы торцовые насадные с регулируемым торцовым биением зубьев, с перетачиваемыми ножами, оснащенными композитом 01 или 10, по ТУ 2-035-918-83



Диаметр *D*, мм	100	125	160	200
Число зубьев	8	10	12	14
Торцовое биение, мм, не более	0,007			

32. Фрезы торцовые насадные с регулируемым торцовым биением зубьев, с механическим креплением пластин круглой формы точности χ из композита 05, 10 или 10Д по ТУ 2-035-757-80*[4]

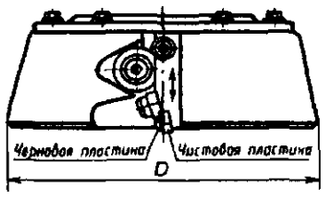


Диаметр *D*, мм	Число зубьев	Торцовое биение, мм
100	8	≤ 0,007
125	10	
160	14	
200	16	
250	20	≤ 0,010
315	24	
400	30	
500	38	≤ 0,015
630	48	
800	60	

Продолжение табл. 166

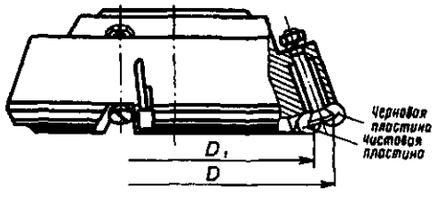
Наименование, размеры и обозначение инструмента по ИСО

33. Фрезы торцовые насадные ступенчатые с регулируемым торцовым биением зубьев, с механическим креплением пластин круглой формы точности χ из композита 0,5, 10 или 10Д по ТУ 2-035-757-80



Диаметр *D*, мм	Число зубьев	Торцовое биение (чистовой ступени), мм
100	8	≤ 0,007
125	10	
160	14	
200	16	
250	20	≤ 0,010
315	24	
400	30	
500	38	≤ 0,015
630	48	
800	60	

34. Фрезы торцовые насадные ступенчатые нерегулируемые с механическим креплением пластин круглой формы точности χ из композита 05 по ТУ 2-035-713-80

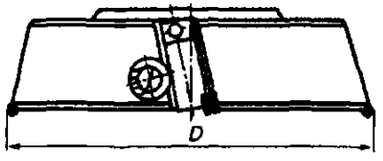


Продолжение табл. 166

Наименование, размеры и обозначение инструмента по ИСО

Диаметр *D*, мм	Число зубьев	Торцовое биение (чистовой ступени), мм
100	10	≤ 0,04
125	14	
160	18	
200	22	
250	26	≤ 0,05
315	32	
400	42	

35. Фрезы торцовые насадные с регулируемым торцовым биением зубьев, с механическим креплением пластин круглой формы точности χ из композита 01, 05 или 10Д по ТУ 2-035-757-80



Диаметр *D*, мм	Число зубьев	Торцовое биение, мм
100	8	≤ 0,03
125	10	
160	16	
200	20	
250	24	≤ 0,05
315	30	
400	39	

*[1] Все режущие пластины из композита выпускают по ТУ 2-035-808-81.

*[2] Пластины поставляют как с острой режущей кромкой (F), так и с защитной фаской (T).

*[3] Все резцы, оснащенные композитом, выпускают по ТУ 2-035-811-81.

*[4] Присоединительные размеры фрез соответствуют стандартам ИСО.

АБРАЗИВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Режущий инструмент, рабочая часть которого содержит классифицированные частицы абразивного материала, называют *абразивным*. Измельченный, обогащенный и классифицированный абразивный материал, твердость которого превышает твердость обрабатываемого материала и который способен в измельченном состоянии осуществлять обработку резанием, называют *шлифовальным*. В зависимости от вида используемого шлифовального материала различают алмазные, эльборовые, электрокорундовые, карбидкремниевые и другие абразивные инструменты.

Шлифовальные материалы и области их применения

Сведения о выпускаемых шлифовальных материалах и области их применения приведены ниже.

Нормальный электрокорунд: 13А – для абразивного инструмента на органической связке; 14А – для абразивного инструмента на керамической и органической связках, шлифовальной шкурки, для обработки свободным зерном; 15А – для абразивного инструмента на керамической связке, в том числе прецизионного классов АА, А, шлифовальной шкурки.

Белый электрокорунд: 23А, 24А – для абразивного инструмента, шлифовальной шкурки, обработки свободным зерном; **25А** – для абразивного инструмента на керамической связке, в том числе прецизионного инструмента классов АА, А.

Хромистый электрокорунд: 33А – для абразивного инструмента на керамической связке, шлифовальной шкурки, обработки свободным зерном; 34А – для абразивного инструмента на керамической связке, шлифовальной шкурки, прецизионного инструмента классов АА, А.

Титанистый электрокорунд 37А – для инструментов на керамической связке для обработки сталей.

Циркониевый электрокорунд 38А – инструменты для обдирочного шлифования.

Сферокорунд ЭС – для инструментов на различных связках для обработки мягких и вязких материалов: цветных металлов, резины, пластмассы, кожи и др.

Техническое стекло 71Г – изготовляют шлифовальную шкурку для обработки дерева.

Корунд 92Е – изготовляют инструменты и микропорошки для полирования деталей из стекла и металлов.

Кремень 81Кр – изготовляют шлифовальную шкурку для обработки дерева, кожи, эбонита.

Наждак – для обработки свободным зерном, для мельничных жерновов.

Гранат – для обработки дерева, кожи, пластмасс шлифовальной шкуркой; для обработки стекла свободным зерном.

Монокорунд: 43А, 44А – для абразивного инструмента на керамической связке, шлифовальной шкурки и др.; 45А – для абразивного прецизионного инструмента на керамической связке, шлифовальной шкурки.

Черный карбид кремния: 53С, 54С, 55С – для абразивного инструмента, шлифовальной шкурки, обработки свободным зерном.

Зеленый карбид кремния: 63С, 64С – для абразивного инструмента, шлифовальной шкурки, обработки свободным зерном.

Карбид бора – изготовляют порошки и пасты для доводочных операций.

Кубический нитрид бора (эльбор): ЛО, ЛП – для абразивного инструмента на органической, керамической и металлокерамической связках, шлифовальной шкурки, абразивных паст; **ЛВМ, ЛПМ** – для микрошлифпорошков с высоким и повышенным содержанием основной фракции для абразивных паст.

Природный алмаз: А8 – для бурового и правящего инструментов, инструментов для камнеобработки и стройиндустрии; **А5** – для шлифовальных кругов на металлических связках в том числе изготавливаемых гальваническим методом, для обработки камня из твердых пород, прочных бетонов, твердой керамики; для правящего, бурового инструментов, инструментов для стройиндустрии и камнеобработки.

А4, А3, А2, А1 – для инструментов на металлических связках при обработке технического стекла, керамики, камня, бетона;

АМ –для доводки и полирования деталей машин и приборов из закаленных сталей, сплавов, керамики, стекла, полупроводниковых и других материалов;

АН – для доводки и полирования твердых и сверхтвердых труднообрабатываемых материалов, корунда, керамики, алмазов, драгоценных камней;

АМ5, АМ1 – для сверхтонкой доводки и полирования поверхностей изделий при обработке полупроводниковых материалов.

Синтетический алмаз: АС2, АС4 – для инструментов на органических связках, применяемых на чистовых и доводочных операциях при обработке твердого сплава;

АС6, АС 15, АС20 – для инструментов на органических, металлических, керамических связках, применяемых при обработке твердого сплава, керамики стекла, других хрупких материалов;

АС32, АС50 – для инструментов на металлических связках, применяемых для шлифования камня, резания мягких горных пород, обработки стекла, рубина, лейкосапфира, ситалла, корунда, чернового хонингования;

АС65, АС80 – *для инструментов на* металлических связках, применяемых при обработке природного камня, стройматериалов, горных пород средней твердости, керамики, стекла, бетона, в буровом инструменте, сверлах;

АС100, АС125, АС160 – для инструментов на металлических связках, применяемых для резки, сверления природного камня, бетонов, стекла, керамики, правки шлифовальных кругов, обработки огнеупоров, в буровом инструменте;

АРВ1 – для инструментов на металлических связках, применяемых для чернового хонингования чугунов, резки и шлифования стеклопластиков и других неметаллических материалов;

АРК4 – для инструментов на низкотемпературных металлических связках, применяемых при резке и обработке камня низкой и средней твердости, огнеупоров;

АРС3, АРС4 – для инструментов на металлических связках, применяемых для обработки природного камня, бетона, стройматериалов, правки шлифовальных кругов, бурения пород средней твердости;

АСМ – для доводки и полирования деталей машин и приборов из закаленных сталей, сплавов, керамики, стекла, полупроводниковых и других материалов;

АСН – для доводки и полирования твердых и сверхтвердых труднообрабатываемых материалов, корунда, керамики, алмазов, драгоценных камней;

АСМ5, АСМ1 – для сверхтонкой доводки и полирования поверхностей изделий, при обработке полупроводниковых материалов.

Алмазные шлифпорошки в зависимости от вида сырья, из которого они изготовлены, обозначают буквенными индексами по ГОСТ 9206-80: А – из природных алмазов; АС – из синтетических алмазов; АР – из синтетических поликристаллических алмазов.

Микропорошки и субмикропорошки из природных алмазов обозначают буквенными индексами АМ, из синтетических алмазов – АСМ.

При обозначении микропорошков из природных и синтетических алмазов повышенной абразивной способности индекс М заменяют на индекс Н, т.е. АН, АСН.

Шлифпорошки из синтетических поликристаллических алмазов типа "баллас" (В), "карбонадо" (К) или "спеки" (С) обозначают соответственно АРВ, АРК, АРС в зависимости от типа поликристаллического алмаза.

Помимо буквенных обозначений добавляют цифровые индексы:

в шлифпорошках из природных алмазов цифровой индекс соответствует десяткам процентов содержания зерен изометричной формы, например: А1, А2, А3, А5, А8;

в шлифпорошках из синтетических алмазов цифровой индекс соответствует среднеарифметическому значению показателей нагрузки при сжатии единичных зерен всех зернистостей данной марки, выраженному в ньютонах, например: АС2; АС4; АС6; АС 15; АС20; АС32; АС50; АС65; АС80; АС100; АС125; АС160;

в шлифпорошках из синтетических поликристаллических алмазов индекс соответствует среднеарифметическому значению показателей нагрузки на сжатие единичных зерен всех зернистостей данной марки, выраженному в сотых долях ньютонов;

в субмикропорошках цифровой индекс означает долю зерен крупной фракции в процентах, например: АМ5, АСМ5, АМ1, АСМ1.

Основная характеристика алмазных порошков по ГОСТ 9206–80 приведена ниже.

Шлифпорошки из природных алмазов, получаемые дроблением, содержат зерна изометричной формы, не менее:

А1 – 10 %; А2 – 20 %; А3 – 30 %; А5 – 50 %; А8 – 80 %..

Шлифпорошки из синтетических алмазов:

АС2 – повышенная хрупкость; зерна представлены преимущественно агрегатами с развитой поверхностью;

АС4 – зерна представлены агрегатами и сростками;

АС6 – зерна представлены отдельными кристаллами с развитой поверхностью, агрегатами и сростками;

АС15, АС20 – зерна представлены агрегатами и сростками, а также удлиненными кристаллами с коэффициентом формы зерен от 1,3 до 3,0;

АС32, АС50, АС65 – зерна представлены кристаллами, а также сростками и агрегатами с коэффициентом формы зерен не более 1,2;

АС80, АС100, АС125, АС 160 – зерна представлены кристаллами, а также сростками с коэффициентом формы зерен не более 1,1.

Шлифпорошки из синтетических поликристаллических алмазов:

АРВ1 – алмазы, получаемые путем дробления синтетических поликристаллических алмазов типа "баллас";

АРК4 – алмазы, получаемые путем дробления синтетических поликристаллических алмазов типа "карбонадо";

АРС3 – алмазы, получаемые дроблением алмазов типа "спеки";

АРС4 – алмазы, полученные путем дробления синтетических поликристаллических алмазов типа "спеки", с коэффициентом формы зерен не более 1,5.

Коэффициент формы зерен представляет отношение длины проекции зерна к ширине проекции. Изометричным считается зерно, у которого коэффициент формы не превышает 1,3.

Показатель прочности шлифпорошков из синтетических алмазов определяют по величине статической нагрузки, вызывающей разрушение алмазного зерна, помещенного между двумя параллельными пластинами из твердого сплава ВК6 или из корунда. Пластины по мере разрушения их поверхности заменяют новыми или перешлифовывают. Средний показатель прочности порошка определяют по результатам последовательного разрушения 50 зерен.

Шлифовальные зерна из электрокорунда и карбида кремния проверяют на разрушаемость, под которой понимают безразмерную величину, равную отношению массы разрушенных абразивных зерен к общей массе зерен, испытуемых в шаровой мельнице при соблюдении определенных заданных условий испытания. Нормы разрушаемости шлифматериалов зернистостью 25 высшей категории качества следующие: электрокорунд 52 – 53 %, карбид кремния 47 %.

Зернистость и зерновой состав шлифовальных материалов

Шлифовальные материалы из искусственных и природных абразивных материалов делят на группы в зависимости от размера зерен. ГОСТ 3647–80 устанавливает четыре группы шлифовальных материалов: шлифзерно (2000 – 160 мкм); шлифпорошки (125 – 40 мкм); микрошлифпорошки (63 – 14 мкм) и тонкие микрошлифпорошки (10 – 3 мкм).

Совокупность абразивных зерен шлифовального материала в установленном интервале размеров называют **фракцией**. Фракцию, преобладающую по массе, объему или числу зерен, называют основной.

Цифровое обозначение зернистости в зависимости от процентного содержания основной фракции дополняют буквенным индексом в соответствии с табл. 167.

167. Минимальное содержание основной фракции шлифовальных материалов, %

Индекс	Зернистость				
	200-8	6-4	М63-М28	М20-М14	М10-М5
В	–	–	60	60	55
П	55	55	50	50	45
Н	45	40	45	40	40
Д	41	–	43	39	39

Пример обозначения шлифзерна зернистостью 40 с разным содержанием основной фракции с индексами П, Н, Д следующий: 40-П; 40-Н; 40-Д.

Помимо основной фракции, шлифовальный материал содержит зерна, размеры которых могут отличаться от установленного интервала размеров зерен основной фракции. Различают предельную, крупную, основную, комплексную и мелкую фракции. Зерновой состав по каждой фракции регламентирован ГОСТ 3247-80.

Характеристику конкретной совокупности абразивных зерен, выраженную размерами зерен основной фракции, называют *зернистостью*. В зависимости от группы материалов приняты следующие обозначения зернистости:

а) шлифзерна и шлифпорошков – как 0,1 размера стороны ячейки сита в свету в мкм, на котором задерживаются зерна основной фракции. Например: 40, 25, 16 (соответственно 400, 250, 160 мкм);

б) микрошлифпорошков – по верхнему пределу размера зерен основной фракции с добавлением индекса М. Например, М40, М28, М10 (соответственно 40, 28, 10 мкм);

в) алмазных шлифпорошков – дробью, числитель которой соответствует размеру стороны ячейки верхнего сита, а знаменатель – размеру стороны ячейки нижнего сита основной фракции. Например: 400/250; 400/315; 160/100; 160/125;

г) алмазных микропорошков и субмикропорошков – дробью, числитель которой соответствует наибольшему, а знаменатель – наименьшему размеру зерен основной фракции. Например: 40/28; 28/20; 10/7;

д) шлифзерна и шлифпорошков эльбора – в зависимости от метода контроля. При ситовом методе контроля – размер ячеек сита. Например, Л20, Л16, Л10. При микроскопическом методе контроля – дробью, аналогично алмазным шлифзерну и шлифпорошкам, например, 250/200; 200/160; 125/100.

Требования к зерновому составу шлифовальных материалов приведены в ГОСТ 3647-80, для алмазных порошков общего назначения – в ГОСТ 9206–80, для эльбора в зерне – в ОСТ 2-МТ 79-2-75.

Зерновой состав алмазных шлифпорошков должен соответствовать определенным нормам (табл. 168).

Шлифовальные материалы изготовляются зернистостей, указанных в табл. 169 – 172.

168. Зерновой состав алмазных шлифпорошков

Зернистость		Массовая доля зерен, %			
		крупной фракции, не более		основной фракции, не менее	
Широкий диапазон	Узкий диапазон	Широкий диапазон	Узкий диапазон	Широкий диапазон	Узкий диапазон
2500/1600	2500/2000 2000/1600	8		90	
1600/1000	1600/1250 1250/1000	8		90	
1000/630	1000/800	8	8	90	90
	800/630		10		80
630/400	630/500	10	10	80	80
	500/400		10		80
400/250	400/315	10	10	80	80
	315/250		10		80
250/160	250/200	10	10	80	80
	200/160		12		80
160/100	160/125	12	12	75	80
	125/100		12		80
100/63	100/80	13	12	75	75
	80/63		13		75
63/40	63/50	15	13	75	75
	50/40		15		75

169. Размеры шлифзерна и шлифпорошков, мкм

Зернистость	Размер стороны ячейки сита в свету, при котором зерна основной фракции		Зернистость	Размер стороны ячейки сита в свету, при котором зерна основной фракции	
	проходят через сито	задерживаются на сите		проходят через сито	задерживаются на сите
200	2500	2000	25	315	250
160	2000	1600	20	250	200
125	1600	1250	16	200	160
100	1250	1000	12	160	125
80	1000	800	10	125	100
63	800	630	8	100	80
50	630	500	6	80	63
40	500	400	5	63	50
32	400	315	4	50	40

170. Соотношение зернистости шлифпорошков по ГОСТ 3647-80 и ИСО 8486-86

Обозначение зернистости	
ГОСТ3647-80	ИСО 8486-86
–	F4
–	F5
–	F6
–	F7
–	F8
200	F10
160	F12
–	F14
125	F16
100	F20
–	F22
80	F24
63	F30
50	F36
–	F40
40	F46
32	F54
25	F60
20	F70
16	F80
–	F90
12	F100
10	F120
8	F150
6	F180
5	F220

171. Размеры микрошлифпорошков и тонких микрошлифпорошков, мкм

Зернистость	Размер зерен основной фракции	Зернистость	Размер зерен основной фракции
М63	63 – 50	М14	14 – 10
М50	50 – 40	М10	10 – 7
М40	40 – 28	М7	7 – 5
М28	28 – 20	М5	5 – 3
М20	20 – 14		

172. Размеры эльборовых шлифзерен и шлифпорошков, мкм

Зернистость при ситовом методе контроля	Размер стороны ячейки сита в свету, при котором зерна основной фракции	
	проходят через сито	задерживаются на сите
Л20	250	200
Л16	200	160
Л12	160	125
Л10	125	100
Л8	100	80
Л6	80	63
Л5	63	50
Л4	50	40

Для марок А1, А2, А3, А4 зернистостью 630/500 и мельче и для марок АС2, АС4, АС6, АС15, АС20 зернистостью 250/200 и мельче основной фракции должно быть не менее 70 %, крупной – не более 15 %, мелкой фракции не более 2 %.

При обозначении шлифпорошков указывают марку шлифовального материала и его зернистость.

Примеры условного обозначения алмазных порошков:

из синтетических алмазов:

Шлифпорошок АС6 160/125 ГОСТ 9206-80

Микропорошок АСН 40/28 ГОСТ 9206-80

Субмикропорошок АСМ5 0,5/0,1 ГОСТ 9206-80

из синтетических поликристаллических алмазов:

Шлифпорошок АРС3 160/125 ГОСТ 9206-80.

В табл. 173 приведены области применения абразивных, эльборных и алмазных инструментов различной зернистости.

173. Области применения абразивных инструментов различной зернистости

Зернистость инструментов		Область применения
абразивных	алмазных	
–	1/0	Для доводки особо точных деталей.
М40 – М5	40/28 – 5/3	Окончательная доводка деталей с точностью 3 … 5 мкм и менее и шероховатостью *Ra=0,16* … 0,02 мкм. Суперфиниширование, окончательное хонингование. Резьбошлифование с мелким шагом
8; 6	63/50 – 50/40	Чистовое и тонкое шлифование деталей из твердых сплавов, металлов, стекла и других неметаллических материалов. Доводка режущего инструмента. Резьбошлифование с мелким шагом резьбы. Чистовое хонингование
12; 10	125/100 – 80/63	Отделочное шлифование деталей с шероховатостью *Ra* = = 0,63 … 0,16 мкм. Чистовое алмазное шлифование, заточка режущих инструментов. Предварительное хонингование
25; 20; 16	200/160 – 125/100	Чистовое шлифование деталей, заточка режущих инструментов, предварительное алмазное шлифование, профильное шлифование с шероховатостью *Ra* = 1,25 … 0,16 мкм. Шлифование хрупких материалов

Продолжение табл. 173

Зернистость инструментов		Область применения
абразивных	алмазных	
40; 32	315/250–250/200	Предварительное и чистовое шлифование деталей с шероховатости поверхностью *Ra* = 2,5 … 0,32 мкм. Заточка режущих инструментов
50; 63	–	Предварительное круглое наружное, внутреннее, бесцентровое и плоское шлифование с шероховатостью поверхности *Ra* = = 2,5 … 0,63 мкм. Отделка металлов и неметаллических материалов. Шлифование вязких материалов. Заточка крупных и средних резцов. Отрезка. Правка инструмента
125; 100; 80	–	Правка шлифовальных кругов. Ручное обдирочное шлифование заготовок после литья, ковки, штамповки, прокатки и сварки

Связка абразивных инструментов. Твердость

Вещество или совокупность веществ, применяемых для закрепления зерен шлифовального материала и наполнителя в абразивном инструменте, называют *связкой*. Наполнитель в связке предназначен для придания инструменту необходимых физико-механических, технологических и эксплуатационных свойств. Связка влияет на геометрию рельефа рабочей поверхности инструмента, износ абразивного инструмента и параметры шероховатости обработанной поверхности.

Области применения связок абразивных инструментов приведены ниже.

Керамические связки (К1, К2, К3, К4, К5, К6, К8, К10) – для всех основных видов шлифования, кроме прорезки узких пазов, обдирочных работ на подвесных станках; К2, К3 – для инструмента из карбида кремния; К2 – для мелкозернистого инструмента; К 1, К5, К8 – для инструмента из электрокорунда.

Бакелитовые связки (Б, Б1, Б2, Б3, Б4, БУ, Б156, БП2) – круги с упрочненными элементами для шлифования при скоростях круга 65, 80 и 100 м/с; круги для скоростного обдирочного шлифования, обдирочного шлифования на подвесных станках и вручную, плоского шлифования торцом круга; отрезки и прорезки пазов; заточки режущих инструментов; для шлифования прерывистых поверхностей; мелкозернистые круги для отделочного шлифования; алмазные и эльборовые круги; бруски хонинговальные, сегменты шлифовальные, в том числе для работы со скоростью резания 80 м/с.

Вулканитовые и прочие связки (В, В1, В2, В3, В5, Гф, Пф. Э5, Э6) – ведущие круги для бесцентрового шлифования; гибкие круги для полирования и отделочного шлифования на связке В5, круги для отрезки, прорезки и шлифования пазов; круги для некоторых чистовых операций профильного шлифования (сферошлифования и др.); шлифовальные круги на вулканической связке В3, изготовленные методом прессования; гибкие плиты на связке В5; полировальные высокопористые круги на связке Пф; круги на магнезиальной связке; тонкозернистые круги на глифталевой связке и с графитовым наполнителем для окончательного полирования.

Металлические связки – алмазные круги повышенной износостойкости для обработки твердых сплавов, а также круги для электрохимической абразивной обработки.

Керамические связки являются многокомпонентными смесями огнеупорной глины, полевого шпата, борного стекла, талька и других минеральных материалов, составленными по определенной рецептуре с добавками клеящих веществ: растворимого стекла, декстрина и др. Спекающиеся керамические связки К2, К3 используют для закрепления зерен из карбида кремния. В процессе термической обработки они расплавляются частично и по своему состоянию и составу близки к фарфору.

Плавящиеся керамические связки К1, К5, К8 используют для закрепления зерен из электрокорундовых материалов, с которыми они вступают в химическое взаимодействие и обеспечивают прочное закрепление зерен.

По своему составу и состоянию плавящиеся связки являются стеклами.

Для бакелитовой связки используют порошкообразный или жидкий бакелит в качестве связующего компонента с соответствующими наполнителями и увлажнителями.

Основным компонентом вулканитовой связки является синтетический каучук. Введение в связку различных наполнителей и ускорителей вулканизации позволяет изменять технологические и эксплуатационные свойства абразивных инструментов.

Глифталевую смолу используют в качестве связки для инструментов из зеленого карбида кремния зернистостью 6-М14 для полирования.

Вспененный поливинилформаль является основным связующим для пенопластовых кругов, применяемых для полирования (объем пор равен 80 %).

Ниже приведены рекомендации по выбору связок для алмазных кругов.

Органические связки с металлическим наполнителем: Б156; ВП2, ТО2 – для заточки твердосплавного инструмента, профильного шлифования, получистового и чистового шлифования твердосплавных и керамических деталей.

Органические связки с минеральным наполнителем: Б1, 01 – для чистовой заточки твердосплавного инструмента без СОЖ, чистового шлифования твердосплавных деталей.

Органические связки для алмазов без покрытия: Б3, Б1, БР, Р9, Р14Е – для полирования, тонкого шлифования и заточки твердосплавного инструмента.

Металлические связки повышенной производительности МВ1, ПМ1 – для глубинного . шлифования, чистового шлифования и заточки твердосплавного инструмента и деталей из твердых сплавов.

Металлические связки повышенной стойкости М1, МК, М15 – для профильного и чистового шлифования деталей и заточки инструмента из твердого сплава.

Гальваническая никелевая связка – для врезного шлифования профильными кругами.

Керамическая связка К1 – для шлифования и заточки инструментов при обработке твердого сплава совместно со стальной державкой или корпусом.

Токопроводящие связки: органическая БП3 и металлические МВ1, ПМ1, МК, М1 – для электрохимического шлифования твердых сплавов, молибденовых, вольфрамовых и других сталей и сплавов.

Твердостью абразивного инструмента называют величину, характеризующую свойство абразивного инструмента сопротивляться нарушению сцепления между зернами и связкой при сохранении характеристик инструментов в пределах установленных норм.

Твердость оценивают определенными показателями в зависимости от метода измерения. Установлена следующая шкала степеней твердости абразивного инструмента:

ВМ1 и ВМ2 – весьма мягкий;
М1, М2 и М3 – мягкий;
СМ1 и СМ2 – среднемягкий;
С1 и С2 – средний;
СТ1, СТ2 и СТ3 – среднетвердый;
Т1 и Т2 – твердый;
ВТ – весьма твердый;
ЧТ – чрезвычайно твердый.

Цифры 1, 2 и 3 характеризуют возрастание твердости абразивного инструмента внутри степени.

Твердость абразивных инструментов для кругов на керамической, бакелитовой и вулканитовой связках определяют по ГОСТ 18118-79, ГОСТ 19202-80 и ГОСТ 21323-75.

Области применения инструментов различной твердости приведены ниже.

Мягкие и среднемягкие круги М2–СМ2 – для плоского шлифования торцом круга (на бакелитовой связке), периферией круга (на керамической связке), для шлифования заготовок и заточки инструментов из твердых сплавов, минералокерамики и закаленных углеродистых и легированных сталей, для шлифования цветных металлов и сплавов.

Среднемягкие и средние круги СМ2 – С2 – для чистового (круглого, бесцентрового, внутреннего плоского периферией круга) шлифования заготовок из закаленных сталей; для шлифования резьб с крупным шагом.

Средние и среднетвердые круги С2 – СТ2 – для шлифования (круглого, бесцентрового, профильного, резьбошлифования) заготовок из незакаленных углеродистых и легированных сталей и сплавов, чугуна и других вязких металлов и материалов; для плоского шлифования сегментами, хонингования брусками.

Среднетвердые и твердые круги СТ2 – Т2 – для обдирочного и предварительного шлифования, для шлифования профильных и

прерывистых поверхностей, заготовок малого диаметра; для снятия заусенцев, бесцентрового шлифования, хонингования закаленных сталей.

Весьма твердые и чрезвычайно твердые круги ВТ-ЧТ – для правки шлифовальных кругов методом обкатки и шлифования, шлифования деталей приборов с малым съемом материала (часовые механизмы), шлифования шариков для подшипников.

Структура абразивного инструмента и относительная концентрация шлифовального материала

Соотношение объемов шлифовального материала, связки и пор в абразивном инструменте определяет структуру инструмента. Принято обозначать структуру номерами.

Изменение объемной концентрации $\Phi_в$ шлифовального материала на 2 % в инструменте соответствует переходу от одного номера C_y структуры к другому номеру по формуле $C_y = 0{,}5(62 - \Phi_в)$.

Для обдирочного шлифования при съеме значительного припуска (при предварительной *обработке материалов с небольшим сопротивлением* разрыву) рекомендуется использовать инструменты высоких номеров структур.

Для чистовой обработки, для обработки твердых и хрупких материалов, при повышенных удельных нагрузках в зоне шлифования применяют круги с меньшими номерами структур.

Рекомендации по выбору номера структуры абразивного инструмента приведены в табл. 174.

Абразивные инструменты зернистостью 125 – 80 обычно изготовляют со структурами 3 и 4, зернистостью 50, 40 – со структурами 5 и 6, зернистостью 25 – 12 изготовляют со структурами 6 и 7.

Круги высоких номеров структур изготовляют высокопористыми: поры и капилляры в них сообщаются между собой за счет использования выгорающих порообразователей или газообразующих веществ.

В характеристике высокопористых кругов дополнительно указываются данные о марке порообразователя, его зернистости и объемном содержании, %.

Например, в маркировке круга

24А 16 М2 8К5/ПСС 40 15

указано, что порообразователем является полистирол общего назначения марки ПСС зернистостью 40, объемное содержание которого в абразивной массе при прессовании составляет 15 %; круг электрокорундовый марки 24А зернистостью 16, твердостью М2, номер структуры 8, связка керамическая К5.

Для инструментов из сверхтвердых материалов (алмаза и эльбора) объемное содержание шлифовального материала назначают в пределах 38 – 12,5 %, что соответствует очень открытым структурам, если не учитывать наполнители. Условно принято фактическое объемное содержание шлифовального материала при маркировке увеличивать в 4 раза и обозначать в виде условной концентрации, %: 150, 125, 100, 75, 50.

174. Области применения абразивных инструментов с разными номерами структур

Номер структуры	Объемное содержание шлифовального материала, %	Область применения
1 – 3	60 – 56	Шлифование деталей с малым съемом материала кругами на *бакелитовой и керамической связках*
3, 4	56, 54	Отрезка. Шлифование с большими подачами и переменной нагрузкой. Профильное шлифование. Шлифование твердых и хрупких материалов
5, 6	52, 50	Круглое наружное, бесцентровое, плоское периферией крута шлифование металлов с высоким сопротивлением разрыву
7, 8	48, 46	Шлифование вязких металлов с низким сопротивлением разрыву. Внутреннее шлифование, заточка инструментов, плоское шлифование торцом круга
9 – 12	44 – 38	Скоростное шлифование. Профильное шлифование мелкозернистыми кругами. Шлифование резьбы. Шлифование с уменьшенным тепловыделением в зоне резания
14 – 16	34 – 30	Шлифование неметаллических материалов, металлов с низкой теплопроводностью (устранение прижогов и трещин)

Классы точности абразивных инструментов

В зависимости от величин, характеризующих абразивный инструмент в нормативно-технической документации по предельным отклонениям размеров, формы и расположения, устанавливают классы точности абразивного инструмента.

Шлифовальные круги изготовляют **трех классов точности: АА; А; Б.**

Для кругов класса точности Б используют шлифовальные материалы со всеми индексами, характеризующими содержание основной фракции: В, П, Н и Д; для кругов класса точности А – только с индексами В, П, Н; для кругов класса точности АА – только с индексами В, П, т.е. с высоким и повышенным (до 55 % при зернистости 200 – 4) содержанием основной фракции.

Величины предельных отклонений зависят от номинальных размеров инструментов по наружному диаметру D, высоте T, диаметру посадочного отверстия H.

Классы неуравновешенности шлифовальных кругов

Состояние шлифовального круга, характеризующееся таким распределением масс, которое во время вращения вызывает переменные нагрузки на опорах шпинделя станка и его изгиб, называют *неуравновешенностью круга*. Неуравновешенной точечной массой круга называют условную массу, радиус-вектор (эксцентриситет) которой относительно оси посадочного отверстия равен радиусу наружной поверхности (периферии). В зависимости от допустимых неуравновешенных масс для шлифовальных кругов на керамической, бакелитовой, вулканитовой и специальных органических связках установлено **четыре класса неуравновешенности шлифовальных кругов**, обозначаемых цифрами 1,2, 3 и 4. Допустимые неуравновешенные массы должны соответствовать значениям, приведенным в ГОСТ 3060-86.

Допустимые неуравновешенные массы контролируют на станках для статической балансировки, основной частью которых являются *два параллельно расположенных цилиндрических валика* одинакового диаметра. Шероховатость поверхности валиков и балансировочной оправки *Ra* 2,5.

При контроле неуравновешенности на периферии круга устанавливают грузы с массой (с учетом массы зажимов), равной допустимой неуравновешенной массе. Если после установки круга с балансировочной оправкой на балансировочный станок контрольный груз будет подниматься и занимать верхнее положение, то такой круг не отвечает требованиям данного класса неуравновешенности по ГОСТ 3060-86.

При маркировке в условном обозначении кругов указывают класс неуравновешенности: 1, 2, 3, 4 после величины рабочей скорости круга, например: *35 м/с 1 кл. А* – маркировка для круга с рабочей скоростью 35 м/с, 1-го класса неуравновешенности, класса точности А.

Абразивные инструменты на гибкой основе

Абразивный инструмент на гибкой основе с нанесенным на нее слоем (слоями) шлифовального материала, закрепленного связкой, называют *шлифовальной шкуркой*.

Шлифовальную шкурку выпускают в виде рулонов, листов, лент, дисков, трубочек, колец,

конусов. Размеры рулонов, листов и лент зависят от материала гибкой основы. Различают бумажную, тканевую, комбинированную, фибровую и другие основы.

Шлифовальные шкурки рулонные на тканевой основе выпускают: по ГОСТ 5009-82 шириной 725, 740, 770, 800, 830, 1350, 1400 мм, длиной 20, 30 и 50 м; по ГОСТ 13344-79 шириной 600, 725, 745, 775, 800, 840 мм, длиной 30 и 20 м.

Шлифовальные шкурки рулонные на бумажной основе выпускают: по ГОСТ 6456-82 шириной 720, 750, 800, 850, 900, 1000 и 1250, 1400 мм, длиной 20, 30, 50 и 100м; по ГОСТ 10054-82 шириной 500, 650, 700, 750, 950, 1000 мм длиной 30, 50 и 100 м.

В зависимости от свойств связки и основы различают водостойкую, неводостойкую, термостойкую и другие шкурки.

Шкурка бывает однослойной и двухслойной в зависимости от числа слоев шлифовального материала на одной из сторон гибкой основы. Если рабочие слои шлифовального материала расположены на обеих сторонах гибкой основы, то такую шкурку называют двусторонней.

Шлифовальную шкурку в виде полосы прямоугольной формы, длина которой в направлении основы не более 1000 мм, называют *шлифовальным листом*. Шлифовальные листы по ГОСТ 22773-77 выпускают шириной 70, 80, 90, 100, 115, 125, 140, 155, 180, 190, 200, 210, 235, 300, 310, 360, 380, 400, 410, 500, 560, 625, 710, 750, 800 мм и длиной 125, 140, 150, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 300, 310, 360, 400, 500, 600, 630, 720, 760, 820, 900, 1000 мм.

Шлифовальной лентой называют шлифовальную шкурку в виде полосы прямоугольной формы. Шлифовальную ленту с замкнутым контуром называют *бесконечной шлифовальной лентой*. Ее основные размеры: по ширине от 2,5 до 2650 мм по длине от 220 до 12500 мм.

Несклеенные шлифовальные ленты называют *лентами-бобинами* типов Б, БМ. Основные размеры лент-бобин по ширине от 2,5 до 1500 мм, по длине 25000, 30000, 40000, 50000 и 100000 мм.

Шлифовальную шкурку формы круга называют *шлифовальным диском*. Диски могут иметь радиальные прорезы заданной глубины. Материал основы дисков может быть тканью, бумагой, фиброй и т. д.

Диски типов Д, ДО выпускают по ГОСТ 22773-77 с основными размерами: наружный диаметр 80, 95, 100, 125, 140, 150, 180, 201, 225, 235, 250, 300, 320, 340 мм: диаметр отверстия 8, 12, 22, 30, 40 мм. Диски с прорезями типа ДП выпускают по ГОСТ 22773-77 с наружным диаметром 100, 125, 140, 150, 160, 170 мм.

Шлифовальную шкурку формы цилиндра называют *шлифовальной трубкой*. По ГОСТ 22774-77 ее выпускают высотой 180 мм с диаметром отверстия 10, 15, 20, 25, 32, 40, 45, 50, 55, 60, 65 мм. Шлифовальную трубку, диаметр которой равен или превышает ее высоту, называют *шлифовальным кольцом*.

Шлифовальную шкурку формы конуса называют *шлифовальным конусом* или *усеченным шлифовальным конусом*. По ГОСТ 22774-77 выпускают: шлифовальные конусы типа К с наружным диаметром 25, 30, 40, 50 мм, высотой 50, 60, 80, 100 мм: усеченные шлифовальные конусы типа КУ с наружным диаметром 40, 45 мм высотой 100, 140, 145 мм с внутренним диаметром 32, 35 мм.

Шлифовальные круги, состоящие из радиально расположенных и закрепленных одной стороной шлифовальных листов заданной формы, называют *лепестковыми шлифовальными кругами*. Лепестковые круги типа КЛ выпускают по ГОСТ 22775-77 с наружным диаметром 120, 175, 300, 350, 400, 500 мм, высотой 25, 40, 50, 75, 100, 140 мм, с диаметром отверстия 32, 40 мм. Лепестковые круги типа КЛО (с оправкой) выпускают по ГОСТ 22775-77 с наружным диаметром 40, 50, 60, 80, 112, 140 мм, высотой 10, 20, 30, 40 мм, с диаметром оправки: 6, 8 мм.

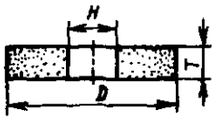
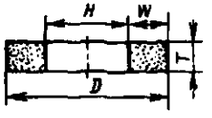
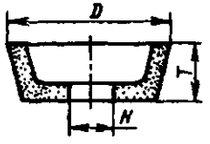
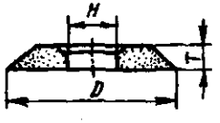
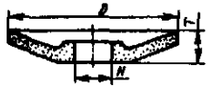
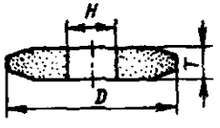
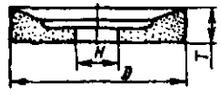
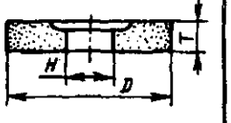
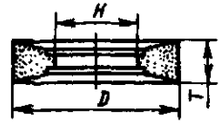
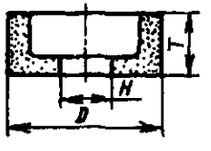
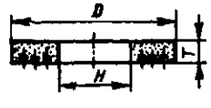
Диски на фибровой основе выпускают по ГОСТ 8692-82 с наружным диаметром 60, 70, 100, 150, 178, 200, 215 и 225 мм, диаметром отверстия 6 и 22 мм. Диски на основе из нетканых материалов (объемного полотна) выпускают с наружным диаметром 125 мм, диаметром отверстия 32 мм.

Классификация и обозначения форм шлифовальных кругов

Шлифовальные круги общего применения выпускают на керамической (К), бакелитовой (Б) и вулканитовой (В) связках. Марки связок и марки шлифовальных материалов для кругов приведены в нормативно-технической документации.

Типы и основные размеры шлифовальных кругов общего применения приведены в табл. 175 – 179. Круги типов 1; 5 и 7 изготовляют с профилем, приведенным в табл. 176.

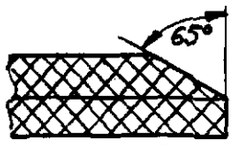
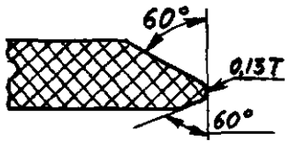
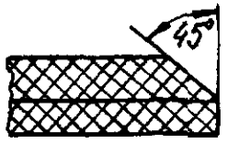
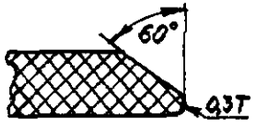
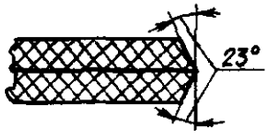
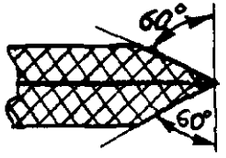
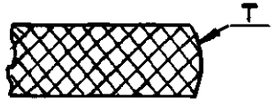
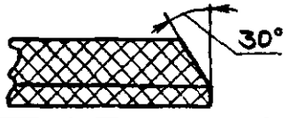
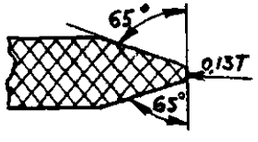
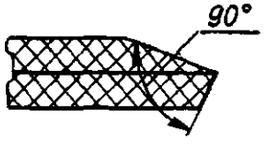
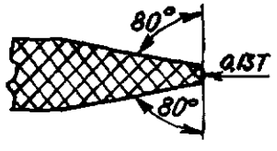
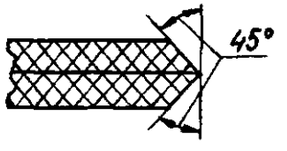
175. Типы шлифовальных кругов общего применения

Тип круга**	Форма круга *	Тип круга	Форма круга*
ПП (1) – прямого профиля		ПВДС (10) – с двусторонней выточкой и ступицей	
К (2) – кольцевые		ЧК (11) – чашечные конические	
3П (3) – с коническим профилем		1Т (14) – тарельчатые	
2П (4) – с двусторонним коническим профилем		ПВК (23) – с конической выточкой	
ПВ (5) – с выточкой		ПВДК (26) – с двусторонней конической выточкой	
ЧЦ (6) – чашечные цилиндрические		ПН (36) – с запрессованными крепежными элементами	
ПВД (7) – с двусторонней выточкой			

*Размеры кругов см. табл. 176, 177.

** В скобках даны обозначения, которые применяются с 01.01.90 г.

176. Обозначения профилей кругов по ГОСТ 2424-83

Обозначение	Профиль круга	Обозначение	Профиль круга
B		I	
C		J	
D		K	
E		L	
F		M	
G		N	
H		P	

Пример условного обозначения типоразмера круга типа 1 с профилем *N*, наружным диаметром *D* = 600 мм, высотой *T* = 80 мм, отверстия *H* = 305 мм:

1 – *N* – 600 × 80 × 305

177. Основные размеры (мм) и характеристики шлифовальных кругов по ГОСТ 2424–83 (в ред. 1990 г.)

Тип круга	Диаметр *D*	Высота *T*	Отверстие *H*	Шлифовальный материал	Зернистость
ПП (1)	3 – 25 32 – 150 175 – 350 400 – 1060	1 – 40 2,5 – 100 3,2 – 200 4 – 250	1 – 10 6 – 51 32 – 203 127 – 305	–	–
2П (4)	250 – 500	10 – 32	76 – 203	–	–
3П (3)	63 – 500	6 – 50	10 – 203		
ПВ (5)	10 – 600	13 – 80	3 – 127		
ПВК (23)	300 – 750	50 – 80	127 – 305		
ПВД (7)	100 – 900	25 – 250	32 – 305		
ЧЦ (6)	40 – 300	25 – 100	13 – 150		
ЧК (11)	50 – 300	25 – 150	13 – 150		
К (2)	200 – 600	80, 150	76 – 480		
Т, 1Т (12, 14)	80 – 350	8 – 40	13 – 127		
ПН (36)	400 – 600	50 – 75	160 – 305		
ПВДС (10)	150 – 300	8 – 20	32 – 127		
ПВК (26)	750	80	305		
Отрезные	100 – 400	2 – 4	20 – 32	1А, 5С	50 – 16
Отрезные с упрочняющими элементами для скоростей круга 60 и 80 м/с	50 – 1200	2 – 12	10 – 100	1А, 5С	125 – 40
Отрезные с упрочняющими элементами для работы на ручных машинах при скоростях круга 65 и 80 м/с	180; 230	3	22	1А, 5С	125 – 50
Круги на бакелитовой связке для обдирочного шлифования					
ПП (1)	125 – 900	10 – 160	32 – 305	1А, 3А, 5С	200 – 63
ПП (1) с упрочняющими элементами для скоростей круга 65 и 80 м/с	40 – 230	6 – 50	13 – 32	1А, 5С	125 – 50
ПВ (5)	40 – 200	13 – 32	20 – 100	1А, 5С	125 – 50
ЧЦ (6)	80; 125	40; 63	65; 100	1А, 5С	125 – 50
ЧК (11)	80; 125	32; 55	65; 88; 100	1А, 5С	125 – 50
К (2)	500; 600 600	100; 110; 150	380; 400; 480	1А	125 – 63

Примечание. В скобках приведены типы кругов, принятые с 1 января 1990 г.

178. Зернистость шлифовальных материалов

Вид шлифовального материала	Зернистость	Вид шлифовального материала	Зернистость
Нормальный электрокорунд	50 – 4	Монокорунд	50 – 8
Белый электрокорунд	50 – 5 М63 – М10	Зеленый карбид кремния	50 – 6 М63 – М10
Хромистый и кремниево-магниевый электрокорунд	50 – 6	Черный карбид кремния	50 – 6

179. Основные размеры (мм) и характеристики шлифовальных кругов на прочих связках

Тип круга	Связка	Диаметр *D*	Высота, *T*	Отверстие *H*	Шлифовальный материал	Зернистость
ПП (1)	Гибкая В5 для полировальных кругов	80 – 500	6 – 80	20 – 203	1А	40 – 16
	ПФ для кругов полировальных высокопористых	125 – 350	20 – 50	32	6С	25 – 6
	Вулканитовая В3 для кругов, изготовляемых методом прессования	35 – 600	16 – 63	10-305	1А, 6С	5 – М40
Плиты плоские П	Гибкая В5	300	10; 20	–	1А	40 – 16
К (2)	Магнезиальная	350	125	280	1А, 6С	25 – 6
Диски	На фибровой основе, на основе из нетканых материалов	125 – 225	–	22; 32	1А, 6С	125 – М40

Круги должны изготовляться из шлифовальных материалов зернистостей, указанных в табл. 178, на керамической, бакелитовой и вулканической связках.

Круги прямого профиля тип 1 (ПП) – универсальное применение. Наиболее распространенные случаи применения в зависимости от диаметра круга, мм: до 150 – внутреннее шлифование; 150 – 500 – заточка инструментов; 250 – 1100 – круглое наружное шлифование; 250 – 600 – бесцентровое шлифование; 200 – 450 – плоское шлифование периферией круга; 150 –600 – ручное обдирочное шлифование; 100 – 500 – резьбошлифование.

Круги с выточками 5 (ПВ), 23 (ПВК), 7 (ПВД), 26 (ПВДК) – универсальное применение. Назначение выточек: лучший доступ круга при подходе его к обрабатываемой детали; возможность одновременно шлифовать цилиндрические и торцовые поверхности ("в упор"); уменьшение площади соприкосновения торцовой поверхности круга с обрабатываемой поверхностью при обработке буртов, фланцев (формы 23, 26).

Круги с профилем, приведенным в табл. 176, применяют для резьбошлифования, шлицешлифования, зубошлифования, заточки некоторых видов многолезвийного инструмента и пил.

Специальные круги – для обдирочного плоского шлифования. Рифленая поверхность кругов снижает нагрев обрабатываемой детали. Иногда применяют для чистового шлифования на специальных станках.

Диски – для шлифования глубоких узких пазов, отрезных и прорезных работ, шлифования профильных поверхностей на профильношлифовальных станках.

Кольцевые круги 2 (К) – для плоского шлифования торцом круга. Крепление кругов на планшайбе при помощи цементирующих веществ.

Чашечные цилиндрические круги 6(ЧЦ) – для заточки и доводки режущего инструмента, внутреннего и плоского шлифования (например, шлифования направляющих станин и корпусных деталей).

Чашечные конические круги 11(ЧК) – для заточки и доводки инструментов, плоского шлифования в случае, когда затруднена обработка кругами других форм.

180. Основные размеры (мм) и характеристики эльборовых шлифовальных кругов по ГОСТ 17123-79 (в ред. 1989 г.) на керамической и органической связках

Тип круга	Наружный диаметр	Высота	Отверстие	Зернистость	Твердость
1А1-1	20 – 750	4 – 100	6 – 305	Л20 – ЛМ5	СМ2 – СТ1
1А1-2	80 – 400	10 – 32	20 – 203	Л20 – ЛМ5	–
А8	1 – 22	1,6 – 25	0,5 – 8,0	Л20 – ЛМ40	СМ2 – Т2
12В2	125 – 150	28 – 30	32	Л20 – ЛМ5	С1 – СТ1
1D1	60 – 500	10 – 20	13 – 305	Л12 – Л6	СМ1 – СМ2
1Е1	25 – 150	8; 10	8 – 51	Л12 – Л6	СТ3-Т2
1Е6Q	40 – 500	6 – 13	20 – 305	Л16 – Л5	СМ2 – С2
1V1-1	100 – 250	8 – 20	32; 76	Л12 – Л6	СМ1 – С2
1R1	100; 250	35, 10	32; 76	Л20 – ЛМ5	СМ1 – С2
4V9	200; 250	16; 20	32; 50,8; 76	Л20 – ЛМ5	СМ1 – С2
12R4	80 – 200	10 – 20	20; 32	Л20 – ЛМ5	СМ1 – С1
12R9	100 – 300	10 – 20	20; 32; 27	Л20 – ЛМ5	СМ1 – С1
12V9	75 – 150	20; 25	16; 51	Л20 – ЛМ5	–
12А2-20°	75 – 250	10 – 21,5	16; 51	Л20 – ЛМ5	–
12С2	100; 150	26	20; 32	Л20 – Л12	–
12V5-20°	75 – 125	10 – 11,5	20; 32	Л20 – ЛМ2	С1 – СТ1
11А2	75 – 150	35; 50	20; 32	Л20 – ЛМ5	–
12V5-45°	50; 160	10 – 35	16 – 32	Л20 – ЛМ5	–
12А2-45°	50 – 250	20 – 50	16 – 51	Л20 – ЛМ5	–
9А3	100 – 250	20; 25	32; 76	Л20 – ЛМ5	–
6А2	75 – 250	20 – 30	20 – 76	Л20 – ЛМ5	СТ1 – Т2
1F1X	35 – 135	10 – 29	10 – 32	Л20 – ЛМ5	
14А1	75; 200	8 – 13	20; 32	Л20 – ЛМ5	–
14ЕЕ1	50 – 400	5	16 – 203	Л20 – ЛМ5	

Тарельчатые круги Т – для заточки и доводки многолезвийного режущего инструмента, зубошлифования и шлифования.

Алмазные и эльборовые шлифовальные круги классифицируются по ГОСТ 24747-90. В зависимости от формы корпуса, формы и расположения алмазоносного и эльборосодержащего слоя, а также от модификации корпуса устанавливаются определенные обозначения форм кругов. Первые две или одна цифры (с 1 по 15) в коде относятся к обозначению формы сечения корпуса. Следующие две или одна буквы (А, АН, В, ..., D, DD, Е, ЕЕ, F, FF, ...U, V, Y) относятся к обозначению формы сечения алмазоносного или абразивосодержащего слоя. Следующая цифра (1... 10) означает расположение абразивосодержащего слоя на корпусе, а индексы В, С, Н, Т, М, Р, Q, R, V, W, S, Y – модификацию корпуса.

Пример обозначения формы алмазного или эльборового круга 6А2С:

6 – форма корпуса круга;

А – форма слоя;

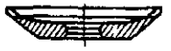
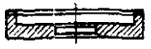
2 – расположение слоя;

С – модификация корпуса.

Типы шлифовальных эльборовых кругов приведены в табл. 183, а их основные размеры и характеристики – в табл. 180. Формы алмазных кругов приведены в табл. 181.

Шлифовальные головки по ГОСТ 2447-82 приведены в табл. 184.

181. Формы шлифовальных алмазных кругов

Тип круга	Форма сечения	Тип круга	Форма сечения
А8 по ГОСТ 16168-91Е		12А2 по ГОСТ 16175-90Е	
1А1 по ГОСТ 16167-90Е		12R4 по ГОСТ 16176-82	
14U1 по ГОСТ 16169-81		12V5 по ГОСТ 16177-82	
6А2 по ГОСТ-16170-91Е		12D9 (α = 15° и α = 20°) по ГОСТ 16178-82	
9А33 ГОСТ 16171-91Е		14ЕЕ1Х по ГОСТ 16179-91Е	
11V9 по ГОСТ 16173-91Е		1FF1X по ГОСТ 16180-91Е	
12V5 по ГОСТ 16174-81			

Примечание. Размеры кругов приведены в соответствующих ГОСТах, а технические требования в ГОСТ 1681-82

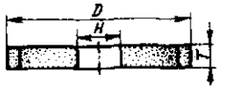
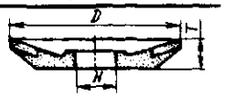
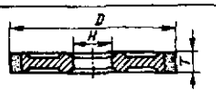
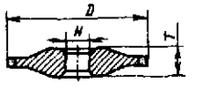
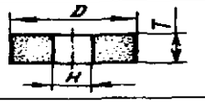
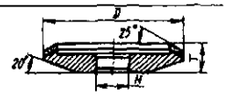
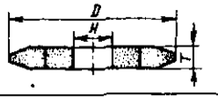
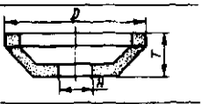
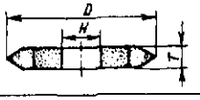
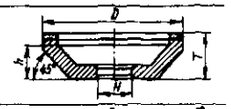
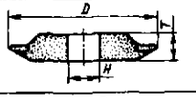
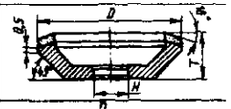
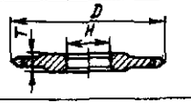
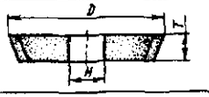
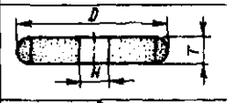
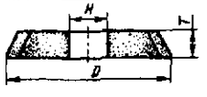
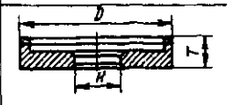
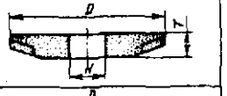
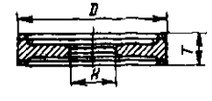
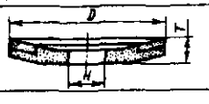
Дисбаланс алмазных шлифовальных кругов (по ГОСТ 16181-82) не должен превышать значений, приведенных в табл. 182.

182. Дисбаланс алмазных шлифовальных кругов

Масса круга, кг	Дисбаланс, г·см
До 0,10	0,4
от 1,00 до 1,10	4,0
от 10,00 до 11,00	22,0
от 20,00 до 21,00	42,0
от 30,00 до 31,00	62,0
от 40,00 до 41,00	82,0
от 49,00 до 50,00	100,0

Промежуточные значения получают интерполяцией.

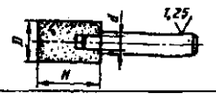
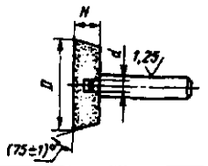
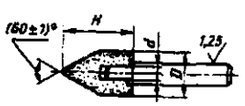
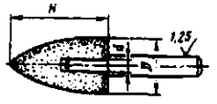
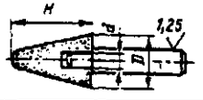
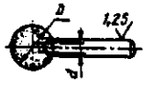
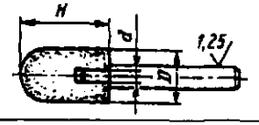
183. Типы шлифовальных эльборовых кругов по ГОСТ 17123-79

Тип*	Формы круга**	Тип*	Формы круга**
1А1-1 (ЛПП-1) плоские прямого профиля на керамической связке		12V9 (Л4Т) тарельчатые	
1А1-2 (ЛПП-2) плоские прямого профиля		12А2-20° (ЛТ) тарельчатые	
12А1 (ЛПП-3) плоские прямого профиля		12R4 (Л1Т) тарельчатые	
А8 (Л1ПП) плоские прямого профиля без корпуса		12V5 - 20° (Л3Т) тарельчатые	
1D1 (Л2П-1) плоские с двусторонним коническим профилем		11А2 (ЛЧК-1) чашечные конические	
1Е1 (Л2П-2) плоские с двусторонним профилем		12А2 - 45° (ЛЧК-2) чашечные конические	
1Е6Q (Л2П-3) плоские с двусторонним профилем		12V2 - 45° (Л2ЧК) чашечные конические	
14ЕЕ1 (Л2П-4) плоские с двусторонним профилем		1А2 (ЛПН) плоские прямого профиля	
1V1 (Л3П) плоские с односторонним коническим профилем		1F1X (Л1ФП) плоские с полукругловыпуклым профилем	
1R1 (Л4П-1) плоские с односторонним коническим профилем		6А2 (ЛПВ) плоские с выточкой	
4V9 (Л4П) профильные		9А3 (ЛПВД) плоские с двусторонней выточкой	
12R9 (Л2Т) тарельчатые			

* В скобках даны обозначения типов кругов, применявшиеся до 1 января 1982 г.

** Размеры кругов см. табл. 180.

184. Типы и основные размеры (мм) шлифовальных головок по ГОСТ 2447-82

Тип головки	Форма сечения	D	H	d
AW – цилиндрические		3 – 40	6 – 63	1 – 13
DW – угловые		12 – 40	6 – 10	6
EW – конические		10 – 32	25 – 50	3; 6
F-1W – сводчатые		6 – 38	10 – 50	2 – 10
KW – конические с закругленной вершиной		16 – 40	16 – 60	6; 13
F-2W – шаровые		10 – 32	–	3; 6
FW – шаровые с цилиндрической боковой поверхностью		16 – 25	20 – 32	6

Пример обозначения головки:

AW8 × 10 24A 25 – H CT1 6 K A 35 м/с ГОСТ 2447-82,

где AW – тип головки; 8 – диаметр, мм; 10 – высота, мм; 24А – белый электрокорунд, 25 – Н – зернистость; СТ1 – степень твердости; 6 – номер структуры; К – керамическая связка; А – класс точности; 35 м/с – рабочая скорость.

Шлифовальные головки изготовляют на керамической связке из белого электрокорунда марок 25А, 24А зернистостью 40 – 6 и из карбида кремния зеленого марок 64С, 63С с зернистостью 40 – 16.

Типы и основные размеры шлифовальных головок приведены в табл. 184. Головки должны изготавливаться степеней твердости С1 – СТ2.

Правка абразивного инструмента

Работоспособность абразивного инструмента определяется его способностью выполнять при заданных условиях обработку заготовок с установленными требованиями. Под заданными условиями понимают характеристики обрабатываемого материала, технологического оборудования и режимов резания, а под установленными требованиями – параметры шероховатости поверхности, заданную точность размеров, геометрической формы и взаимного расположения поверхностей.

Параметры работоспособности абразивного инструмента обычно изменяются во времени. Восстановление заданной геометрической формы и режущей способности рабочей поверхности инструмента называют *правкой*. Необходимость в правке отпадает для тех инструментов, которые обладают самозатачиваемостью, т. е. свойством абразивного инструмента сохранять работоспособное состояние в течение всего периода эксплуатации. В *режиме самозатачивания работают сегментные* торцешлифовальные круги, хонинговальные и суперфинишные бруски, обдирочные круги, шлифовальные круги с определенными характеристиками и ряд других инструментов. Для большинства абразивных инструментов параметры работоспособности определяются состоянием рельефа рабочих поверхностей, отклонениями от геометрической формы и их взаимного расположения.

Изменение состояния рельефа рабочих поверхностей абразивного инструмента связано либо с его затуплением, либо с засаливанием. При затуплении изменяются такие показатели геометрии рельефа, как относительная опорная длина профиля, суммарная и средняя площади профиля неровностей над фиксированным уровнем, среднее число зерен на единице базовой длины на фиксированном уровне или средний шаг между зернами. Обычно затупление проявляется в образовании "плоских" площадок на зернах или в увеличении условных радиусов поверхностей, аппроксимирующих поверхность зерен. Засаливание заключается в переносе обрабатываемого материала на поверхность инструмента, т. е. в заполнении пор и микронеровностей на поверхности абразивных зерен.

По кинематике относительного движения правящих и абразивных инструментов различают правку методами: продольного или торцового точения, шлифования, обкатывания, *тангенциального точения, накатывания.*

По материалу рабочей части правящего инструмента различают алмазные и безалмазные правящие инструменты, инструменты из сверхтвердых материалов.

По геометрической форме различают следующие правящие инструменты: резцы, карандаши, иглы, бруски, ролики, звездочки, диски гладкие и гофрированные, круги шлифовальные, накатники, пластины, гребенки.

По числу активных элементов на рабочей поверхности правящего инструмента различают одно- и многокристальные инструменты.

По геометрии и ориентации зерен на рабочей поверхности различают правящие инструменты:

из обработанных алмазов с ориентированным расположением;

из необработанных алмазов с произвольным расположением;

из необработанных алмазов с ориентированным расположением.

По способу подвода энергии различают правку: механическую, электрохимическую, электроэрозионную, электроконтактную, химическую.

Выбор метода правки и характеристики правящего инструмента основывается на учете большого числа технических, экономических и организационных факторов. Номенклатура правящих инструментов насчитывает несколько сотен наименований. Наиболее распространенные правящие инструменты рассмотрены ниже.

Алмазные карандаши изготовляют по ГОСТ 607-80 четырех типов: 01, 02, 03 и 04 в трех исполнениях: А, В. С:

01 – алмазы расположены цепочкой по оси карандаша;

02 – алмазы расположены слоями;

03 – алмазы расположены на сферической поверхности;

04 – алмазы с неориентированным расположением;

исполнения: А – цилиндрические; В – с коническим корпусом, С – ступенчатые.

Карандаши типа 01 выпускают диаметром 10 мм, длиной от 45 до 70 мм, с пятью весовыми группами алмазов: 0,03 – 0,05; 0.05 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,50; 0,31 – 0,50 карат.

Карандаши типа 02 выпускают диаметром 10 или 12 мм, длиной 60 мм, с тремя весовыми группами алмазов: 0,017 – 0,025; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,20 карат.

Карандаши типа 03 выпускают с алмазами двух весовых групп: 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,20 карат.

Карандаши типа 04 выпускают с алмазным порошком зернистостью от 63/50 до 1250/1000.

Алмазы в оправах выпускают по ГОСТ 22908-78; в зависимости от формы державки различают четыре типа: тип I – цилиндрические диаметром от 6 до 12 мм; тип II – цилиндрические с головкой диаметром 10и12 мм; тип III – конические с конусом Морзе В10 и В12; тип IV – резьбовые с резьбой М10 × 1.

Шифры алмазов в оправах – от 0101 до 0308 – в зависимости от типа, угла конуса на державке и массы алмаза в каратах. Масса алмаза имеет большие пределы: от 0,02 – 0,04 до 1.61 – 2,10 карата.

Алмазы в оправах применяют для правки шлифовальных кругов любых характеристик на операциях окончательного шлифования при требованиях к шероховатости поверхности: при врезном внутреннем и наружном круглом, плоском шлифовании *Ra* = 0,16 ... 0,32 мкм; при шлифовании с продольной подачей *Ra* ... 0,08 – 0,16 мкм; при профильном шлифовании – без ограничений.

Алмазные резцы ГОСТ 17368-79 состоят из державки и ограненного кристалла алмаза обычно ром-бододекаэдрической формы, удлиненного по кристаллографической оси третьего и четвертого порядка. Рекомендуется использовать алмазные резцы для правки червячных шлифовальных кругов на зубошлифовальных станках, правки резьбошлифовальных кругов, для профилирования кругов на круглошлифовальных и плоскошлифовальных станках при предварительной, получистовой и чистовой правке.

Алмазные иглы имеют алмаз массой от 0,21 до 0,40 карат, установленный в державке диаметром 6; 8; 9,5; 10 мм, длиной 35 и 50 мм. Рабочая поверхность алмаза – коническая с углом при вершине 90° (60°). Алмазные иглы предназначены для правки однониточных резьбошлифовальных кругов, используемых для шлифования высокоточных резьбовых поверхностей. Алмазные иглы выпускают по ГОСТ 17564-85.

Алмазные бруски изготовляют с прямым или фасонным профилем. Бруски прямоугольной формы с прямым профилем используют на операциях шарошлифования для правки абразивных кругов при непрерывном возвратно-поступательном движении бруска или для правки сегментных кругов, работающих торцом на плоскошлифовальных станках.

Алмазные фасонные бруски используют на плоскошлифовальных станках для профильной правки. Допускается изменение профиля по высоте до 20 мм, наименьший радиус закругления на профиле 0,1 мм. Достижимый параметр шероховатости поверхности *Ra* = 1,25 мкм, точность линейных размеров ± 0,01 мм, точность угловых размеров ± 10'.

Алмазные ролики прямого профиля изготовляют по ГОСТ 16014-78 диаметром 70 мм, шириной 20 мм и применяют для правки шлифовальных кругов прямого профиля и для профильной правки кругов по копиру на операциях шлифования коленчатых валов автомобильных и тракторных двигателей.

Алмазные ролики фасонного профиля предназначены для профильной правки кругов в массовом и крупносерийном производстве на операциях врезного шлифования деталей сложной конфигурации с разобщенными поверхностями.

Точность обработки после правки роликами следующая:

по линейным размерам профиля ± 0,01 мм;

по угловым размерам профиля ± 20';

шероховатость поверхности *Ra* 0,63.

В качестве безалмазных правящих инструментов используют круги из карбида кремния, металлические звездочки, гофрированные и гладкие диски, стальные и твердосплавные ролики: малогабаритные твердосплавные диски.

Сопоставление экономических показателей алмазной и безалмазной правки шлифовальных кругов типа 1 (ПП) показало, что при шлифовании партии заготовок свыше 10000 шт. правку целесообразно осуществлять алмазными роликами, при шлифовании партии от 600 до 10000 заготовок – твердосплавными роликами, а при шлифовании партии до 600 заготовок – стальными роликами.

Экономичность алмазной правки обусловлена: повышением периода стойкости кругов между правками на 20 – 50 %; уменьшением расхода абразива при правке на 20 – 30 %; уменьшением времени, затрачиваемого на правку, на 20 – 30 %; снижением параметра шероховатости заготовок по параметру *Ra* в 2 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Баранчиков В. И.** Справочник конструктора-инструментальщика. М.: Машиностроение, 1994. 384 с.

2. **Баранчиков В. И., Жариков А. В., Юдина Н. Д. и др.** Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов. Справочник. М.: Машиностроение, 1990. 400 с.

3. **Конструкции** и эксплуатация резцов, оснащенных синтетическими сверхтвердыми материалами на основе нитрида бора. / Г. В. Боровский, С. У. Молодых и др. М.: ВНИИТЭМР, 1987. 70 с.

4. **Справочник технолога-машиностроителя.** В 2-х томах. Т. 2 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. 496 с.

Глава 4 РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Приведенные ниже краткие данные по назначению режимов резания разработаны с использованием официальных изданий по режимам резания инструментами из быстрорежущей стали и из твердого сплава. Они рассчитаны на применение инструментов с оптимальными значениями геометрических параметров режущей части, с режущими элементами из твердого сплава, заточенными алмазными кругами, а из быстрорежущей стали – кругами из эльбора.

При назначении элементов режимов резания учитывают характер обработки, тип и размеры инструмента, материал его режущей части, материал и состояние заготовки, тип и состояние оборудования.

Элементы режима резания обычно устанавливают в порядке, указанном ниже.

Глубина резания t: при черновой (предварительной) обработке назначают по возможности максимальную t, равную всему припуску на обработку или большей части его; при чистовой (окончательной) обработке – в зависимости от требований точности размеров и шероховатости обработанной поверхности.

Подача s: при черновой обработке выбирают максимально возможную подачу, исходя из жесткости и прочности системы СПИЗ, мощности привода станка, прочности твердосплавной пластинки и других ограничивающих факторов; при чистовой обработке – в зависимости от требуемой степени точности и шероховатости обработанной поверхности.

Скорость резания v рассчитывают по эмпирическим формулам, установленным для каждого вида обработки, которые имеют общий вид

$$v_{тб} = \frac{C_v}{T^m t^x s^y}. \qquad (1)$$

Значения коэффициента C_v и показателей степени, содержащихся в этих формулах, так же как и периода стойкости T инструмента, применяемого для данного вида обработки, приведены в таблицах для каждого вида обработки.

Вычисленная с использованием табличных данных скорость резания $v_{тб}$ учитывает конкретные значения глубины резания t подачи s и стойкости T и действительна при определенных табличных значениях ряда других факторов. Поэтому для получения действительного значения скорости резания v с учетом конкретных значений упомянутых факторов вводится поправочный коэффициент K_v. Тогда действительная скорость резания $v = v_{тб} K_v$, где K_v – произведение ряда коэффициентов. Важнейшими из них, общими для различных видов обработки, являются:

K_{mv} – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала (табл. 1 – 4);

K_{nv} – коэффициент, отражающий состояние поверхности заготовки (табл. 5);

K_{uv} – коэффициент, учитывающий качество материала инструмента (табл. 6).

1. Поправочный коэффициент K_{mv}, учитывающий влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Расчетная формула
Сталь	$K_{mv} = K_г \left(\frac{750}{\sigma_в}\right)^{n_v}$
Серый чугун	$K_{mv} = \left(\frac{190}{HB}\right)^{n_v}$
Ковкий чугун	$K_{mv} = \left(\frac{150}{HB}\right)^{n_v}$

Примечания: 1. $\sigma_в$ и HB – фактические параметры, характеризующие обрабатываемый материал, для которого рассчитывается скорость резания.

2. Коэффициент $K_г$, характеризующий группу стали по обрабатываемости, и показатель степени n_v см. в табл. 2.

2. Значения коэффициента $K_г$ и показатели степени n_v в формуле для расчета коэффициента обрабатываемости стали K_{mv}, приведенные в табл. 1

Обрабатываемый материал	Коэффициент для инструмента		Показатели степени n_v, при обработке					
			резцами		сверлами, зенкерами, развертками		фрезами	
	из быстрорежущей стали	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	из твердого сплава
Сталь:								
углеродистая (C ≤ 0,6 %)								
$\sigma_в$, МПа:								
< 450	1,0	1,0	-1,0		-0,9		-0,9	
450 ... 550	1,0	1,0	1,75		-0,9		-0,9	
> 550	1,0	1,0	1,75		0,9		0,9	
повышенной и высокой обрабатываемости резанием хромистая	1,2	1,1	1,75		1,05		–	
углеродистая (C > 0,6 %)	0,85	0,95	1,75				1,45	
хромоникелевая, хромомолибденованадиевая	0,8	0,9	1,5				1,35	
хромомарганцовистая, хромокремнистая, хромокремнемарганцовистая, хромоникельмолибденовая, хромомолибденоалюминиевая	0,7	0,8	1,25	1,0		1,0		1,0
хромованадиевая	0,85	0,8	1,25		0,9			
марганцовистая	0,75	0,9	1,5				1,0	
хромоникельвольфрамовая, хромомолибденовая	0,8	0,85	1,25					
хромоалюминиевая	0,75	0,8	1,25					
хромоникельванадиевая	0,75	0,85	1,25					
быстрорежущая	0,6	0,7	1,25					
Чугун:								
серый	–	–	1,7	1,25	1,3	1,3	0,95	1,25
ковкий	–	–	1,7	1,25	1,3	1,3	0,85	1,25

3. Поправочный коэффициент $K_{мv}$, учитывающий влияние физико-механических свойств жаропрочных и коррозионно-стойких сталей и сплавов на скорость резания

Марка стали или сплава	$\sigma_в$, МПа	Среднее значение коэффициента $K_{мv}$	Марка стали или сплава	$\sigma_в$, МПа	Среднее значение коэффициента $K_{мv}$
12Х18Н9Т	550	1,0	ХН60ВТ	750	0,48
13Х11Н2В2МФ	1100 – 1460	0,8 – 0,3	ХН77ТЮ	850 – 1000	0,40
14Х17Н2	800 – 1300	1,0 – 0,75	ХН77ТЮР		0,26
13Х14Н3В2ФР	700 – 1200	0,5 – 0,4	ХН35ВТ	950	0,50
37Х12Н8Г8МФБ	–	0,95 – 0,72	ХН70ВМТЮ	1000 – 1250	0,25
45Х14Н14В2М	700	1,06	ХН55ВМТКЮ	1000 – 1250	0,25
10Х11Н20Т3Р	720 – 800	0,85	ХН65ВМТЮ	900 – 1000	0,20
12Х21Н5Т	820 – 10 000	0,65	ХН35ВТЮ	900 – 950	0,22
20Х23Н18	600 – 620	0,80	ВТ3-1; ВТ3	950 – 1200	0,40
31Х19Н9МВБТ		0,40	ВТ5; ВТ4	750 – 950	0,70
15Х18Н12С4ТЮ	730	0,50	ВТ6; ВТ8	900 – 1200	0,35
ХН78Т	780	0,75	ВТ14	900 – 1400	0,53 – 0,43
ХН75МБТЮ	–	0,53	12Х13	600 – 1100	1,5 – 1,2
			30Х13; 40Х13	850 – 1100	1,3 – 0,9

4. Поправочный коэффициент $K_{мv}$, учитывающий влияние физико-механических свойств медных и алюминиевых сплавов на скорость резания

Медные сплавы	$K_{мv}$	Алюминиевые сплавы	$K_{мv}$
Гетерогенные:		Силумин и литейные сплавы (закаленные), $\sigma_в$ = 200 … 300 МПа, *HB* > 60	0,8
HB > 140	0,7		
100 … 140 *HB*	1,0		
Свинцовистые при основной гетерогенной структуре	1,7	Дюралюминий (закаленный), $\sigma_в$ = 400 … 500 МПа, *HB* > 100	
Гомогенные	2,0		
Сплавы с содержанием свинца < 10 % при основной гомогенной структуре	4,0	Силумин и литейные сплавы, $\sigma_в$ = 100 … 200 МПа, *HB* ≤ 65. Дюралюминий, $\sigma_в$ = 300 … 400 МПа, *HB* ≤ 100	1,0
Медь	8		
Сплавы с содержанием свинца > 15 %	12,0	Дюралюминий, $\sigma_в$ = 200 … 300 МПа	1,2

5. Поправочный коэффициент $K_{пv}$, учитывающий влияние состояния поверхности заготовки на скорость резания

Состояние поверхности заготовки					
без корки	с коркой				
	Прокат	Поковка	Стальные и чугунные отливки при корке		Медные и алюминиевые сплавы
			нормальной	сильно загрязненной	
1,0	0,9	0,8	0,8 – 0,85	0,5 – 0,6	0,9

6. Поправочный коэффициент $K_{иv}$, учитывающий влияние инструментального материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Значения коэффициента $K_{иv}$ в зависимости от инструментального материала						
Сталь конструкционная	Т5К12В	Т5К10	Т14К8	Т15К6	Т15К6	Т30К4	ВК8
	0,35	0,65	0,8	1,00	1,15	1,4	0,4
Коррозионно-стойкие и жаропрочные стали	ВК8	Т5К10	Т15К6	Р18	–		
	1,0	1,4	1,9	0,3			
Сталь закаленная	35 … 50 *HRC*				51 … 62 *HRC*		
	Т15К6	Т30К4	ВК6	ВК8	ВК4	ВК6	ВК8
	1,0	1,25	0,85	0,83	1,0	0,92	0,74
Серый и ковкий чугун	ВК8	ВК6	ВК4	ВК3	ВК3	–	
	0,83	1,0	1,1	1,15	1,25		
Сталь, чугун, медные и алюминиевые сплавы	Р6М5	ВК4	ВК6	9ХС	ХВГ	У12А	–
	1,0	2,5	2,7	0,6	0,6	0,5	

Стойкость T – период работы инструмента до затупления, приводимый для различных видов обработки, соответствует условиям одноинструментной обработки. При многоинструментной обработке период стойкости T следует увеличивать. Он зависит прежде всего от числа одновременно работающих инструментов, отношения времени резания к времени рабочего хода, материала инструмента, вида оборудования. При многостаночном обслуживании период стойкости T также необходимо увеличивать с возрастанием числа обслуживаемых станков.

В обычных случаях расчет точного значения периода стойкости громоздкий. Поэтому ориентировочно можно считать, что период стойкости при многоинструментной обработке

$$T_{ми} = TK_{T_и}, \qquad (2)$$

а при многостаночном обслуживании

$$T_{мс} = TK_{T_с}, \qquad (3)$$

где T – стойкость лимитирующего инструмента; $K_{T_и}$ – коэффициент изменения периода стойкости при многоинструментной обработке (табл. 7); $K_{T_с}$ – коэффициент изменения периода стойкости при многостаночном обслуживании (табл. 8).

Сила резания. Под силой резания обычно подразумевают ее главную составляющую P_z, определяющую расходуемую на резание мощность N_e и крутящий момент на шпинделе станка. Силовые зависимости рассчитывают по эмпирическим формулам, значения коэффициентов и показателей степени в которых для различных видов обработки приведены в соответствующих таблицах.

7. Коэффициент изменения стойкости $K_{T_н}$ в зависимости от числа одновременно работающих инструментов при средней по равномерности их загрузке

Число работающих инструментов	1	3	5	8	10	15
$K_{T_н}$	1	1,7	2	2,5	3	4

Примечания: 1. При равномерной загрузке инструментов коэффициент $K_{T_н}$ увеличивать в 2 раза.

2. При загрузке инструментов с большой неравномерностью коэффициент $K_{T_н}$ уменьшать на 25 – 30 %.

8. Коэффициент изменения периода стойкости K_{T_c} в зависимости от числа одновременно обслуживаемых станков

Число обслуживаемых станков	1	2	3	4	5	6	7 и более
K_{T_c}	1,0	1,4	1,9	2,2	2,6	2,8	3,1

9. Поправочный коэффициент $K_{мр}$ для стали и чугуна, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости

Обрабатываемый материал	Расчетная формула	Показатель степени n при определении		
		составляющей P_z силы резания при обработке резцами	крутящего момента M и осевой силы P_0 при сверлении, рассверливании и зенкеровании	окружной силы резания P_z при фрезеровании
Конструкционная углеродистая и легированная сталь $\sigma_в$, МПа:				
≤ 600	$K_{мр}=\left(\frac{\sigma_в}{750}\right)^n$	0,75/0,35	0,75/0,75	0,3/0,3
> 600		0,75/0,75	0,75/0,75	0,3/0,3
Серый чугун	$K_{мр}=\left(\frac{HB}{190}\right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55
Ковкий чугун	$K_{мр}=\left(\frac{HB}{150}\right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55

Примечание. В числителе приведены значения показателя степени n для твердого сплава, в знаменателе – для быстрорежущей стали.

10. Поправочный коэффициент $K_{мр}$, учитывающий влияние качества медных и алюминиевых сплавов на силовые зависимости

Медные сплавы	$K_{мр}$	Алюминиевые сплавы	$K_{мр}$
Гетерогенные:		Алюминий и силумин	1,0
120 *HB*	1,0	Дюралюминий, $\sigma_в$, МПа:	
св. 120 *HB*	0,75	250	1,5
Свинцовистые при основной гетерогенной структуре и свинцовистые с содержанием свинца 10 % при основной гомогенной структуре	0,65 – 0,70	350	2,0
		> 350	2,75
Гомогенные	1,8 – 2,2		
Медь	1,7 – 2,1		
С содержанием свинца > 15 %	0,25 – 0,45		

Рассчитанные с использованием табличных данных силовые зависимости учитывают конкретные технологические параметры (глубину резания, подачу, ширину фрезерования и др.) и действительны при определенных значениях ряда других факторов. Их значения, соответствующие фактическим условиям резания, получают умножением на коэффициент K_p – общий поправочный коэффициент, учитывающий измененные по сравнению с табличными условия резания, представляющий собой произведение из ряда коэффициентов. Важнейшим из них является коэффициент $K_{мр}$, учитывающий качество обрабатываемого материала, значения которого для стали и чугуна приведены в табл. 9, а для медных и алюминиевых сплавов – в табл. 10.

ТОЧЕНИЕ

Глубина резания *t* при черновом точении и отсутствии ограничений по мощности оборудования, жесткости системы СПИЗ принимается равной припуску на обработку; при чистовом точении припуск срезается за два прохода и более. На каждом последующем проходе следует назначать меньшую глубину резания, чем на предшествующем. При параметре шероховатости обработанной поверхности *Ra* 3,2 включительно t = 0,5 ... 2,0 мм; *Ra* ≥ 0,8 мкм, t = 0,1 ... 0,4 мм.

Подача *s* при черновом точении принимается максимально допустимой по мощности оборудования, жесткости системы СПИЗ, прочности режущей пластины и прочности державки. Рекомендуемые подачи при черновом наружном точении приведены в табл. 11, а при черновом растачивании – в табл. 12.

Максимальные величины подач при точении стали 45, допустимые прочностью пластины из твердого сплава, приведены в табл. 13.

Подачи при чистовом точении выбирают в зависимости от требуемых параметров шероховатости обработанной поверхности и радиуса при вершине резца (табл. 14).

При прорезании пазов и отрезании величина поперечной подачи зависит от свойств обрабатываемого материала, размеров паза и диаметра обработки (табл. 15).

Рекомендуемые подачи при фасонном точении приведены в табл. 16.

Скорость резания v (м/мин) при наружном продольном и поперечном точении и растачивании рассчитывают по эмпирической формуле

$$v=\frac{C_v}{T^m t^x s^y}K_v,$$

а при отрезании, прорезании и фасонном точении – по формуле

$$v=\frac{C_v}{T^m s^y}K_v.$$

Среднее значение стойкости T при одноинструментальной обработке 30 – 60 мин. Значения коэффициента C_v, показателей степени x, y и m приведены в табл. 17.

11. Подачи при черновом наружном точении резцами с пластинами из твердого сплава и быстрорежущей стали

Диаметр детали, мм	Размер державки резца, мм	Обрабатываемый материал									
		Сталь конструкционная углеродистая, легированная и жаропрочная					Чугун и медные сплавы				
		Подача s, мм/об, при глубине резания t, мм									
		До 3	Св. 3 до 5	Св. 5 до 8	Св. 8 до 12	Св. 12	До 3	Св.3 до 5	Св. 5 до 8	Св. 8 до 12	Св. 12
До 20	От 16 × 25 до 25 × 25	0,3 – 0,4	–	–				–			
Св. 20 до 40	От 16 × 25 до 25 × 25	0,4 – 0,5	0,3 – 0,4		–		0,4 – 0,5			–	
» 40 » 60	От 16 × 25 до 25 × 40	0,5 – 0,9	0,4 – 0,8	0,3 – 0,7		–	0,6 – 0,9	0,5 – 0,8	0,4 – 0,7		
» 60 » 100	От 16 × 25 до 25 × 40	0,6 – 1,2	0,5 – 1,1	0,5 – 0,9	0,4 – 0,8		0,8 – 1,4	0,7 – 1,2	0,6 – 1,0	0,5 – 0,9	
» 100 » 400	От 16 × 25 до 25 × 40	0,8 – 1,3	0,7 – 1,2	0,6 – 1,0	0,5 – 0,9		1,0 – 1,5	0,8 – 1,9	0,8 – 1,1	0,6 – 0,9	
» 400 » 500	От 20 × 30 до 40 × 60	1,1 – 1,4	1,0 – 1,3	0,7 – 1,2	0,6 – 1,2	0,4 – 1,1	1,3 – 1,6	1,2 – 1,5	1,0 – 1,2	0,7 – 0,9	
» 500 » 600	От 20 × 30 до 40 × 60	1,2 – 1,5	1,0 – 1,4	0,8 – 1,3	0,6 – 1,3	0,1 – 1,2	1,5 – 1,8	1,2 – 1,6	1,0 – 1,4	0,9 – 1,2	0,8 – 1,0
» 600 » 1000	От 25 × 40 до 40 × 60	1,2 – 1,8	1,1 – 1,5	0,9 – 1,4	0,8 – 1,4	0,7 – 1,3	1,5 – 2,0	1,3 – 1,8	,1,0 – 1,4	1,0 – 1,3	0,9 – 1,2
» 1000 » 2500	От 30 × 45 до 40 × 60	1,3 – 2,0	1,3 – 1,8	1,2 – 1,6	1,1 – 1,5	1,0 – 1,5	1,6 – 2,4	1,6 – 2,0	1,4 – 1,8	1,3 – 1,7	1,2 – 1,7

Примечания: 1. Нижние значения подач соответствуют меньшим размерам державки резца и более прочным обрабатываемым материалам, верхние значения подач – большим размерам державки резца и менее прочным обрабатываемым материалам.

2. При обработке жаропрочных сталей и сплавов подачи свыше 1 мм/об не применять.

3. При обработке прерывистых поверхностей и при работах с ударами табличные значения подач следует уменьшать на коэффициент 0,75 ... 0,85.

4. При обработке закаленных сталей табличные значения подачи уменьшать, умножая на коэффициент 0,8 для стали с 44 ... 56 *HRC* и на 0,5 для стали с 57 ... 62 *HRC*.

12. Подача при черновом растачивании на токарных, токарно-револьверных и карусельных станках резцами с пластинами из твердого сплава и быстрорежущей стали

Резец или оправка		Обрабатывасмый материал											
Диаметр круглого сечения резца или размеры прямоугольного сечения оправки, мм	Вылет резца или оправки, мм	Сталь конструкционная углеродистая, легированная и жаропрочная						Чугун и медные сплавы					
		Подача s, мм/об, при глубине резания t, мм											
		2	3	5	8	12	20	2	3	5	8	12	20
Токарные и токарно-револьверные станки													
10	50	0,08	–	–				0,12–0,16	–				
12	60	0,10	0,08					0,12–0,20	0,12–0,18	–			
16	80	0,1–0,2	0,15	0,1				0,20–0,30	0,15–0,25	0,1–0,18			
20	100	0,5–0,3	0,15–0,25	0,12				0,3–0,4	0,25–0,35	0,12–0,25	–		
25	125	0,25–0,5	0,15–0,4	0,12–0,2	–			0,4–0,6	0,3–0,5	0,25–0,35			
30	150	0,4–0,7	0,2–0,5	0,12–0,3				0,5–0,8	0,4–0,6	0,25–0,45			
40	200		0,25 –0,6	0,15–0,4					0,6–0,8	0,3–08			
40 × 40	150		0,6–1,0	0,5–0,7		–	–		0,7–1,2	0,5–0,9	0,4–0,5	–	–
	300		0,4 –0,7	0,3–0,6					0,6–0,9	0,4–0,7	0,3–0,4		
60 × 60	150		0,9–1,2	0,8–1,0	0,6– 0,8				1,0–1,5	0,8–1,2	0,6–0,9		
	300		0,7–1,0	0,5–0,8	0,4–0,7			–	0,9–1,2	0,7–0,9	0,5–0,7		
75 × 75	300		0,9–1,3	0,8–1,1	0,7–0 9				1,1–1,6	0,9–1,3	0,7–1,0		
	500		07–1,0	0,6–0,9	0,5–0,7				–	0,7–1,1	0,6–0,8		
	800			0,4–0,7						0,6–0,8	–		
Карусельные станки													
–	200		1,3–1,7	1,2–1,5	1,1–1,3	0,9–1,2	0,8–1.0		1,5–2,0	1,4–2,0	1,2–1,6	1,0–1,4	0,9–1,2
	300		1,2–1,4	1,0–1,3	0,9–1,1	0,8–1,0	0,6–0,8		1,4–1,8	1,2–1,7	1,0–1,3	0,8–1,1	0,7–0,9
	500	–	1,0–1,2	0,9–1,1	0,7–0,9	0,6–0,7	0,5–0,6	–	1,2–1,6	1,1–1,5	0,8–1,1	0,7–0,9	0,6–0,7
	700		0,8–1,0	0,7–0,8	0,5–0,6	–	–		1,0–1,4	0,9–1,2	0,7–0,9	–	–

Примечания: Верхние пределы подач рекомендуются для меньшей глубины резания при обработке менее прочных материалов, нижние – для большей глубины и более прочных материалов. 2. См. примечание 2 – 4 к табл. 11.

13. Подачи, мм/об, допустимые прочностью пластины из твердого сплава, при точении конструкционной стали резцами с главным углом в плане φ = 45°

Толщина пластины, мм	Глубина резания t, мм, до			
	4	7	13	22
4	1,3	1,1	0,9	0,8
6	2,6	2,2	1,8	1,5
8	4,2	3,6	3,6	2,5
10	6,1	5,1	4,2	3,6

Примечания: 1. В зависимости от механических свойств стали на табличные значения подачи вводить поправочный коэффициент: 1,2 при $\sigma_в$ = = 480 … 640 МПа; 1,0 при $\sigma_в$ = 650 … 870 МПа и 0,85 при $\sigma_в$ = 870 … 1170 МПа.

2. При обработке чугуна табличное значение подачи умножать на коэффициент 1,6.

3. Табличное значение подачи умножать на поправочный коэффициент 1,4 при φ = 30°; 1,0 при φ = 45°; 0,6 при φ = 60° и 0,4 при φ = 90°.

4. При обработке с ударами подачу уменьшать на 20 %.

14. Подачи, мм/об, при чистовом точении

Шероховатость поверхности, мкм		Радиус при вершине резца r, мм					
		0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
Ra	Rz						
0,63		0,07	0,10	0,12	0,14	0,15	0,17
1,25	–	0,10	0,13	0,165	0,19	0,21	0,23
2,50		0,144	0,20	0,246	0,29	0,32	0,35
	20	0,25	0,33	0,42	0,49	0,55	0,60
–	40	0,35	0,51	0,63	0,72	0,80	0,87
	80	0,47	0,66	0,81	0,94	1,04	1,14

Примечание. Подачи даны для обработки сталей с $\sigma_в$ = 700 … 900 МПа и чугунов; для сталей с $\sigma_в$ = 500 … 700 МПа значения подач умножать на коэффициент K_s = 0,45; для сталей с $\sigma_в$ = 900 … 1100 МПа значения подач умножать на коэффициент K_s = 1,25.

15. Подачи, мм/об, при прорезании пазов и отрезании

Диаметр обработки, мм	Ширина резца, мм	Обрабатываемый материал	
		Сталь конструкционная углеродистая и легированная, стальное литье	Чугун, медные и алюминиевые сплавы
Токарно-револьверные станки			
До 20	3	0,06–0,08	0,11–0,14
Св. 20 до 40	3–4	0,1–0,12	0,16–0,19
» 40 » 60	4–5	0,13–0,16	0,20–0,24
» 60 » 100	5–8	0,16–0,23	0,24–0,32
» 100 » 150	6–10	0,18–0,26	0,3–0,4
» 150	10–15	0,28–0,36	0,4–0,55
Карусельные станки			
До 2500	10–15	0,35–0,45	0,55–0,60
Св. 2500	16–20	0,45–0,60	0,60–0,70

Примечания: 1. При отрезании сплошного материала диаметром более 60 мм при приближении резца к оси детали до 0,5 радиуса табличные значения подачи следует уменьшить на 40 – 50 %.

2. Для закаленной конструкционной стали табличные значения подачи уменьшать:

на 30 % при HRC < 50,

на 50 % при HRC > 50.

3. При работе резцами, установленными в револьверной головке, табличные значения подачи умножать на коэффициент 0,8.

16. Подачи, мм/об, при фасонном точении

Ширина резца, мм	Диаметр обработки, мм			
	20	25	40	60 и более
8	0,03 – 0,09	0,04 – 0,09	0,04 – 0,09	0,04 – 0,09
10	0,03 – 0,07	0,04 – 0,085	0,04 – 0,085	0,04 – 0,085
15	0,02 – 0,05	0,035 – 0,075	0,04 – 0,08	0,04 – 0,08
20	–	0,03 – 0,06	0,04 – 0,08	0,04 – 0,08
30	–	–	0,035 – 0,07	0,035 – 0,07
40	–	–	0,03 – 0,06	0,03 – 0,06
50 и более	–	–	–	0,025 – 0,055

Примечание. Меньшие подачи брать для более сложных и глубоких профилей и твердых металлов, большие – для простых профилей и мягких металлов.

17. Значения коэффициента C_v и показателей степени в формулах скорости резания при обработке резцами

Вид обработки	Материал режущей части резца	Характеристика подачи	Коэффициент и показатели степени			
			C_v	x	y	m
Обработка конструкционной углеродистой стали, $\sigma_в$ = 750 МПа						
Наружное продольное точение проходными резцами	T15K6*	s до 0,3 s св. 0,3 до 0,7 s > 0,7	350 290 280	0,15	0,20 0,35 0,45	0,20
То же, резцами с дополнительным лезвием	T15K6*	$s \le t$ $s > t$	250	0,30 0,15	0,15 0,30	0,18
Отрезание	T5K10* P18**	–	47 23,7	–	0,80 0,66	0,20 0,25
Фасонное точение	P18**	–	22,7	–	0,50	0,30
Нарезание крепежной резьбы	T15K6*	–	244	0,23	0,30	0,20
	P6M5	Черновые ходы: $P \le 2$ мм $P > 2$ мм	14,8 30	0,70 0,60	0,30 0,25	0,11 0,08
		Чистовые ходы	41,8	0,45	0,30	0,13
Вихревое нарезание резьбы	T15K6*	–	2330	0,50	0,50	0,50

Продолжение табл. 17

Вид обработки	Материал режущей части резца	Характеристика подачи	Коэффициент и показатели степени			
			C_v	x	y	m
Обработка серого чугуна, 190НВ						
Наружное продольное точение проходными резцами	ВК6*	$s \le 0{,}40$ $s > 0{,}40$	292 243	0,15	0,20 0,40	0,20
Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	ВК6**	$s \ge t$ $s < t$	240 240	0,40 0,20	0,20 0,40	0,28 0,28
Отрезание	ВК6*	–	68,5	–	0,40	0,20
Нарезание крепежной резьбы			83	0,45	–	0,33
Обработка ковкого чугуна, 150 НВ						
Наружное продольное точение проходными резцами	ВК8*	$s \le 0{,}40$ $s > 0{,}40$	317 215	0,15 0,15	0,20 0,45	0,20 0,20
Отрезание	ВК6*	–	86	–	0,4	0,20
Обработка медных гетерогенных сплавов средней твердости, 100 ... 140 НВ						
Наружное продольное точение проходными резцами	Р18*	$s \le 0{,}20$ $s > 0{,}20$	270 182	0,12	0,25 0,30	0,23
Обработка силумина и литейных алюминиевых сплавов, $\sigma_в$ = 100 ... 200 МПа, $HB \le 65$; дюралюминия, $\sigma_в$ = 300 ... 400 МПа; $HB \le 100$						
Наружное продольное точение проходными резцами	Р18*	$s \le 0{,}20$ $s > 0{,}20$	485 328	0,12	0,25 0,50	0,28

* Без охлаждения.
** С охлаждением.

Примечания: 1. *При внутренней обработке* (растачивании, прорезании канавок в отверстиях, внутреннем фасонном точении) принимать скорость резания, равную скорости резания для наружной обработки с введением поправочного коэффициента 0,9.

2. *При обработке без охлаждения конструкционных и жаропрочных сталей и стальных отливок резцами из* быстрорежущей стали вводить поправочный коэффициент на скорость резания 0,8.

3. При отрезании и прорезании с охлаждением резцами из твердого сплава Т15К6 конструкционных сталей и стальных отливок вводить на скорость резания поправочный коэффициент 1,4.

4. При фасонном точении глубокого и сложного профиля на скорость резания вводить поправочный коэффициент 0,85.

5. При обработке резцами из быстрорежущей стали термообработанных сталей скорость резания для соответствующей стали уменьшать, вводя поправочный коэффициент 0,95 – при нормализации, 0,9 – при отжиге, 0,8 – при улучшении.

6. Подача s в мм/об.

Коэффициент K_v является произведением коэффициентов, учитывающих влияние материала заготовки K_{mv} (см. табл. 1 – 4), состояния поверхности K_{nv} (табл. 5), материала инструмента K_{uv} (см. табл. 6). При многоинструментной обработке и многостаночном обслуживании период стойкости увеличивают, вводя соответственно коэффициенты K_{T_u} (см. табл. 7) и K_{T_c} (см. табл. 8), углов в плане резцов K_φ и радиуса при вершине резца K_r (табл. 18).

Отделочная токарная обработка имеет ряд особенностей, отличающих ее от чернового и межоперационного точения, поэтому рекомендуемые режимы резания при тонком (алмазном) точении на быстроходных токарных станках повышенной точности и расточных станках приведены отдельно в табл. 19.

Режимы резания при точении закаленной стали резцами из твердого сплава приведены в табл. 20.

18. Поправочные коэффициенты, учитывающие влияние параметров резца на скорость резания

Главный угол в плане φ°	Коэффициент $K_{\varphi v}$	Вспомогательный угол в плане φ_1°	Коэффициент $K_{\varphi 1 v}$	Радиус при вершине резца r^*, мм	Коэффициент K_{rv}
20	1,4	10	1,0	1	0,94
30	1,2	15	0,97	2	1,0
45	1,0	20	0,94	3	1,03
60	0,9	30	0,91	–	–
75	0,8	45	0,87	5	1,13
90	0,7	–	–	–	–

* Учитывают только для резцов из быстрорежущей стали.

19. Режимы резания при тонком точении и растачивании

Обрабатываемый материал	Материал рабочей части инструмента	Шероховатость поверхности *Ra*, мкм	Подача, мм/об	Скорость резания, мм/мин
Сталь: $\sigma_в$ < 650 МПа $\sigma_в$ = 650 ... 800 МПа $\sigma_в$ > 800 МПа	Т30К4	1,25 – 0,63	0,06 – 0,12	250 – 300 150 – 200 120 – 170
Чугун: 149 ... 163 *НВ* 156 ... 229 *НВ* 170 ... 241 *НВ*	ВК3	2,5 – 1,25		150– 200 120 – 150 100 – 120
Алюминиевые сплавы и баббит		1,25 – 0,32	0,04 – 0,1	300 – 600
Бронза и латунь			0,04 – 0,08	180 – 500

Примечания: 1. Глубина резания 0,1 – 0,15 мм.

2. Предварительный проход с глубиной резания 0,4 мм улучшает геометрическую форму обработанной поверхности.

3. Меньшие значения параметра шероховатости поверхности соответствуют меньшим подачам.

20. Режимы резания при точении закаленной стали резцами с пластинами из твердого сплава

Подача s, мм/об	Ширина прорезания, мм	Твердость обрабатываемого материала, *HRC*									
		35	39	43	46	49	51	53	56	59	62
		Скорость резания v, м/мин									
Наружное продольное точение											
0,2		157	135	116	107	83	76	66	48	32	26
0,3		140	118	100	92	70	66	54	39	25	20
0,4		125	104	88	78	60	66	45	33		
0,5		116	95	79	71	53	–	–	–	–	–
0,6		108	88	73	64	48					
Прорезание паза											
0,05	3	131	110	95	83	70	61	54	46	38	29
0,08	4	89	75	65	56	47	41	37	31	25	19
0,12	6	65	55	47	41	35	30	27	23	18	14
0,16	8	51	43	37	32	27	23	–	–	–	–
0,20	12	43	36	31	27	23	20				

Примечания.

1. В зависимости от глубины резания на табличное значение скорости резания вводить поправочный коэффициент: 1,15 при t = 0,4 … 0,9 мм: 1,0 при t = 1 … 2 мм и 0,91 при t = 2 … 3 мм.

2. В зависимости от шероховатости на табличное значение скорости резания вводить поправочный коэффициент: 1,0 для *Rz* 10; 0,9 для *Ra* 2,5 и 0,7 для *Ra* 1,25.

3. В зависимости от марки твердого сплава на скорость резания вводить поправочный коэффициент K_{uv}:

Твердость обрабатываемого материала	35 … 49 *HRC*				50 … 62 *HRC*		
Марка твердого сплава	Т30К4	Т15К6	ВК6	ВК8	ВК4	ВК6	ВК8
Коэффициент K_{uv}	1,25	1,0	0,85	0,83	1,0	0,92	0,74

4. В зависимости от главного угла в плане резца вводить поправочные коэффициенты: 1,2 при φ = 30°; 1,0 при φ = 45°; 0,9 при φ = 60°; 0,8 при φ = 75°; 0,7 при φ = 90°.

5. При работе без охлаждения вводить на скорость резания поправочный коэффициент 0,9.

Режимы резания при точении и растачивании чугунов, закаленных сталей и твердых сплавов резцами, оснащенными поликристаллами композитов 01 (эльбор-Р), 05, 10 (гексанит-Р) и 10Д (двухслойные пластины с рабочим слоем из гексанита-Р) приведены в табл. 21.

Сила резания. Силу резания, Н, принято раскладывать на составляющие силы, направленные по осям координат станка (тангенциальную P_z, радиальную P_y и осевую P_x). При наружном продольном и поперечном точении, растачивании, отрезании, прорезании пазов и фасонном точении эти составляющие рассчитывают по формуле

$$P_{z,y,x} = 10 C_p t^x s^y v^n K_p .$$

При отрезании, прорезании и фасонном точении t – длина лезвия резца.

Постоянная C_p и показатели степени x, y, n для конкретных (расчетных) условий обработки для каждой из составляющих силы резания приведены в табл. 22.

Поправочный коэффициент K_p представляет собой произведение ряда коэффициентов ($K_p = K_{mp} K_{\varphi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p} K_{rp}$), учитывающих фактические условия резания. Численные значения этих коэффициентов приведены в табл. 9, 10 и 23.

Мощность резания, кВт, рассчитывают по формуле

$$N = \frac{P_z v}{1020 \cdot 60} .$$

При одновременной работе нескольких инструментов эффективную мощность определяют как суммарную мощность отдельных инструментов.

21. Режимы резания при точении и растачивании резцами, оснащенными композитом на основе нитрида бора

Обрабатываемый материал	Характер обработки	Марка композита	Глубина резания t, мм	Подача s, мм/об	Скорость резания v, м/мин
Закаленные стали, 40 … 58 *HRC*	Без удара	01; 05	0,05 – 3,00	0,03 – 0,2	50 – 160
	С ударом	10; 10Д	0,05 – 1,0	0,03 – 0,1	40 – 120
Закаленные стали, 58 … 68 *HRC*	Без удара	01	0,05 – 0,8	0,03 – 0,1	50 – 120
	С ударом	10, 10Д	0,05 – 0,2	0,03 – 0,07	10 – 100
Серые и высокопрочные чугуны, 150 … 300 *HB*	Без удара	05; 01	0,05 – 3,0	0,05 – 0,3	300 – 1000
	С ударом	10; 10Д; 05; 01	0,05 – 3,0	0,05 – 0,15	300 – 700
Отбеленные закаленные чугуны, 400 … 600 *HB*	Без удара	05; 01	0,05 – 2,00	0,03 – 0,15	80 – 200
	С ударом	10; 10Д	0,05 – 1,0	0,03 – 0,10	50 – 100
Твердые сплавы ВК15, ВК20, ВК25 и т.п., 80 … 86 *HRA*	Без удара, допускается биение	10; 10Д; 01	0,05 – 1,0	0,03 – 0,10	5 – 20

22. Значения коэффициента C_p и показателей степени в формулах силы резания при точении

Обрабатываемый материал	Материал рабочей части резца	Вид обработки	Коэффициент и показатели степени в формулах для составляющих											
			тангенциальной P_z				радиальной P_y				осевой P_X			
			C_p	x	y	n	C_p	x	y	n	C_p	x	y	n
Конструкционная сталь и стальные отливки, $\sigma_в$ = = 750 МПа	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	300	1,0	0,75	–0,15	243	0,9	0,6	–0,3	339	1,0	0,5	–0,4
		Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	384	0,90	0,90		355	0,6	0,8		241	1,05	0,2	
		Отрезание и прорезание	408	0,72	0,8	0	173	0,73	0,67	0	–	–	–	–
		Нарезание резьбы	148	–	1,7	0,71	–	–	–	–	–	–	–	–
	Быстрорежущая сталь	Наружное продольное точение, подрезание и растачивание	200	1,0	0,75	0	125	0,9	0,75	0	67	1,2	0,65	0
		Отрезание и прорезание	247		1,0									
		Фасонное точение	212		0,75									
Сталь жаропрочная 12Х18Н9Т, 141 *НВ*	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	204				–	–	–	–	–	–	–	–

Продолжение табл. 22

Обрабатываемый материал	Материал рабочей части резца	Вид обработки	Коэффициент и показатели степени в формулах для составляющих											
			тангенциальной P_z				радиальной P_y				осевой P_X			
			C_p	x	y	n	C_p	x	y	n	C_p	x	y	n
Серый чугун, 190 *НВ*	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	92	1,0	0,75	0	54	0,9	0,75	0	46	1,0	0,4	0
		Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	123		0,85		61	0,6	0,5		24	1,05	0,2	
		Нарезание резьбы	103	–	1,8	0,82	–	–	–	–	–	–	–	–
	Быстрорежущая сталь	Отрезание и прорезание	158	1,0	1,0	0	–	–		–	–	–	–	–
Ковкий чугун, 150 *НВ*	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение, растачивание	81		0,75		43	0,9	0,75	0	38	1,0	0,4	0
			100				88				40	1,2	0,65	
		Отрезание и прорезание	139		1,0									
Медные гетерогенные сплавы, 120 *НВ*	Быстрорежущая сталь	Наружное продольное и поперечное точение, растачивание	55	1,0	0,66		–	–	–	–	–	–	–	–
		Отрезание и прорезание	75		1,0									
Алюминий и силумин		Наружное продольное и поперечное точение, растачивание, подрезание	40	1,0	0,75	0	–	–	–	–	–	–	–	–
		Отрезание и прорезание	50		1,0	–								

23. Поправочные коэффициенты, учитывающие влияние геометрических параметров режушей части инструмента на составляющие силы резания при обработке стали и чугуна

Параметры		Материал режущей части инструмента	Поправочные коэффициенты			
Наименование	Величина		Обозначение	Величина коэффициента для составляющих		
				тангенциальной P_z	радиальной P_y	осевой P_x
Главный угол в плане φ°	30	Твердый сплав	$K_{\varphi p}$	1,08	1,30	0,78
	45			1,0	1,0	1,0
	60			0,94	0,77	1,11
	90			0,89	0,50	1,17
	30	Быстрорежущая сталь		1,08	1,63	0,70
	45			1,0	1,0	1,00
	60			0,98	0,71	1,27
	90			1,08	0,44	1,82
Передний угол γ°	-15	Твердый сплав	$K_{\gamma p}$	1,25	2,0	2,0
	0			1,1	1,4	1,4
	10			1,0	1,0	1,0
	12 – 15	Быстрорежущая сталь		1,15	1,6	1,7
	20 – 25			1,0	1,0	1,0
Угол наклона главного лезвия λ°	-5	Твердый сплав	$K_{\lambda p}$	1,0	0,75	1,07
	0				1,0	1,0
	5				1,25	0,85
	15				1,7	0,65
Радиус при вершине r, мм	0,5	Быстрорежущая сталь	K_{rp}	0,87	0,66	1,0
	1,0			0,93	0,82	
	2,0			1,0	1,0	
	3,0			1,04	1,14	
	4,0			1,10	1,33	

ТОЧЕНИЕ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Особую группу составляют наиболее труднообрабатываемые материалы, не охваченные выше приведенными нормативами. Значения подач при черновом точении деформируемых и литейных жаропрочных сплавов резцами из твердого сплава приведены в табл. 24, а при чистовом точении деформируемых сплавов – в табл. 26. При растачивании приведенные подачи следует умножать на коэффициенты, приведенные в табл. 25. Значения подач при чистовом точении литейных жаропрочных сплавов даны в табл. 27. При отрезке и прорезке канавок в литейных жаропрочных сплавах подачи следует назначать в соответствии с рекомендациями табл. 28.

Режимы резания при наружном продольном точении деформируемого жаропрочного сплава ЭИ698ВД (ХН73МБТЮ) приведены в табл. 29, а сплава ВЖЛ-12У – в табл. 30; поправочные коэффициенты на скорость резания для этих сплавов – в табл. 31. Режимы резания при наружном продольном точении сплава ЭП742 (ХН62БМКТЮ) даны в табл. 32, поправочные коэффициенты на скорость резания для измененных условий – в табл. 33. (**Примечание**. Режимы резания труднообрабатываемых материалов для точения и других видов обработки приведены по данным ОАО "Рыбинские моторы" и справочника "Режимы резания труднообрабатываемых материалов". М.: "Машиностроение", 1976).

24. Подачи при черновом точении деформируемых и литейных жаропрочных сплавов резцами из сплавов: ВК8, ВК6М, ВК10-ОМ

Размер державки, мм	Диаметр обрабатываемой поверхности, мм	Глубина резания, мм, не более	
		2	4
		Подача s, мм/об	
20 × 16 25 × 20	20	0,15 – 0,25	–
	50	0,2 – 0,3	0,15 – 0,25
	100	0,2 – 0,3	0,2 – 0,3
	200	0,2 – 0,3	0,2 – 0,3
32 × 25	100	0,2 – 0,3	0,15 – 0,25
	200	0,2 – 0,4	0,2 – 0,3
	500	0,2 – 0,4	0,2 – 0,3
40 × 40 50 × 40	100	0,2 – 0,4	0,2 – 0,3
	200	0,2 – 0,4	0,2 – 0,3
	500	0,2 – 0,4	0,2 – 0,3
60 × 40	Св. 500	0,2 – 0,4	0,2 – 0,3

25. Поправочные коэффициенты на подачу при растачивании

Отношение длины вылета к диаметру оправки у основания	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
Поправочный коэффициент K_l	0,7	0,6	0,4	0,3	0,24	0,15

26. Подачи (мм/об) для чистового точения деформируемых сплавов резцами с пластинками из твердого сплава

Радиус при вершине резца, мм	Шероховатость поверхности Rz				
	80	40	20	2,5	1,25
0,5	0,65	0,32	0,18	0,11	–
1,0	–	0,42	0,24	0,15	0,10
2,0	–	0,56	0,32	0,20	0,14
4,0	–	–	0,42	0,27	0,18

27. Подачи (мм/об) в зависимости от шероховатости при точении отливок на токарных станках. Резцы с пластинками из твердого сплава

Шероховатость поверхности Rz	Радиус при вершине резца, мм	Скорость резания, м/мин				
		3	5	10	15	Св. 15
40	0,5	0,16		0,2		
20		0,10			0,12	
2,5		–			0,10	
2,5	1,0	0,14	0,28			
1,25		–			0,12	
20	2,0	0,28				
2,5		0,28				
1,25		0,20			0,25	

28. Подачи при отрезке и прорезке канавок в отливках на токарных станках

Размеры, мм

Вид обработки	Резец			Подача s, мм/об, при $\sigma_в > 900$ МПа
	сечение державки	ширина головки	длина головки	
Отрезка	16 × 10 25 × 16	3 5	20 35	0,04 – 0,06
	32 × 20	6	40 60	0,08 – 0,10 0,06 – 0,08
	40 × 25 60 × 25 80 × 25 120 × 25	8 10 12 16	100 200 400 500	0,06 – 0,10
Прорезка канавок	16 × 10	3	15	0,05 – 0,07
	25 × 16	5 10	20 25	0,08 – 0,12
	30 × 20	5 8 12 16	25 30 40 40	0,10 – 0,15

29. Режимы резания при наружном продольном точении сплава ЭИ698ВД (ХН73МБТЮ). Резцы с пластинками ВК6М, ВК8. Работа с охлаждением

Глубина резания t, мм	Подача s, мм/об	Главный угол в плане φ°		
		30	45 – 60	90
		Скорость резания, м/мин		
Резцы с пластинками ВК6М				
0,5	0,06	49,4	40,5	35,3
	0,1	43,9	36,0	31,3
	0,2	36,8	30,2	26,3
	0,24	35,0	28,8	25,0
1,0	0,06	43,0	35,4	30,8
	0,1	38,0	31,3	27,4
	0,2	31,9	26,1	22,8
	0,24	30,48	25,0	21,7
	0,3	28,8	23,6	20,5
1,5	0,06	39,84	32,6	28,3
	0,1	35,0	28,8	25,0
	0,2	29,4	24,1	21,1
	0,24	28,1	23,0	20,0
	0,3	26,4	21,7	18,8

Продолжение табл. 29

Глубина резания t, мм	Подача s, мм/об	Главный угол в плане φ°		
		30	45 – 60	90
		Скорость резания, м/мин		
3,0	0,1	30,6	25,1	21,8
	0,2	25,6	21,0	18,2
	0,24	24,5	20,0	17,4
	0,3	23,2	19,0	16,4
6,0	0,2	22,4	18,4	16,0
	0,24	21,4	17,5	15,2
	0,3	20,2	16,6	14,4
	0,35	19,3	15,8	13,8
	0,42	18,6	15,2	13,3
	0,5	17,8	14,5	12,6
Резцы с пластинками ВК8				
9,0	0,4	17,3	14,2	12,4
	0,5	16,4	13,4	11,6
	0,6	15,7	12,8	11,3
	0,7	15,0	12,4	10,8
	0,8	14,5	11,9	10,3

30. Режимы резания при наружном продольном точении сплава ВЖЛ-12У. Резцы с пластинками ВК6М, ВК10-ОМ. Работа с охлаждением

Глубина резания t, мм, не более	Подача s, мм/об, не более	Главный угол в плане φ°		
		30	45 – 60	90
		Скорость резания, м/мин		
0,5	0,06	17,7	16,9	14,6
	0,10	16,9	15,4	13,1
	0,20	14,6	13,9	12,3
	0,24	14,6	12,3	10,8
1,0	0,06	16,9	14,6	13,1
	0,10	15,4	13,9	12,3
	0,20	13,9	12,3	11,5
	0,24	13,1	12,3	10,0
	0,30	12,3	10,8	9,25
1,5	0,06	14,6	13,9	12,3
	0,10	13,9	12,3	11,5
	0,20	12,3	12,3	10,0
	0,24	12,3	10,8	9,25
	0,30	10,8	10,0	8,5
3,0	0,10	12,3	12,3	10,0
	0,20	11,5	10,8	9,25
	0,24	10,8	10,0	8,8
	0,30	10,0	9,25	7,7

31. Поправочные коэффициенты на скорость резания при точении сплавов ХН73МБТЮ и ВЖЛ-12У

Поперечное точение	Отношение меньшего диаметра к большему, не более	0,4	0,7	0,8
	Коэффициент K_{v_1}	1,14	1,06	1,05
Отрезка и расточка кольцевых канавок	Отношение меньшего диаметра к большему, не более	0,4	0,7	0,8
	Коэффициент K_{v_2}	0,65	0,6	0,5
Проточка торцовых канавок	Коэффициент K_{v_3}	0,5		
Растачивание	Диаметр растачивания, мм	75	200	Св. 200
	Коэффициент K_{v_4}	0,8	0,9	1,0

Материал режущей части	ВК10-ОМ	ВК6М, ВК8	ВК3М (для глубины резания до 3 мм)	
Коэффициент K_{v_5}	1,2	1,0	1,1	
Период стойкости резца, T, мин	30	45	60	90
Коэффициент K_{v_6}	1,0	0,9	0,83	0,75

Состояние поверхности	Без корки / С коркой
Коэффициент K_{v_7}	1,0 / 0,75

Без охлаждения	С охлаждением
0,9	1,0

32. Режимы резания при наружном продольном точении сплава ЭП742 (ХН62БМКТЮ) резцами с пластинками ВК6М, ВК8. Работа с охлаждением

Глубина резания t, мм	Подача s, мм/об	Главный угол в плане φ°		
		30	45 – 60	90
		Скорость резания v, м/мин		
Резцы с пластинками ВК6М				
0,5	0,06	36,5	30,0	26,0
	0,1	32,5	26,6	23,1
	0,2	27,2	22,3	19,4
	0,24	25,9	21,3	18,5
1,0	0,06	31,9	26,1	22,8
	0,1	28,2	23,1	20,3
	0,2	23,5	19,3	16,8
	0,24	22,5	18,5	16,1
	0,3	21,3	17,5	15,1

Продолжение табл. 32

Глубина резания t, мм	Подача s, мм/об	Главный угол в плане φ°		
		30	45 – 60	90
		Скорость резания v, м/мин		
1,5	0,06	29,7	24,1	21,0
	0,1	25,9	21,3	18,5
	0,2	21,7	17,9	15,6
	0,24	20,7	17,0	14,9
	0,3	19,4	16,0	13,9
3,0	0,1	22,7	18,6	16,2
	0,2	19,0	15,5	13,4
	0,24	18,0	14,7	12,8
	0,3	17,0	14,0	12,1
6,0	0,2	16,5	13,5	11,7
	0,24	15,8	13,0	11,3
	0,3	14,9	12,2	10,5
	0,35	14,3	11,6	10,2
	0,42	13,7	11,3	9,8
	0,5	13,0	10,6	9,2
Резцы с пластинками ВК8				
9,0	0,4	12,7	10,4	9,1
	0,5	12,1	10,0	8,6
	0,6	11,6	9,5	8,3
	0,7	11,1	9,1	8,0
	0,8	10,7	8,7	7,8

33. Поправочные коэффициенты на скорость резания для измененных условий работы

Поперечное точение	Отношение меньшего диаметра к большему, не более	0,4	0,7	0,8
	Коэффициент K_{v_1}	1,25	1,2	1,05
Отрезка и расточка кольцевых канавок	Отношение меньшего диаметра к большему, не более	0,4	0,7	0,8
	Коэффициент K_{v_2}	0,65	0,6	0,5
Проточка торцевых канавок	Коэффициент K_{v_3}	0,5		

Продолжение табл. 33

Растачивание	Диаметр растачивания, мм		75	200	Св. 200
	Коэффициент K_{v_4}		0,8	0,9	1,0
Период стойкости резца, T, мин	30	45	60		90
Коэффициент K_{v_5}	1,0	0,78	0,65		0,39
Состояние поверхности	Без корки		С коркой		
Коэффициент K_{v_7}	1,0		0,75		
Без охлаждения	С охлаждением				
0,6	1,0				

СТРОГАНИЕ, ДОЛБЛЕНИЕ

Глубина резания. При всех видах строгания и долбления глубину резания назначают так же, как и при точении.

Подача. При черновом строгании подачу s, мм/дв. ход, выбирают максимальной из допустимых значений по табл. 11, 13 в соответствии с глубиной резания, сечением державки, прочностью пластинки; при чистовом строгании – по табл. 14, при отрезании и прорезании пазов – по табл. 15.

Скорость резания. При строгании плоскостей проходными резцами, при прорезании пазов, отрезании скорость резания рассчитывают по соответствующим формулам для точения с введением дополнительного поправочного коэффициента K_{yv}, учитывающего ударную нагрузку.

Значения коэффициента K_{yv} в зависимости от типа станка приведены ниже:

Тип станка ...	Продольно-строгальный	Поперечно-строгальный	Долбежный
K_{yv}	1,0	0,8	0,6

Сила резания. Составляющие силы резания рассчитывают по формулам для точения.

Режимы резания для строгания плоскостей широкими резцами (рис. 1) приведены в табл. 34.

34. Режимы резания при обработке плоскостей на чугунных деталях широкими резцами из сплавов ВК8 на продольно-строгальных станках

Характер обработки	Площадь обрабатываемой поверхности, м², не более	Число проходов	Глубина резания t, мм	Подача s, мм/дв. ход	Скорость резания v, м/мин
Получистовая Rz 40 ... 20	–	1	До 2	10 – 20	14 – 18
Чистовая Ra 2,5 ... 1,25:					
предварительный проход			0,15 – 0,3	10 – 20	5 – 15
окончательный проход	6	1 – 2	0,05 – 0,1	12 – 16	15
	8				11
	12				7
	17				55
	22				4

Примечания: 1. Прямолинейный участок лезвия контролировать по лекальной линейке.
2. Обрабатываемую поверхность смачивать керосином.

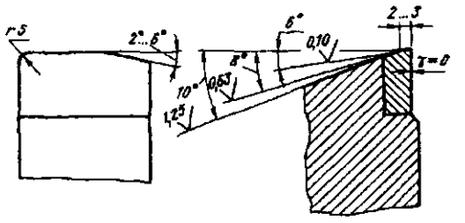


Рис. 1. Строгальный резец для чистовой обработки плоскостей

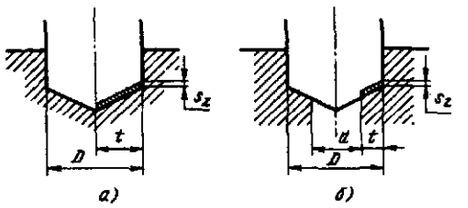


Рис. 2. Схема резания при сверлении

Мощность резания рассчитывают по той же формуле, что и для точения при аналогичных режимах.

СВЕРЛЕНИЕ, РАССВЕРЛИВАНИЕ, ЗЕНКЕРОВАНИЕ, РАЗВЕРТЫВАНИЕ

Глубина резания. При сверлении глубина резания $t = 0{,}5D$ (рис. 2, *а*), при рассверливании, зенкеровании и развертывании

$$t = 0{,}5\,(D - d)$$ (рис. 2, *б*).

Подача. При сверлении отверстий без ограничивающих факторов выбираем максимально допустимую по прочности сверла подачу (табл. 35). При рассверливании отверстий подача, рекомендованная для сверления, может быть увеличена до 2 раз. При наличии ограничивающих факторов подачи при сверлении и рассверливании равны. Их определяют умножением табличного значения подачи на соответствующий поправочный коэффициент, приведенный в примечании к таблице.

35. Подачи, мм/об, при сверлении стали, чугуна, медных и алюминиевых сплавов сверлами из быстрорежущей стали

Диаметр сверла D, мм	Сталь				Серый и ковкий чугун, медные и алюминиевые сплавы	
	$HB < 160$	160 ... 240 HB	240 ... 300 HB	$HB > 300$	$HB \le 170$	$HB > 170$
2 – 4	0,09 – 0,13	0,08 – 0,10	0,06 – 0,07	0,04 – 0,06	0,12 – 0,18	0,09 – 0,12
4 – 6	0,13 – 0,19	0,10 – 0,15	0,07 – 0,11	0,06 – 0,09	0,18 – 0,27	0,12 – 0,18
6 – 8	0,19 – 0,26	0,15 – 0,20	0,11 – 0,14	0,09 – 0,12	0,27 – 0,36	0,18 – 0,24
8 – 10	0,26 – 0,32	0,20 – 0,25	0,14 – 0,17	0,12 – 0,15	0,36 – 0,45	0,24 – 0,31
10 – 12	0,32 – 0,36	0,25 – 0,28	0,17 – 0,20	0,15 – 0,17	0,45 – 0,55	0,31 – 0,35
12 – 16	0,36 – 0,43	0,28 – 0,33	0,20 – 0,23	0,17 – 0,20	0,55 – 0,66	0,35 – 0,41
16 – 20	0,43 – 0,49	0,33 – 0,38	0,23 – 0,27	0,20 – 0,23	0,66 – 0,76	0,41 – 0,47
20 – 25	0,49 – 0,58	0,38 – 0,43	0,27 – 0,32	0,23 – 0,26	0,76 – 0,89	0,47 – 0,54
25 – 30	0,58 – 0,62	0,43 – 0,48	0,32 – 0,35	0,26 – 0,29	0,89 – 0,96	0,54 – 0,60
30 – 40	0,62 – 0,78	0,48 – 0,58	0,35 – 0,42	0,29 – 0,35	0,96 – 1,19	0,60 – 0,71
40 – 50	0,78 – 0,89	0,58 – 0,66	0,42 – 0,48	0,35 – 0,40	1,19 – 1,36	0,71 – 0,81

Примечание. Приведенные подачи применяют при сверлении отверстий глубиной $l \le 3D$ с точностью не выше 12-го квалитета в условиях жесткой технологической системы. В противном случае вводят поправочные коэффициенты:

1) на глубину отверстия: $K_{ls} = 0{,}9$ при $l \le 5D$; $K_{ls} = 0{,}8$ при $l \le 7D$; $K_{ls} = 0{,}75$ при $l \le 10D$;

2) на достижение более высокого качества отверстия в связи с последующей операцией развертывания или нарезания резьбы $K_{os} = 0{,}5$;

3) на недостаточную жесткость системы СПИЗ: при средней жесткости $K_{жс} = 0{,}75$; при малой жесткости $K_{жс} = 0{,}5$;

4) на инструментальный материал $K_{ис} = 0{,}6$ для сверла с режущей частью из твердого сплава.

Подачи при зенкеровании приведены в табл. 36, а при развертывании – в табл. 37.

Скорость резания. Скорость резания, м/мин, при сверлении

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m s^y} K_v,$$

а при рассверливании, зенкеровании, развертывании

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x s^y} K_v.$$

Значения коэффициентов C_v и показателей степени приведены для сверления в табл. 38, для рассверливания, зенкерования и развертывания – в табл. 39, а значения периода стойкости T – в табл. 40.

36. Подачи, мм/об, при обработке отверстий зенкерами из быстрорежущей стали и твердого сплава

Обрабатываемый материал	Диаметр зенкера D, мм								
	До 15	Св. 15 до 20	Св. 20 до 25	Св. 25 до 30	Св. 30 до 35	Св. 35 до 40	Св. 40 до 50	Св. 50 до 60	Св. 60 до 80
Сталь	0,5–0,6	0,6–0,7	0,7–0,9	0,8–1,0	0,9–1,1	0,9–1,2	1,0–1,3	1,1–1,3	1,2–1,5
Чугун, $HB \le 200$ и медные сплавы	0,7–0,9	0,9–1,1	1,0–1,2	1,1–1,3	1,2–1,5	1,4–1,7	1,6–2,0	1,8–2,2	2,0–2,4
Чугун, $HB > 200$	0,5–0,6	0,6–0,7	0,7–0,8	0,8–0,9	0,9–1,1	1,0–1,2	1,2–1,4	1,3–1,5	1,4–1,5

Примечания: 1. Приведенные значения подачи применять для обработки отверстий с допуском не выше 12-го квалитета. Для достижения более высокой точности (9 – 11-й квалитеты), а также при подготовке отверстий под последующую обработку их одной разверткой или под нарезание резьбы метчиком вводить поправочный коэффициент $K_{os} = 0,7$.

2. При зенкеровании глухих отверстий подача не должна превышать 0,3 – 0,6 мм/об.

37. Подачи, мм/об, при предварительном (черновом) развертывании отверстий развертками из быстрорежущей стали

Обрабатываемый материал	Диаметр развертки D, мм									
	До 10	Св. 10 до 15	Св. 15 до 20	Св. 20 до 25	Св. 25 до 30	Св. 30 до 35	Св. 35 до 40	Св. 40 до 50	Св. 50 до 60	Св. 60 до 80
Сталь	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0
Чугун, $HB \le 200$ и медные сплавы	2,2	2,4	2,6	2,7	3,1	3,2	3,4	3,8	4,3	5,0
Чугун, $HB > 200$	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	2,7	3,1	3,4	3,8

Примечания: 1. Подачу следует уменьшать:

а) при чистовом развертывании в один проход с точностью по 9 – 11-му квалитетам и параметром шероховатости поверхности $Ra = 3,2 \ldots 6,3$ мкм или при развертывании под полирование и хонингование, умножая на коэффициент $K_{os} = 0,8$;

б) при чистовом развертывании после чернового с точностью по 7-му квалитету и параметром шероховатости поверхности $Ra = 0,4 \ldots 0,8$ мкм, умножая на коэффициент $K_{os} = 0,7$;

в) при твердосплавной рабочей части, умножая на коэффициент $K_{ms} = 0,7$.

2. При развертывании глухих отверстий подача не должна превышать 0,2 – 0,5 мм/об.

38. Значения коэффициента C_v и показателей степени в формуле скорости резания при сверлении

Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	Подача s, мм/об	Коэффициент и показатели степени				Охлаждение
			C_v	q	y	m	
Сталь конструкционная углеродистая, $\sigma_в = 750$ МПа	Р6М5	$\le 0,2$ $> 0,2$	7,0 9,8	0,40	0,70 0,50	0,20	Есть
Сталь жаропрочная 12Х18Н9Т, 141 *HB*		–	3,5	0,50	0,45	0,12	
Чугун серый, 190 *HB*		$\le 0,3$ $> 0,3$	14,7 17,1	0,25	0,55 0,40	0,125	Нет
	ВК8	–	34,2	0,45	0,30	0,20	
Чугун ковкий, 150 *HB*	Р6М5	$\le 0,3$ $> 0,3$	21,8 25,3	0,25	0,55 0,40	0,125	Есть
	ВК8	–	40,4	0,45	0,3	0,20	Нет
Медные гетерогенные сплавы средней твердости, 100 … 140 *HB*	Р6М5	$\le 0,3$ $> 0,3$	28,1 32,6	0,25	0,55 0,40	0,125	Есть
Силумин и литейные алюминиевые сплавы, $\sigma_в = 100 \ldots 200$ МПа, $HB \le 65$; дюралюминий, $HB \le 100$		$\le 0,3$ $> 0,3$	36,3 40,7	0,25	0,55 0,40	0,125	

Примечание. Для сверл из быстрорежущей стали рассчитанные по приведенным данным скорости резания действительны при двойной заточке и подточенной перемычке. При одинарной заточке сверл из быстрорежущей стали рассчитанную скорость резания следует уменьшать, умножая ее на коэффициент $K_{sv} = 0,75$.

39. Значения коэффициента C_v и показателей степени в формуле скорости резания при рассверливании, зенкеровании и развертывании

Обрабатываемый материал	Вид обработки	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени					Охлаждение
			C_v	q	x	y	m	
Конструкционная углеродистая сталь, $\sigma_в = 750$ МПа	Рассверливание	Р6М5 ВК8	16,2 10,8	0,4 0,6	0,2	0,5 0,3	0,2 0,25	Есть
	Зенкерование	Р6М5 Т15К6	16,3 18,0	0,3 0,6		0,5 0,3	0,3 0,25	
	Развертывание	Р6М5 Т15К6	10,5 100,6	0,3 0,3	0,2 0	0,65 0,65	0,4	
Конструкционная закаленная сталь, $\sigma_в = 1600 \ldots 1800$ МПа, 49 … 54 *HRC*	Зенкерование	Т15К6	10,0	0,6	0,3	0,6	0,45	
	Развертывание		14,0	0,4	0,75	1,05	0,85	

Продолжение табл. 39

Обрабатываемый материал	Вид обработки	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени					Охлаждение
			C_v	q	x	y	m	
Серый чугун, 190 *НВ*	Рассверливание	Р6М5 ВК8	23,4 56,9	0,25 0,5	0,1 0,15	0,4 0,45	0,125 0,4	Нет
	Зенкерование	Р6М5 ВК8	18,8 105,0	0,2 0,4	0,1 0,15	0,4 0,45	0,125 0,4	
	Развертывание	Р6М5 ВК8	15,6 109,0	0,2 0,2	0,1 0	0,5 0,5	0,3 0,45	
Ковкий чугун, 150 *НВ*	Рассверливание	Р6М5 ВК8	34,7 77,4	0,25 0,5	0,1 0,15	0,4 0,45	0,125 0,4	Есть
	Зенкерование	Р6М5 ВК8	27,9 143,0	0,2 0,4	0,1 0,15	0,4 0,45	0,125 0,4	Есть
	Развертывание	Р6М5 ВК8	23,2 148,0	0,2 0,2	0,1 0	0,5 0,5	0,3 0,45	Есть Нет

40. Средние значения периода стойкости сверл, зенкеров и разверток

Инструмент (операция)	Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	Стойкость T, мин, при диаметре инструмента, мм							
			До 5	6–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60	61–80
Сверло (сверление и рассверливание)	Конструкционная углеродистая и легированная сталь	Быстрорежущая сталь	15	25	45	50	70	90	110	–
		Твердый сплав	8	15	20	25	35	45	–	–
	Коррозионно-стойкая сталь	Быстрорежущая сталь	6	8	15	25	–	–	–	–
Сверло (сверление и рассверливание)	Серый и ковкий чугун, медные и алюминиевые сплавы	Быстрорежущая сталь	20	35	60	75	105	140	170	
		Твердый сплав	15	25	45	50	70	90	–	–
Зенкеры (зенкерование)	Конструкционная углеродистая и легированная сталь, серый и ковкий чугун	Быстрорежущая сталь и твердый сплав	–	–	30	40	50	60	80	100
Развертки (развертывание)	Конструкционная углеродистая и легированная сталь	Быстрорежущая сталь	–	25	40	80	80	120	120	120
		Твердый сплав	–	20	30	50	70	90	110	140
	Серый и ковкий чугун	Быстрорежущая сталь	–	–	60	120	120	180	180	180
		Твердый сплав	–	–	45	75	105	135	165	210

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания,

$$K_v = K_{mv} K_{uv} K_{lv},$$

где K_{mv} – коэффициент на обрабатываемый материал (см. табл. 1 – 4); K_{uv} – коэффициент на инструментальный материал (см. табл. 6); K_{lv} – коэффициент, учитывающий глубину сверления (табл. 41). При рассверливании и зенкеровании литых или штампованных отверстий вводится дополнительно поправочный коэффициент K_{nv} (см. табл. 5).

Крутящий момент, Н·м, и осевую силу, Н, рассчитывают по формулам:

при сверлении

$$M_{кр} = 10 C_M D^q s^y K_p;$$

$$P_o = 10 C_p D^q s^y K_p;$$

при рассверливании и зенкеровании

$$M_{кр} = 10 C_M D^q t^x s^y K_p;$$

$$P_o = 10 C_p D^q t^x s^y K_p.$$

Значения коэффициентов C_M и C_p и показателей степени приведены в табл. 42.

41. Поправочный коэффициент K_{lv} на скорость резания при сверлении, учитывающий глубину обрабатываемого отверстия

Параметр	Сверление					Рассверливание, зенкерование, развертывание
Глубина обрабатываемого отверстия	$3D$	$4D$	$5D$	$6D$	$8D$	–
Коэффициент K_{lv}	1,0	0,85	0,75	0,7	0,6	1,0

42. Значения коэффициентов и показателей степени в формулах крутящего момента и осевой силы при сверлении, рассверливании и зенкеровании

Обрабатываемый материал	Наименование операции	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени в формулах							
			крутящего момента				осевой силы			
			C_M	q	x	y	C_P	q	x	y
Конструкционная углеродистая сталь, $\sigma_в = 750$ МПа	Сверление	Быстрорежущая сталь	0,0345	2,0	–	0,8	68	1,0	–	0,7
	Рассверливание и зенкерование		0,09	1,0	0,9	0,8	67	–	1,2	0,65
Жаропрочная сталь 12Х18Н9Т, 141 *НВ*	Сверление		0,041	2,0	–	0,7	143	1,0	–	0,7
	Рассверливание и зенкерование		0,106	1,0	0,9	0,8	140	–	1,2	0,65
Серый чугун, 190 *НВ*	Сверление	Твердый сплав	0,012	2,2	–	0,8	42	1,2	–	0,75
	Рассверливание и зенкерование		0,196	0,85	0,8	0,7	46	–	1,0	0,4
	Сверление	Быстрорежущая сталь	0,021	2,0	–	0,8	42,7	1,0	–	0,8
	Рассверливание и зенкерование		0,085	–	0,75	0,8	23,5	–	1,2	0,4

Продолжение табл. 42

Обрабатываемый материал	Наименование операции	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени в формулах							
			крутящего момента				осевой силы			
			C_M	q	x	y	C_P	q	x	y
Ковкий чугун, 150 *НВ*	Сверление	Быстрорежущая сталь	0,021	2,0	–	0,8	43,3	1,0	–	0,8
	Рассверливание и зенкерование	Твердый сплав	0,01	2,2	–	0,8	32,8	1,2	–	0,75
			0,17	0,85	0,8	0,7	38	–	1,0	0,4
Гетерогенные медные сплавы средней твердости, 120 *НВ*	Сверление	Быстрорежущая сталь	0,012	2,0	–	0,8	31,5	1,0	–	0,8
	Рассверливание и зенкерование		0,031	0,85	–	0,8	17,2	–	1,0	0,4
Силумин и дюралюминий	Сверление		0,005	2,0	–	0,8	9,8	1,0	–	0,7

Примечание. Рассчитанные по формуле осевые силы при сверлении действительны для сверл с подточенной перемычкой; с неподточенной перемычкой осевая сила при сверлении возрастает в 1,33 раза.

Коэффициент, учитывающий фактические условия обработки, в данном случае зависит только от материала обрабатываемой заготовки и определяется выражением

$$K_p = K_{Mp}.$$

Значения коэффициента K_{Mp} приведены для стали и чугуна в табл. 9, а для медных и алюминиевых сплавов – в табл. 10.

Для определения крутящего момента при развертывании каждый зуб инструмента можно рассматривать как расточный резец. Тогда при диаметре инструмента D крутящий момент, Н·м,

$$M_{кр} = \frac{C_p t^x s_z^y Dz}{2 \cdot 100};$$

здесь s_z – подача, мм на один зуб инструмента, равная s/z, где s – подача, мм/об, z – число зубьев развертки. Значения коэффициентов и показателей степени см. в табл. 22.

Мощность резания, кВт, определяют по формуле

$$N_e = \frac{M_{кр} n}{9750},$$

где частота вращения инструмента или заготовки, об/мин,

$$n = \frac{1000\,v}{\pi D}.$$

СВЕРЛЕНИЕ, ЗЕНКЕРОВАНИЕ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Подачи при сверлении жаропрочных сплавов на железоникелевой основе приведены в табл. 43 и 44. Режимы резания при сверлении этих сплавов сверлами из быстрорежущей стали приведены в табл. 45 и 46, а принятый период стойкости сверл и поправочные коэффициенты на скорость резания – в табл. 47 и 48.

Режимы резания при сверлении сплавов ХН73МБТЮ и ХН62МБТЮ сверлами из твердого сплава приведены в табл. 49 и 50.

43. Подачи при сверлении деформируемого сплава ЭИ698 (ХН73МБТЮ) сверлами из быстрорежущей стали и твердого сплава

Материал сверла	Диаметр сверла, мм										
	1	2	3	5	8	10	15	18	20	24	30
	Подача s, мм/об										
Быстрорежущая сталь	0,006 – 0,01	0,01 – 0,02	0,02 – 0,03	0,03 – 0,05	0,05 – 0,09	0,07 – 0,1	0,08 – 0,12	0,1 – 0,15	0,1 – 0,15	0,12 – 0,18	0,15 – 0,2
Твердый сплав	0,003 – 0,06	0,006 – 0,012	0,01 – 0,018	0,02 – 0,04	0,04 – 0,06	0,05 – 0,08	0,08 – 0,12	0,09 – 0,14	0,1 – 0,15	–	–

Поправочные коэффициенты в зависимости от глубины сверления

Глубина сверления в диаметрах сверла	5D	7D	10D
Коэффициент K_s	1,0	0,9	0,83

44. Подачи при сверлении сплавов ЭП742 (ХН62МБКТЮ), ВЖЛ-12 быстрорежущими и твердосплавными сверлами. Работа с охлаждением

Материал сверла	Диаметр сверла, мм										
	1	2	3	5	8	10	15	18	20	24	30
	Подача s, мм/об										
Быстрорежущая сталь	0,006 – 0,01	0,01 – 0,02	0,02 – 0,03	0,03 – 0,05	0,05 – 0,09	0,07 – 0,1	0,08 – 0,1	0,1	0,1	0,12	0,15
Твердый сплав	0,003 – 0,06	0,006 – 0,012	0,01 – 0,018	0,02 – 0,03	0,04 – 0,06	0,05 – 0,07	0,08 – 0,12	0,09 – 0,1	0,1	–	–

Поправочные коэффициенты в зависимости от глубины сверления

Глубина сверления	5D	7D	10D
Коэффициент K_s	1,0	0,9	0,8

Примечание. D – диаметр сверла.

45. Режимы резания при сверлении сплава ЭИ698ВД (ХН73МБТЮ-ВД). Сверла из стали Р18. Работа с охлаждением

D сверла, мм	*s*, мм/об	v, м/мин	*D* сверла, мм	*s*, мм/об	v, м/мин
2	0,01	9,8	10	0,07	4,8
	0,011	9,1		0,08	4,1
	0,012	8,5		0,09	3,8
	0,014	7,5		0,10	3,5
	0,016	6,6	12	0,07	5,3
	0,018	6,02		0,08	4,8
	0,02	5,3		0,09	4,1
3	0,02	6,0		0,10	3,8
	0,023	5,3		0,11	3,5
	0,026	4,8	15	0,08	5,3
	0,03	4,1		0,09	4,8
4	0,02	7,6		0,10	4,5
	0,023	6,6		0,11	4,1
	0,026	6,0		0,12	3,8
	0,03	5,3	18	0,10	4,8
	0,035	4,7		0,11	4,5
	0,04	4,1		0,12	4,1
5	0,03	6,6		0,135	3,8
	0,035	5,6		0,15	3,5
	0,04	5,0	20	0,10	5,3
	0,045	4,6		0,11	5,0
	0,05	4,1		0,12	4,8
6	0,04	6,0		0,135	4,1
	0,045	5,3		0,15	3,8
	0,05	4,8	24	0,12	4,8
	0,055	4,5		0,135	4,5
	0,06	4,1		0,15	4,1
	0,07	3,9		0,165	3,8
8	0,05	5,0		0,18	3,5
	0,055	4,8	30	0,15	4,5
	0,06	4,5		0,165	4,1
	0,07	3,8		0,18	3,8
	0,08	3,5		0,20	3,5
	0,09	3,2			

46. Режимы резания при сверлении сплава ЭП742 (ХН62БМКТЮ) сверлами из быстрорежущей стали Р18. Работа с охлаждением

D сверла, мм	Подача *s*, мм/об	Скорость v, м/мин	*D* сверла, мм	Подача *s*, мм/об	Скорость v, м/мин
5	0,03	4,0	10	0,07	2,9
	0,035	3,4		0,08	2,5
	0,04	3,0		0,09	2,3
	0,045	2,76		0,10	2,1
	0,05	2,46			
6	0,04	3,6	12	0,07	3,2
	0,045	3,2		0,08	2,9
	0,05	2,9		0,09	2,5
	0,055	2,7		0,10	2,3
	0,06	2,5	15	0,08	3,2
	0,07	2,3		0,09	2,9
				0,10	2,7
8	0,05	3,0	18 – 20	0,10	2,9 – 3,2
	0,055	2,9	24	0,12	2,9
	0,06	2,7			
	0,07	2,3	30	0,15	2,7
	0,08	2,1			
	0,09	1,9			

Примечание. Сверление отверстий $d < 5$ мм производить при скорости v не более 3 м/мин и подаче *s* не более 0,04 мм/об.

47. Нормативные периоды стойкости сверл, *T*, мин

Диаметр сверла *D*, мм, не более	2	3 – 6	8 – 10	12 – 15	18 – 20	24	30
Период стойкости	4	6	10	12	15	20	25

48. Поправочные коэффициенты

Материал сверла	Р18		Р9К5		Р9М4К8	
Коэффициент K_{v_1}	1,0		1,15		1,42	
Отношение фактического периода стойкости к нормативному $T_ф / T_н$	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0
Коэффициент K_{v_2}	1,2	1,05	1,0	0,9	0,85	0,73

49. Режимы резания при сверлении сплава ЭИ698ВД сверлами с пластинками ВК8. Работа с охлаждением

Диаметр сверла D, мм	Подача s, мм/об	Скорость v, м/мин	Диаметр сверла D, мм	Подача s, мм/об	Скорость v, м/мин
2	0,006	25,9	8	0,4	11,1
	0,007	23,1		0,045	9,9
	0,008	20,3		0,05	8,9
	0,009	18,2		0,055	8,3
	0,01	16,8		0,06	7,7
	0,011	15,4			
	0,012	14,0			
3	0,01	18,9	10	0,05	9,8
	0,011	17,5		0,055	9,1
	0,012	16,1		0,06	8,3
	0,014	14,7		0,07	7,6
	0,016	12,7		0,08	6,7
	0,018	11,5			
4	0,016	16,1	12	0,06	9,7
	0,018	14,7		0,07	8,8
	0,02	13,3		0,08	7,7
	0,022	12,2		0,09	7,0
	0,024	11,2		0,10	6,3
	0,027	10,2			
	0,03	9,4			
5	0,02	16,1	15	0,08	8,4
	0,022	14,7		0,09	7,6
	0,024	13,6		0,10	7,0
	0,027	12,3		0,11	6,6
	0,03	11,2		0,12	5,9
	0,035	10,2			
	0,04	8,9			
6	0,03	11,3	18	0,09	8,8
	0,035	10,4		0,10	8,1
	0,04	9,2		0,11	7,6
	0,045	8,3		0,12	6,9
	0,05	7,6		0,14	6,2
			20	0,10	9,1
				0,11	8,4
				0,12	7,6
				0,135	6,9
				0,15	6,4

50. Режимы резания при сверлении сплава ЭП742 (ХН62БМКТЮ) сверлами с пластинками ВК8

Диаметр сверла D, мм	Подача s, мм/об	Скорость v, м/мин	Диаметр сверла D, мм	Подача s, мм/об	Скорость v, м/мин
2	0,006	15,5	6	0,03	6,8
	0,007	13,8		0,035	6,2
	0,008	12,1		0,04	5,5
	0,009	10,9		0,045	5,0
	0,01	10,0		0,05	4,6
	0,011	9,2	8	0,04	6,6
	0,012	8,4		0,045	5,9
3	0,01	11,3		0,05	5,3
	0,011	10,5		0,055	5,0
	0,012	9,7		0,06	4,6
	0,014	8,8	10	0,05	5,9
	0,016	7,6		0,055	5,3
	0,018	6,9		0,06	5,0
4	0,016	9,6		0,07	4,55
	0,018	8,8		0,08	4,0
	0,02	8,0	12	0,06	5,8
	0,022	7,3		0,07	5,3
	0,024	6,7		0,08	4,6
	0,027	6,1		0,09	4,2
	0,03	5,6		0,10	3,8
5	0,02	9,7	15	0,08	5,0
	0,022	8,8		0,09	4,5
	0,024	8,2		0,10	4,2
	0,027	7,4		0,11	4,0
	0,03	6,7		0,12	3,5
	0,035	6,7	18	0,09	5,3
	0,04	6,1		0,10	4,9
		5,3	20	0,10	5,5

Поправочные коэффициенты на скорости резания, указанные в табл. 49 и 50, приведены в табл. 52, а принятые периоды стойкости сверл – в табл. 51.

51. Нормативные периоды стойкости сверл, T, мин

Диаметр сверла D, мм, не более	2	3 – 5	6 – 8	10 – 12	15 – 20
Период стойкости	5	6	10	15	20

52. Поправочные коэффициенты

Твердый сплав	ВК6М	ВК8	ВК10М	ВК15М
Коэффициент K_{v_1}	1,15	1,0	0,9	0,7

Отношение фактического периода стойкости к нормативному $T_ф / T_н$	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0
Коэффициент K_{v_2}	1,2	1,05	1,0	0,9	0,85

Режимы резания при сверлении жаропрочного литейного сплава ВЖЛ-12 приведены в табл. 53 и 54, а поправочные коэффициенты – в табл. 56, при принятых периодах стойкости сверл, приведенных в табл. 55.

53. Режимы резания при сверлении сплава ВЖЛ-12 сверлами из быстрорежущей стали Р6М5Ф3К8П, Р6М5К5, Р18. Работа с охлаждением

Диаметр сверла D, мм	Подача s, мм/об	Скорость v, м/мин	Диаметр сверла D, мм	Подача s, мм/об	Скорость v, м/мин
2	0,01 0,011 0,012 0,014 0,016 0,018 0,02	5,0 4,0 4,5 4,0 3,5 3,0 3,0	10	0,07 0,08 0,09 0,10	2,5 2,0 2,0 2,0
3	0,02 0,023 0,026 0,03	3,0 3,0 2,5 2,0	12	0,07 0,08 0,09 0,10 0,11	2,0 2,5 2,0 2,0 2,0
4	0,02 0,023 0,026 0,03 0,035 0,04	4,0 3,5 3,0 3,0 2,5 2,0	15	0,08 0,09 0,10 0,11 0,12	3,0 2,5 2,0 2,0 2,0
5	0,03 0,035 0,04 0,045 0,05	3,5 3,0 2,5 2,5 2,0	18	0,10 0,11 0,12 0,135 0,15	2,5 2,0 2,0 2,0 2,0
6	0,04 0,045 0,05 0,055 0,06 0,07	3,0 3,0 2,5 2,0 2,0 2,0	20	0,10 0,11 0,12 0,135 0,15	3,0 2,5 2,5 2,0 2,0
8	0,05 0,055 0,06 0,07 0,08 0,09	2,5 2,5 2,0 2,0 2,0 1,5	24	0,12 0,135 0,15 0,165 0,18	2,5 2,0 2,0 2,0 2,0
			30	0,15 0,165 0,18 0,20	2,0 2,0 2,0 2,0

54. Режимы резания при сверлении сплава ВЖЛ-12 сверлами с пластинками ВК8, ВК10-ОМ. Работа с охлаждением

Диаметр сверла D, мм	Подача s, мм/об	Скорость v, м/мин	Диаметр сверла D, мм	Подача s, мм/об	Скорость v, м/мин
2	0,006 0,007 0,008 0,009 0,01 0,011 0,012	14,0 12,0 11,0 9,5 9,0 8,0 7,5	8	0,04 0,045 0,05 0,055 0,06	6,0 5,0 5,0 4,0 4,0
3	0,01 0,011 0,012 0,014 0,016 0,018	10,0 9,0 8,5 8,0 7,0 6,0	10	0,05 0,055 0,06 0,07 0,08	5,0 5,0 4,0 4,0 3,5
4	0,016 0,018 0,02 0,022 0,024 0,027 0,03	8,5 8,0 7,0 6,5 6,0 5,0 5,0	12	0,06 0,07 0,08 0,09 0,10	5,0 4,5 4,0 3,5 3,0
5	0,02 0,022 0,024 0,027 0,03 0,035 0,04	8,5 8,0 7,0 6,5 6,0 5,0 5,0	15	0,08 0,09 0,10 0,11 0,12	4,5 4,0 3,5 3,5 3,0
6	0,03 0,035 0,04 0,045 0,05	6,0 5,5 4,0 4,0	18	0,09 0,10 0,11 0,12 0,14	4,5 4,0 4,0 3,5 3,0
			20	0,10 0,11 0,12 0,135 0,15	5,0 4,5 4,0 3,5 3,0

55. Нормативные периоды стойкости сверл, T, мин

Сверла из быстрорежущей стали							
Диаметр сверла D, мм, не более	2	3 – 6	8 – 10	12 – 15	18-20	24	30
Период стойкости	4	6	10	12	15	20	25

Сверла с пластинками из твердого сплава					
Диаметр сверла D, мм, не более	2	3 – 5	6 – 8	10 – 12	15 – 20
Период стойкости	5	6	10	15	20

56. Поправочные коэффициенты на скорость резания для измененных условий работы

Период стойкости сверла	Отношение фактического периода стойкости к нормативному $T_ф / T_н$	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0
	Коэффициент K_v	1,2	1,05	1,0	0,9	0,85	0,75

Вид отверстия	Глухое	Сквозное
	0,6	1,0

Критерий затупления сверл $h_з$

Инструментальный материал	Диаметр сверла D, мм	Критерий затупления, мм
Быстрорежущая сталь	1,3 4,7 Св. 7,0	0,2 0,4 0,6 – 0,8
Твердый сплав	1 – 3 4 – 7 Св. 7,0	0,15 0,3 0,4 – 0,5

57. Подачи в мм/об при обработке сверлами из быстрорежущей стали

Диаметр сверла, мм	Титановые сплавы с $\sigma_в$ < 1000 МПа	Титановые сплавы с $\sigma_в$ > 1000 МПа
1	0,010 – 0,015	0,006 – 0,010
2	0,020 – 0,030	0,010 – 0,020
3	0,030 – 0,070	0,020 – 0,030
5 – 6	0,050 – 0,080	0,030 – 0,050
8	0,070 – 0,120	0,050 – 0,090
10 – 12	0,090 – 0,150	0,070 – 0,100
15	0,100 – 0,180	0,080 – 0,120
18	0,120 – 0,200	0,100 – 0,150
20	0,120 – 0,220	0,100 – 0,150
24	0,150 – 0,250	0,120 – 0,180
30	0,180 – 0,300	0,150 – 0,200

Подачи при обработке сверлением титановых сплавов сверлами из быстрорежущей стали приведены в табл. 57 и 58, а поправочные коэффициенты к этим таблицам в зависимости от глубины сверления – в табл. 59.

Режимы резания деталей из сплавов на титановой основе сверлами из быстрорежущей стали даны в табл. 60, а поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от материала детали и материала сверла – в табл. 61 и 62.

Режимы резания деталей из сплавов на титановой основе сверлами из твердого сплава даны в табл. 63 и 64, а поправочные коэффициенты к ним в табл. 65 и 66. Поправочный коэффициент на скорости резания, приведенные в табл. 63 и 64, в зависимости от материала сверла приведены в табл. 67.

Режимы резания деталей из высокопрочных сталей сверлами из твердого сплава приведены в табл. 68, а поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от материала детали и материала сверла – в табл. 69 и 70.

Подачи при зенкеровании жаропрочных сплавов инструментами из быстрорежущей стали приведены в табл. 71, а скорости резания – в табл. 72 и 73.

Режимы резания при развертывании труднообрабатываемых жаропрочных сплавов приведены в табл. 74.

58. Подачи в мм/об при обработке сверлами из титановых сплавов

Диаметр сверла, мм	Материал детали		
	Титановые сплавы		Высокопрочные стали, $\sigma_в \geq 1600$ МПа
	$\sigma_в$ < 1000 МПа	$\sigma_в$ > 1000 МПа	
1	0,006 – 0,009	0,003 – 0,006	0,002 – 0,004
2	0,012 – 0,018	0,006 – 0,012	0,004 – 0,008
3	0,015 – 0,030	0,010 – 0,018	0,008 – 0,015
4	0,030 – 0,050	0,020 – 0,040	0,015 – 0,030
8	0,050 – 0,080	0,040 – 0,060	0,030 – 0,050
10	0,060 – 0,100	0,050 – 0,080	0,040 – 0,060
12	0,070 – 0,120	0,060 – 0,100	0,050 – 0,080
15	0,100 – 0,150	0,080 – 0,120	0,070 – 0,090
20	0,120 – 0,180	0,100 – 0,150	0,080 – 0,120

Примечания: 1. Сверла диаметром 1 – 3 мм перовые из сплавов ВК60М и ВК10М.
2. Сверла диаметром 4 – 7 мм цельные из сплава ВК10М.
3. Сверла диаметром более 7 мм с пластинками твердых сплавов ВК6М и ВК8.

59. Поправочный коэффициент к табл. 57 и 58 на подачу в зависимости от глубины сверления

Глубина сверления, не более	5D	7D	10D
Поправочный коэффициент	1	0,9	0,83

D – диаметр сверла.

60. Режимы резания деталей из сплавов на титановой основе сверлами из быстрорежущей стали Р9К5. Работа с охлаждением эмульсией

$D_{св}$, мм	s, мм/об	v, м/мин	n, об/мин	P_0, Н	$M_{кр}$, Н·м	$N_э$, кВт
2	0,02 0,03	24 18	3810 2880	110 140	0,6 0,9	0,02 0,03
3	0,03 0,05	20 14	2120 1520	220 310	1,9 3,0	0,03 0,05
5	0,05 0,07	20 17	1270 1070	520 660	7,6 10,2	0,10 0,10
8	0,07 0,09 0,12	18 16 13	720 620 530	1060 1260 1540	24,8 31,0 40,0	0,18 0,20 0,22
10	0,09 0,12 0,15	19 16 13	590 500 420	1570 1930 2250	46,0 59,6 73,0	0,28 0,30 0,31

Продолжение табл. 60

$D_{св}$, мм	s, мм/об	v, м/мин	n, об/мин	P_o, Н	$M_{кр}$, Н·м	$N_э$, кВт
12	0,09	19	510	1890	65,0	0,34
	0,12	16	430	4310	83,8	0,37
	0,15	14	380	2700	102,0	0,40
15	0,10	22	580	2540	106	0,62
	0,15	17	440	3380	152	0,70
	0,18	16	410	3840	178	0,76
18	0,12	19	340	3470	176	0,60
	0,15	18	310	3860	201	0,65
	0,20	14	250	4960	250	0,72
24	0,15	19	240	4290	346	0,85
	0,20	14	190	5510	478	0,94
	0,25	13	170	6440	579	1,03

61. Поправочный коэффициент на скорость резания в зависимости от материала детали

Марка	$\sigma_{тв}$, МПа	K_v
ВТ1, ВТ1-1, ВТ1-2	450 – 700	1,50
ОТ4, ОТ4-1, ВТ5, ВТ5-1	700 – 950	1,00
ВТ6, ВТ6С	900 – 1000	0,82
ВТ3, ВТ3-1, ВТ14, ВТ15	950 – 1200	0,75
ВТ14, ВТ15 после закалки и старения	1150 – 1500	0,60

62. Поправочный коэффициент на скорость резания в зависимости от материала сверла

Марка	Р18	Р9К5	Р10К5Ф5	Р9М4К8	Р6М5
K_v	0,82	1,0	1,0	1,29	0,73

63. Режимы резания деталей из сплавов на титановой основе ($\sigma_в$ < 1000 МПа) сверлами из твердого сплава ВК8. Работа с охлаждением эмульсией

$D_{св}$, мм	s, мм/об	v, м/мин	n, об/мин	P_o, Н	$M_{кр}$, Н·м	$N_э$, кВт
1	0,006	48,2	15300	24	0,05	0,008
	0,009	37,0	11800	31	0,08	0,010
2	0,012	48,2	7650	77	0,36	0,028
	0,018	37,0	5900	100	0,52	0,032
3	0,015	44,3	4700	135	0,85	0,040
	0,025	32,0	3400	193	1,5	0,152

Продолжение табл. 63

$D_{св}$, мм	s, мм/об	v, м/мин	n, об/мин	P_o, Н	$M_{кр}$, Н·м	$N_э$, кВт
5	0,03	34,3	2450	365	4,3	0,101
	0,05	25,0	1600	522	7,2	0,12
8	0,05	32,0	1270	835	16,9	0,21
	0,08	23,6	940	1160	26,0	0,25
12	0,07	26,8	710	1590	38,2	0,28
	0,12	18,9	500	2310	63,0	0,33
15	0,10	21,1	450	2540	102,8	0,47
	0,15	16,5	350	3380	187,3	0,67
20	0,12	22,5	360	3850	205,4	0,75
	0,18	17,3	275	5120	284,0	0,81

64. Режимы резания деталей из сплавов на титановой основе ($\sigma_в$ > 1000 МПа) сверлами из твердого сплава ВК8. Работа с охлаждением эмульсией

$D_{св}$, мм	s, мм/об	v, м/мин	n, об/мин	P_o, Н	$M_{кр}$, Н·м	$N_э$, кВт
1	0,003	45,0	14360	25	0,04	0,006
	0,006	28,9	920	37	0,10	0,010
2	0,006	45,0	7160	74	0,32	0,024
	0,012	28,9	4600	117	0,76	0,036
3	0,010	38,0	4040	157	1,1	0,045
	0,015	26,4	2800	206	1,5	0,045
	0,018	23,4	2450	230	1,6	0,044
5	0,020	26,4	1650	420	4,3	0,074
	0,030	20,6	1330	560	6,8	0,092
8	0,040	21,8	860	1050	18,2	0,16
	0,060	17,0	680	1450	30,2	0,21
12	0,06	19,8	525	2260	51,0	0,28
	0,09	13,7	370	2900	74,6	0,28
15	0,08	22,0	470	3450	122,0	0,57
	0,12	15,3	320	4430	178,8	0,62
20	0,10	17,0	270	5200	260,7	0,75
	0,12	13,5	220	5900	314,5	0,75
	0,15	11,7	185	6900	382,1	0,75

65. Поправочный коэффициент на скорость резания в зависимости от материала детали ($\sigma_в$ < 1000 МПа)

Марка	$\sigma_в$, МПа	K_v
ВТ1, ВТ1-1, ВТ1-2	450 – 700	1,50
ОТ4, ОТ4-1, ВТ5, ВТ5-1	750 – 950	1,00
ВТ6, ВТ6С	900 – 1000	0,82

66. Поправочный коэффициент на скорость резания в зависимости от материала детали ($\sigma_в$ > 1000 МПа)

Марка	$\sigma_в$, МПа	K_v
ВТ3, ВТ3-1	950 – 1200	1,00
ВТ14, ВТ15	1000	1,00
ВТ14, ВТ15	1300 – 1400	0,80

67. Поправочный коэффициент на скорость резания в зависимости от материала сверла

Марка	ВК6ОМ	ВК6М	ВК6	ВК10М	ВК15М
K_v	1,25	1,15	1,0	0,9	0,7

68. Режимы резания деталей из высокопрочных сталей сверлами из твердого сплава ВК8. Работа с охлаждением эмульсией

$D_{св}$, мм	s, мм/об	v, м/мин	n, об/мин	P_o, Н	$M_{кр}$, Н·м	$N_э$, кВт
1	0,002 0,004	21,8 10,2	7000 3200	26 50	0,10 0,12	0,006 0,005
2	0,005 0,007	20,5 14,0	3270 2230	120 158	0,5 0,7	0,015 0,015
3	0,008 0,012 0,015	17,5 11,0 8,8	1850 1170 930	290 420 460	1,1 1,7 2,0	0,025 0,025 0,025
5	0,015 0,025	26,5 15,5	1680 980	750 950	5,3 8,8	0,10 0,10
8	0,03 0,05	22,0 13,0	880 520	1780 2400	22 36	0,22 0,22
12	0,05 0,08	24,5 15,0	650 400	3600 5100	77 120	0,55 0,55
15	0,07 0,09	21,5 16,5	460 350	5430 6900	150 190	0,78 0,78
20	0,09 0,10 0,12	32,0 28,0 22,5	510 450 360	8100 10000 13500	370 410 450	1,8 1,8 1,8

69. Поправочный коэффициент на скорость резания в зависимости от прочности материала детали

$\sigma_в$, МПа	1600	1700	1800	2000	2200
K_v	1,56	1,38	1,24	1,0	0,91

70. Поправочный коэффициент на скорость резания в зависимости от материала сверла

Марка	ВК6ОМ	ВК6М	ВК6	ВК10М	ВК15М
K_v	1,25	1,15	1,0	0,9	0,7

71. Подачи при зенкеровании жаропрочных сплавов ЭИ698, ЭИ742 инструментом из быстрорежущей стали

Диаметр зенкера D, мм	Группа подач		
	I	II	III
	Подача s, мм/об		
5	0,19	0,13	0,09
10	0,28	0,20	0,14
15	0,37	0,27	0,17
20	0,46	0,33	0,21
25	0,54	0,38	0,25
30	0,63	0,45	0,29
35	0,68	0,48	0,33
40	0,75	0,54	0,36
45	0,82	0,58	0,40

Примечание. При обработке глухих отверстий применять коэффициент $K_s = 0,5$.

Технологические данные выбора подач

I группа подач: а) зенкерование отверстий в жестких деталях;
б) зенкерование отверстий с последующим применением 2-х разверток.

II группа подач: а) зенкерование отверстий в деталях средней жесткости;
б) зенкерование отверстий с последующим применением одной развертки.

III группа подач: а) зенкерование отверстий в деталях малой жесткости (тонкостенные детали) и с неустойчивыми опорными поверхностями;
б) зенкерование без последующей обработки отверстий.

72. Скорости резания при зенкеровании сплава ЭИ698 инструментами из быстрорежущей стали

Диаметр зенкера D, мм	Нормативная глубина резания t, мм	Подачи s, мм/об									
		0,11	0,15	0,20	0,26	0,3	0,35	0,4	0,46	0,53	0,6
		Скорость резания v, м/мин									
7,0 8,5 10,5	0,3 – 0,4	6,5 7,3 3,2	5,2 5,8 6,5	4,2 4,7 5,2	3,2 3,7 4,2	3,0 3,2 3,7	2,6 3,0 3,2	2,4 2,6 3,0	2,1 2,4 2,6	1,8 2,1 2,4	1,7 1,8 2,1
13 16 20	0,4 – 0,6	8,4 9,4 10,4	6,6 7,4 8,4	5,3 6,0 6,6	4,2 4,7 5,3	3,7 4,2 4,7	3,2 3,7 4,2	3,0 3,2 3,7	2,7 3,0 3,2	2,5 2,7 3,0	2,1 2,5 2,7
24,5 30	0,6 – 0,8	9,2 11,0	7,5 8,4	6,0 6,7	4,8 5,3	4,3 4,8	3,8 4,3	3,4 3,8	3,0 3,4	2,7 3,0	2,4 2,7
37 45	0,8 – 1,0	9,2 11,0	7,5 8,4	6,0 6,7	4,8 5,3	4,3 4,8	3,8 4,3	3,4 3,8	3,0 3,4	2,7 3,0	2,4 2,7

Нормативные периоды стойкости T, мин

Диаметр зенкера D, мм	До 20	35	Св. 35
Стойкость инструмента T, мин	12	15	20

Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от измененных условий

Отношение фактического периода стойкости к нормативному $T_ф/T_н$	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
Коэффициент K_{v_1}	2,0	1,42	1,0	0,7	0,57	0,48

Материал инструмента	Р18	Р12Ф2К8М3
Коэффициент K_{v_2}	1,0	0,8

Отношение фактической глубины резания к нормативной	0,5	0,7	1,0	1,5	2,5
Коэффициент K_{v_3}	1,22	1,12	1,0	0,87	0,76

73. Скорости резания при зенкеровании сплава ЭИ742 инструментами из быстрорежущей стали

Диаметр зенкера D, мм	Нормативная глубина резания t, мм	Подачи s, мм/об						
		0,20	0,26	0,35	0,45	0,62	0,72	1,0
		Скорость резания v, м/мин						
10 – 20	0,35-0,6	2,4	2,0	1,8	1,5	1,3	1,2	1,0
21 – 30	0,6 – 0,8	2,9	2,5	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2
31 – 40	0,8 – 1,0							

Нормативные периоды стойкости T, мин

Диаметр зенкера D, мм	до 20	21 – 30	31 – 40
Стойкость инструмента T, мин	30	40	40

Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от измененных условий

Отношение фактического периода стойкости к нормативному $T_ф/T_н$	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
Коэффициент K_{v_1}	1,56	1,27	1,0	0,8	0,69	0,63

Отношение фактической глубины резания к нормативной	0,5	1,0	1,5	2,5
Коэффициент K_{v_2}	1,07	1,0	0,96	0,93

Охлаждение	С охлаждением	Без охлаждения
Коэффициент K_{v_3}	1,0	0,8

74. Режимы резания при развертывании сплавов ЭИ698, ЭИ742, ВЖЛ-12. Развертки цилиндрические. Работа с охлаждением

Материал развертки	Глубина резания t, мм	Подача на зуб s, мм	Скорость резания v, м/мин
Быстрорежущая сталь	0,05 – 0,1	0,03 – 0,1	2,5 – 4,0
Твердый сплав	0,05 – 0,15		

Примечания: 1. Стойкость развертки принята 30 – 40 мин.

2. При развертывании отверстий диаметрами < 3 – 5 мм в качестве СОТС применяются жидкости на масляной основе. В остальных случаях – 10 %-я эмульсия.

ФРЕЗЕРОВАНИЕ

Конфигурация обрабатываемой поверхности и вид оборудования определяют тип применяемой фрезы (рис. 3). Ее размеры определяются размерами обрабатываемой поверхности и глубиной срезаемого слоя. Диаметр фрезы для сокращения основного технологического времени и расхода инструментального материала выбирают по возможности наименьшей величины, учитывая при этом жесткость технологической системы, схему резания, форму и размеры обрабатываемой заготовки.

При торцовом фрезеровании для достижения производительных режимов резания диаметр фрезы D должен быть больше ширины фрезерования B, т.е. $D = (1{,}25 \dots 1{,}5)\,B$, а при обработке стальных заготовок обязательным является их несимметричное расположение относительно фрезы: для заготовок из конструкционных углеродистых и легированных сталей – сдвиг их в направлении врезания зуба фрезы (рис. 4, *а*), чем обеспечивается начало

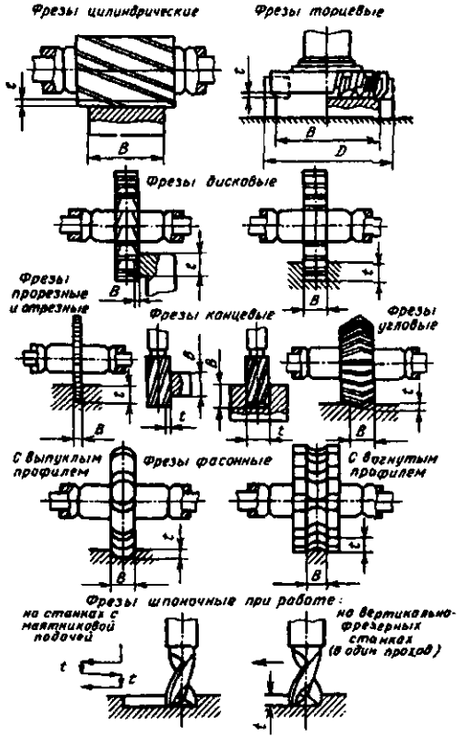


Рис. 3. Виды фрезерования

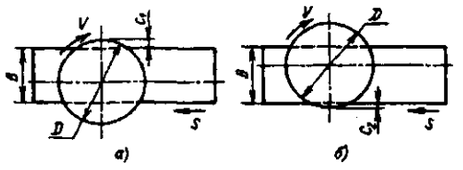


Рис. 4. Расположение стальной заготовки при торцовом фрезеровании относительно фрезы:
а – врезание зуба фрезы при $c_1 = (0{,}03 \dots 0{,}05)D$;
б – выход зуба фрезы при $c_2 = 0$

резания при малой толщине срезаемого слоя; для заготовок из жаропрочных и коррозионностойких сталей – сдвиг заготовки в сторону выхода зуба фрезы из резания (рис. 4, *б*), чем *обеспечивается выход зуба из резания с минимально* возможной толщиной срезаемого слоя. Несоблюдение указанных правил приводит к значительному снижению стойкости инструмента.

Глубина фрезерования t и ширина фрезерования B – понятия, связанные с размерами слоя заготовки, срезаемого при фрезеровании (см. рис. 3). Во всех видах фрезерования, за исключением торцового, t определяет продолжительность контакта зуба фрезы с заготовкой; t измеряют в направлении, перпендикулярном к оси фрезы. Ширина фрезерования B определяет длину лезвия зуба фрезы, участвующую в резании; B измеряют в направлении, параллельном оси фрезы. При торцовом фрезеровании эти понятия меняются местами.

Подача. При фрезеровании различают подачу на один зуб, подачу на один оборот фрезы s и подачу минутную $s_м$, мм/мин, которые находятся в следующем соотношении:

$$s_м = sn = s_z z n\,,$$

где n – частота вращения фрезы, об/мин; z – число зубьев фрезы.

Исходной величиной подачи при черновом фрезеровании является величина ее на один зуб s_z, при чистовом фрезеровании – на один оборот фрезы s, по которой для дальнейшего использования вычисляют величину подачи на один зуб $s_z = s/z$. Рекомендуемые подачи для различных фрез и условий резания приведены в табл. 75 – 80.

75. Подачи при черновом фрезеровании торцовыми, цилиндрическими и дисковыми фрезами с пластинами из твердого сплава

Мощность станка, кВт	Сталь		Чугун и медные сплавы	
	Подача на зуб фрезы s_z, мм, при твердом сплаве			
	Т15К6	Т5К10	ВК6	ВК8
5 – 10	0,09 – 0,18	0,12 – 0,18	0,14 – 0,24	0,20 – 0,29
Св. 10	0,12 – 0,18	0,16 – 0,24	0,18 – 0,28	0,25 – 0,38

Примечания: 1. Приведенные значения подач для цилиндрических фрез действительны при ширине фрезерования $B \le 30$ мм; при $B > 30$ мм табличные значения подач следует уменьшать на 30 %.

2. Приведенные значения подач для дисковых фрез действительны при фрезеровании плоскостей и уступов; при фрезеровании пазов табличные значения подач следует уменьшать в 2 раза.

3. При фрезеровании с приведенными в таблице подачами достигается шероховатость поверхности $Ra = 0{,}8 \dots 1{,}6$.

76. Подачи при черновом фрезеровании торцовыми, цилиндрическими и дисковыми фрезами из быстрорежущей стали

Мощность станка или фрезерной головки, кВт	Жесткость системы заготовка – приспособление	Фрезы			
		торцовые и дисковые		цилиндрические	
		Подача на один зуб, s_z, мм, при обработке			
		конструкционной стали	чугуна и медных сплавов	конструкционной стали	чугуна и медных сплавов
Фрезы с крупным зубом и фрезы со вставными ножами					
Св. 10	Повышенная	0,20 – 0,30	0,40 – 0,60	0,40 – 0,60	0,60 – 0,80
	Средняя	0,15 – 0,25	0,30 – 0,50	0,30 – 0,40	0,40 – 0,60
	Пониженная	0,10 – 0,15	0,20 – 0,30	0,20 – 0,30	0,25 – 0,40
5 – 10	Повышенная	0,12 – 0,20	0,30 – 0,50	0,25 – 0,40	0,30 – 0,50
	Средняя	0,08 – 0,15	0,20 – 0,40	0,12 – 0,20	0,20 – 0,30
	Пониженная	0,06 – 0,10	0,15 – 0,25	0,10 – 0,15	0,12 – 0,20
До 5	Средняя	0,06 – 0,07	0,15 – 0,30	0,08 – 0,12	0,10 – 0,18
	Пониженная	0,04 – 0,06	0,10 – 0,20	0,06 – 0,10	0,08 – 0,15
Фрезы с мелким зубом					
5 – 10	Повышенная	0,08 – 0,12	0,20 – 0,35	0,10 – 0,15	0,12 – 0,20
	Средняя	0,06 – 0,10	0,15 – 0,30	0,06 – 0,10	0,10 – 0,15
	Пониженная	0,04 – 0,08	0,10 – 0,20	0,06 – 0,08	0,08 – 0,12
До 5	Средняя	0,04 – 0,06	0,12 – 0,20	0,05 – 0,08	0,06 – 0,12
	Пониженная	0,03 – 0,05	0,08 – 0,15	0,03 – 0,06	0,05 – 0,10

Примечания: 1. Бóльшие значения подач брать для меньшей глубины и ширины фрезерования, меньшие – для больших значений глубины и ширины.

2. При фрезеровании жаропрочной и коррозионно-стойкой стали подачи брать те же, что и для конструкционной стали, но не выше 0,3 мм/зуб.

77. Подачи при фрезеровании стальных заготовок различными фрезами из быстрорежущей стали

Диаметр фрезы D, мм	Фрезы	Подача на зуб s_z, мм, при глубине фрезерования t, мм								
		3	5	6	8	10	12	15	20	30
16	Концевые	0,08–0,05	0,06–0,05	–	–	–	–	–	–	–
20		0,10–0,06	0,07–0,04							
25		0,12–0,07	0,09–0,05	0,08–0,04						
35	Угловые и фасонные	0,16–0,10	0,12–0,07	0,10–0,05						
		0,08–0,04	0,07–0,05	0,06–0,04						
40	Концевые	0,20–0,12	0,14–0,08	0,12–0,07	0,08–0,05	–	–	–	–	–
	Угловые и фасонные	0,09–0,05	0,07–0,05	0,06–0,03	0,06–0,03					
	Прорезные	0,009–0,005	0,007–0,003	0,01–0,007	–					
50	Концевые	0,25–0,15	0,15–0,10	0,13–0,08	0,10–0,07					
	Угловые и фасонные	0,10–0,06	0,08–0,05	0,07–0,04	0,06–0,03					
	Прорезные	0,010–0,006	0,008–0,004	0,012–0,008	0,012–0,008					
60	Угловые и фасонные	0,10–0,06	0,08–0,05	0,07–0,04	0,06–0,04	0,05–0,03				
	Прорезные	0,013–0,008	0,010–0,005	0,015–0,01	0,015–0,01	0,015–0,01				
	Отрезные	–	–	0,025–0,015	0,022–0,012	0,02–0,01				
75	Угловые и фасонные	0,12–0,08	0,10–0,06	0,09–0,05	0,07–0,05	0,06–0,04	0,06–0,03			
	Прорезные	–	0,015–0,005	0,025–0,01	0,022–0,01	0,02–0,01	0,017–0,008	0,015–0,007		
	Отрезные		–	0,03–0,015	0,027–0,012	0,025–0,01	0,022–0,01	0,02–0,01		
90	Угловые и фасонные	0,12–0,08	0,12–0,05	0,11–0,05	0,10–0,05	0,09–0,04	0,08–0,04	0,07–0,03	0,05–0,03	
	Отрезные			0,03–0,02	0,028–0,016	0,027–0,015	0,023–0,015	0,022–0,012	0,023–0,013	
110	Отрезные	–	–	0,03–0,025	0,03–0,02	0,03–0,02	0,025–0,02	0,025–0,02	0,025–0,015	
150 – 200				–	–	–	–	0,03–0,02	0,028–0,016	0,02–0,01

Примечания: 1. При фрезеровании чугуна, медных и алюминиевых сплавов подачи могут быть увеличены на 30 – 40 %. 2. Приведены подачи для фасонных фрез с выпуклым плавно очерченным профилем; для таких же фрез с резко очерченным или вогнутым профилем подачи должны быть уменьшены на 40 %. 3. Подачи для прорезных и отрезных фрез с мелким зубом установлены при глубине фрезерования до 5 мм, с крупным зубом – при глубине св. 5 мм.

78. Подачи при фрезеровании заготовок твердосплавными концевыми фрезами плоскостей и уступов стальных заготовок

Черновое фрезерование

Вид твердосплавных элементов	Диаметр фрезы D, мм	Подача на один зуб фрезы s_z, мм, при глубине фрезерования t, мм						
		1 – 3	5	8	12	20	30	40
Коронка	10–12	0,01–0,03	–	–	–	–	–	–
	14–16	0,02–0,06	0,02–0,04	–	–	–	–	–
	18–22	0,04–0,07	0,03–0,05	0,02–0,04	–	–	–	–
Винтовые пластинки	20	0,06–0,10	0,05–0,08	0,03–0,05	–	–	–	–
	25	0,08–0,12	0,06–0,10	0,05–0,10	0,05–0,08	–	–	–
	30	0,10–0,15	0,08–0,12	0,06–0,10	0,05–0,09	–	–	–
	40	0,10–0,18	0,08–0,13	0,06–0,11	0,05–0,10	0,04–0,07	–	–
	50	0,10–0,20	0,10–0,15	0,08–0,12	0,06–0,10	0,05–0,09	0,05–0,08	0,05–0,06
	60	0,12–0,20	0,10–0,16	0,10–0,12	0,08–0,12	0,06–0,10	0,06–0,10	0,06–0,08

Чистовое фрезерование

Диаметр фрезы D, мм	10–16	20–22	25–35	40–60
Подача фрезы s, мм/об	0,02–0,06	0,06–0,12	0,12–0,24	0,3–0,6

Примечания: 1. При черновом фрезеровании чугуна подачи, приведенные для чернового фрезерования стали, могут быть увеличены на 30 – 40 %; при чистовом фрезеровании чугуна сохраняется величина подачи, рекомендованная для чистового фрезерования стали.

2. Верхние пределы подач при черновом фрезеровании применять при малой ширине фрезерования на станках высокой жесткости, нижние пределы – при большой ширине фрезерования на станках недостаточной жесткости.

3. При работе с подачами для чистового фрезерования достигается параметр шероховатости $Ra = 0{,}8 \ldots 1{,}6$.

79. Подачи, мм/об, при чистовом фрезеровании плоскостей и уступов торцовыми, дисковыми и цилиндрическими фрезами

Параметр шероховатости поверхности Ra, мкм	Торцовые и дисковые фрезы со вставными ножами		Цилиндрические фрезы из быстрорежущей стали при диаметре фрезы, мм, в зависимости от обрабатываемого материала					
	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	конструкционная углеродистая и легированная сталь			чугун, медные и алюминиевые сплавы		
			40–75	90–130	150–200	40–75	90–130	150–200
6,3	–	1,2–2,7	–	–	–	–	–	–
3,2	0,5–1,0	0,5–1,2	1,0–2,7	1,7–3,8	2,3–5,0	1,0–2,3	1,4–3,0	1,9–3,7
1,6	0,4–0,6	0,23–0,5	0,6–1,5	1,0–2,1	1,3–2,8	0,6–1,3	0,8–1,7	1,1–2,1
0,8	0,2–0,3	–	–	–	–	–	–	–
0,4	0,15	–	–	–	–	–	–	–

80. Подачи при фрезеровании стальных заготовок шпоночными фрезами из быстрорежущей стали

Диаметр фрезы D, мм	Фрезерование на шпоночно-фрезерных станках с маятниковой подачей при глубине фрезерования на один двойной ход, составляющий часть глубины шпоночного паза		Фрезерование на вертикально-фрезерных станках за один проход	
			Осевое врезание на глубину шпоночного паза	Продольное движение при фрезеровании шпоночного паза
	Глубина фрезерования t, мм	Подача на один зуб s_z, мм		
6	0,3	0,10	0,006	0,020
8		0,12	0,007	0,022
10		0,16	0,008	0,024
12		0,18	0,009	0,026
16	0,4	0,25	0,010	0,028
18		0,28	0,011	0,030
20		0,31	0,011	0,032
24		*0,38*	*0,012*	*0,036*
28	0,5	0,45	0,014	0,037
32		0,50	0,015	0,037
36		0,55	0,016	0,038
40		0,65	0,016	0,038

Примечание. Подачи даны для конструкционной стали с $\sigma_в \le 750$ МПа; при обработке сталей более высокой прочности подачи снижают на 20 – 40 %.

Скорость резания – окружная скорость фрезы, м/мин,

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x s_z^y B^u z^p} K_v .$$

Значения коэффициента C_v и показателей степени приведены в табл. 81, а периода стойкости T – в табл. 82.

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания,

$$K_v = K_{mv} K_{nv} K_{uv} ,$$

где K_{mv} – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала (см. табл. 1 – 4); K_{nv} – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки (см. табл. 5); K_{uv} – коэффициент, учитывающий материал инструмента (см. табл. 6).

Сила резания. Главная составляющая силы резания при фрезеровании – окружная сила, Н

$$P_z = \frac{10 C_p t^x s_z^y B^n z}{D^q n^w} K_{mp} ,$$

где z – число зубьев фрезы; n – частота вращения фрезы, об/мин.

81. Значения коэффициента C_v и показателей степени в формуле скорости резания при фрезеровании

Фрезы	Материал режущей части	Операция	Параметры срезаемого слоя, мм			Коэффициент и показатели степени в формуле скорости резания						
			B	t	s_z	C_v	q	x	y	u	p	m
Обработка конструкционной и углеродистой стали, $\sigma_в$ = 750 МПа												
Торцовые	T15K6*1	Фрезерование плоскостей	–	–	–	332	0,2	0,1	0,4	0,2	0	0,2
	P6M5*2		–	–	≤ 0,1 > 0,1	64,7 41	0,25	0,1	0,2 0,4	0,15	0	0,2
Цилиндрические	T15K6*1		≤ 35	≤ 2 > 2	–	390 443	0,17	0,19 0,38	0,28	-0,05	0,1	0,33
			> 35	≤ 2 > 2		616 700	0,17	0,19 0,38	0,28	0,08	0,1	0,33
	P6M5*2		–	–	≤ 0,1 > 0,1	55 35,4	0,45	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,33
Дисковые со вставными ножами	T15K6*1	Фрезерование плоскостей и уступов	–	–	< 0,12 ≥ 0,12	1340 740	0,2	0,4	0,12 0,4	0	0	0,35
		Фрезерование пазов	–	–	< 0,06 ≥ 0,06	1825 690	0,2	0,3	0,12 0,4	0,1	0	0,35
Дисковые со вставными ножами	P6M5*2	Фрезерование плоскостей, уступов и пазов	–	–	≤ 0,1 > 0,1	75,5 48,5	0,25	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,2
Дисковые цельные	P6M5*2		–	–	–	68,5	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Концевые с коронками	T15K6*1		–	–	–	145	0,44	0,24	0,26	0,1	0,13	0,37
Концевые с напаянными пластинами			–	–	–	234	0,44	0,24	0,26	0,1	0,13	0,37
Концевые цельные	P6M5*2		–	–	–	46,7	0,45	0,5	0,5	0,1	0,1	0,33
Прорезные и отрезные	P6M5*2	Прорезание пазов и отрезание	–	–	–	53	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2

Продолжение табл. 81

Фрезы	Материал режущей части	Операция	Параметры срезаемого слоя, мм			Коэффициент и показатели степени в формуле скорости резания						
			B	t	s_z	C_v	q	x	y	u	p	m
Фасонные с выпуклым профилем	Р6М5*2	Фасонное фрезерование	–	–	–	53	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
Угловые и фасонные с вогнутым профилем		Фрезерование угловых канавок и фасонное	–	–	–	44	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
Шпоночные двухперые	Р6М5*2	Фрезерование шпоночных пазов	–	–	–	12	0,3	0,3	0,25	0	0	0,26
Обработка жаропрочной стали 12Х18Н9Т в состоянии поставки												
Торцовые	ВК8*1	Фрезерование плоскостей	–	–	–	108	0,2	0,06	0,3	0,2	0	0,32
	Р6М5*2		–	–	–	49,6	0,15	0,2	0,3	0,2	0,1	0,14
Цилиндрические	Р6М5*2		–	–	–	44	0,29	0,3	0,34	0,1	0,1	0,24
Концевые	Р6М5*2	Фрезерование плоскостей и уступов	–	–	–	22,5	0,35	0,21	0,48	0,03	0,1	0,27
Обработка серого чугуна, 190 НВ												
Торцовые	ВК6*1	Фрезерование плоскостей	–	–	–	445	0,2	0,15	0,35	0,2	0	0,32
	Р6М5*1		–	–	–	42	0,2	0,1	0,4	0,1	0,1	0,15
Цилиндрические	ВК6*1		–	< 2,5	≤ 0,2 > 0,2	923 588	0,37	0,13	0,19 0,47	0,23	0,14	0,42
			–	≥ 2,5	≤ 0,2 > 0,2	1180 750	0,37	0,40	0,19 0,47	0,23	0,14	0,42
	Р6М5*1		–	–	≤ 0,15 > 0,15	57,6 27	0,7	0,5	0,2 0,6	0,3	0,3	0,25
Дисковые со вставными ножами	Р6М5*1	Фрезерование плоскостей, уступов и пазов	–	–	–	85	0,2	0,5	0,4	0,1	0,1	0,15
Дисковые цельные	Р6М5*1		–	–	–	72	0,2	0,5	0,4	0,1	0,1	0,15

Продолжение табл. 81

Фрезы	Материал режущей части	Операция	Параметры срезаемого слоя, мм			Коэффициент и показатели степени в формуле скорости резания						
			B	t	s_z	C_v	q	x	y	u	p	m
Концевые	Р6М5*1	Фрезерование плоскостей и уступов	–	–	–	72	0,7	0,5	0,2	0,3	0,3	0,25
Прорезные и отрезные	Р6М5*1	Прорезание пазов и отрезание	–	–	–	30	0,2	0,5	0,4	0,2	0,1	0,15
Обработка ковкого чугуна, 150 НВ												
Торцовые	ВК6*1	Фрезерование плоскостей	–	–	≤ 0,18 > 0,18	994 695	0,22	0,17	0,1 0,32	0,22	0	0,33
	Р6М5*2		–	–	≤ 0,1 > 0,1	90,5 57,4	0,25	0,1	0,2 0,4	0,15	0,1	0,2
Цилиндрические	Р6М5*2		–	–	≤ 0,1 > 0,1	77 49,5	0,45	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,33
Дисковые со вставными ножами	Р6М5*2	Фрезерование плоскостей, уступов и пазов	–	–	≤ 0,1 > 0,1	105,8 68	0,25	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,2
Дисковые цельные	Р6М5*2		–	–	–	95,8	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Концевые	Р6М5*2	Фрезерование плоскостей и уступов	–	–	–	68,5	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
Прорезные и отрезные	Р6М5*2	Прорезание пазов и отрезание	–	–	–	74	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2
Обработка гетерогенных медных сплавов средней твердости, 100 ... 140 НВ												
Торцовые	Р6М5*1	Фрезерование плоскостей	–	–	0,1 0,1	136 86,2	0,25	0,1	0,2 0,4	0,15	0,1	0,2
Цилиндрические	Р6М5*1		–	–	0,1 0,1	115,5 74,3	0,45	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,33
Дисковые со вставными ножами	Р6М5*1	Фрезерование плоскостей, уступов и пазов	–	–	0,1 0,1	158,5 102	0,25	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,2
Дисковые цельные	Р6М5*1		–	–	–	144	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2

Продолжение табл. 81

Фрезы	Материал режущей части	Операция	Параметры срезаемого слоя, мм			Коэффициент и показатели степени в формуле скорости резания						
			B	t	s_z	C_v	q	x	y	u	p	m
Концевые	Р6М5*1	Фрезерование плоскостей и уступов	–	–	–	103	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
Прорезные и отрезные	Р6М5*1	Прорезание пазов и отрезание	–	–	–	111,3	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2
Обработка силумина и литейных алюминиевых сплавов, $\sigma_в$ = 100 ... 200 МПа, $HB \le 65$ и дюралюминия, $\sigma_в$ = 300 ... 400 МПа, $HB \le 100$												
Торцовые	Р6М5*1	Фрезерование плоскостей	–	–	≤ 0,1 > 0,1	245 155	0,25	0,1	0,2 0,4	0,15	0,1	0,2
Цилиндрические	Р6М5*1		–	–	≤ 0,1 > 0,1	208 133,5	0,45	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,33
Дисковые со вставными ножами	Р6М5*1	Фрезерование плоскостей, уступов и пазов	–	–	≤ 0,1 > 0,1	285 183,4	0,25	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,2
Дисковые цельные	Р6М5*1		–	–	–	259	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Концевые	Р6М5*1	Фрезерование плоскостей и уступов	–	–	–	185,5	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
Прорезные и отрезные	Р6М5*1	Прорезание пазов и отрезание	–	–	–	200	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2

*1 Без охлаждения.
*2 С охлаждением.

Примечание. Скорость резания для торцовых фрез, рассчитанная по табличным данным, действительна при главном угле в плане φ = 60°. При других величинах этого угла значения скорости следует умножать на коэффициенты: φ = 15° – на 1,6; при φ = 30° – на 1,25; при φ = 45° – на 1,1; при φ = 75° – на 0,93; при φ = 90° – на 0,87.

82. Средние значения периода стойкости T фрез

Фрезы	Стойкость T, мин, при диаметре фрезы, мм											
	20	25	40	60	75	90	110	150	200	250	300	400
Торцовые	–		120	180					240		300	400
Цилиндрические со вставными ножами и цельные с крупным зубом	–				180				240		–	
Цилиндрические цельные с мелким зубом	–		120		180		–					
Дисковые	–					120		150	180	240	–	
Концевые	80	90	120	180	–							
Прорезные и отрезные	–				60	75	120		150		–	
Фасонные и угловые	–		120			180	–					

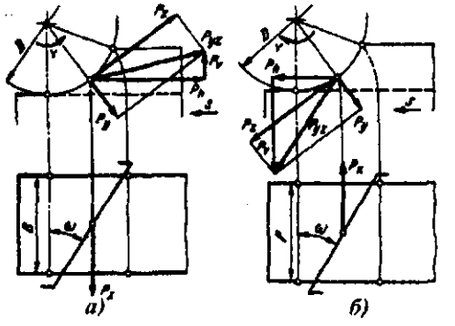


Рис. 5. Составляющие силы резания при фрезеровании цилиндрической фрезой:
а – при встречном фрезеровании (против подачи);
б – попутном (в направлении подачи)

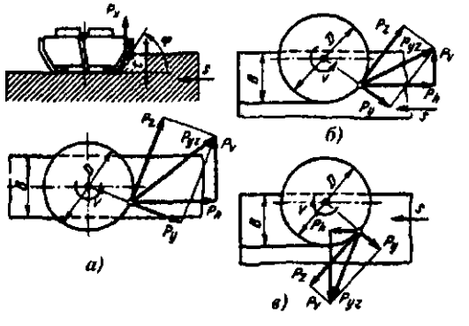


Рис. 6. Составляющие силы резания при торцовом фрезеровании:
а – симметричном; *б* – несимметричном встречном;
в – несимметричном попутном

Значения коэффициента C_p и показателей степени приведены в табл. 83, поправочный коэффициент на качество обрабатываемого материала $K_{мр}$ для стали и чугуна – в табл. 9, а для медных и алюминиевых сплавов – в табл. 10. Величины остальных составляющих силы резания (рис. 5; 6): горизонтальной (сила подачи) P_h, вертикальной P_v, радиальной P_y, осевой P_x устанавливают из соотношения с главной составляющей P_z по табл. 84.

Составляющая, по которой рассчитывают оправку на изгиб,

$$P_{yz} = \sqrt{P_y^2 + P_z^2}.$$

Крутящий момент, Н·м, на шпинделе

$$M_{кр} = \frac{P_z D}{2 \cdot 100},$$

где D – диаметр фрезы, мм.

Мощность резания (эффективная), кВт

$$N_e = \frac{P_z v}{1020 \cdot 60}.$$

83. Значения коэффициента C_p и показателей степени в формуле окружной силы P_z при фрезеровании

Фрезы	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени					
		C_p	x	y	u	q	w
Обработка конструкционной углеродистой стали, $\sigma_в$ = 750 МПа							
Торцовые	Твердый сплав	825	1,0	0,75	1,1	1,3	0,2
	Быстрорежущая сталь	82,5	0,95	0,8	1,1	1,1	0
Цилиндрические	Твердый сплав	101	0,88	0,75	1,0	0,87	0
	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Дисковые, прорезные и отрезные	Твердый сплав	261	0,9	0,8	1,1	1,1	0,1
	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Концевые	Твердый сплав	12,5	0,85	0,75	1,0	0,73	-0,13
	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Фасонные и угловые	Быстрорежущая сталь	47	0,86	0,72	0,1	0,86	0
Обработка жаропрочной стали 12Х18Н9Т в состоянии поставки, 141 НВ							
Торцовые	Твердый сплав	218	0,92	0,78	1,0	1,15	0
Концевые	Быстрорежущая сталь	82	0,75	0,6	1,0	0,86	0
Обработка серого чугуна, 190 НВ							
Торцовые	Твердый сплав	54,5	0,9	0,74	1,0	1,0	0
	Быстрорежущая сталь	50	0,9	0,72	1,14	1,14	0
Цилиндрические	Твердый сплав	58	0,9	0,8	1,0	0,9	0
	Быстрорежущая сталь	30	0,83	0,65	1,0	0,83	0
Дисковые, концевые, прорезные и отрезные	Быстрорежущая сталь	30	0,83	0,65	1,0	0,83	0
Обработка ковкого чугуна, 150 НВ							
Торцовые	Твердый сплав	491	1,0	0,75	1,1	1,3	0,2
	Быстрорежущая сталь	50	0,95	0,8	1,1	1,1	0
Цилиндрические, дисковые, концевые, прорезные и отрезные	Быстрорежущая сталь	30	0,86	0,72	1,0	0,86	0
Обработка гетерогенных медных сплавов средней твердости, 100 ... 140 НВ							
Цилиндрические, дисковые, концевые, прорезные и отрезные	Быстрорежущая сталь	22,6	0,86	0,72	1,0	0,86	0

Примечания: 1. Окружную силу P_z при фрезеровании алюминиевых сплавов рассчитывать, как для стали, с введением коэффициента 0,25.

2. Окружная сила P_z, рассчитанная по табличным данным, соответствует работе фрезой без затупления. При затуплении фрезы до допускаемой величины износа сила возрастает: при обработке мягкой стали ($\sigma_в$ < 600 МПа) в 1,75 – 1,9 раза; во всех остальных случаях – в 1,2 – 1,4 раза.

84. Относительные значения составляющих силы резания при фрезеровании

Фрезерование	$P_h : P_z$	$P_v : P_z$	$P_y : P_z$	$P_x : P_z$
Фрезы цилиндрические, дисковые, концевые[*1], *угловые и фасонные* (см. рис. 5)				
Встречное (против подачи)	1,1 – 1,2	0 – 0,25	0,4 – 0,6	(0,2 – 0,4) tgω
Попутное (в направлении подачи)	(0,8 – 0,9)	0,7 – 0,9		
Фрезы торцовые и концевые[*2] (см. рис. 6)				
Симметричное	0,3 – 0,4	0,85 – 0,95	0,3 – 0,4	0,5 – 0,55
Несимметричное встречное	0,6 – 0,8	0,6 – 0,7		
Несимметричное попутное	0,2 – 0,3	0,9 – 1,0		

[*1] Фрезы, работающие по схеме цилиндрического фрезерования, когда торцовые зубья в резании не участвуют.

[*2] Фрезы, работающие по схеме торцового фрезерования.

Примечание. Изменение составляющих P_v и P_x при торцовом фрезеровании в зависимости от главного угла в плане φ см. в табл. 23.

ФРЕЗЕРОВАНИЕ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Значения подач при обработке жаропрочных труднообрабатываемых материалов приведены в табл. 85, а режимы резания при фрезеровании этих сплавов в табл. 86 при принятых периодах стойкости, представленных в табл. 87.

Поправочные коэффициенты на скорость резания приведены в табл. 88.

85. Подачи при фрезеровании жаропрочных деформируемых и литейных сплавов торцовыми фрезами

Материал фрезы	Диаметр фрезы	Глубина фрезерования t, мм, не более			
		2	3	4	5
		Подача на зуб, мм/зуб			
1. Предварительное фрезерование					
Твердый сплав	100 – 125	0,10	0,10	0,08	–
	160	0,12	0,12	0,10	

Поправочные коэффициенты в зависимости от главного угла в плане			
Главный угол в плане φ°	90	45 – 60	30
Поправочный коэффициент	0,7	1,0	1,5

2. Чистое фрезерование		
Rz, мкм	20	2,5
Подача на один оборот фрезы, мм/об	0,5 – 0,8	0,4 – 0,5

Примечание. Приведенные подачи предусматривают фрезерование при вспомогательном угле в плане $\varphi_1 = 5°$.

Продолжение табл. 85

Подачи при фрезеровании плоскостей и уступов в жаропрочных и литейных сплавах концевыми фрезами

Материал фрезы	Диаметр фрезы	Число зубьев фрезы	Глубина фрезерования t, мм, не более			
			3	5	8	12
			Подача на зуб, мм/зуб			
Твердый сплав ВК8	25 – 30	4	0,06 – 0,08	0,04 – 0,06		–
	40	6	0,08 – 0,1	0,06 – 0,08	0,04 – 0,06	–
	50		0,08 – 0,1	0,06 – 0,08	0,04 – 0,06	0,03 – 0,04

86. Режимы резания при фрезеровании жаропрочных сплавов ЭИ-698, ЭП-742. Фрезы торцовые с пластинками ВК6М. Работа с охлаждением

Диаметр фрезы D, мм	Нормативное число зубьев z	Нормативная ширина фрезерования B, мм	Подача s_z, мм/зуб	Глубина фрезерования, мм, не более.					
				2	3	4	2	3	4
				Скорость резания v, м/мин, для сплава					
				ЭИ-698			ЭП-742		
100	8	60	0,04	24,5	22,4	21,0	17,1	15,6	14,7
			0,05	22,4	20,3	18,9	15,6	14,2	13,2
			0,06	21,0	18,9	18,2	14,7	13,2	12,7
			0,08	19,6	17,5	16,8	13,7	12,2	11,7
			0,10	17,5	16,1	15,4	12,2	11,3	10,7
125	8	75	0,04	23,1	21,0	19,6	16,1	14,7	13,7
			0,05	21,0	18,9	18,2	14,7	13,2	12,7
			0,06	20,3	18,2	16,8	14,2	12,7	11,7
			0,08	18,2	16,8	15,4	12,7	11,7	10,7
			0,10	16,3	15,4	14,0	11,4	10,8	9,8
160	10	95	0,05	19,6	17,5	16,8	13,7	12,2	11,7
			0,06	18,2	16,8	15,4	12,7	11,7	10,8
			0,08	16,8	15,4	14,7	11,7	10,8	10,3
			0,10	15,4	13,9	13,0	10,8	9,7	9,1
			0,12	14,7	13,0	12,2	10,3	9,1	8,5

87. Нормативные периоды стойкости фрез T, мин

Диаметр фрезы, мм	100	125	160
Период стойкости T, мин	60	75	90

88. Поправочные коэффициенты на скорость резания

Марка твердого сплава	ВК10-ОМ		ВК6М		ВК8	
Коэффициент K_{v_1}	1,2		1,0		0,9	
Отношение фактического периода стойкости фрезы к нормативному $T_ф/T_н$	1,0	1,5	2,0	3,0		
Коэффициент K_{v_2}	1,0	0,9	0,8	0,7		
Отношение фактической ширины фрезерования к нормативной $B_ф/B_н$	0,25	0,5	0,7	1,0	1,25	1,5
Коэффициент K_{v_3}	1,3	1,15	1,05	1,0	0,95	0,90
Отношение фактического числа зубьев фрезы к нормативному	0,75		1,0		1,25	
Коэффициент K_{v_4}	1,03		1,0		0,98	
Наличие корки	Без корки		По корке			
Коэффициент K_{v_5}	1,0		0,7			

Режимы резания при фрезеровании жаропрочных сплавов фрезами из быстрорежущей стали даны в табл. 89, а поправочные коэффициенты на скорость резания в табл. 90. Режимы резания при фрезеровании литейного жаропрочного сплава ВЖЛ-12 торцовыми фрезами приведены в табл. 91 с принятыми периодами стойкости фрез, приведенными в табл. 92 и поправочными коэффициентами на скорость резания в табл. 93.

Режимы резания при фрезеровании жаропрочных сталей концевыми фрезами приведены в табл. 94, 96 и 98 с поправочными коэффициентами на скорость резания в табл. 95, 97 и 99 соответственно.

89. Режимы резания при фрезеровании жаропрочных сплавов ЭИ-698, ЭП-742.Фрезы торцовые Р9М4К8, Р6М5К5. Работа с охлаждением

Диаметр фрезы D, мм	Нормативное число зубьев	Нормативная ширина фрезерования, мм	Подача, мм/зуб	Глубина фрезерования, не более					
				3	5	8	3	5	8
				Скорость резания, м/мин для сплава					
				ЭИ-698			ЭП-742		
100	8	60	0,03	12,8	11,4	10,7	9,0	8,0	7,5
			0,04	11,4	10,7	10,0	8,0	7,5	7,0
			0,05	10,7	10,0	9,3	7,5	7,0	6,5
			0,06	10,0	9,3	8,6	7,0	6,5	6,0
125	8	75	0,03	12,1	10,7	10,0	8,5	7,5	7,0
			0,04	10,7	10,0	9,3	7,5	7,0	6,5
			0,05	10,7	9,3	8,6	7,5	6,5	6,0
			0,06	9,3	8,6	7,8	6,5	6,0	5,5
			0,07	8,6	7,8	7,1	6,0	5,5	5,0
160	10	95	0,04	10,0	9,3	8,6	7,0	6,5	6,0
			0,05	9,3	8,6	7,8	6,5	6,0	5,5
			0,06	8,6	7,8	7,8	6,0	5,5	5,5
			0,07	7,8	7,1	6,4	5,5	5,0	4,5

Стойкость фрез 30 – 75 мин.

90. Поправочные коэффициенты

Марка быстрорежущей стали	Р9М4К8					
Коэффициент K_{v_1}	1,0					
Отношение фактической ширины фрезерования к нормативной	0,25	0,5	0,7	1,0	1,25	1,5
Коэффициент K_{v_2}	1,3	1,15	1,05	1,0	09,95	0,9
Отношение фактического числа зубьев фрезы к нормативному	0,75		1,0		1,25	
Коэффициент K_{v_3}	1,03		1,0		0,98	
Наличие корки	Без корки			По корке		
Коэффициент K_{v_4}	1,0			0,7		

91. Режимы резания при фрезеровании сплава ВЖЛ-12, торцовыми фрезами с пластинками ВК8, ВК10-ОМ

Диаметр фрезы, мм	Нормативное число зубьев	Нормативная ширина фрезерования, мм	Подача, мм/зуб	Глубина фрезерования, мм, не более		
				2	3	4
				Скорость резания, м/мин		
100	8	60	0,04	13,0	12,0	11,0
			0,05	12,0	11,0	10,0
			0,06	11,0	10,0	9,5
			0,08	10,5	9,0	9,0
			0,10	9,0	8,5	8,0
125	8	75	0,04	12,0	11,0	10,5
			0,05	11,0	10,0	9,5
			0,06	11,0	9,5	9,0
			0,08	9,5	9,0	8,0
			0,10	9,0	8,0	7,5
160	10	95	0,05	10,5	9,0	9,0
			0,06	9,5	9,0	8,0
			0,08	9,0	8,0	8,0
			0,10	8,0	7,0	7,0
			012	8,0	7,0	6,5

92. Нормативные периоды стойкости фрез *T*, мин

Диаметр фрезы, мм	100	125	160
Период стойкости *T*, мин	60	75	90

93. Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от условий работы

Отношение фактического периода стойкости фрезы к нормативному	1,0		1,5		2,0		3,0	
Коэффициент K_{v_2}	1,0		0,9		0,8		0,7	
Отношение фактической ширины фрезерования к нормативной	0,25	0,5	0,7	1,0	1,25	1,5		
Коэффициент K_{v_3}	1,3	1,15	1,05	1,0	0,95	0,9		
Отношение фактического числа зубьев фрезы к нормативному	0,75		1,0		1,25			
Коэффициент K_{v_4}	1,03		1,0		0,98			
Наличие корки	Без корки				По корке			
Коэффициент K_{v_5}	1,0				0,7			

***94. Режимы резания при фрезеровании плоскостей и уступов в деталях из сплава ЭИ-698.* Фрезы концевые с винтовыми пластинками ВК8. Работа с охлаждением**

Диаметр фрезы, мм	Нормативное число зубьев	Нормативная ширина фрезерования, мм	Подача, мм/зуб	Глубина фрезерования, мм, не более			
				3	5	8	12
				Скорость резания, м/мин			
25	4	30	0,02	–	113,6	–	–
			0,03	14,0	12,3	–	–
			0,04	12,7	11,1	–	–
			0,05	11,9	10,2	–	–
			0,06	11,2	9,7	–	–
			0,08	10,4	–	–	–
30	4	30	0,02	–	15,4	–	–
			0,03	16,1	13,7	–	–
			0,04	14,0	12,6	–	–
			0,05	13,2	11,5	–	–
			0,06	12,5	10,8	–	–
			0,08	11,6	–	–	–
40	6	40	0,02	–	–	13,6	
			0,03	–	14,0	12,3	–
			0,04	14,7	12,9	11,1	–
			0,05	13,7	11,9	10,2	–
			0,06	12,9	11,2	9,7	–
			0,08	12,0	10,4	–	–
			0,10	11,1	–	–	–
50	8	40	0,02	–	–	15,4	13,6
			0,03	–	16,1	14,0	12,3
			0,04	16,8	14,7	12,6	11,2
			0,05	15,4	13,6	11,7	–
			0,06	14,7	12,7	11,1	–
			0,08	13,7	11,9	–	–
			0,10	12,7	–	–	–

95. Поправочные коэффициенты на скорость резания

Марка твердого сплава	ВК10-ОМ	ВК8	ВК6М
Коэффициент K_{v_1}	1,2	1,0	0,9

Период стойкости T, мин	45	60	90	120
Коэффициент K_{v_2}	1,25	1,15	1,0	0,9

Отношение фактической ширины фрезерования к нормативной	0,3	0,5	1,0
Коэффициент K_{v_3}	1,25	1,15	1,0

Наличие корки	Без корки	По корке
Коэффициент K_{v_4}	1,0	0,7

96. Режимы резания при фрезеровании плоскостей и уступов в жаропрочных сплавах ЭИ-698, ЭП-742 концевыми фрезами из быстрорежущей стали: Р9М4К8, Р6М5К5, Р12Ф3К10М3

Диаметр фрезы D, мм	Нормативное число зубьев	Нормативная ширина фрезерования, мм	Подача, мм/зуб	Глубина фрезерования, мм, не более					
				3	5	8	3	5	8
				Скорость резания, м/мин для сплава					
				ЭИ-698			ЭП-742		
25	6	30	0,02	–	–	–	–	6,5	–
			0,03	12,5	9,3	–	8,5	6,0	–
			0,04	8,6	8,6	–	6,0	5,5	–
			0,05	8,6	7,8	–	6,0	5,5	–
			0,06	7,8	7,8	–	5,5	4,5	–
			0,07	7,8	6,4	–	5,5	–	–
30	6	30	0,02	–	10,0	–	–	7,0	–
			0,03	11,4	9,3	–	8,0	6,5	–
			0,04	9,3	8,6	–	6,5	6,0	–
			0,05	9,3	7,8	–	6,5	5,5	–
			0,06	9,6	7,8	–	6,0	5,5	–
			0,07	7,8	–	–	5,5	–	–
40	6	40	0,02	–	–	9,8	–	–	6,5
			0,03	10,0	9,3	8,6	7,0	6,5	6,0
			0,04	10,0	8,6	7,8	7,0	6,0	5,5
			0,05	9,3	8,6	7,8	6,5	6,0	5,5
			0,06	8,6	7,8	6,4	6,0	5,5	4,5
			0,07	8,6	7,8	–	6,0	5,5	–
50	8	40	0,02	–	11,4	11,4	–	8,0	7,0
			0,03	1,5	11,4	9,3	8,5	8,0	6,5
			0,04	11,4	10,0	8,6	8,0	7,0	6,0
			0,05	10,0	9,3	7,8	7,0	6,5	5,5
			0,06	9,3	8,6	7,8	6,5	6,0	5,5
			0,07	9,0	8,6	–	6,5	6,0	–

Стойкость фрез 30 – 75 мин.
Поправочные коэффициенты см. в табл. 97.

97. Поправочные коэффициенты на скорость резания

Марка быстрорежущей стали	Р9М4К8	Р18
Коэффициент K_{v_1}	1,0	0,6 – 0,7

Отношение фактической ширины фрезерования к нормативной	0,3	0,5
Коэффициент K_{v_2}	1,25	1,15

Наличие корки	без корки	по корке
Коэффициент K_{v_3}	1,0	0,7

98. Режимы резания при фрезеровании плоскостей и уступов в деталях из сплава ВЖЛ-12. Фрезы концевые с винтовыми пластинками ВК8, ВК10-ОМ. Работа с охлаждением

Диаметр фрезы, мм	Нормативное число зубьев	Нормативная ширина фрезерования, мм	Подача, мм/зуб	Глубина резания, мм		
				3	5	8
				Скорость резания, м/мин		
25	4	30	0,02	–	7,0	–
			0,03	7,5	6,5	–
			0,04	7,0	6,0	–
			0,05	6,0	5,5	–
			0,06	6,0	5,0	–
			0,08	5,5	–	–
30	4	30	0,02	–	8,0	–
			0,03	8,5	7,0	–
			0,04	7,5	6,5	–
			0,05	7,0	6,0	–
			0,06	6,5	5,5	–
			0,08	6,0	–	–
40	6	40	0,02	–	–	7,0
			0,03	–	7,5	6,5
			0,04	8,0	7,0	6,0
			0,05	7,0	6,0	5,5
			0,06	7,0	6,0	5,0
			0,08	6,0	5,5	–
			0,10	6,0	–	–
50	6	40	0,02	–	–	8,0
			0,03	–	8,5	7,5
			0,04	9,0	8,0	6,5
			0,05	8,0	7,0	6,0
			0,06	8,0	7,0	6,0
			0,08	7,0	6,0	–
			0,10	7,0	–	–

99. Поправочные коэффициенты для измененных условий работы

Период стойкости T, мин	45	60	90	120
Коэффициент K_{v_1}	1,25	1,15	1,0	0,9

Отношение фактической ширины фрезерования к нормативной	0,3	0,5	1,0
Коэффициент K_{v_2}	1,25	1,15	1,0

Наличие корки	Без корки	По корке
Коэффициент K_{v_3}	1,0	0,7

Режимы резания при фрезеровании титановых сплавов фрезами из быстрорежущей стали приведены в табл. 100, с учетом поправочных коэффициентов – в табл. 101, а при фрезеровании фрезами из твердого сплава – в табл. 102 и 103, с учетом поправочных коэффициентов – в табл. 104 и 105. Режимы резания деталей из высокопрочных сталей представлены в табл. 106 и 107.

100. Режимы резания деталей из сплавов на титановой основе при фрезеровании поверхностей и уступов фрезами из стали Р9К5. Охлаждение эмульсией

$D_ф$, мм	z	B, мм	s_z, мм/зуб	при t = 1 мм: v, м/мин	n, об/мин	$s_м$, мм/мин	$N_э$, кВт	при t = 2 мм: v, м/мин	n, об/мин	$s_м$, мм/мин	$N_э$, кВт	при t = 3 мм: v, м/мин	n, об/мин	$s_м$, мм/мин	$N_э$, кВт	при t = 4 мм: v, м/мин	n, об/мин	$s_м$, мм/мин	$N_э$, кВт
16	3	30	0,03	41	815	75	0,22	34	675	60	0,35	31	615	55	0,49	–	–	–	–
			0,05	36	715	105	0,31	30	595	90	0,53	27	535	80	0,71	–	–	–	–
			0,08	32	635	150	0,44	27	535	130	0,76	24	480	115	1,01	–	–	–	–
20		40	0,03	43	685	60	0,24	36	575	50	0,39	32	510	45	0,53	28	450	40	0,78
			0,05	37	590	90	0,35	32	510	75	0,59	29	450	65	0,76	25	400	60	1,18
			0,10	31	495	150	0,59	26	415	125	0,98	24	330	115	1,35	–	–	–	–
25			0,05	40	510	75	0,29	34	435	65	0,51	30	380	55	0,65	27	345	50	0,98
			0,08	36	460	110	0,43	30	380	90	0,71	27	350	85	1,03	24	305	75	1,47
			0,12	32	410	159	0,59	27	345	125	0,93	24	300	110	1,29	–	–	–	–
32	4	45	0,05	42	420	85	0,38	35	350	70	0,62	32	320	65	0,86	28	280	55	1,21
			0,10	35	350	140	0,62	29	290	115	1,01	26	269	105	1,39	23	230	90	1,98
			0,15	32	320	190	0,84	28	280	169	1,41	24	240	145	1,92	–	–	–	–
40		50	0,08	39	310	100	0,49	33	265	85	0,83	30	240	75	1,10	26	205	65	1,59
			0,12	35	280	135	0,66	30	240	115	1,13	27	215	105	1,54	24	190	90	2,20
			0,18	32	255	185	0,91	27	215	155	1,52	24	190	135	1,98	–	–	–	–
50		60	0,08	41	260	85	0,50	35	225	70	0,82	31	200	69	1,06	28	180	55	1,62
			0,12	37	235	115	0,68	31	195	95	1,12	28	180	85	1,50	25	160	75	2,20
			0,18	34	215	155	0,91	28	189	130	1,53	26	165	120	2,12	22	140	100	2,94
			0,20	33	210	170	1,00	27	170	135	1,59	25	160	130	2,29	–	–	–	–

101. Поправочные коэффициенты в зависимости от материала детали

Материал	$\sigma_в$, МПа	$K_v = K_n = K_{s_M}$
ВТ1, ВТ1-1, ВТ1-2	450 – 700	1,50
ОТ4, ОТ4-1, ВТ5, ВТ5-1	700 – 950	1,00
ВТ6, ВТ6С	900 – 1000	0,82
ВТ3, ВТ3-1, ВТ14, ВТ15	950 – 1200	0,75
ВТ14, ВТ15 (после закалки и старения)	1150 – 1500	0,60

Поправочные коэффициенты в зависимости от материала фрезы

Марка	Р9К5	Р18
$K_v = K_n = K_{s_M}$	1,0	0,85

Поправочные коэффициенты в зависимости от отношения $B / B_н$

$B / B_н$	0,3	0,5	1,0
$K_v = K_n = K_{s_M}$	1,15	1,05	1,0

Поправочные коэффициенты в зависимости от отношения $t / t_н$

$t / t_н$	1,6	2,0
$K_v = K_n = K_{s_M}$	0,88	0,84

102. Режимы резания деталей из сплавов на титановой основе при фрезеровании поверхностей и уступов фрезами (z = 3) из твердого сплава ВК10М. Охлаждение сульфофрезолом

$D_ф$, мм	B, мм	s_z, мм/зуб	при $t_н$ = 0,5 мм: v, м/мин	n, об/мин	$s_м$, мм/мин	$N_э$, кВт	при $t_н$ = 1мм: v, м/мин	n, об/мин	$s_м$, мм/мин	$N_э$, кВт	при $t_н$ = 2 мм: v, м/мин	n, об/мин	$s_м$, мм/мин	$N_э$, кВт
3	3	0,006	77	8200	145	0,02	–	–	–	–	–	–	–	–
		0,010	68	7200	215	0,04	–	–	–	–	–	–	–	–
		0,020	57	6050	365	0,06	–	–	–	–	–	–	–	–
5	5	0,008	86	5480	130	0,04	72	4585	110	0,06	–	–	–	–
		0,015	73	4650	210	0,06	62	3950	180	0,10	–	–	–	–
		0,020	68	4330	260	0,07	57	3630	220	0,12	–	–	–	–
8	10	0,010	90	3580	105	0,06	76	3025	90	0,10	64	2550	75	0,17
		0,015	82	3250	145	0,08	69	2750	125	0,14	58	2300	105	0,23
		0,020	76	3000	180	0,10	64	2550	155	0,17	54	2150	130	0,29
		0,030	69	2750	245	0,13	58	2310	210	0,23	49	1950	175	0,39
12	15	0,01	104	2760	85	0,07	88	2350	70	0,12	74	1950	60	0,20
		0,02	88	2350	140	0,12	74	1950	120	0,20	62	1650	100	0,30
		0,04	74	1950	235	0,20	62	1650	195	0,33	52	1380	165	0,54
16	20	0,02	97	1930	115	0,13	82	1630	100	0,22	69	1375	85	0,37
		0,04	82	1630	195	0,21	69	1375	165	0,36	58	1155	140	0,62
		0,08	69	1375	330	0,36	58	1150	275	0,61	48	950	230	1,01

103. Режимы резания деталей из сплавов на титановой основе при фрезеровании поверхностей и уступов фрезами с винтовыми пластинками из сплава ВК8. Охлаждение эмульсией

$D_ф$, мм	z	B, мм	s_z, мм/зуб	v, м/мин	n, об/мин	$s_м$, мм/мин	$N_э$, кВт	v, м/мин	n, об/мин	$s_м$, мм/мин	$N_э$, кВт	v, м/мин	n, об/мин	$s_м$, мм/мин	$N_э$, кВт
				при $t_н$ = 1 мм				при $t_н$ = 3 мм				при $t_н$ = 5 мм			
25	4	30	0,04	65	830	135	0,40	50	635	100	0,88	44	560	90	1,32
			0,08	55	700	225	0,60	42	533	170	1,50	37	470	150	2,20
30			0,06	66	700	170	0,50	50	530	125	1,10	44	465	110	1,62
			0,10	58	615	245	0,72	44	465	185	1,63	39	415	165	2,42
40	6	40	0,08	60	480	230	0,90	46	365	175	2,06	40	320	155	3,04
			0,12	54	430	310	1,22	41	325	235	2,76	36	285	205	4,02
50			0,06	74	470	170	0,67	56	350	130	1,53	49	310	115	2,25
			0,10	65	415	250	0,98	49	310	185	2,18	43	275	165	3,23
			0,12	62	395	285	1,12	47	300	215	2,53	41	260	185	3,63

104. Поправочные коэффициенты в зависимости от материала детали (фрезы из твердого сплава ВК10М)

Титановые сплавы	$\sigma_в$, МПа	$K_v = K_n = K_{s_м}$
ВТ1, ВТ1-1, ВТ1-2	450 – 700	1,45
ВТ3, ВТ3-1	950 – 1200	0,72
ОТ4, ОТ4-1, ВТ5, ВТ5-1	700 – 950	1,0
ВТ6, ВТ6С	900 – 1000	0,81
ВТ14, ВТ15	1000	0,72
ВТ14, ВТ15 (после закалки и старения)	1150 – 1500	0,54

Поправочные коэффициенты в зависимости от отношения $B / B_н$

$B / B_н$	0,3	0,5	1,0
$K_v = K_n = K_{s_м}$	1,35	1,20	1,0

105. Поправочные коэффициенты в зависимости от материала детали (фрезы из твердого сплава ВК8)

Титановые сплавы	$\sigma_в$, МПа	$K_v = K_n = K_{s_м}$
ВТ1, ВТ1-1, ВТ1-2	450 – 700	1,50
ОТ4, ОТ4-1, ВТ5, ВТ5-1	700 – 950	1,00
ВТ6, ВТ6С	900 – 1000	0,82
ВТ3, ВТ3-1, ВТ14, ВТ15	950 – 1200	0,75
ВТ14, ВТ15 (после закалки и старения)	1150 – 1500	0,60

Продолжение табл. 105

Поправочные коэффициенты в зависимости от материала фрезы

Материал фрезы	ВК8	ВК6М
$K_v = K_n = K_{s_м}$	1,0	1,2

Поправочные коэффициенты в зависимости от отношения $B / B_н$

$B / B_н$	0,3	0,5	1,0
$K_v = K_n = K_{s_м}$	1,35	1,20	1,00

Поправочные коэффициенты в зависимости от состояния поверхности детали

Поверхность	Без корки	С коркой
$K_v = K_n = K_{s_м}$	1,0	0,5

106. Режимы резания деталей из высокопрочных сталей при фрезеровании поверхностей и уступов фрезами (z = 5) из твердого сплава ВК10М. Охлаждение сульфофрезолом

$D_ф$, мм	B, мм	s_z, мм/зуб	v, м/мин	n, об/мин	$s_м$, мм/мин	$N_э$, кВт	v, м/мин	n, об/мин	$s_м$, мм/мин	$N_э$, кВт	v, м/мин	n, об/мин	$s_м$, мм/мин	$N_э$, кВт
			при $t_н$ = 0,5 мм				при $t_н$ = 1мм				при $t_н$ = 2 мм			
3	3	0,004	33	3500	70	0,02	–	–	–	–	–	–	–	–
		0,008	26	2760	110	0,04	–	–	–	–	–	–	–	–
		0,010	24	2550	130	0,05	–	–	–	–	–	–	–	–
5	5	0,006	35	2230	65	0,04	28	1785	55	0,07	–	–	–	–
		0,010	29	1850	90	0,06	24	1530	75	0,09	–	–	–	–
		0,015	25	1590	120	0,08	21	1340	100	0,12	–	–	–	–
8	10	0,010	33	1325	65	0,08	27	1075	55	0,13	22	875	45	0,22
		0,020	26	1040	105	0,13	21	835	85	0,20	17	675	70	0,34
		0,025	24	950	120	0,14	20	795	100	0,24	16	635	80	0,38
12	15	0,01	39	1035	50	0,09	32	850	45	0,16	26	700	35	0,25
		0,04	31	825	80	0,14	25	665	65	0,23	20	530	55	0,40
		0,04	24	635	125	0,23	20	530	105	0,38	16	425	85	0,61
16	20	0,02	35	700	70	0,17	28	550	55	0,26	23	460	45	0,43
		0,04	27	535	105	0,25	22	440	90	0,43	18	360	70	0,67
		0,06	24	480	145	0,35	19	380	115	0,55	16	320	95	0,91

Поправочные коэффициенты в зависимости от материала детали

$\sigma_в$, МПа	1700	2000
$K_v = K_n = K_{s_м}$	1,25	1,0

Поправочные коэффициенты в зависимости от отношения $B / B_н$

$B / B_н$	0,3	0,5	1,0
$K_v = K_n = K_{s_м}$	1,25	1,15	1,00

107. Режимы резания деталей из высокопрочных сталей ($\sigma_в$ = 2000 МПа) при фрезеровании поверхностей и уступов фрезами с винтовыми пластинками из сплава ВК8. Работа без охлаждения

$D_ф$, мм	z	B, мм	s_z, мм/зуб	при $t_н$ = 0,5 мм				при $t_н$ = 1 мм				при $t_н$ = 2 мм			
				v, м/мин	n, об/мин	$s_м$, мм/мин	$N_э$, кВт	v, м/мин	n, об/мин	$s_м$, мм/мин	$N_э$, кВт	v, м/мин	n, об/мин	$s_м$, мм/мин	$N_э$, кВт
25	4	30	0,02	38	485	40	0,12	30	380	30	0,18	25	320	26	0,31
			0,04	30	380	60	0,18	24	305	50	0,29	20	255	40	0,47
			0,06	26	330	80	0,24	21	270	65	0,38	17	215	52	0,61
30			0,02	42	445	35	0,10	34	360	28	0,16	28	295	24	0,28
			0,04	33	350	55	0,16	27	285	45	0,26	22	235	35	0,41
			0,06	28	295	70	0,21	23	245	60	0,35	19	200	48	0,56
40	6	40	0,04	34	270	65	0,25	27	215	52	0,41	22	175	42	0,66
			0,08	26	205	100	0,39	22	175	85	0,67	17	135	65	1,02
50			0,04	38	240	58	0,23	31	195	48	0,38	25	160	38	0,60
			0,08	30	190	90	0,35	24	155	75	0,59	20	125	60	0,94

Поправочные коэффициенты в зависимости от материала детали

$\sigma_в$, МПа	1800	1900	2000	2100	2200
$K_v = K_n = K_{s_M}$	1,21	1,1	1,0	0,95	0,91

Поправочные коэффициенты в зависимости от материала рабочей части фрезы

Твердый сплав	ВК8	ВК6М
$K_v = K_n = K_{s_M}$	1,0	1,2

Поправочные коэффициенты в зависимости от отношения $B / B_к$

$B / B_к$	0,3	0,5	1,0
$K_v = K_n = K_{s_M}$	1,35	1,2	1,00

РАЗРЕЗАНИЕ

Разрезание производят отрезными резцами дисковыми и ленточными пилами, ножовками, абразивными кругами.

Подача. Для дисковых пил подача s_z, и для ленточных пил и абразивных кругов подача $s_м$ приведены в табл. 108.

Скорость резания. Для дисковых пил, приводных ножовок и ленточных пил скорости резания, устанавливаемые в м/мин, а для абразивных кругов – в м/с, приведены в табл. 109.

108. Подача при разрезании металла дисковыми и ленточными пилами и абразивными кругами

Разрезаемый металл	Подача на зуб s_z, мм, при разрезании дисковыми пилами	Подача $s_м$, мм/мин, при разрезании	
		ленточными пилами	абразивными кругами
Сталь $\sigma_в$, МПа:			
< 400	0,08 – 0,15	≤ 50	135 – 150
400 – 600	0,05 – 0,11		
> 600	0,04 – 0,07		
Чугун	0,08 – 0,20	≤ 90	
Бронза		≤ 110	
Латунь		≤ 140	

Примечания: 1. Подачи для дисковых пил установлены при отношении размера t – поперечного сечения разрезаемой заготовки, определяющего длину дуги контакта пилы с заготовкой, к окружному шагу зубьев пилы q, равном 10. При других значениях t/q на табличное значение подачи вводится поправочный коэффициент K_q:

t/q	6	8	10	13	17
K_q	1,5	1,25	1,0	0,3	0,6

2. Бóльшие значения подач для дисковых пил соответствуют обработке на станках более высокой мощности.

109. Скорость резания (м/мин) металла дисковыми пилами, ножовками, ленточными пилами и абразивными кругами

Разрезаемый металл	Дисковые пилы из стали		Приводные ножовки из стали		Ленточные пилы
	быстрорежущей	углеродистой	быстрорежущей	углеродистой	
Сталь конструкционная, $\sigma_в$, МПа:					
< 400	26 – 30	18 – 20	38 – 42	28 – 30	16 – 20
400 – 600	18 – 26	16 – 18	25 – 36	20 – 25	10 – 15
> 600	16 – 22	12 – 16	12 – 21	10 – 15	6 – 12
Инструментальная сталь	11 – 14	8 – 10	12 – 14	9 – 10	4 – 8
Стальное литье	14 – 18	10 – 16	–	–	–
Жаропрочная и коррозионно-стойкая сталь	8 – 12	8 – 10	–	–	–
Серый и ковкий чугун:					
$HB \le 200$	10 – 12	8 – 9	18 – 28	15 – 20	9 – 12
$HB > 200$	12 – 13		12 – 14	9 – 10	5 – 8
Бронза:					
$\sigma_в \le 300$ МПа	100 – 200	60 – 160	25 – 28	18 – 20	15 – 30
$\sigma_в > 300$ МПа			18 – 21	14 – 15	
Латунь	100 – 200	60 – 160	25 – 36	20 – 25	15 – 40

Примечание. Скорость резания металлов абразивными кругами 50 – 70 м/с.

Режимы резания заготовок из коррозионно-стойких, жаропрочных сталей и сплавов, а также титановых сплавов дисковыми пилами приведены в табл. 110, а дисковыми фрезами – в табл. 111 и 112. Скорость резания при разрезке заготовок из труднообрабатываемых сталей и сплавов отрезными резцами приведена в табл. 113.

110. Режимы резания заготовок из коррозионно-стойких, жаропрочных сталей и титановых сплавов дисковыми пилами. Охлаждение эмульсией

$D_з$, мм	$n_п$, об/мин	$s_м$, мм/мин в зависимости от материала заготовки					
		34ХН3М, 20Х3МВФ, Х6СМ	20Х13, 09Х16Н4Б, 14Х17Н2, 12Х18Н10Т, 12Х21Н5Т	45Х14Н14В2М, 37Х12Н8Г8МФБ, 08Х15Н24В4ТР, 07Х21Г7АН5, 12Х25Н16Г7АР	15Х18Н12С4ТЮ, 10Х11Н23Т3МР	ВТ1	ВТ3, ОТ4, ВТ5, ВТ6
160 – 200	3,3	12 – 14	8 – 10	6 – 8	4 – 5	–	–
90 – 160		14 – 16	9 – 11	7 – 9	5 – 6	–	–
50 – 90	5,15	20 – 28	16 – 20	10 – 14	7 – 9	12 – 14	7

Примечание. Стойкость пил из стали Р18 и Р6М5 4 … 5 ч при износе по задней поверхности 0,6 мм; из стали Р9К5 6 … 7 ч.

111. Режимы резания заготовок из коррозионно-стойких, жаропрочных сталей и титановых сплавов дисковыми фрезами. Охлаждение эмульсией

t, мм	s_z, мм/зуб	Материал заготовки											
		34ХН3М, 20Х3МВФ, Х6СМ		20Х13, 09Х16Н4Б, 14Х17Н2, 12Х18Н10Т, 12Х21Н5Т		45Х14Н14В2М, 37Х12Н8Г8МФВ, 08Х15Н24В4ТР, 07Х21Г7АН5, 12Х25Н16Г7АР		15Х18Н12С4ТЮ, 10Х11Н23Т3МР		ХН77ТЮ, ХН77ТЮР, ХН60В, 36НХТЮ		ХН35ВТЮ, ХН67ВМТЮ, ХН75МВЮ, ХН72МВКЮ	
		v, м/мин	$s_м$, мм/мин	v, м/мин	$s_м$, мм/мин	v, м/мин	$s_м$, мм/мин	v, м/мин	$s_м$, мм/мин	v, м/мин	$s_м$, мм/мин	v, м/мин	$s_м$, мм/мин
10	0,02	30	42	25	35	18	25	13	18	10	14	6,5	9
	0,03	25	52	20	42	14	30	10	22	–	–	–	–
20	0,015	35	36	30	30	20	20	16	16	11	11	6,5	7
	0,020	28	40	24	35	17	25	12	18	–	–	–	–
30	0,010	48	35	40	28	25	18	20	13	14	10	9	6
	0,015	33	35	28	30	20	20	15	15	–	–	–	–

Примечание. Стойкость фрез из стали Р9К5 80 … 100 мин, из стали Р6М5 – 60 … 75 мин при износе по задней поверхности 0,5 … 0,6 мм.

112. Режимы разрезки заготовок и прорезки пазов в деталях из титановых сплавов дисковыми фрезами с пластинками из твердого сплава. Работа без охлаждения

Титановые сплавы	s_z, мм/зуб	v, м/мин, при t, мм		
		До 10	15 – 20	25 – 40
ВТ1, ВТ1-1, ВТ1-2	0,06 – 0,08	90 – 130	80 – 110	70 – 90
ОТ4, ОТ4-1, ВТ5, ВТ5-1	0,06 – 0,08	60 – 80	55 – 70	50 – 60
ВТ3, ВТ3-1, ВТ6, ВТ6С, ВТ14, ВТ15	0,05 – 0,07	50 – 60	45 – 55	40 – 50
ВТ14, ВТ15 после закалки и старения	0,04 – 0,06	40 – 50	35 – 40	30 – 35

Примечание. Большие подачи к скорости резания брать при меньшей толщине отрезаемой детали или глубине паза.

113. Скорость резания (м/мин) при разрезке заготовок из труднообрабатываемых сталей и сплавов отрезными резцами с пластинками из сплава ВК6М (s = 0,07 … 0,12 мм/об). Охлаждение эмульсией

Материал заготовки	$D_з$, мм	20	30	40	50	60
	$B_р$, мм	4	4	4 – 5	5 – 6	6 – 8
34ХН3М, 34ХН3МФ, 20Х3МВФ, Х6СМ		70 – 75	75 – 80	80 – 85	85 – 90	90 – 95
20Х13, 09Х16Н4Б, 14Х17Н2		50 – 64	54 – 68	56 – 72	58 – 75	60 – 80
12Х18Н10Т, 12Х21Н5Т, 20Х23Н18		40 – 52	55 – 42	45 – 58	48 – 60	50 – 62
45Х14Н14В2М, 37Х12Н8Г8МФХБ, ЭИ395		30 – 40	32 – 43	35 – 45	36 – 47	32 – 48
08Х15Н24В4ТР, 12Х25Н16Г7АР, 07Х21Г7АН5, 15Х18Н12С4ТЮ, 10ХПН23Т3МР		27 – 36	29 – 38	30 – 40	31 – 41	32 – 42
ХН77ТЮР, 36НХТЮ, ХН60В		17 – 23	18 – 24	19 – 25	20 – 26	20 – 26
ХН35ВТЮ, ЭП99, ХН56ВМТЮ, ХН67ВМТЮ, ХН75МВЮ		11 – 14	12 – 15	12 – 15	13 – 16	13 – 16
ХН72МВКЮ, ХН60МВТЮ, ХН82ТЮМБ, ЖС6К, ЖС3-ДК, ЭП202Л		8 – 11	9 – 12	9 – 12	10 – 13	10 – 13
ВТ1, ВТ1-1, ВТ1-2		50 – 60	53 – 63	55 – 65	58 – 68	60 – 70
ВТ3, ОТ4, ВТ3-1, ВТ5, ВТ5-1, ВТ6, ВТ6С, ВТ14, ВТ15		32 – 40	35 – 43	37 – 45	39 – 47	40 – 50

Примечания: 1. Для резцов с пластинками из сплава ВК8 значения скорости резания необходимо умножить на 0,75.

2. Меньшие скорости резания принимать при больших подачах.

3. Стойкость резцов 40 – 50 мин.

РЕЗЬБОНАРЕЗАНИЕ

Нарезание резьбы производят: наружной – резьбовыми резцами, круглыми плашками, резьбовыми головками и гребенчатыми и дисковыми фрезами; внутренней – резьбовыми *резцами, метчиками и гребенчатыми фрезами.*

Глубина резания и подача. При нарезании резьбы резцами различают продольную подачу s, равную шагу резьбы P, и поперечную, определяющую глубину резания t, равную высоте резьбового профиля, при нарезании резьбы за один рабочий ход или части высоты профиля, соответствующей числу рабочих ходов i, необходимых для образования резьбы.

114. Число рабочих ходов при нарезании метрической и трапецеидальной резьб по стали резьбовыми резцами с пластинами из твердого сплава Т15К6 и по чугуну – с пластинами из твердого сплава ВК6

Шаг резьбы P, мм	Сталь конструкционная углеродистая и легированная				Чугун			
	Резьба наружная							
	метрическая		трапецеидальная		метрическая		трапецеидальная	
	Число рабочих ходов*							
	I	II	I	II	I	II	I	II
1,5	3	2	–	–	–	2	–	–
2					2		–	–
3	5		5	3	3		4	
4	6		6		4		5	3
5	7		7	4			6	
6	8		8		5		7	4
8	–	–	10	5	–	–	9	
10			12				10	
12			14	6			12	5
16			18				14	

* I – черновые ходы, II – чистовые.

Примечания: 1. Число рабочих ходов указано для нарезания метрической резьбы для среднего класса точности. При нарезании точной резьбы число чистовых ходов увеличивают.

2. При нарезании внутренней метрической резьбы число черновых ходов, указанных в таблице для наружной резьбы, увеличивают на один.

3. При нарезании метрической резьбы на жаропрочной стали 12Х18Н9Т число ходов увеличивают на 30 %, а на закаленной стали – в 2 – 3 раза.

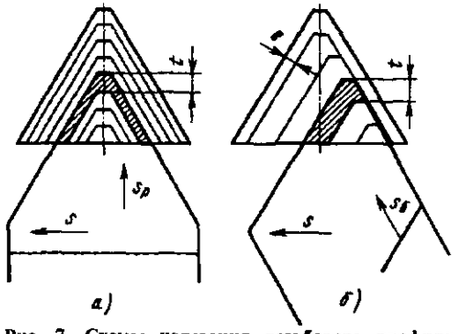


Рис. 7. Схемы нарезания резьбового профиля резцом

Если шаг резьбы $P \le 2{,}5$ мм, поперечная подача имеет радиальное направление s_p, и образование резьбы происходит по профильной схеме (рис. 7, *а*). Если шаг резьбы $P > 2{,}5$ мм, черновые ходы выполняют по генераторной схеме с *поперечной подачей* $s_б$, *параллельной* боковой стороне резьбового профиля (рис. 7, *б*), оставляя припуск e на чистовые рабочие ходы, срезаемые по профильной схеме.

Число рабочих ходов выбирают по табл. 114, 115.

115. Число рабочих ходов при нарезании метрической и трапецеидальной резьб резцами из быстрорежущей стали

Шаг резьбы P, мм	Сталь конструкционная углеродистая		Сталь конструкционная легированная и стальные отливки		Чугун, бронза и латунь	
	Число рабочих ходов*					
	I	II	I	II	I	II
Крепежная метрическая наружная однозаходная резьба						
1,25 – 1,5	4	2	5	3	4	2
1,75	5	3	6	4	5	3
2,0 – 3,0	6		7			
3,5 – 4,5	7	4	9	5	6	4
5,0 – 5,5	8		10			
6,0	9		12			

Продолжение табл. 115

Шаг резьбы P, мм	Сталь конструкционная углеродистая		Сталь конструкционная легированная и стальные отливки		Чугун, бронза и латунь	
	Число рабочих ходов*					
	I	II	I	II	I	II
Трапецеидальная наружная однозаходная резьба						
4	10	7	12	8	8	6
6	12	9	14	10	9	7
8	14		17			
10	18	10	22	12	11	8
12	21		25		14	
16	28		33		17	
20	35		42		22	
					28	

* См. сноску к табл. 114.

Примечания: 1. Число ходов указано для нарезания крепежной метрической и трапецеидальной резьб средней точности. При нарезании точной метрической и трапецеидальной резьб кроме указанного в таблице числа ходов необходимо применять дополнительно два – три зачистных хода при скорости резания 4 м/мин.

2. При нарезании многозаходных резьб указанное в таблице число ходов увеличивают на один – два хода для каждого захода резьбы.

3. При нарезании внутренней резьбы число ходов увеличивают: черновых – на 20 – 25 %; чистовых – для метрической резьбы на один, а для трапецеидальной – на один с шагом до 8 мм и на два с шагом более 8 мм.

Величины подач s_z на один резец при вихревом нарезании резцами во вращающихся головках приведены в табл. 116, на один зуб гребенчатой фрезы – в табл. 117, а на один зуб дисковой фрезы – в примечании к этой таблице. Метчики, плашки и резьбовые головки работают с самоподачей.

Скорость резания, м/мин, при нарезании крепежной резьбы резцами с пластинами из твердого сплава

$$v = \frac{C_v i^x}{T^m s^y} K_v ;$$

при нарезании крепежной и трапецеидальной резьб резцами из быстрорежущей стали

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x s^y} K_v ;$$

при вихревом нарезании метрической и трапецеидальной резьб твердосплавными резцами во вращающихся головках

$$v = \frac{C_v}{T^m s^x s^y} K_v .$$

Значения коэффициента C_v и показателей степени приведены в табл. 118.

116. Подачи при вихревом нарезании метрической и трапецеидальной резьб резцами с пластинами из твердого сплава Т15К6 на стальных деталях

Механические свойства стали		Подача на один резец s_z, мм	Примечание
$\sigma_в$, МПа	*НВ*		
550	153 – 161	1,0 – 1,2	Бóльшие значения подач назначать при нарезании резьбы на жестких деталях, меньшие – на деталях пониженной жесткости
650	179 – 192	0,8 – 1,0	
750	210 – 220	0,6 – 0,8	
850	235 – 250	0,4 – 0,6	

117. Подачи s_z на один зуб гребенчатой резьбовой фрезы

Обрабатываемый материал	Диаметр нарезаемой резьбы, мм					
	До 30			Св. 30 до 50		
	s_z, мм, при шаге нарезаемой резьбы P, мм					
	До 1	Св. 1 до 2	Св. 2 до 3,5	До 1	Св. 1 до 2	Св. 2 до 4
Сталь:						
$\sigma_в \le 800$ МПа	0,03 – 0,04	0,04 – 0,05	0,05 – 0,06	0,04 – 0,05	0,05 – 0,06	0,06 – 0,07
$\sigma_в > 800$ МПа	0,02 – 0,03	0,02 – 0,03	0,03 – 0,04	0,03 – 0,04	0,03 – 0,04	0,04 – 0,05
Чугун:						
серый	0,05 – 0,06	0,06 – 0,07	0,07 – 0,08	0,06 – 0,07	0,07 – 0,08	0,08 – 0,09
ковкий	0,04 – 0,05	0,05 – 0,06	0,06 – 0,07	0,05 – 0,06	0,06 – 0,07	0,07 – 0,08

Обрабатываемый материал	Диаметр нарезаемой резьбы, мм				
	Св. 50 до 76			Св. 76	
	s_z, мм, при шаге нарезаемой резьбы P, мм				
	До 1	Св. 1 до 2	Св. 2 до 4	До 2	Св. 2 до 4
Сталь:					
$\sigma_в \le 800$ МПа	0,05 – 0,06	0,06 – 0,07	0,07 – 0,08	0,07 – 0,08	0,08 – 0,09
$\sigma_в > 800$ МПа	0,03 – 0,04	0,04– 0,05	0,05 – 0,06	0,04 – 0,05	0,05 – 0,06
Чугун:					
серый	0,07 – 0,08	0,08 – 0,09	0,09 – 0,10	0,09 – 0,10	0,10 – 0,12
ковкий	0,06 – 0,07	0,07 – 0,08	0,08 – 0,09	0,08 – 0,09	0,08 – 0,09

Примечания: 1. Для нарезания точных резьб подачу уменьшать на 25 %.

2. Подачу s_z на один зуб дисковой фрезы при нарезании трапецеидальной резьбы принимают равной 0,3 – 0,6 мм в зависимости от точности резьбы.

118. Значения коэффициентов и показателей степени в формулах скорости резания для резьбовых инструментов

Обрабатываемый материал	Нарезание резьбы	Материал режущей части	Условия резания или конструкции инструмента	Коэффициент и показатели степени					Среднее значение периода стойкости T, мин
				C_v	x	y	q	m	
Сталь конструкционная углеродистая, $\sigma_в$ = = 750 МПа	Крепежной резцами	T15K6	–	244,0	0,23	0,30	–	0,20	70
		P6M5	Черновые ходы:						80
			$P \le 2$ мм	14,8	0,70	0,30	–	0,11	
			$P > 2$ мм	30,0	0,60	0,25		0,08	
			Чистовые ходы	41,8	0,45	0,30	-	0,13	

Продолжение табл. 118

Обрабатываемый материал	Нарезание резьбы	Материал режущей части	Условия резания или конструкции инструмента	Коэффициент и показатели степени					Среднее значение периода стойкости T, мин
				C_v	x	y	q	m	
Сталь конструкционная углеродистая, $\sigma_в$ = = 750 МПа	Трапецеидальной резцами	P6M5	Черновые ходы	32,6	0,60	0,20	–	0,14	70
			Чистовые ходы	47,8	0,50	0	–	0,18	
	Вихревое нарезание крепежной и трапецеидальной резьб	T15K6	–	2330	0,50	0,50	–	0,50	80
	Метчиками:	P6M5	–		–				90
	машинными			64,8		0,5	1,2	0,90	
	гаечными			53,0		0,5	1,2	0,90	
	гаечными автоматными			41,0		0,5	1,2	0,90	
	Круглыми плашками	9XC У12А	–	2,7	–	1,2	1,2	0,50	90
	Резьбонарезными головками	P6M5	Гребенки круглые и тангенциальные	7,4		1,2	1,2	0,50	120
	Гребенчатыми фрезами	P6M5	–	198,0		0,3	0,4	0,50	100
Серый чугун, 190 *HB*	Крепежной резцами	BK6		83,0	0,45	0	–	0,33	70
	Гребенчатыми фрезами	P6M5	–	140,0	–	0,3	0,4	0,33	200
Ковкий чугун, 150 *HB*	Гребенчатыми фрезами	P6M5		245,0		2,0	0,5	1,0	200
Силумин	Метчиками гаечными	P6M5	–	20,0		0,5	1,2	0,9	90

Примечание. Нарезание резьбы производится с применением смазочно-охлаждающих жидкостей, рекомендованных для данного вида обработки.

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания,

$$K_v = K_{mv} K_{uv} K_{cv},$$

где K_{mv} – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала (см. табл. 1 – 4); K_{uv} – коэффициент, учитывающий материал режущей части инструмента (см. табл. 6); K_{cv} – коэффициент, учитывающий способ нарезания резьбы (принимают равным 1,0, если резьба нарезается черновым и чистовым резцами, и 0,75, если резьба нарезается одним чистовым резцом).

При нарезании резьбы с ограниченным выходом резца (в упор) и необходимости при этом ручного отвода резца скорость резания, м/мин, уменьшают, рассчитывая ее по формуле

$$v = \frac{\pi D f}{1000 \tau P},$$

где D – номинальный диаметр резьбы, мм; f – ширина выточки для выхода резца, мм; P – шаг нарезаемой резьбы, мм; τ – время на отвод резца и переключение станка на обратный ход, равное 0,01 – 0,04 мин.

Скорость резания, м/мин, при нарезании метрической резьбы метчиками, круглыми плашками и резьбовыми головками

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m s^y} K_v,$$

при нарезании резьбовыми гребенчатыми фрезами

$$v = \frac{C_v}{T^m s_z^x s^y} K_v.$$

Значения коэффициента C_v, показателей степени и средние значения периода стойкости T для различных инструментов приведены в табл. 118.

Данные о стойкости для ряда инструментов ориентировочные, так как в этих случаях скорость резания не рассчитывают, а устанавливают, имея в виду, что качественная резьба при нарезании ее плашками может быть получена при скорости $v \le 4$ м/мин, а винторезными головками – при скорости $v \le 14 \dots 16$ м/мин.

Наиболее производительное и экономичное нарезание резьбы метчиками и гребенчатыми резьбовыми фрезами достигается при максимальных скоростях резания, допускаемых быстроходностью оборудования и мощностью его привода.

Поправочные коэффициент K_{mv} и K_{nv}, учитывающие обрабатываемый и инструментальный материалы для резьбовых резцов, приведены в табл. 4 и 6, а для метчиков, плашек, резьбовых головок и резьбовых гребенчатых фрез в табл. 119, так же как и коэффициент K_{Tv}, учитывающий точность нарезаемой резьбы.

Силовые зависимости. Тангенциальная составляющая силы резания, Н, при нарезании резьбы резцами

$$P_z = \frac{10 C_p P^y}{i^n} K_p,$$

крутящий момент, Н·м, при нарезании резьбы метчиками, резьбовыми головками

$$M_{кр} = 10 C_M D^q P^y K_p,$$

где P – шаг резьбы, мм; i – число рабочих ходов, устанавливаемое из табл. 114, 115; D – номинальный диаметр резьбы, мм.

Коэффициенты C_p и C_M и показатели степени приведены в табл. 120. Поправочный коэффициент $K_p = K_{mp}$, учитывающий качество обрабатываемого материала, определяют для резцов по табл. 9, для других инструментов – по табл. 119.

Мощность, кВт, при нарезании резьбы: резцами

$$N = \frac{P_z v}{1020 \cdot 60},$$

метчиками, плашками и резьбовыми головками

$$N = \frac{Mn}{975},$$

где $n = \frac{1000 v}{\pi D}$.

При вихревом нарезании резьбы за один проход вращающейся головки с z резцами мощность резания, кВт, определяют по формулам:

для треугольной резьбы

$$N = \frac{0{,}1 s^{0,5} s_z^{0,4} z^{0,5} v^{0,8}}{D^{0,7}};$$

для трапецеидальной резьбы

$$N = \frac{0{,}028 s^{1,2} s_z^{0,6} z^{0,5} v^{0,8}}{D^{0,7}}.$$

При нарезании резьбы за несколько проходов, а также при нарезании нестандартной резьбы, рассчитанную мощность следует умножать на отношение фактической высоты профиля, срезаемой за один проход, к высоте резьбы по ГОСТу.

119. Поправочные коэффициенты на скорость резания и крутящий момент для метчиков, плашек и резьбовых головок

Обрабатываемый материал	Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от					Поправочный коэффициент K_{mp} на крутящий момент
	обрабатываемого материала K_{mv}	марки инструментального материала K_{nv}		класса точности резьбы K_{Tv}		
		Р6М5	9ХС; У10А; У12А	точный	средний	
Сталь:						
углеродистая:						
$\sigma_в < 600$ МПа	0,7					1,3
$\sigma_в = 600 \dots 800$ МПа	1,0					1,0
легированная:		1,0	0,7	0,8	1,0 – 1,25	
$\sigma_в < 700$ МПа	0,9					1,0
$\sigma_в = 700 \dots 800$ МПа	0,8					0,85
Чугун:						
серый:						
$HB < 140$	1,0					1,0
140 … 180 HB	0,7	1,0	0,7	0,8	1,0 – 1,25	1,2
$HB > 180$	0,5					1,5
ковкий	1,7					0,5

120. Значения коэффициентов и показателей степени в формулах силовых зависимостей при нарезании резьбы

Обрабатываемый материал	Тип инструмента	Коэффициенты и показатели степени				
		C_p	C_M	y	q	u
Сталь конструкционная углеродистая, $\sigma_в = 750$ МПа	Резцы	148	–	1,7	–	0,71
	Метчики:					
	машинные	–	0,0270	1,5	1,4	–
	гаечные		0,0041		1,7	
	гаечные автоматные		0,0025		2,0	
	Плашки круглые		0,0450		1,1	
	Резьбовые головки		0,0460			
Чугун	Резцы	103	–	1,8	–	0,82
	Метчики машинные	–	0,0130	1,5	1,4	–
Силумин	Метчики гаечные		0,0022		1,8	

Особенности режимов резания при нарезании резьбы в жаропрочных сплавах представлены в табл. 121 – 124.

121. Рекомендуемые числа проходов резца при нарезании наружной резьбы в жаропрочных сплавах

Шаг резьбы, мм							
0,75 – 1,0		1,25 – 1,5		1,75 – 2,0		2,5 – 3,0	
Число проходов							
черновой	чистовой	черновой	чистовой	черновой	чистовой	черновой	чистовой
3 – 4	1 – 2	3 – 5	1 – 2	5 – 6	2 – 3	7 – 9	2 – 3

Примечание. При нарезании внутренней резьбы число проходов умножить на коэффициент – 1,25.

122. Скорость резания при нарезании наружной резьбы в жаропрочных сплавах резцами с пластинками твердого сплава ВК6, ВК8, ВК10-ОМ

Обрабатываемый жаропрочный сплав	Шаг резьбы, мм, не более		
	1	2	3
	Скорость резания, м/мин		
Деформируемый	6,5 – 8,0	5,5 – 6,5	5,0 – 6,0
Литейный	4,0 – 5,5	3,5 – 4,5	3,0 – 4,5

123. Поправочные коэффициенты на скорость резания в зависимости от вида резьбы

Вид резьбы					
Наружная		Внутренняя			
		$d \le 100$ мм		$d > 100$ мм	
сквозная	в упор	сквозная	в упор	сквозная	в упор
1,0	0,9	0,85	0,8	1,0	0,9

Примечание: В качестве СОЖ применять: 1) сульфофрезол; 2) смазки В-29Б, В-35Ж; 3) смесь – 60 % сульфофрезола, 25 % керосина, 15 % олеиновой кислоты.

124. Режимы резания при нарезании резьбы в сквозных отверстиях жаропрочных деформируемых и литейных сплавов комплектными метчиками

Обрабатываемый материал	Материал метчика	Диаметр резьбы, мм						
		М1–М1,6	М2–М3	М4–М5	М6–М8	М10–М12	М14–М16	М18–М20
		Скорость резания, м/мин						
Жаропрочные деформируемые сплавы	Быстрорежущая сталь	0,5 – 0,8	0,8 – 1,0	1,0 – 1,5	1,5 – 2,0	1,8 – 2,5	2,5 – 3,5	3,0 – 4,0
		вручную	0,3 – 0,5	0,5 – 1,0	0,8 – 1,2	1,0 – 1,5	1,2 – 1,7	1,5 – 2,0
	Твердый сплав	2,0 – 2,5	3,0 – 4,0	4,5 – 6,0	–	–	–	–
		1,5 – 2,0	2,5 – 3,5	4,0 – 5,0	–	–	–	–
Жаропрочные литейные сплавы	Быстрорежущая сталь	вручную	0,3 – 0,5	0,5 – 0,8	0,5 – 1,0	1,0 – 1,5	1,0 – 1,5	1,2
	Твердый сплав	1,0 – 1,5	2,0 – 2,5	3,0 – 4,0				

Примечания: 1. Большие значения скоростей брать для резьб больших диаметров, меньшие – для резьб меньших диаметров.

2. При измененных условиях работы приведенные скорости резания умножить на следующие коэффициенты: а) при нарезании резьбы в сквозных отверстиях одним метчиком – $K_{v_1} = 0{,}5$; б) при нарезании резьбы в глухих отверстиях – $K_{v_2} = 0{,}5$.

ПРОТЯГИВАНИЕ

Элементами резания при протягивании являются периметр резания $\sum B$ – наибольшая суммарная длина лезвий всех одновременно режущих зубьев, мм, подача на один зуб s_z, мм, и скорость резания v, м/мин.

Периметр резания зависит от формы и размеров обрабатываемой поверхности и схемы резания и определяется уравнением

$$\sum B = Bz_l / z_c ,$$

где B – периметр резания, мм, равный длине обрабатываемого контура заготовки или больше ее на величину $1/\cos\lambda$ при наклонном расположении зубьев под углом λ; z_c – число зубьев в секции протяжки при прогрессивной схеме резания (при профильной или генераторной схемах резания $z_c = 1$); z_l – наибольшее число одновременно режущих зубьев, определяемое из выражения $z_l = l/t$, где l – длина обрабатываемой поверхности, мм (за вычетом пазов или выточек, если таковые имеются); t – шаг режущих зубьев, мм. Вычисленное значение z_l округляют до ближайшего целого числа.

Подача при протягивании s_z – размерный перепад между соседними режущими зубьями протяжки (рис. 8) – является элементом конструкции протяжки.

Скорость резания, определяемую требованиями к точности обработки и параметрам шероховатости обработанной поверхности, выбирают по табл. 125 в зависимости от группы скорости, устанавливаемой из табл. 126. При нормативной скорости резания заданный параметр шероховатости поверхности может быть достигнут при оптимальных значениях переднего и заднего углов, при наличии у протяжки чистовых и переходных зубьев.

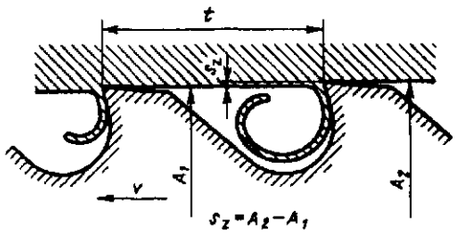


Рис. 8. Схема срезания припуска при протягивании

125. Скорости резания, м/мин, для протяжек из быстрорежущей стали Р6М5

Группа скорости резания (см. табл. 126)	Протяжки			
	цилиндрические	шлицевые	шпоночные и для наружного протягивания	всех типов
I	8/6	8/3	10/7	4
II	7/5	7/4,5	8/6	3
III	6/4	6/3,5	7/5	2,5
IV	4/3	4/2,5	4/3,5	2

Примечания: 1. В числителе приведены скорости резания при Ra = 3,2 ... 6,3 мкм и точности 8 – 9-го квалитетов, в знаменателе – при Ra 1,6 и точности 7-го квалитета; для протяжек всех типов – при Ra = 0,8 ... 0,4 мкм.

2. При протягивании наружных поверхностей с допуском до 0,03 мм секциями протяжек с фасонным профилем скорость резания снижать до 4 – 5 м/мин.

3. Для протяжек из стали ХВГ табличные скорости резания снижать на 25 – 30 %.

Установленную нормативную скорость резания сравнивают с максимальной скоростью рабочего хода станка и скоростью резания, м/мин, допускаемой мощностью двигателя станка:

$$v = 61\,200\frac{N}{P_z}\eta,$$

где N – мощность двигателя станка, кВт; P_z – сила резания при протягивании, Н; η – КПД станка.

В качестве рабочей скорости принимают наименьшую из сравниваемых скоростей.

Сила резания, Н, при протягивании

$$P_z = P\sum B,$$

где P – сила резания на 1 мм длины лезвия, Н, зависящая от обрабатываемого материала и величины подачи s_z, мм, на один зуб протяжки (табл. 127).

Режимы резания при протягивании жаропрочных сплавов приведены в табл. 128, 129.

126. Группы скорости резания при протягивании стали и чугуна

Твердость *НВ*	Сталь						
	углеродистая и автоматная	марганцовистая и хромованадиевая	хромистая	хромомолибденовая	хромокремнистая и кремнемарганцовистая	хромомарганцовистая	хромокремнемарганцовистая
До 156	IV	–	–	–	–	–	–
Св. 156 до 187	III	III	II	II	–	II	–
» 187 » 197	II		I			I	
» 197 » 229	I	II			II		II
» 229 » 269			II	III	III	II	
» 269 » 321	II	III	III		IV	III	III

Твердость *НВ*	Сталь						Чугун	
	никелевая	хромоникелевая	хромомарганцовомолибденовая	никельмолибденовая	хромомарганцовистотитановая	хромоникельмолибденовая	*серый*	*ковкий*
До 156	–	–	–	–	–	–	–	I
Св. 156 до 187		III					I	
» 187 » 197	IV	II		III	II		II	–
» 197 » 229	III		I					
» 229 » 269	III		II	II		III		
» 269 » 321	–	III	III	III	–	IV	–	

127. Сила резания P, Н, приходящаяся на 1 мм длины лезвия зуба протяжки

Подача на один зуб s_z, мм	Обрабатываемый материал								
	Углеродистая сталь			Легированная сталь			Чугун		
							серый		ковкий
	НВ ≤ 197	*НВ* 198 – 229	*НВ* > 229	*НВ* ≤ 197	*НВ* 198 – 229	*НВ* > 229	*НВ* ≤ 180	*НВ* > 180	
0,01	65	71	85	76	85	91	55	75	63
0,02	95	105	125	126	136	158	81	89	73
0,03	123	136	161	157	169	186	104	115	94
0,04	143	158	187	184	198	218	121	134	109
0,06	177	195	232	238	255	282	151	166	134
0,08	213	235	280	280	302	335	180	200	164
0,10	247	273	325	328	354	390	207	236	192
0,12	285	315	375	378	407	450	243	268	220
0,14	324	357	425	423	457	505	273	303	250
0,16	360	398	472	471	510	560	305	336	276
0,18	395	436	520	525	565	625	334	370	302
0,20	427	473	562	576	620	685	360	402	326
0,22	456	503	600	620	667	738	385	427	349
0,25	495	545	650	680	730	810	421	465	376
0,30	564	615	730	785	845	933	476	522	431

Примечание. Значения силы резания приведены для нормальных условий эксплуатации: а) передние и задние углы зубьев оптимальные; б) величина износа не превышает допускаемую.

128. Режимы протягивания жаропрочных сплавов

Жаропрочные сплавы	Инструментальный материал	Скорость, мм	Примечание
Деформируемые	Быстрорежущая сталь	1 – 4 или 18 – 20	Необходима модернизация станков для повышения скоростей
	Твердый сплав	25 – 30	
Литейные	Быстрорежущая сталь	0,5 – 1,0	–
	Твердый сплав	6 – 8	

129. Сила резания P, Н, приходящаяся на 1 мм длины лезвия зуба протяжек

Подача на зуб, мм/зуб	Обрабатываемые материалы			
	Деформируемые сплавы		Литейные сплавы	
	$P_{осевая}$	$P_{радиальная}$	$P_{осевая}$	$P_{радиальная}$
0,01	10,5	10,5	9,6	12,4
0,02	14,2	12,0	14,7	13,7
0,03	17,0	13,3	18,5	16,0
0,06	32,0	19,0	34,0	21,0
0,08	41,0	22,0	43,8	23,4
0,1	50,0	24,0	50,5	25,5

Величина износа для предварительной протяжки 0,3 мм; для окончательной 0,2 мм. Износ определяется по задней поверхности зубьев протяжки.

Для протягивания жаропрочных деформируемых сплавов на скоростях резания < 4 м/мин рекомендуется применять быстрорежущие стали: Р12Ф2К5М3, Р6М5К5, Р18; для протягивания деталей из литейных жаропрочных сплавов – быстрорежущие стали Р9М4К8 и Р18Ф2К8М.

ШЛИФОВАНИЕ

Разработку режима резания при шлифовании начинают с установления характеристики инструмента. Инструмент при шлифовании различных конструкционных и инструментальных материалов выбирают по данным, приведенным на с. 337 – 357. Окончательная характеристика абразивного инструмента выявляется в процессе пробной эксплуатации с учетом конкретных технологических условий.

Основные параметры резания при шлифовании:

- скорость вращательного или поступательного движения заготовки $v_з$, м/мин;
- глубина шлифования t, мм, – слой металла, снимаемый периферией или торцом круга в результате поперечной подачи на каждый ход или двойной ход при круглом или плоском шлифовании и в результате радиальной подачи $s_р$ при врезном шлифовании;
- *продольная подача* s – *перемещение* шлифовального круга в направлении его оси в миллиметрах на один оборот заготовки при круглом шлифовании или в миллиметрах на каждый ход стола при плоском шлифовании периферией круга (табл. 130).

Эффективная мощность, кВт, при шлифовании периферией круга с продольной подачей

$$N = C_N v_з^r t^x s^y d^q,$$

при врезном шлифовании периферией круга

$$N = C_N v_з^r s_р^y d^q b^z,$$

при шлифовании торцом круга

$$N = C_N v_з^r t^x b^z,$$

где d – диаметр шлифования, мм; b – ширина шлифования, мм, равная длине шлифуемого участка заготовки при круглом врезном шлифовании и поперечному размеру поверхности заготовки при шлифовании торцом круга.

Значения коэффициента C_N и показателей степени в формулах приведены в табл. 131.

130. Параметры резания при различных видах шлифования, заточки и доводки

Обрабатываемый материал	Характеристика процесса шлифования	Скорость круга $v_к$, м/с	Скорость заготовки $v_з$, м/мин	Глубина шлифования t, мм	Продольная подача s	Радиальная подача $s_р$, мм/об
Круглое наружное шлифование						
Конструкционные металлы и инструментальные стали	С продольной подачей на каждый ход:	30–35				–
	предварительное		12–25	0,01–0,025	(0,3–0,7) *B*	
	окончательное		15–55	0,005–0,015	(0,2–0,4) *B*	
	С продольной подачей на двойной ход		20–30	0,015–0,05	(0,3–0,7) *B*	
	Врезное:					
	предварительное		30–50			0,0025–0,075
	окончательное		20–40			0,001–0,005
Твердые сплавы	С продольной подачей:					–
	предварительное	20–30	10–20	0,0075–0,01	0,5–0,8 м/мин	
	окончательное	30–35	20–30		0,3–0,5 м/мин	

Продолжение табл. 130

Обрабатываемый материал	Характеристика процесса шлифования	Скорость круга $v_к$, м/с	Скорость заготовки $v_з$, м/мин	Глубина шлифования t, мм	Продольная подача s	Радиальная подача $s_р$, мм/об
Круглое внутреннее шлифование						
Конструкционные металлы и инструментальные стали	На станках общего назначения:	30–35				–
	предварительное		20–40	0,005–0,02	(0,4–0,7) *B*	
	окончательное			0,0025–0,01	(0,25–0,4) *B*	
	На полуавтоматических станках:					
	предварительное		50–150	0,0025–0,005	(0,4–0,75) *B*	
	окончательное			0,0015–0,0025	(0,25–0,4) *B*	
Твердые сплавы	На полуавтоматических станках:					–
	предварительное	10–25	20–30	0,005–0,01	0,4–0,5 м/мин	
	окончательное	15–30	25–50	0,005–0,0075	0,2–0,4 м/мин	
Круглое бесцентровое шлифование						
Конструкционные металлы и инструментальные стали	На проход:	30–35				–
	предварительное при $d \le 20$ мм		20–120	0,02–0,05	0,5–3,8 м/мин	
	предварительное при $d > 20$ мм			0,05–0,2		
	окончательное		40–120	0,0025–0,01	1,2–2,0 м/мин	
	Врезное:					
	предварительное		10–45	–	–	0,001–0,005
	окончательное		10–30			
Плоское шлифование периферией круга						
Конструкционные металлы и инструментальные стали	На станках с круглым столом:	30–35				–
	предварительное		20–60	0,005–0,015	(0,3–0,6) *B*	
	окончательное		40–60	0,005–0,01	(0,2–0,25) *B*	
	На станках с прямоугольным столом в серийном производстве:					–
	предварительное		8–30	0,015–0,04	(0,4–0,7) *B*	
	окончательное		15–20	0,005–0,015	(0,2–0,3) *B*	
	На станках с прямоугольным столом инструментального типа:					–
	предварительное		3–8	0,05–0,15	1,0–2,0 мм/ход	
	окончательное			0,01–0,015	1,0–1,5 мм/ход	

Продолжение табл. 130

Обрабатываемый материал	Характеристика процесса шлифования	Скорость круга $v_к$, м/с	Скорость заготовки $v_з$, м/мин	Глубина шлифования t, мм	Продольная подача s	Радиальная подача $s_р$, мм/об
Твердые сплавы	Те же станки:					
	предварительное	20–30	4–5	0,03–0,04	0,5–1,0 мм/ход	–
	окончательное	25–35	2–3	0,01–0,02	0,3–0,4 мм/ход	
	Плоское шлифование торцом круга					
Конструкционные металлы и инструментальные стали	На станках с прямоугольным столом:	25–30			–	–
	предварительное		4–12	0,015–0,04		
	окончательное		2–3	0,005–0,01		
	На станках с круглым столом с вертикальной подачей на каждый оборот стола:					
	предварительное		10–40	0,015–0,03	–	
	окончательное			0,005		
	На станках с круглым столом однопроходного шлифования с автоматической подачей заготовок:					
	предварительное		2–3	0,1–0,15	–	
	окончательное			0,005		
	Заточка и доводка режущих инструментов					
Инструментальные стали	Заточка	18–25	1,0–3,0	t = 0,02–0,04 мм/дв. ход		–
	Доводка	18–32	0,5–1,5	t = 0,005–0,01 мм/дв. ход		
	Доводка*	15	1,0–1,5	t = 0,01 мм/дв. ход		
Твердые сплавы	Предварительная заточка	20–25	1,5–2,0	t = 0,03 мм/дв. ход		–
	Чистовая заточка	20–30	1,0–2,0	t = 0,01–0,02 мм/дв. ход		
	Доводка*	20–30	0,1–0,7	t = 0,005–0,02 мм/дв. ход		

* Инструмент – алмазные круги.

Примечания: 1. B – толщина круга, мм.

2. Для расчета мощности при круглом шлифовании, если значение продольной подачи приведено в м/мин, вычисляют продольную подачу в мм/об заготовки по формуле s (мм/об) = s (м/мин) × $\frac{\pi d}{1000 v_з}$, где d – диаметр заготовки, мм; $v_з$ – окружная скорость заготовки, м/мин.

131. Значения коэффициента и показателей степени в формулах мощности при шлифовании

Шлифование	Обрабатываемый материал	Шлифовальный круг		Коэффициент и показатели степени					
		Зернистость	Твердость	C_N	r	x	y	q	z
Круглое наружное:									
с поперечной подачей на двойной ход	СЗН	50 – 40	СМ1–СМ2	1,3	0,75	0,85	0,7	–	–
с поперечной подачей на каждый ход		50	СМ2	2,2	0,5	0,5	0,55		
		40	СМ1–С1	2,65	0,5	0,5	0,55		
врезное		50	С1	0,14	0,8	0,8	–	0,2	1,0
Круглое внутреннее	СН	40	С1	0,27	0,5				
	СЗ	*50 – 40*	*СМ1–С1*	*0,36*	*0,35*	*0,4*	*0,4*	*0,3*	–
		25	СМ1	0,3	0,35				
	Ч	40	СМ1	0,81	0,55	1,0	0,7	0,3	
Круглое бесцентровое:	СН	40 – 25	С1–СТ1	0,1	0,85	0,6	0,7	0,5	–
		25	СМ2	0,075					
напроход	СЗ	40	СМ1–С1	0,28	0,6	0,6	0,5	0,5	–
		25	СМ1–С1	0,34					
врезное	СЗН	40	СМ1–С1	0,07	0,65	0,65	–	0,5	1,0
Плоское периферией круга на станках:									
с прямоугольным столом	СН	50	СМ2	0,52	1,0	0,8	0,8	–	–
			С1	0,59					
			СТ2	0,68					
		50 – 40	М3–С1	0,53	0,8	0,65	0,7		
с круглым столом	СЗ	50 – 40	М3–СМ1	0,7	0,7	0,5	0,5	–	–
Плоское торцом круга: на станках:									
с прямоугольным столом	СН	125	М2	0,17*1	0,7	0,5	–	–	–
		125	С1	0,39*1					
		125	СТ1	0,59*1					
		80 – 50	М1–СМ2	1,9*2	0,5				0,6
		50	М3	1,31*3					
с круглым столом	СЗ	80 – 50	М1–СМ2	5,2*2	0,3	0,25	–	–	0,3
			М3	3,8*3					
	Ч	80 – 50	СМ1–СМ2	4,0*2	0,4	0,4	–	–	0,45
		50	СМ2	2,6*3					

*1 Круги на бакелитовой связке; во всех остальных случаях связка керамическая.

*2 Круг кольцевой.

*3 Круг сегментный.

Примечания: 1. СЗН – сталь закаленная и незакаленная; СЗ – сталь закаленная; СН – сталь незакаленная; Ч – чугун.

2. Абразивный материал: электрокорунд – при обработке стали, карборунд – при обработке чугуна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Конструкции** и эксплуатация резцов, оснащенных синтетическими сверхтвердыми материалами на основе нитрида бора. Методические рекомендации / Г. В. Боровский, С. У. Молодык и др. М.: ВНИИТЭМР, 1987. 70 с.

2. **Марочник** сталей и сплавов / М. М. Колосков, Е. Т. Долбенко, Ю. В. Каширский и др. М.: Машиностроение, 2001. 640 с.

3. **Баранчиков В. И., Жариков А. В., Юдина Н. Д.** и др. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов. Справочник. М.: Машиностроение, 1990. 400 с.

4. **Рекомендации** по рациональной эксплуатации режущего инструмента на токарных станках с ЧПУ. М.: ВНИИТЭМР, 1986. 44 с.

5. **Якухин В. Г., Ставров В. А.** Изготовление резьбы. Справочник. М.: Машиностроение, 1989. 192 с.

6. **Общемашиностроительные** нормативы режимов резания: Справочник: в 2-х т.: Т. 2 / А. Д. Локтев, И. Ф. Гущин, Б. Н. Балашов и др. М.: Машиностроение, 1991. 304 с.

Глава 5 СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

Характер и интенсивность процессов, протекающих на контактных поверхностях инструмента, в значительной мере зависят от технологической среды, окружающей зону резания, с которой происходит взаимодействие поверхностей режущего инструмента и обработанной поверхности. Так как эта среда в основном несет в себе функции смазки и охлаждения, то она называется **смазочно-охлаждающей технологической средой (СОТС).**

В качестве СОТС на практике используют самые разнообразные вещества, находящиеся в различном агрегатном состоянии. Целенаправленное применение тех или иных веществ в том или ином состоянии позволяет снизить изнашивание режущего инструмента, улучшить качество обработанной поверхности и повысить производительность труда. Применение СОТС позволяет повысить стойкость инструмента от 1,5 до 10 раз, производительность труда в 1,1 ... 3 раза, увеличить параметры режима резания, улучшить качество и эксплуатационные свойства обработанных поверхностей, а также санитарно-гигиенические условия труда.

Основными целями применения СОТС являются:

1. **Повышение технологических показателей** выполнения операций обработки резанием: снижение шероховатости обработанной поверхности, удаление из зоны резания продуктов функционирования системы резания, уменьшение наклепа обработанной поверхности, повышения точности обработки в результате уменьшения механических и температурных деформаций заготовки и инструмента, а также интенсивности размерного износа инструмента.

2. **Повышение экономических показателей** выполнения операций: увеличение стойкости инструмента и сокращение его расхода, повышение производительности труда путем изменения параметров режима резания, обеспечение малолюдной и безлюдной технологии путем повышения надежности инструментов и обеспечения стружколомания и отвода стружки.

3. **Улучшение условий труда** в результате уменьшения содержания механической пыли в атмосфере цеха, улучшения стружкозавивания и отвода стружки.

ДЕЙСТВИЯ СОТС ПРИ РЕЗАНИИ

Эффект применения СОТС достигается за счет **охлаждающего, смазывающего, режущего, пластифицирующего и моющего действия СОТС**. Влияние каждого действия и их соотношение зависит от условий обработки. Поэтому чрезвычайно важно при выборе технологических сред, учитывая их основные химические, физические, теплофизические, технологические, экономические и экологические свойства, определить пути получения максимального эффекта.

1. Смазывающее действие СОТС позволяет снизить трение на контактных поверхностях режущих инструментов и тем самым уменьшить изнашивание поверхностей режущих инструментов и значительно понизить температуры, действующие на инструментальный материал.

Трение при резании состоит в преодолении следующих сил:

– упругого и пластического деформирования выступов на поверхностях инструмента и детали;

– "пропахивания" твердыми выступами более мягкой поверхности;

– адгезии, возникающих при образовании и разрушении мостиков сварки между выступами инструментальной и обрабатываемой поверхностей;

– межатомных взаимодействий контактирующих поверхностей.

Цель смазки при резании заключается в снижении коэффициента трения между инструментом, обрабатываемой поверхностью и

стружкой, что достигается разделением контактирующих поверхностей смазочными пленками. Происходит перевод трения между инструментальным и обрабатываемым материалами в трение между смазочной пленкой, и материалом или в трение между пленками, или между слоями пленки.

К смазочным пленкам, образующимся на поверхностях режущего инструмента, предъявляются высокие требования: в соответствии с особенностями процесса пленки должны выдерживать большие нормальные нагрузки, прочно удерживаться на металлических поверхностях, сохранять свои свойства при высоких температурах.

Различают следующие виды смазок: гидродинамическую, граничную и смазку высокого давления.

При **гидродинамической смазке** происходит снижение силы трения за счет разделения трущихся поверхностей жидкой пленкой. Сопротивление сдвигу жидкостной пленки очень мало. Однако прочность этой пленки и ее сцепление с поверхностью низки.

В зоне резания при больших действующих нагрузках и температурах расчетные толщины жидких пленок для обычных ньютоновских жидкостей в 10^6 ... 10^8 раз меньше средней высоты микронеровностей на трущихся поверхностях, что говорит о незначительной роли гидродинамической смазки в условиях резания. Но гидродинамическая смазка действует в областях упругого и упругопластического контакта и может играть существенную роль, например, в снижении сил трения в кондукторных втулках при обработке отверстий.

При гидродинамической смазке закономерности трения определяются в основном свойствами смазочного вещества, а не поверхностей, между которыми происходит трение. При граничной смазке трение зависит не только от свойств смазочного вещества, но и от свойств трущихся металлических поверхностей. Само смазочное вещество возникает в процессе резания при взаимодействии поверхности с внешней средой.

Граничная смазка обусловлена действием пленки, адсорбционно связанной с трущейся поверхностью. Толщина пленки колеблется от нескольких десятков до нескольких сотен ангстрем. Коэффициент трения при граничной смазке выше, чем коэффициент трения при гидродинамической смазке, но выше и устойчивость пленки к неблагоприятным условиям. Адсорбция наиболее активно протекает в том случае, когда в состав среды входят *поверхностно-активные вещества (ПАВ)*. Различают пленки, адсорбированные физически или химически в зависимости от типа сил, удерживающих пленку на поверхности металла. Адсорбция зависит от формы, природы и температуры адсорбента, а также природы и кинетической энергии молекулы адсорбата.

При *физической адсорбции* полярные группы молекул удерживаются на поверхности слабыми силами, обусловленными силами электростатического притяжения между атомами и молекулами СОТС и твердого тела. Физическая адсорбция наиболее сильна при низких температурах. На практике сфера существования физической адсорбции ограничивается обработкой высокотеплопроводных материалов с относительно невысокими режимами резания.

При *химической адсорбции* (*хемосорбции*) происходит обмен электронами между адсорбентом и адсорбатом. При этом образовавшиеся пленки удерживаются на поверхности твердого тела химическими связями, которые намного прочнее физических. Особенностью хемосорбции является ее обратимость – в определенных условиях наступает десорбция с восстановлением исходных продуктов.

Частным случаем граничной смазки с толщиной пленки, не превыщающей несколько десятков ангстрем, является *пассивация ювенильных поверхностей*, возникающих при резании. Основной эффект пассивации - предотвращение образования металлических связей между контактирующими поверхностями инструмента и заготовки, приводящих к усиленному адгезионному и диффузионному изнашиванию инструмента.

Пассивация происходит в результате реакции активных компонентов СОТС (молекул, ионов, радикалов) с непрерывно образующимися в процессе резания ювенильными поверхностями инструмента, стружки и заготовки. Ввиду высокой проникающей способности плазмы по сравнению с жидкостью механизм пассивации приобретает наибольшее значение в области пластического контакта, находящейся в непосредственной близости от режущей кромки, то есть там, куда затруднено проникновение жидкости и где образование жидких или твердых пленок маловероятно. Пассивация замедляет, но не предотвращает адгезионное изнашивание.

При повышении энергии молекул среды и их активности происходит внедрение атомов среды в кристаллическую решетку металла и образовании на поверхности металла химических пленок (оксидов, сульфидов, хлоридов, фосфатов и др.) – возникает **смазка высокого давления**. Внутренние связи продукта химической реакции превосходят связи металла, поэтому реакция образования пленок смазки высокого давления необратима. Десорбция может происходить только как десорбция продуктов реакции.

Наиболее активными элементами, которые участвуют в образовании смазки высокого давления, являются: хлор, фтор, сера, фосфор, йод и др. Эти элементы образуют слои химических соединений с металлом с более низкими сдвиговыми сопротивлениями и температурами плавления - происходит снижение коэффициента трения в зоне контакта трущихся поверхностей.

На практике возможны такие условия, когда на одной и той же поверхности действуют *два вида смазки – граничная и высокого давления*. Такое сочетание достигается при использовании многокомпонентных твердопленочных СОТС. При резании с такой СОТС на поверхности инструмента образуется и непрерывно возобновляется твердая полимерная пленка, наполненная тонко диспергированными противоизносными и противозадирными присадками.

Смазывающее действие СОТС определяется скоростями образования и изнашивания смазочных пленок, их составом, строением, толщиной, свойствами и прочностью сцепления с металлом. На *выбор состава СОТС* для различных операций механической обработки влияют материал инструмента и заготовки, температура и давление в местах их контактов.

Максимальная (критическая) температура, при которой сохраняется работоспособность СОТС, зависит от ее состава. Значения критической температуры для некоторых компонентов СОТС приведены в табл. 1.

1. Максимальная температура работоспособности некоторых компонентов СОТС [1]

Компоненты СОТС	Температура, °С	Компоненты СОТС	Температура, °С
Растительные масла	130	Присадки:	
Животные жиры	130	хлорсодержащие	500
Синтетические вещества	200	фосфорсодержащие	800
Свободная сера	1000	серосодержащие	900

Смазывающие свойства углеводородов, входящих в состав минеральных масел, повышаются с увеличением их молекулярной массы и, следовательно, вязкости. Эффективность минеральных масел ниже, чем растительных, так как полярные молекулы растительных масел образуют более прочные смазочные пленки. Смазывающие свойства некоторых применяемых смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) и их компонентов приведены в табл. 2.

2. Смазывающие свойства СОЖ по ГОСТ 9490-75 [1]

Наименование СОЖ	$P_к$, кН	$P_с$, кН	$D_и$, мм
Водные эмульсии			
Аквол-2 (2 %)	1,12	1,58	0,85
Аквол-6 (2 %)	1,41	1,78	0,92
Мобилмет 150 (2 %)	1,41	1,88	0,97
Масляные СОЖ			
МР-1у	1,00	4,47	0,63
МР-3	0,89	5,62	0,56
МР-6	1,41	6,3	0,65

Продолжение табл. 2

Наименование СОЖ	$P_к$, кН	$P_с$, кН	$D_и$, мм
Присадки для масляных СОЖ			
Хлорсульфидированные животные жиры	0,94	5,22	0,75
Бис-трихлорметил-1,2,4-тиадиазол	1,12	4,73	0,71
Хлорированный парафин (ХП-470)	0,67	1,78	0,70

Обозначения: $P_к$ – критическая нагрузка; $P_с$ – нагрузка сваривания; $D_и$ – показатель износа.

Большинство присадок обеспечивает наиболее высокие смазочные свойства только при определенной концентрации. Значения оптимальных концентраций для различных смазок не совпадают.

Для правильного выбора смазывающего материала необходимо учитывать следующие факторы:

1) вид станочных операций (условия резания) определяет силовое воздействие на инструмент. *По возрастанию трудности обработки и потребности в смазывающих свойствах СОТС операции можно примерно расположить в следующем порядке* [7]: шлифование, зенкерование, строгание, точение, сверление, растачивание, фрезерование, развертывание, зубонарезание, резьбонарезание, протягивание (*хотя в зависимости от многих факторов* этот порядок может изменяться);

2) скоростной режим резания определяет время контакта стружки с передней поверхностью. Чем меньше время контакта, тем больше должна быть смазывающая и проникающая способность СОТС;

3) структурно-механические и химические свойства обрабатываемого и инструментального материалов определяют их обрабатываемость. Снижение обрабатываемости требует применения СОТС с высоким содержанием активных компонентов или повышенной проникающей способностью;

4) свойства смазочного материала и его компонентов определяют химическую активность смазки по отношению к обрабатываемому и инструментальному материалам. Чем менее химически активен металл, тем с меньшей скоростью будут протекать реакции на его поверхности и тем ниже будут смазочные свойства;

5) способ подвода СОТС в зону резания влияет на количество попавшей в зону резания СОТС. Для улучшения проникновения СОТС к зоне резания (глубокое сверление, резьбонарезание метчиками) увеличивают смазывающее действие повышением концентрации активных компонентов, а также направленной и напорной подачей СОТС.

Важно отметить, что в принципе невозможно создать универсальное средство, в равной мере пригодное для всех операций обработки резанием различных металлов. Объясняется это тем, что свойства смазочного вещества при резании зависят от свойств внешней среды, трущихся поверхностей, температуры и давления на контактных поверхностях, которые определяются видом и условиями обработки, параметрами режима резания и другими факторами. СОТС и методы их применения, высокоэффективные для одной группы обрабатываемых материалов и операций, могут быть малоэффективны для других обрабатываемых материалов и операций, а подчас могут оказывать вредное влияние на процесс резания и стойкость режущего инструмента.

Образование смазочных пленок иногда приводит к *отрицательным результатам*. Это может произойти в следующих случаях:

1. На поверхностях возникают пленки, имеющие высокую адгезию к другой поверхности и обладающие прочностью бóльшей, чем у обрабатываемого материала. В этих условиях силы трения не только не уменьшаются, но даже возрастают.

2. Компоненты или продукты распада среды вступают в активное химическое взаимодействие с инструментальным материалом, а образующиеся в результате пленки легко удаляются, увеличивая изнашивание.

3. Если скорость реакции СОТС со стружкой ниже скорости реакции с инструментальным материалом, то относительно чистая поверхность стружки будет вызывать интенсивный износ смазочной пленки, образовавшейся на поверхности инструмента – возрастет изнашивание инструмента.

4. В условиях резания, когда нарост, образовавшийся на режущем клине, оказывает защитное действие, возникновение пленки, способствующей исчезновению нароста, может отрицательно влиять на стойкость инструмента.

5. Реакция образования пленок сопровождается выделением значительного количества теплоты.

6. Компоненты среды и продукты ее разложения химически реагируют с обработанной поверхностью детали, что может ухудшать ее эксплуатационные свойства.

II. Охлаждающее действие СОТС позволяет снизить температуру инструмента и детали и тем самым уменьшить изнашивание режущего инструмента, повысить точность и качество изготовления детали.

Результаты различных экспериментальных и теоретических исследований позволили сделать следующие выводы:

1. С повышением скорости резания, толщины стружки и теплоемкости и с уменьшением теплопроводности обрабатываемого материала и коэффициента усадки стружки проникновение теплоты трения в стружку резко уменьшается – теплота трения все более концентрируется в надрезцовом слое.

2. С увеличением скорости резания, толщины среза, теплоемкости обрабатываемого материала и уменьшением коэффициента теплопроводности в стружку уходит бóльшая часть теплоты, возникающей от деформации срезаемого слоя. При обработке материалов с высокой теплопроводностью, а также при низких скоростях резания и тонких стружках 30 ... 50 % теплоты деформации может уходить в изделие.

3. При малых скоростях резания и толщинах среза, а также при обработке деталей бóльших диаметров дополнительный нагрев стружки от теплоты деформации оказывается небольшим, так как теплота в значительной мере успевает уйти в глубь детали. При бóльших скоростях резания, малой теплопроводности, бóльших сечениях среза и малых размерах детали подогрев стружки становится существенным.

4. Трение детали по задней поверхности инструмента в большинстве случаев вызывает незначительный нагрев инструмента. Однако при работе затупленным инструментом и при срезании тонких стружек тепловыделение по задней поверхности становится заметно.

5. Охлаждение верхней поверхности стружки может влиять на температуру резания только при очень тонких стружках и малых скоростях резания, когда теплота трения успевает проникнуть до верхней границы стружки, а "холод" успевает проникнуть от верхней границы стружки до контактной поверхности.

6. Охлаждение стружки с прирезцовой стороны возможно только вне пределов контакта стружки с передней поверхностью. Однако при практически применяемых скоростях резания скорость схода стружки превышает скорость распространения тепла (холода), поэтому такое охлаждение не снижает температуру площадки контакта на передней поверхности инструмента.

7. Снижения температуры контактных поверхностей инструмента в большинстве случаев нельзя добиться охлаждением наружной поверхности изделия, так как нагрев детали мал.

8. Главный источник охлаждения инструмента – теплообмен между охлаждающей средой и инструментом. Для снижения температуры на изнашиваемых поверхностях инструмента надо обеспечить возможно более интенсивное и непосредственное охлаждение резца, а не стружки или детали.

Охлаждающая способность СОТС зависит от теплофизических свойств инструмента и среды, скорости ее подвода. **Теплофизические свойства СОТС** объединены в общий коэффициент, характеризующий свойства охлаждающей среды. Чем этот коэффициент больше, тем лучше жидкость охлаждает при прочих равных условиях. Значения этого коэффициента для основных видов СОТС приведены в табл. 3, из которой видно, что масляные жидкости охлаждают значительно хуже водных растворов и эмульсий.

3. Значения коэффициента, характеризующего свойства охлаждающей среды [2]

Вид СОЖ	Коэффициент
Водные растворы	0,0160 ... 0,0191
Эмульсии	0,0120 ... 0,0147
Масла	0,0014 ... 0,0020

Теплоотвод от режущего клина возможен по следующим направлениям: в изделие, тело инструмента и далее в инструментодержа-

тель или к участкам инструмента, охлаждаемым СОТС.

1. При устоявшемся режиме работы инструмента деталь является холодильником по отношению к режущему инструменту, однако интенсифицировать теплоотвод от инструмента в деталь часто бывает невозможно.

Одним из методов интенсификация теплоотвода в изделие является создание на инструменте малонагруженных теплоотводящих кромок. Такие кромки, снимая небольшую стружку, незначительно увеличивают общее количество теплоты, образующейся при резании. Вместе с тем, соприкасаясь с изделием, они способствуют активному теплоотводу. Максимальный эффект достигается при величине вспомогательной режущей кромки примерно равной двум величинам подачи. При больших размерах кромок тепла выделяется больше, чем отводится.

2. Активизация теплоотвода в тело инструмента и далее в инструментодержатель возможна за счет увеличения теплопроводности тела инструмента и рационального конструирования инструмента.

Теплопроводность составного инструмента определяется соотношением теплопроводностей материалов инструмента $\lambda_и$ и державки $\lambda_д$.

Если $\lambda_и > \lambda_д$, то необходимо увеличивать часть инструмента, выполненную из инструментального материала, если же $\lambda_и < \lambda_д$, то объем инструментального материала следует уменьшать. Отвод тепла повышается через инструмент, охлаждаемый изнутри по замкнутому контуру и спеченный из металлических порошков.

3. Для интенсификации теплоотвода необходимо правильно выбирать место подвода СОТС, ее температуру, давление, конструкцию инструмента и технологические факторы.

Место подвода СОЖ. При одинаковых условиях теплоотдачи (одинаковые размеры струи) подвод охлаждения сверху в общем более выгоден, чем подвод охлаждения снизу. Чтобы охлаждением снизу добиться того же снижения температуры контакта, что и при охлаждении сверху, струя жидкости, подаваемой на заднюю поверхность, должна иметь коэффициенты теплоотдачи в 1,6 ... 2 раза больше, чем струя, подаваемая на переднюю поверхность. (За исключением случаев, когда превалирует тепловыделение по задней поверхности – тонкие стружки, затупленный инструмент).

Температура СОЖ. Применение охлажденной СОТС обеспечивает увеличение стойкости инструментов. Если повысить температуру охлаждающего водного раствора с 20 до 40 °С, то стойкость инструмента снизится в 1,7 раза, а если жидкость охладить до 5 °С, то стойкость возрастет в 1,5 раза.

Следует различать четыре температурных режима охлаждения СОТС:

– до комнатной температуры; позволяет несколько повысить стойкость инструмента и не требует специальных холодильников и жидкостей;

– до 0 ... 5 °С; значительно повышает стойкость инструмента, не требует специальных жидкостей, но необходим холодильник;

– ниже 0 °С; наиболее целесообразный режим охлаждения, однако для его реализации нужны специальные холодильники и антифризы, что значительно уменьшает экономический эффект от применения жидкостей, охлажденных до таких температур;

– жидкими газами, что позволяет значительно снизить температуру резца, но применяется чрезвычайно редко из-за стоимости жидких газов, технических сложностей, связанных с подачей жидкости к зоне резания, и возможного охрупчивания инструмента.

Предварительное замораживание заготовки дает малый прирост стойкости.

Давление струи СОЖ. Подача СОТС под давлением практически во всех случаях эффективней безнапорной подачи. Однако применение высоких давлений 1,5 ... 2,0 МПа связано с рядом эксплуатационных трудностей (очистка СОТС; сложность оборудования; эффект противодавления, возникающий между резцом, деталью и стружкой; потеря однородности струи жидкости за счет захвата пузырьков воздуха и др.). Поэтому широко распространена подача СОТС под давлениями, не превышающими 0,2 ... 0,3 МПа.

Распыление жидкости. Охлаждение за счет испарения распыленной СОЖ гораздо эффективней полива, так как на испарение единицы объема жидкости расходуется количество теплоты, превышающее теплоту, необходимую для нагрева жидкости до кипения. Непременным условием охлаждения распылением является обеспечение свободного испарения жидкости, то есть капля жидкости должна попасть на охлаждаемую поверхность только после испарения предыдущей капли. В противном случае свободное испарение нарушается, парообразование затрудняется, и теплоотдача резко снижается.

Увеличение теплоты, отдаваемой режущей частью инструмента, может быть достигнуто увеличением размеров поверхностей, соприкасающихся с охлаждающей средой. Например, осуществлять впаивание режущих пластин из твердого сплава не в закрытый паз державки, а по одной широкой плоскости. Поскольку интенсивность конвективного теплообмена с жидкостью в 8 ... 10 раз выше, чем интенсивность отдачи теплоты металла в металл, условия охлаждения инструмента при поливе СОЖ должны значительно улучшиться.

Перемещение режущих кромок как средство активного охлаждения может дать такое снижение температуры контактных поверхностей, которое не может быть достигнуто ни одним из методов искусственного охлаждения. Особенно эффективно перемещение кромок при напряженных в тепловом отношении режимах резания – при обработке жаропрочных материалов и скоростной обработке металлов.

При проектировании технологического процесса необходимо так организовывать движение СОТС, чтобы она сначала встречала горячие поверхности инструмента, а затем поверхности стружки и непрерывно циркулировала. Охлаждение может иметь и **отрицательные последствия:**

1. При прерывистом резании (фрезеровании, строгании) и для твердосплавных инструментов, работающих при высокой скорости резания (при высоких температурах), применение СОТС проводит к значительным колебаниям температуры режущей части инструмента, что вызывает растрескивание и разрушение твердого сплава.

2. Интенсивное охлаждение детали приводит, как правило, к образованию в поверхностном слое детали напряжений растяжения, что ухудшает эксплуатационные свойства детали.

3. Снижение температуры может увеличить силы резания.

4. На определенных режимах резания СОТС может ускорить изнашивание инструмента из-за смещения экстремума функции стойкости в сторону более высоких скоростей резания.

III. Режущее и пластифицирующее действие СОТС. Под режущими и пластифицирующими действиями СОТС понимают способность технологической среды облегчать пластическое деформирование обрабатываемого материала и разрыв связей в нем при внедрении инструмента. Эти свойства позволяют обрабатывать с высокой производительностью труднообрабатываемые материалы, приводят к повышению стойкости инструмента и облегчению процесса резания, снижению избыточной деформации стружки и изделия, уменьшению сопротивления сдвигу или пластической деформации выступающих микронеровностей на поверхности контактирующих тел, препятствуют налипанию обрабатываемого материала на инструмент.

В основе проявления пластифицирующего и режущего действия СОТС лежат следующие механизмы:

1. *Расклинивающий механизм.* Проникая в микротрещины, которые создаются в процессе пластического деформирования металла, среда создает расклинивающее давление в ней и образует пленки на стенках трещины, которые затрудняют ее сваривание.

2. *Внедренческий механизм.* Внедрение отдельных атомов среды (азота, кислорода, водорода и др.) в кристаллическую решетку обрабатываемого металла приводит к упрочнению последнего и переходу его в хрупкое состояние, при этом уменьшаются предельная пластическая деформация перед разрушением и удельная работа резания.

3. *Механизм понижения свободной энергии.* В основе этого механизма лежит эффект Ребиндера, представляющий собой изменение механических свойств твердых тел при снижении их поверхностной энергии под влиянием поверхностных физико-химических процессов. Физический смысл этих явлений заключается в следующем. В ходе разрушения твердого тела обнажаются и перестраиваются его внутренние связи. Эти связи ослабляются и их разрыв облегчается в том случае, если их частично удается отвлечь на взаимодействие с атомами легко подвижной внешней среды. Поверхностно активная внешняя среда облегчает выход на поверхность дислокаций, движение которых и составляет сущность пластической деформации.

Заметного понижения прочности следует ожидать тогда, когда свободная энергия поверхностного взаимодействия будет соизмерима с поверхностной энергией твердого тела.

Уменьшение поверхностной энергии твердого тела, приводящее к изменению его механических свойств, может быть достигнуто:

1. *Физической адсорбцией.* Максимальное снижение поверхностной энергии твердого тела при физической адсорбции не превышает 10 % от исходного значения. Поэтому адсорбция органических ПАВ может приводить к существенному облегчению разрушения веществ с малой энергией связи в решетке, т.е. молекулярных соединений, некоторых ионных кристаллов, легкоплавких металлов, а также полимеров.

2. *Хемосорбцией.* Поскольку энергия взаимодействия при хемосорбции обычно существенно больше, чем при физической адсорбции, компенсация разрыва связей может быть более эффективной, и свободная поверхностная энергия твердого тела снижается значительно. Хемосорбцией можно объяснить эффективность применения при резании некоторых органических жидкостей (олеиновой кислоты, четыреххлористого углерода), а также органических кислот, спиртов, серо-, хлор-, йод- и фосфорсодержащих соединений, являющихся непременным компонентом СОТС.

3. *Образованием поверхностных соединений.* Процессы образования химических соединений находятся весьма близко к хемосорбции по характеру и интенсивности энергетического взаимодействия. Однако для проявления эффекта необходимо довольно значительное содержание активного вещества, так как активные частицы (атомы, ионы, молекулы) прочно присоединяются к поверхности твердого тела и теряют при этом подвижность.

4. *Электрическим заряжением поверхности.* Снижение поверхностной энергии по этому механизму связано с электрокапиллярным эффектом, в соответствии с которым наибольшая поверхностная энергия соответствует незаряженной поверхности. Заряжение поверхности приводит к снижению поверхностной энергии.

5. *Смачиванием.* Наиболее сильного снижения свободной поверхностной энергии, а следовательно, и прочности твердых тел удается достичь при их смачивании родственными по физико-химической природе жидкостями – расплавами легкоплавких металлов. Так, в присутствии расплавленных металлов существенно интенсифицируется алмазное шлифование твердых сплавов – удельная работа резания снижается более чем в 10 раз.

В зависимости от условий резания *эффект Ребиндера* может проявляться в различной степени и форме – от облегчения пластического деформирования до возникновения хрупкости, вплоть до самопроизвольного диспергирования на частицы коллоидных размеров. Степень проявления эффекта связана с многочисленными физико-химическими факторами:

– химическим составом твердого тела и среды, определяющим характер и интенсивность межатомных взаимодействий;

– структурой, характером и количеством дефектов на поверхности;

– условиями деформации и разрушения (должно быть растяжение, а не сжатие);

– количеством поступающего в зону разрушения активного компонента.

IV. Моющее действие СОТС состоит в обеспечении непрерывной эвакуации из зоны обработки отходов функционирования системы резания – продуктов износа инструмента, мелкой стружки, карбидов, выломанных из структуры обрабатываемого материала и др. При шлифовании моющее действие, кроме того, предотвращает засаливание шлифовального круга и очищает абразивные зерна и поры круга.

Моющее действие СОТС позволяет предотвратить попадание продуктов износа режущего инструмента и частиц стружки между режущим клином, деталью и стружкой и избежать:

1) повышенного изнашивания и поломки инструмента (резьбонарезание, развертывание, сверление и др.);

2) порчи обработанной поверхности (финишные операции резания).

Механизм моющего действия сложен и слабо исследован. Можно сказать, что для осуществления моющего действия технологическая среда должна иметь следующие свойства:

– высокую поверхностную активность, то есть низкое поверхностное натяжение на поверхностях раздела, что обеспечивает улучшение смачиваемости твердых частиц;

– способность создавать вокруг частицы некую оболочку, результатом чего является отделение частиц от твердых поверхностей. Эта оболочка должна быть одновременно достаточно упругой и прочной, что обусловливает агрегатную устойчивость образующейся суспензии.

Моющее действие увеличивается с возрастанием скорости движения и температуры жидкой СОТС, при подаче струи под давлением.

IV. Защитное действие СОТС. Химически чистая обработанная поверхность быстро адсорбирует молекулы среды, вследствие чего

может снижаться качество поверхности детали. *Защитное действие СОТС способствует повышению* эксплуатационных характеристик деталей и эффективно проявляется при применении газообразных сред. Для осуществления защитного действия могут использоваться как инертные газы (например: аргон), так и специальные газовые среды, улучшающие какие-то свойства обработанной детали (образование специальной газовой атмосферы играет существенную роль, повышая, например, прочность при циклических нагрузках титановых сплавов в результате диспергирования атомов азота, кислорода и водорода в поверхность сплава).

В ряде случаев, специально подобрав состав СОТС, можно нанести на поверхность детали пленку ингибиторов коррозии.

VI. Смачивающее свойство СОТС. *Смачивание жидкостью поверхностей детали и* инструмента является необходимой предпосылкой для проявления всех действий СОТС. Смачивание зависит от материала твердого тела, микрогеометрии поверхности, химического состава и строения жидкости. Гладкие поверхности лучше смачиваются, чем поверхности, имеющие микронеровности и трещины.

Хорошее смачивание обеспечивается при низких значениях поверхностного натяжения и небольших краевых углах смачивания. Если краевой угол больше 90°, то считается, что жидкость не смачивает поверхность – ее капли не будут проникать в капилляры и трещины. Значения коэффициента поверхностного натяжения для некоторых веществ приведены в табл. 4 [1].

4. Коэффициент поверхностного натяжения σ жидкостей на поверхности раздела жидкость-пар

Жидкость	σ, мН/м	Жидкость	σ, мН/м
Вода	72,9	И-20А	32
Глицерин	62,5	Масло касторовое	36,4
Аквол (2 %)	36,0	Олеиновая кислота	28,6
Аквол (5 %)	31,6	Керосин	25,2
МР-1у	32,2	Ртуть	486,5
МР-6	33,2	Никель	1850
МР-10	25,7	Медь	1226

Поверхностно-активные вещества, входящие в состав СОТС, уменьшают поверхностное натяжение и улучшают смачивание. Так, производные предельных углеводородов (жирные спирты и кислоты) и ароматических соединений могут снизить поверхностное натяжение воды на границе с воздухом до 26 мН/м, а фторозамещенные соединения – до еще меньших значений.

Различные случаи смачивания можно разделить на две группы:

– физическое или обратимое смачивание, которое протекает под действием молекулярных сил. При этом температура обычно слабо влияет на краевой угол;

– химическое смачивание, которое протекает с преобладанием сил химического взаимодействия – краевой угол резко уменьшается при повышении температуры, так как при этом ускоряются химические процессы.

VII. Проникающая способность. Проникновение СОТС в зону резания является необходимой предпосылкой для оказания всех действий СОТС, а особенно смазывающего, режущего и пластифицирующего.

Можно выделить несколько механизмов проникновения СОТС в зону резания: из-за отрыва нароста и вибраций под воздействием разности давлений, по капиллярам, под действием сил адсорбции и посредством диффузии через стружку.

Проникающие свойства улучшаются при уменьшении размеров атомов и молекул среды, вязкости СОТС, а также при повышении смачиваемости, скорости и направленности подвода.

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СОТС

В настоящее время разработано большое число разнообразных СОТС. Основные виды СОТС, применяемые при резании металлов, представлены на рис. 1.

СОТС принято классифицировать по следующим признакам:

– по агрегатному состоянию: жидкие, твердые, пластичные, газообразные;

– по физико-химическим особенностям базовой и дисперсных фаз: масляные и водные, эмульсии, суспензии, туманы и др. Базовая фаза у конкретной СОТС обычно одна, а

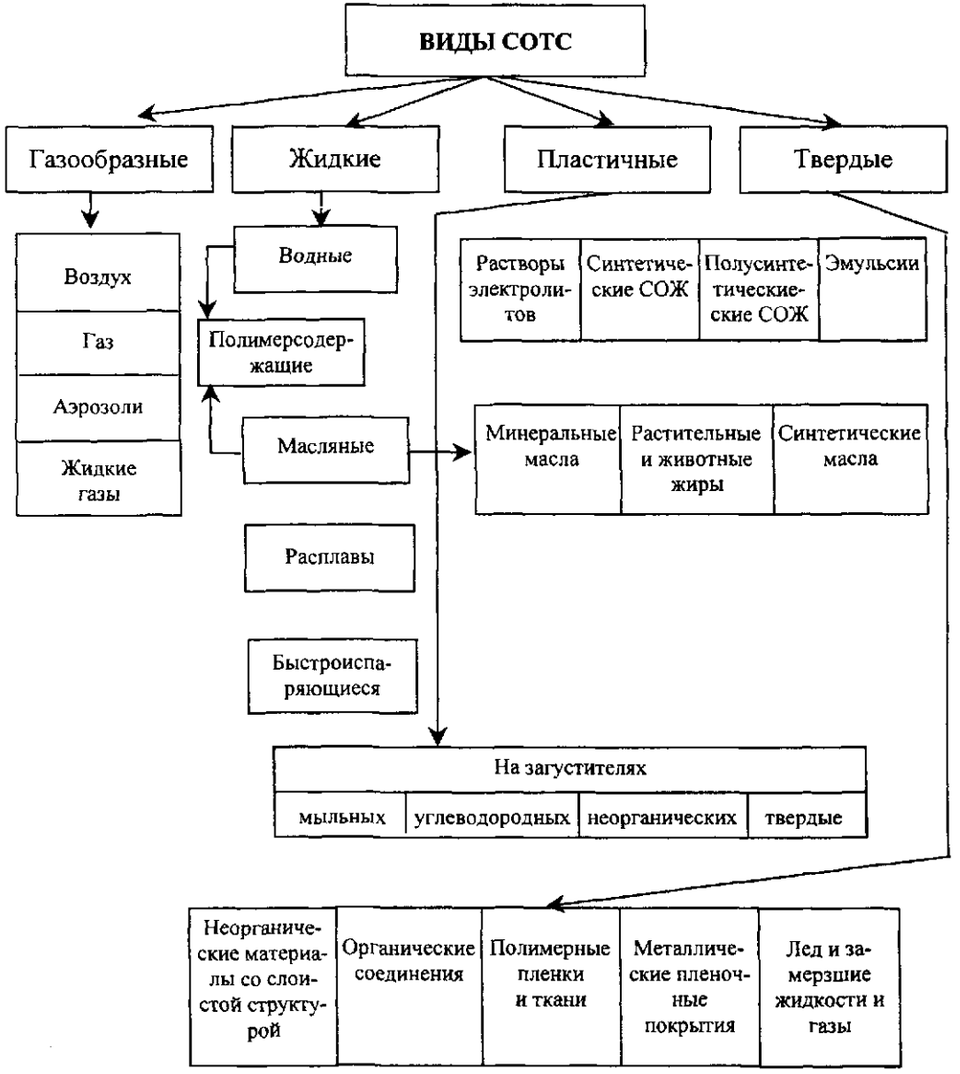


Рис. 1. Основные виды МОТС

дисперсных фаз может быть несколько, из которых одна является доминирующей, определяющей функциональные и эксплуатационные свойства СОТС.

– по размерам частиц дисперсной фазы: ионная и молекулярная дисперсность, коллоидная и грубая дисперсность.

– по степени легирования присадками: невысокое содержание (менее 5 %), умеренное (5 – 10 %), высокое (10 – 30 %) и очень высокое (более 30 %);

– по типу и классу применяемых присадок: О – отсутствие присадок, П – присутствие присадки (ПМ – малорастворимой, ПМ – малорастворимой, активной по отношению к меди, ПВ – водорастворимой, ПМВ – масловодорастворимой, ПН – масловодонерастворимой);

– по химической природе присадок: "а" – животные и растительные жиры, органические кислоты и сложные эфиры; "б" – галоидсодержащие; "в" – серосодержащие; "г" – фосфорсодержащие; "д" – азотосодержащие; "е" – содержащие другие активные компоненты; "ж" – комплексные металлогранические соединения; "з" – растворимые полимеры; "и" – органические наполнители; "к" – неорганические наполнители; "л" – другие химические соединения;

– по степени кинематической вязкости: например, для масляных СОЖ выделяют три группы: 1 группа – СОЖ с кинематической вязкостью 1 ... 9; 2 группа – 10 ... 20 и третьей – больше 20 мм^2/с;

– по уровню химической активности: инертные и активные.

ЖИДКИЕ СОТС

Наибольшее распространение при резании металлов получили жидкие СОТС, называемые смазочно-охлаждающими жидкостями (СОЖ). По физико-химическим особенностям базовой фазы среди СОЖ выделяют масляные (углеводородные) и водные СОЖ, расплавы металлов и жидкие газы.

Масляные (углеводородные) СОЖ. Масляные СОЖ обладают хорошими смазочными и антикоррозионными свойствами, но из-за низкой теплопроводности и теплоемкости они имеют низкую охлаждающую способность. Масляные СОЖ дороги, пожароопасны и сильно испаряются. Эффективность охлаждения минеральными маслами может быть несколько повышена уменьшением их вязкости. С добавлением присадок к маслам эффективность охлаждения не повышается.

Область применения масляных СОЖ – процессы с высокими контактными давлениями и низкими температурами резания, такие как: резьбонарезание, протягивание, развертывание, зубонарезание и др.

Масляные СОЖ состоят из минерального масла, являющегося базовым (60 ... 100 %), к которому могут быть добавлены специальные легирующие добавки (присадки) различного функционального назначения: улучшающие трибологические свойства, антикоррозионные, антипенные, антитуманные, моющие и др.

Трибологические свойства СОЖ зависят от содержания в них антифрикционных, антиизносных и антизадирных присадок. В качестве *антифрикционных* присадок обычно используют *поверхностно-активные вещества* (*ПАВ*), технические растительные масла и жиры, жирные кислоты и др., а также коллоидные дисперсии графита и дисульфида молибдена. Обычное содержание жировых добавок составляет 0,5 ... 25 %. Антифрикционные присадки способствуют повышенному смачиванию поверхности инструмента и образованию адсорбционных смазывающих пленок и таким образом уменьшают трение при небольших нагрузках и температурах.

Антиизносные присадки, создавая на поверхности инструмента прочные пленки, обеспечивающие граничное трение, снижают износ режущего инструмента и предотвращают заедание при умеренных нагрузках. В качестве антиизносных присадок используют фосфорорганические соединения, осерненные жиры и другие соединения в количестве 0,15 ... 15 %.

Антизадирные присадки предотвращают схватывание поверхности режущего инструмента с поверхностью стружки и уменьшают износ режущего инструмента при наиболее высоких температурных и механических нагрузках. Действие антизадирных присадок заключается в химическом взаимодействии продуктов их разложения с контактирующими металлическими поверхностями, в результате чего образуются смазочные пленки высокого давления. В состав антизадирных присадок входят вещества, содержащие серу, хлор, фосфор, йод и др. Наибольшее применение получили родоначальник антизадирных присадок - элементная сера и ее соединения (0,5 ... 20 %), а также хлорсодержащие вещества (3 ... 40 %).

Деление присадок на антиизносные и антизадирные весьма условно, так как антиза-

дирные присадки, например, одновременно могут обладать антиизносными свойствами. Большинство антиизносных и антизадирных присадок являются гидрофобными соединениями и поэтому могут входить лишь в технологические среды, имеющих в своем составе масла, что ограничивает возможность их применения.

Способность присадок создавать на поверхности трущихся металлов смазочные пленки зависит от температуры резания. Приблизительные минимальная и максимальная температуры реакции некоторых присадок к СОЖ с металлом приведены в табл. 5.

5. Минимальная и максимальная температуры и продукты реакции некоторых присадок к СОЖ с металлом [6]

Присадки	t, °С	Продукты реакции
Растительные и животные жиры	$T_{заст}$ ... 130	Адсорбционные смазочные пленки
Жирные кислоты	180 ... 215	Хемосорбированные пленки металлических мыл
Хлорсодержащие	140 ... 530	Хлориды
Фосфорсодержащие	200 ... 650	Фосфиды
Серосодержащие	200 ... 1000	Сульфиды

Обозначения: $T_{заст}$ - температура застывания капли жира на металле.

Продукты окисления минеральных масел, присадок и продуктов их разложения вызывают коррозионное воздействие на изготовляемые детали, инструмент и детали станка. По склонности к коррозии материалы различаются весьма широко и это обстоятельство учитывается при выборе способа противокоррозионной защиты. В ряде случаев достаточно эффективны присадки, вводимые для повышения смазочных свойств.

Если этого не достаточно, те вводят специальные присадки – *ингибиторы коррозии* (0,1 ... 2 %). Принцип действия этих соединений основан на пассивировании металлических поверхностей, замедляющем их коррозию.

Для стабилизации масляных СОЖ против окисления применяют *антиоксиданты*, вводимые в количестве 0,1 ... 0,2 %. Для уменьшения пенообразования, которое препятствует непрерывному охлаждению инструмента и детали и повышает расход СОЖ, в масляные СОЖ добавляют *антипенные* присадки в количестве 0,001 ... 0,02 %. Для уменьшения образования тумана, ухудшающего условия на рабочем месте и увеличивающего расход СОЖ, в масляные СОЖ вводят *антитуманные* присадки в количестве 0,5 ... 3 %. Интенсивность запаха СОЖ регулируют добавками различных *отдушек* (0,1 ... 1 %).

Одним из **компонентов масляных СОЖ** являются растительные масла, животные жиры и жирозаменители. В состав СОТС для обработки металлов резанием могут входить технические сорта *растительных масел* (рапсовое, кориандровое, касторовое), а также хлопковое и другие неочищенные или низкосортные масла. Состав и свойства масел зависят от вида растения, места его произрастания и технологии изготовления.

В композициях СОЖ, а также для получения присадок к ним, используются *технические животные жиры*. Состав и свойства животных жиров зависят от их происхождения (вида животных, характера их питания) и от технологии получения жира. Жирные кислоты, получаемые из растительных масел и животных жиров, широко используются для приготовления компонентов СОТС. Наибольшее распространение из них получила олеиновая кислота.

При производстве компонентов СОТС используются *синтетические масла* – искусственные органические соединения. Они негорючи, химически инертны и термически стабильны, имеют хорошие антифрикционные и противоизносные свойства. В качестве базовой среды синтетические масла используются ограниченно ввиду их высокой стоимости и низкой доступности. Чаще их используют в качестве добавок к минеральным маслам для улучшения свойств масла.

Основу современного ассортимента масляных СОЖ составляют жидкости серии МР, ОСМ и ЛЗ. Характеристики некоторых марок масляных СОЖ и области их рекомендуемого применения при резании представлены в табл. 10 и 11.

Водные СОЖ. Эффективное охлаждение зоны резания может быть достигнуто, если жидкость имеет высокую теплопроводность и большую удельную теплоемкость. Вода отвечает этим требованиям и в то же время имеет незначительную стоимость. Однако вода в чистом виде при обработке металлов резанием не применяется из-за низкой смазывающей способности и высокой коррозионности.

Водные СОЖ применяют на операциях металлообработки, характеризуемых высокой скоростью резания и небольшими давлениями в зоне контакта режущего инструмента и детали – на операциях, где охлаждение играет первостепенную роль, таких как: точение, сверление, зенкерование, фрезерование и др.

Для улучшения смазывающих свойств и уменьшения коррозионной активности в воду добавляют различные вещества. В зависимости от дисперсности компонентов, вводимых в основную фазу, водные СОЖ разделяют на четыре группы:

1. **Растворы электролитов** – СОЖ с ионной степенью дисперсности, при которой размер диспергированных частиц составляет не более 10^{-8} мм. Это прозрачные растворы на основе солей неорганических кислот (соды, буры, хлористого калия, натрия и др.). Соли снижают коррозионную агрессивность и улучшают функциональные свойства воды. Концентрация электролитов обычно не более 2 %, что обусловлено опасностью выпадения твердых минеральных отложений на деталях оборудования, разрушающим влиянием на лакокрасочные покрытия оборудования и на резиновые детали, а также токсичностью электролитов. В некоторых классификациях такие СОЖ называют "дающими прозрачные растворы на основе неорганических веществ".

2. **Синтетические СОЖ** – среды с молекулярной степенью дисперсности (размер частиц 10^{-7} ... 10^{-8} мм). Основными диспергируемыми компонентами являются разнообразные водорастворимые органические продукты, в основном – ПАВ. Важная особенность синтетических СОЖ – отсутствие в их составе минерального масла. В некоторых классификациях такие СОЖ называют "дающими прозрачные растворы на основе органических веществ", "химические" или "безмасляные". По мере необходимости в синтетические СОЖ вводят противоизносные, противозадирные, антипенные и биоцидные присадки, ингибиторы коррозии.

3. **Полусинтетические СОЖ** – относятся к средам с коллоидной степенью дисперсности (размер частиц диспергируемого вещества 10^{-6} ... 10^{-7} мм). Диспергируемым компонентом являются маловязкие (3 – 10 мм^2/с) минеральные или синтетические масла, водонерастворимые органические жидкости, водорастворимые и вододиспергируемые полимеры. Такие СОЖ могут так же называться микроэмульсиями.

4. **Эмульсии** – грубодисперсные смеси нерастворимых фаз, в которой жидкость, являющаяся дисперсной фазой, распределена в другой в форме капелек размером более 10^{-6} мм. В промышленности наибольшее применение нашли эмульсии с водной базовой фазой и дисперсной масляной фазой - масляные эмульсии. Масляные эмульсии приготовляют разведением концентрата СОЖ (эмульсола) в воде, который в общем случае состоит из базовой масляной основы (70 – 85 %), эмульгатора, веществ-связок, антиизносных, антизадирных и антифрикционных присадок, а также специальных добавок (ингибиторов, стабилизаторов, антипенных присадок, бактерицидов).

Эмульгаторы являются поверхностно активными веществами, которые уменьшают поверхностное натяжение и стабилизируют диспергированные капли, и кроме того выполняют роль смазочных веществ. От природы и качества эмульгатора в значительной степени зависит стабильность эмульсии.

Существует две группы эмульгаторов, механизм действия которых принципиально различен. К первой группе (наиболее важной) относятся ПАВ, растворимые в фазах эмульсии, сильно адсорбирующиеся на границе раздела и понижающие вследствие этого межфазное поверхностное натяжение. Эмульгаторы, применяемые в масляных эмульсиях, должны хорошо растворяться в воде, поэтому обычно они представляют собой мылообразные продукты. Вторую группу эмульгаторов составляют твердые высокодисперсные минеральные порошки, частицы которых, избирательно сма-

чиваясь, прилипают к межфазной границе раздела и закрепляют капли масляной фазы.

Вещества-связки предназначены для обеспечения совместимости базового минерального масла с эмульгаторами. Обычная их концентрация – 1 ... 5 %. Эмульгаторы обладают антикоррозионными свойствами, но этого в условиях реального производства часто оказывается недостаточным, поэтому в эмульсол вводят *ингибиторы коррозии* в количестве 0,5 ... 5 %. ПАВы, добавляемые в эмульсол, обычно обладают высокой пенообразующей способностью, поэтому для регулирования уровня пены в СОЖ вводят специальные *пеногасители.*

Масляные эмульсии представляют хорошую питательную среду для роста и размножения микроорганизмов, что является причиной преждевременной потери физико-химических и технологических свойств СОЖ, а также кожных заболеваний рабочих.

Для бактерицидной защиты в жидкости добавляют *биоциды* (бактерициды и фунгициды), которые парализуют рост всех микроорганизмов. Содержание бактерицида в эмульсии обычно составляет 0,05 ... 0,15 %. Во многих случаях достаточно продолжительный срок службы эмульсии может быть достигнут только с помощью комплекса профилактических мероприятий, включающих организацию правильного хранения СОЖ, тщательную и регулярную очистку емкостей, трубопроводов, контроль за СОЖ в процессе ее эксплуатации и др.

Характеристики некоторых марок водных СОЖ и области их рекомендуемого применения при резании представлены в табл. 10 и 11.

Полимерсодержащие СОЖ. Некоторые исследователи выделяют эти СОЖ отдельно, хотя они входят составной частью в водные и масляные СОЖ проектируются. Полимерсодержащие среды изготовляют на водной и масляной основе в виде эмульсий (чаще), растворов и дисперсий высокомолекулярных соединений с определенными, заранее заданными свойствами. Полимерные СОЖ проектируются под конкретные условия резания и не могут использоваться при других условиях.

В зоне резания под воздействие температуры и давления происходит деструкция полимера с образованием различных активных продуктов, которые и взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью и материалом инструмента. Эффективность действия полимерсодержащих СОЖ при резании зависит именно от веществ, образующихся при его деструкции, и определяется химической природой, молекулярной массой и концентрацией полимера в среде. Эффективность полимерсодержащих сред существенно зависит от режимов резания и повышается с их увеличением. Виды и области рекомендуемого применения полимерсодержащих СОЖ приведены в табл. 6.

Расплавы легкоплавких металлов являются одними из весьма эффективных технологических сред для обработки металлов резанием. Использование жидкометаллических сред позволяет проводить высокопроизводительную обработку высокопрочных материалов, не поддающихся резанию с другими СОТС. Основной эффект применения достигается за счет пластифицирующих и режущих действий среды.

Металлическую СОТС следует выбирать таким образом, чтобы она максимально снижала прочность материала в зоне резания, а режущий инструмент не испытывал заметного влияния среды (поэтому не рекомендуется применять паяные режущие инструменты). Кроме этого конструкция инструмента должна позволять отводить из зоны резания образующуюся мелкодисперсную стружку.

Наибольшее воздействие жидкометаллических расплавов зафиксировано для тех материалов, при обработке которых износ инструмента обусловлен адгезионным схватыванием контактирующих поверхностей. Эффективность применения жидкометаллических сред сильно зависит от выбора легкоплавкого металла и параметров режима резания. Эффективность применения расплавов уменьшается с увеличением скорости резания, что обусловлено затруднением проникновения среды в зону резания с ростом скорости.

Особенно высоко эффективны расплавы металлов при шлифовании труднообрабатываемых материалов, что обусловлено специфичностью шлифования: резанием на малую глубину, высокоинтенсивным напряженным состоянием, резко различной химической природой обрабатываемого и инструментального материала.

Некоторые рекомендуемые жидкометаллические среды приведены в табл. 7.

6. Виды и области рекомендуемого применения полимеросодержащих СОЖ [1]

Наименование СОЖ	Состав	%	Области рекомендуемого применения
МХО-60 ТУ 38-201349–80	Латекс поливинилхлорид Эмульсоол ЭТ-2 Аэросил марки А-175	39,8 60 0,2	3 – 5%-ные водные эмульсии на всех операциях лезвийной обработки углеродистых, легированных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей
МХО-62	Латекс поливинилхлорид Триэтаноламин Уротропин Нитрит натрия Синтанол ДС-10	71,43 9,14 9,14 4,57 5,72	2 %-ная водная дисперсия на операционной финишной алмазной и абразивной обработке
МХО-64а ТУ 38.8.016–81	Латекс поливинилхлорид Масло И-12А Сульфат натрия Синтамид-5	50 38 10 2	3 – 5 %-ная эмульсия на операциях лезвийной обработки углеродистых, легированных, жаропрочных сталей и титановых сплавов
МХО-65 ТУ 6-01-12-64–85	Водосмешиваемая СОЖ с полимерной основой и антикоррозионными и активирующими присадками	–	4 %-ная эмульсия при обработке резанием и шлифованием углеродистых и легированных конструкционных и жаропрочных сталей и сплавов
МХО-66 ТУ 6-01-12-84–86	Водорастворимая СОЖ с полимерными присадками карбоксиметилцеллюлозы	–	1,2 %-ный раствор при обработке резанием и шлифованием труднообрабатываемых сталей и сплавов
МХО-67 ТУ 6-05-361-17–85	Водосмешиваемая СОЖ с полимерной присадкой полиэтиленового воска	–	3 %-ная эмульсия при обработке резанием углеродистых, конструкционных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов
МХО-68 ТУ 6-01-12-85–86	Водосмешиваемая СОЖ на полимерной основе (ПВХ) с антикоррозионными присадками	–	4 %-ная эмульсия при обработке резанием труднообрабатываемых сталей и сплавов
МХО-69	Водосмешиваемая СОЖ с полимерной присадкой (ПВХ)	–	5 %-ная эмульсия при обработке труднообрабатываемых сталей и сплавов
МХО-70	Масло минеральное И-12А Поливинилхлорид эмульсный Стеарат кальция Динитрилазоизомасляная кислота (ДАК)	93,9 3 3 0,1	Обработка углеродистых, инструментальных, легированных, коррозионно-стойких сталей

7. *Рекомендации по применению расплавов при сверлении* [1]

Обрабатываемый материал	Рекомендуемая жидкометаллическая среда, масс.доля %	Температура расплава, °С
Алюминий и сплавы на его основе	Сплав Вуда: висмут 50 + свинец 25 + кадмий и олово по 12,5	80 ... 100
Медь и сплавы на ее основе, легированные стали	Олово 57 – 67 + свинец 33 – 43	190 ... 200
Малоуглеродистые стали	Висмут 55 – 65 + кадмий 35 – 45	150
Высокоуглеродистые, закаленные, сложнолегированные инструментальные стали и сплавы	Олово 85 – 95 + цинк 5 – 15	200
Сплавы хромоникелевые жаропрочные	Олово 85 – 95 + цинк 5 – 15	200
	Олово 100	240
Титан и сплавы на его основе	Кадмий 100	330
	Висмут 10 – 15 + олово 10 – 15+ цинк 0,1 – 10 + кадмий – остальное	150

Использование металлических расплавов в качестве технологической среды возможно в нескольких видах:

1) *расплава активного металла* как в ванне расплавленного металла, так и при подаче расплава в зону обработки. Использование расплавов в качестве технологической среды требует решения ряда инженерно-конструкторских задач, связанных с подогревом среды, обеспечением минимально необходимой подачи расплава в зону резания и дополнительным нагревом инструмента, что затрудняет использование металлических СОТС. Кроме того, затруднено проникновение молекул расплава непосредственно к зоне резания.

2) *суспензии порошка* легкоплавких металлов в масляных и водоэмульсионных СОЖ. Трудности использования расплавов отсутствуют при использовании суспензий порошков легкоплавких металлов (концентрацией 2 ... 20 % мас.долей). Для обеспечения достаточной проникающей способности применяемые порошки легкоплавких металлов должны иметь дисперсность не более 120 мкм. Укрупнение частиц резко усиливает интенсивность изнашивания инструмента.

3) *мелкодисперсного наполнителя в связке шлифовального круга.* Активный по отношению к данному обрабатываемому материалу металл в виде тонкодисперсного порошка вводится в состав композиции, из которой изготовляется шлифовальный круг на органической связке. Возникающие при шлифовании высокие локальные температуры вызывают плавление введенного металла. В результате в зоне шлифования постоянно присутствуют легкоподвижные атомы поверхностно-активного вещества – жидкого металла, вызывающего снижение прочности обрабатываемого материала и облегчающего шлифование. Проблема доставки расплава к зоне резания при этом способе отсутствует. Однако несколько усложняется технология изготовления шлифовальных кругов.

4) *наполнителя обрабатываемого материала.* Например, при резании стали, микролегированной кальцием, на поверхностях стружки происходит образование пленки расплава кальция, который проявляет свои диспергирующие свойства – стружка охрупчивается, и происходит дробление сливной стружки. Этот способ не имеет вышеперечисленных недостатков, но имеет достаточно узкую сферу применения.

Жидкие газы. Для интенсификации охлаждения зоны резания можно использовать жидкие газы, охлаждающие инструмент за счет своего испарения. Однако охлаждение жидкими газами сложно в практической реализации, дорого и может привести к охрупчиванию инструмента и детали, поэтому применяется редко.

ТВЕРДЫЕ СОТС

Твердые смазочные материалы имеют низкие коэффициенты трения (например, графит – 0.04, дисульфид молибдена – 0,03), выдерживают высокие температуры и давления. Основные трудности применения твердых смазочных материалов состоят в изыскании наиболее эффективных способов введения их в зону обработки. Поэтому твердые смазки нашли применение в основном в качестве наполнителей жидких, газообразных и пластичных СОТС. К недостаткам применения твердых смазок следует отнести также невозможность их повторного использования. Твердые смазки следует применять в случаях, когда применение СОЖ затруднено или недопустимо. Например: при обработке отверстий малого диаметра, когда проникновение жидкой среды в зону резания затруднено; при нарезании резьбы в металлах, склонных к сильному налипанию на режущий инструмент, на станках, не оснащенных системой циркуляции СОЖ и др.

В качестве твердых смазочных материалов используют пять видов твердых веществ.

1. **Неорганические материалы со слоистой (ламелярной) структурой**: тальк, слюда, графит, дисульфиды молибдена, вольфрама и титана, нитрит титана, селениды и теллуриды вольфрама и др. Смазывающие свойства этих веществ сильно зависят от дисперсности продукта – чаще используют порошки высокой чистоты с размерами частиц основной фракции 1 ... 7 мкм. Наибольшее распространение из веществ этой группы получили графит (в виде брикетов, карандашей и в качестве компонента жидких и пластичных СОТС), а также дисульфид молибдена, используемый в основном как наполнитель твердых, пластичных и жидких СОТС.

2. **Твердые органические соединения**: мыла, воски, парафины, церезины, твердые животные и синтетические жиры и др. Эти вещества чаще всего применяют в качестве основы (дисперсионной среды) для изготовления твердосмазочных карандашей, брикетов или в качестве компонента пластичных и жидких СОТС. Кроме того, различные органические смолы (эпоксидные, мочеформальдегидные и др.) используют в качестве пленкообразующего и связующего компонента при предварительном нанесении на рабочую поверхность инструмента твердых антифрикционных покрытий или при пропитке абразивного инструмента.

3. **Полимерные пленки и ткани**: нейлон, полиэтилен, полиамид, фторированные полимеры и др. Эти вещества могут быть нанесены предварительно или непрерывно возобновляться в процессе обработки (например, натиранием).

4. **Металлические пленочные покрытия** (медь, латунь, свинец, олово, барий, цинк) могут выполнять роль твердых смазочных материалов, если они образованы из металлов и сплавов более мягких, чем деформируемый металл. Трудность удаления металлических покрытий с изделий и высокая стоимость ограничивают их применение в машиностроении преимущественно операциями обработки металлов давлением.

5. **Лед и замерзшие жидкости и газы** используются при резании металлов чрезвычайно редко из-за сложностей их производства, хранения и применения.

ПЛАСТИЧНЫЕ СОТС

Пластичные смазочные материалы – густые мазеобразные продукты – занимают по своим свойствам промежуточное положение между твердыми смазочными материалами и маслами. Ограничения в использовании пластичных смазочных материалов связаны с трудностью их введения в зону резания, невозможностью сбора, очистки и повторного использования. Пластичные СОТС применяют в основном в мелкосерийном и единичном производстве при операциях, выполняемых вручную, с малыми скоростями резания, при которых достаточно периодического смазывания инструмента. Это такие операции, как нарезание резьбы метчиками и плашками, развертывание, полирование.

В основном пластичные СОТС состоят из двух компонентов: жидкой основы (масла) и загустителя (5 ... 30 %), который образует трехмерный структурный каркас, в ячейках которого удерживается масло. Поскольку именно загуститель определяет основные эксплуатационные характеристики пластичных

смазок, классифицировать их принято по свойствам загустителя. Используются в основном четыре вида загустителей:

1. **Мыльные** (соли высших жирных кислот).
2. **Углеводородные** (твердые углеводороды – парафины, церезины и др.).
3. **Неорганические** (специально обработанные глины различного происхождения – силикагель, бентониты и др. минеральные продукты).
4. **Органические** (различные пигменты (красители), производные мочевины, полимеры и др.).

Благодаря структурному каркасу при небольших нагрузках пластичные смазки ведут себя как твердые тела (не растекаются, удерживаются на наклонных поверхностях и др.), а под воздействием критических нагрузок текут подобно маслам. После снятия нагрузки течение смазки прекращается, и она вновь приобретает свойства твердого тела. Пластичные смазки значительно лучше жидких удерживаются на поверхности трения под воздействием высоких удельных нагрузок и температур. Поэтому их широко применяют как смазочные среды при тяжелых режимах трения, особенно при процессах обработки давлением, однако при резании их применение ограничено.

В зависимости от типа загустителя изменяется максимально допустимая температура, при которой возможна эксплуатация данной пластичной смазки (табл. 8).

8. Максимальная температура Т применения пластичных смазочных материалов [3]

Виды загустителя	*Т*, °С
Мыльные	60 ... 180
Углеводородные	50 ... 80
Неорганические	120 ... 150
Органические	200 ... 300

Нередко в состав пластичной смазки вводят различные наполнители: графит, дисульфид молибдена, порошкообразные металлы и их окислы, слюду и другие вещества, повышающие смазывающие свойства.

Пасты как технологическая среда для обработки металлов получили наибольшее распространение на операциях финишной алмазно-абразивной обработки – при полировке, доводке, притирке. Пасты представляют собой разновидности пластичных и жидких СОТС. Это композиции, состоящие из абразивных наполнителей и связующих. В качестве наполнителей используются мелкодисперсные порошки абразивов. В качестве связующих используются различные композиции органических и неорганических веществ – олеиновой, стеариновой и пальметиловой кислот, парафинов, церезинов, синтетических жирных кислот, растительных и животных жиров, восков, керосина, бензина, минеральных масел, полигликолей, спиртов, мыл, мела, талька, глицерина, различных полимеров и др.

ГАЗООБРАЗНЫЕ СОТС

Газообразные СОТС обладают значительно большей по сравнению с жидкостями проникающей способностью, поэтому они находят применение при резании с большими скоростями, при обработке труднообрабатываемых материалов, а также в случаях, когда применение СОЖ недопустимо. Газообразные СОТС бывают активными и инертными. При обработке металлов используют воздух (наиболее часто встречающийся компонент), индивидуальные газы (кислород, озон, двуокись углерода), их смеси, а также аэрозоли (дисперсные газообразные среды).

Активные газы (сероводород, хлор, кислород, углекислый газ и др.) реагируют с материалом инструмента и образуют смазочные пленки, уменьшающие износ инструмента. Активность газа может быть повышена путем его активации различными способами (электрическая, электрохимическая, электромагнитная, магнитная, термическая и механическая активация).

Адсорбция **инертных газов** незначительна, поэтому обработка резанием в среде таких газов, как гелий и аргон, аналогична обработке в вакууме. Эти газы могут применяться только как защитные для материалов, имеющих большое сродство с кислородом и азотом (воздухом). В то же время, если стойкость инструмента обеспечивается окисными пленками, то применение инертных газов снижает ее.

Аэрозоли делятся на *дымы* (дисперсия твердых частиц) и *туманы* (дисперсия жидкостей). Свойства воздушно-жидкостного аэрозоля коренным образом отличаются от свойств как воздуха, так и жидкости из-за своей полидисперсности.

В особых случаях для интенсивного охлаждения зоны резания используют пары сжиженных газов. Практическое применение нашли пары двуокиси углерода, азота, кислорода, воздуха.

КЛАССИФИКАЦИЯ СОТС

В табл. 9 приведена классификация СОТС для обработки металлов, предложенная НПО "МАСМА" (г. Киев). Основные классификационные обозначения дополняются индексацией, указывающей на отсутствие или присутствие присадок (усиливающих смазочные свойства СОТС), уровень легирования присадками, тип и класс присадок.

***Примеры обозначения* СОТС** по классификации НПО "МАСМА":

Э1.ПМ.2.абв. – концентрат водосмешиваемой эмульгирующейся СОТС, образующей в воде грубые дисперсии, активной по отношению к металлам, содержащей 5 ... 10 % (мас.

9. Классификация СОТС НПО "МАСМА" [1]

СОТС	Обозначение	СОТС	Обозначение
Газообразные:	Г	первой 1 – 9 (2, 3, 5, 7, 10)	М1
инертные	Г1	второй 10 – 20 (15, 22)	М2
активные	Г2	третьей > 20 (32, 46, 68, 100)	М3
Жидкие:		Быстроиспаряющиеся	И
водосмешиваемые	В	Расплавы:	Рс
образующие в воде эмульсии:	Э	металлов	Рс1
грубые дисперсии	Э1	солей	Рс2
микроэмульсии	Э2	других веществ	Рс3
дающие прозрачные растворы	Р	Твердые:	Т
на основе:		неорганические (неметаллы)	Т1
органических веществ	Р1	мягкие металлы	Т2
неорганических веществ	Р2	органические	Т3
смеси органических веществ и неорганических веществ	Р3	смешанные	Т4
		другие	Т5
		Пластичные:	П
Масляные:	М	на углеводородных загустителях	П1
группы кинематической вязкости, мм^2/с, при 50 °С (по ИСО):		на мыльных загустителях	П2
		на смешанных загустителях	П3
		на других загустителях	П4

долей) малорастворимых галоид- и жировых добавок;

М3.ПМ.3.абг – неактивная высоковязкая масляная СОТС с высоким содержанием жиров, галоид- и серосодержащих присадок.

Существует международный стандарт ИСО 6743/7 "Смазочные материалы, индустриальные масла и родственные продукты (класс L). Часть 7. Группа М (металлообработка)". В табл. 10 приведено сопоставление систем классификации СОТС по международному стандарту и предложенной НПО "МАСМА".

ПРИМЕНЕНИЕ СОТС ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ

Выбор СОТС зависит от большого числа различных факторов, характеризующих особенности обработки в каждом конкретном случае: *вида операции резания, параметра режима* резания, свойства инструментального и обрабатываемого материала, требования к точности обработки и качеству обработанной поверхности, конструкции станка и других факторов. В общем случае для каждой операции резания должна быть определена

10. Сопоставление систем классификации СОТС для обработки металлов

Международный стандарт ИСО 6743/7		Система классификации, предложенная НПО "МАСМА"				
Категория продуктов	Класс *L*, группа М	Индексация по физико-химической природе и наличию присадок, усиливающих смазочные свойства	Индексация по степени легирования присадками к типу присадок			
			П1 (присадок до 5 %)	П2 (присадок 5 – 10 %)	П3 (присадок 10 – 30 %)	П4 (присадок более 30 %)
Масляные СОТС:						
с антикоррозионными свойствами	MHA	М1.0* М2.0* М3.О*	–	–	–	–
типа МНА с антифрикционными свойствами	MHB	М1.Па М2.Па М3.Па	М1.П1а М2.П1а М4.П1а	М1.П2а М2.П2а М3.П2а	М1.П3а М2.П3а М3.П3а	М1.П4а М2.П4а М3.П4а
типа МНА с противозадирными свойствами (химически неактивная)	MHC	М1.Пбвг М2.Пбвг М3.Пбвг	М1.П1бвг М2.П1бвг М3.П1бвг	М1.П2бвг М2.П2бвг М3.П2бвг	М1.П3бвг М2.П3бвг М3.П3бвг	М1.П4бвг М2.П4бвг М3.П4бвг
типа МНА с протипозадирными свойствами (химически активная)	MHD	М1.Пбвг М2.Пбвг М3.Пбвг	М1.П1бвг М2.П1бвг М3.П1бвг	М1.П2бвг М2.П2бвг М3.П2бвг	М1.П3бвг М2.П3бвг М3.П3бвг	М1.П4бвг М2.П4бвг М3.П4бвг
типа МНВ с противозадирными свойствами (химически неактивная)	MHE	М1.Пабвг М2.Пабвг М3.Пабвг	М1.П1абвг М2.П1абвг М3.П1абвг	М1.П2абвг М2.П2абвг М3.П2абвг	М1.П3абвг М2.П3абвг М3.П3абвг	М1.П4абвг М2.П4абвг М3.П4абвг
типа МНВ с противозадирными свойствами (химически активная)	MHF	М1.Пабвг М2.Пабвг М3.Пабвг	М1.П1абвг М2.П1абвг М3.П1абвг	М1 .П2абвг М2.П2абвг М3.П2абвг	М1.П3абвг М2.П3абвг М3.П3абвг	М1.П4абвг М2.П4абвг М3.П4абвг
смазки пластичные, паста, парафины (в чистом виде или разбавленные маслами типа МНА)	MHG	П (П1, П2 П3, П4)	–	–	–	–
мыла, порошки, твердые смазочные материалы, их смеси (используются неразбавленными)	MHH	Т (Т1, Т2, Т3, Т4, Т5)	–	–	–	–

Продолжение табл. 10

Международный стандарт ИСО 6743/7		Система классификации, предложенная НПО "МАСМА"				
Категория продуктов	Класс *L*, группа М	Индексация по физико-химической природе и наличию присадок, усиливающих смазочные свойства	Индексация по степени легирования присадками к типу присадок			
			П1 (присадок до 5 %)	П2 (присадок 5 – 10 %)	П3 (присадок 10 – 30 %)	П4 (присадок более 30 %)
Водосмешиваемые СОТС:						
концентраты с антикоррозионными свойствами, дающие в воде молочные эмульсии	MAA	Э1.0*	–	–	–	–
концентраты типа МАА с антифрикционными свойствами	MAB	Э1.Па	Э1.П1а	Э1.П2а	Э1.П3а	Э1.П4а
концентраты типа МАА для работы в тяжелых условиях	MAC	Э1.Пбвг	Э1.П1бвг	Э1.П2бвг	Э1.П3бвг	Э1.П4бвг
концентраты типа МАВ для работы при высоких давлениях	MAD	Э1.Пабвг	Э1.П1абвг	Э1.П2абвг	Э1.П3абвг	Э1.П4абвг
концентраты с антикоррозионными свойствами, дающие в воде микроэмульсии	MAE	Э2.О*	–	–	–	–
концентраты типа МАЕ с антифрикционными свойствами и (или) для работы при высоких давлениях	MAF	Э2.Пабвг	Э2.П1абвг	Э2.П2абвг	Э2.П3абвг	Э2.П4абвг
концентраты с антикоррозионными свойствами, дающие в воде прозрачные растворы	MAG	Р.0* (Р1.0, Р2.0, Р3.0)	–	–	–	–
концентраты типа MAG с антифрикционными свойствами и (или) для работы при высоких давлениях	MAH	Р.Пабвг	Р.П1абвг	Р.П2абвг	Р.П3абвг	Р.П4абвг
пластичные смазки и пасты, смешиваемые с водой	MAI	–	–	–	–	–

* Содержат ингибиторы коррозии.

Примечание. Группы вязкости масел по ИСО 3448: М1–2, 3, 5, 7, 10; М2–15, 22; М3–32, 46, 68, 100.

11. СОЖ для обработки металлов резанием

СОЖ	Тип	Изготовитель, разработчики	Область применения
Автокат Ф-78	Эмульсол	МП «Олеокам» г. Набережные Челны, ГНЦ «ЦНИИТМАШ» г. Москва	Лезвийная и абразивная обработка сталей и чугуна
Аквахон	Синтетическая	АО «Ивхимпром» г. Иваново	Высокоскоростное шлифование и хонингование сталей
Асхон	Синтетическая	АО «Ивхимпром» г. Иваново	Лезвийная обработка сталей и жаропрочных сплавов
В-3	Масляная	АО «Пермский завод смазок и СОЖ»	Нарезание резьбы, сверление, развертывание углеродистых, легированных и жаропрочных сталей и цветных металлов
В-3М	Масляная	АО «Пермский завод смазок и СОЖ»	Нарезание резьбы, протягивание, развертывание коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов
Велс-1	Эмульсол	АО «Пермский завод смазок и СОЖ», АО «Ивановский химпром» г. Иваново	Лезвийная и абразивная обработка
В3-1	Масляная присадка	ВНИИНП г. Москва, Московский государственный индустриальный университет (МГИУ)	Лезвийная и абразивная обработка сталей, труднообрабатываемых материалов, цветных металлов
ГСВ-1	Масляная	АО «Ивхимпром» г. Иваново, ГНЦ «ЦНИИТМАШ» г. Москва	Сверление глубоких отверстий
Ивкат	Полусинтетическая	АО «Ивхимпром» г. Иваново, ГНЦ «ЦНИИТМАШ» г. Москва	Лезвийная и абразивная обработка сталей, чугуна, жаропрочных сплавов и алюминия
Карбамол-С-1	Синтетическая	АО «Пермский завод смазок и СОЖ»	Шлифование конструкционных коррозионно-стойких и жаростойких сталей и сплавов
ЛЗ СОЖ 1 МИО, ЛЗ-26МО	Присадки к масляным СОЖ	АО «Завод им. Шаумяна» г. Санкт-Петербург	Лезвийная обработка
Лубрисол Э-90	Полусинтетическая	НПП «Полихим г. Санкт-Петербург»	Лезвийная обработка
МВ-2-031	Масляная	ВНИКТИнефтехимоборудования г. Волгоград	Точение, полирование, шлифование

Продолжение табл. 11

СОЖ	Тип	Изготовитель, разработчики	Область применения
МНШ-9	Масляная	ВНИКТИнефтехимоборудования г. Волгоград	Полирование, суперфиниширование, хонингование
Москвинол	Синтетическая	ВНИИНП г. Москва	Абразивная обработка
МР-10	Масляная СОЖ	АО «Пермский завод смазок и СОЖ»	Силовое шлифование инструментальных сталей (обработка канавок сверл, разверток, метчиков)
МР-1у, МР-7, МР-11	Масляные СОЖ	АО «Ярославский нефтемаслозавод им. Менделеева», АО «Оренбургский нефтеперерабатывающий завод», АО «Авиатехмас» г. Нижний Новгород	Лезвийная обработка
МР-6	Масляная	АО «Пермский завод смазок и СОЖ»	Нарезание резьбы, сверление, развертывание и протягивание коррозионно-стойких, жаропрочных сталей, титановых сплавов и тугоплавких материалов на операциях
МХО-60	Водная	Львовский политехнический институт	Абразивная обработка
НГЛ-205	Эмульсол	АО «Рязанский нефтеперерабатывающий завод»	Абразивная обработка
ОСМ-1	Масляная СОЖ	АО «Пермский завод смазок и СОЖ»	Алмазное хонингование, полирование, суперфиниширование чугунов, углеродистых и низколегированных сталей
Пермол-6	Эмульсол	АО «Пермский завод смазок и СОЖ»	Лезвийная и абразивная обработка труднообрабатываемых сталей и цветных сплавов
Прогресс 13К	Синтетическая	АО «Ивхимпром» г. Иваново, ГНЦ «ЦНИИТМАШ» г. Москва	Лезвийная и абразивная обработка углеродистых и коррозионно-стойких сталей, алюминия и жаропрочных сплавов
РЖ-М, РЖ-3, РЖ-8	Рабочие жидкости	АО «Салаватский нефтеперерабатывающий завод», Ангарская нефтехимическая компания, МП «Олеокам»	Развертывание, хонингование, суперфиниширование, полирование

Продолжение табл. 11

СОЖ	Тип	Изготовитель, разработчики	Область применения
Росойл-1МИО, Росойл-305	Масляная	Росойл, Уфа ХТЦ Уфимского авиационного института	Абразивная обработка
Росойл-503	Эмульсол	Росойл, Уфа ХТЦ Уфимского авиационного института	Лезвийная и абразивная обработка
РС-1	Масляная	ВНИКТИнефтехимоборудования г. Волгоград	Абразивная обработка
Синтол	Синтетическая	АО «Ивхимпром» г. Иваново, ГНЦ «ЦНИИТМАШ» г. Москва	Лезвийная обработка сталей и жаропрочных сплавов
СП-3	Смазка технологическая	АО «Пермский завод смазок и СОЖ»	Токарная обработка алюминиевых сплавов
СП-4	Масляная	АО «Ивхимпром» г. Иваново, ГНЦ «ЦНИИТМАШ» г. Москва	Лезвийная обработка углеродистых и легированных сталей, цветных металлов и сплавов
СП-44	Присадка к маслам	АО «Ивхимпром» г. Иваново, ГНЦ «ЦНИИТМАШ» г. Москва	Лезвийная обработка углеродистых и легированных сталей, в том числе на станках-автоматах
Сувар-3М	Синтетическая	НПП «Теко» г. Чебоксары	Абразивная обработка
Сульфогал	Масляная	АО «Ивхимпром» г. Иваново	Лезвийная обработка
СЦМ-1	Синтетическая	АО «Ивхимпром» г. Иваново, ГНЦ «ЦНИИТМАШ» г. Москва	Лезвийная и абразивная обработка
СЦМ-2	Эмульсол	АО «Ивхимпром» г. Иваново, ГНЦ «ЦНИИТМАШ» г. Москва	Лезвийная и абразивная обработка
Т	Эмульсол	АО «Пермский завод смазок и СОЖ», АО «Ивхимпром»	Лезвийная и абразивная обработка черных и цветных металлов
Тафол	Эмульсол	АО «Ивхимпром» г. Иваново, ГНЦ «ЦНИИТМАШ» г. Москва	Лезвийная и абразивная обработка сталей, чугуна, алюминия и жаропрочных сплавов
Техмол-1	Синтетическая	АО «Пермский завод смазок и СОЖ»	Лезвийная и абразивная обработка конструкционных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей, сплавов на основе титана и алюминия

Продолжение табл. 11

СОЖ	Тип	Изготовитель, разработчики	Область применения
Тосол ОИЗ, Купрол	Синтетическая	АО «Синтез» г. Дзержинск, МП «Олеокам», фирма «Хелп-Трибо» г. Москва	Абразивная обработка
Уверол	Эмульсол	АО «Пермский завод смазок и СОЖ»	Лезвийная и абразивная обработка сталей и цветных сплавов
ЭГТ, Я3-1	Эмульсол	АО Ростовская инженерная компания по смазочным материалам «Рикос», «Фукс-Янос» г. Ярославль, АО «Ивановский химпом»	Лезвийная обработка
Эмолон-1, Эмолон-2	Эмульсол	НПП «Химмотолог» г. Липецк	Лезвийная обработка черных и цветных металлов
Эмулькат	Полусинтетическая	АО «Ивхимпром» г. Иваново	Лезвийная обработка стали и алюминия
Эра М	Водная	АО «РНТЦ проблем безызносности в машинах»	Лезвийная обработка
Эфтол	Синтетическая	АО «Ивхимпром» г. Иваново, ГНЦ «ЦНИИТМАШ» г. Москва	Лезвийная и абразивная обработка чугуна и сталей и жаропрочных сплавов

своя СОТС, что практически невозможно. Поэтому рекомендации, приведенные в табл. 11, по применению СОТС носят более общий характер.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Технологические среды для электроэрозионной обработки (ЭЭО) принято называть рабочими жидкости (РЖ). Они должны удовлетворять следующим требованиям: обеспечивать высокие технологические показатели ЭЭО, иметь термически стабильные физико-химические свойства при воздействии электрических разрядов; иметь низкую коррозионную активность к материалам электрода-инструмента и обрабатываемой заготовки, высокую температуру вспышки и низкую испаряемость, хорошую фильтруемость, отсутствие запаха и низкую токсичность.

При ЭЭО применение получили низкомолекулярные углеводородные жидкости различной вязкости, вода и в незначительной степени кремнийорганические жидкости, а также водные растворы двухатомных спиртов. В табл. 12 даны сведения о рабочих жидкостях, применяемых при ЭЭО.

12. Рабочие жидкости для ЭЭО [11]

Наименование	ГОСТ, ТУ	Рекомендуемая область применения
Керосин	–	ЭЭВ
Масло индустриальное И-12А, И-30А, И-40А	ГОСТ 20799–75	ЭЭОК, ЭЭПр, ЭЭОт
Смесь: керосин-масло индустриальное И-12А в соотношении 1:1	–	ЭЭОК, ЭЭПр, ЭЭОт
Сырье углеводородное	ТУ 38.101845–80 с изм. №1	ЭЭОК, ЭЭПр, ЭЭОт ЭЭВ
Смесь: сырье углеводородное – трансформаторное масло	–	ЭЭВ
Основа для рабочей жидкости ЛЗ-МГ-2	ТУ 38.3012–77	ЭЭОК, ЭЭПр
Трансформаторное масло	ГОСТ 10121–76	ЭЭПр, ЭЭОт
Рабочая жидкость РЖ-3	ТУ 38.101964–83	ЭЭВ
Основа рабочей жидкости РЖ-8	ТУ 38.101883–83	ЭЭОК
Вода	ГОСТ 2874–82	ЭЭВ
Дизельное топливо	ГОСТ 305–82	Маркирование

Обозначения: ЭЭВ – электроэрозионная вырезка, ЭЭПр – электроэрозионная прошивка, ЭЭОт – электроэрозионная отрезка, ЭЭОК – электроэрозионное объемное копирование.

На технологические показатели ЭЭО существенное влияние оказывают вид и состояние рабочей жидкости. На стадии формирования пробоя межэлектродного промежутка сказывается диэлектрическая проницаемость рабочей среды и ее вязкость. На стадии электрического разряда, когда происходит съем металла, важное значение имеют физико-химические свойства рабочей среды. На стадии удаления продуктов эрозии и продуктов распада РЖ из зоны разряда, особое значение имеет вязкость среды. Одновременно с помощью рабочей среды осуществляется охлаждение рабочей зоны и предотвращается оплавление поверхностей электродов.

Для каждого вида ЭЭО применяют рабочие жидкости, обеспечивающие оптимальный режим обработки. На черновых режимах с большой энергией импульса рекомендуется применить РЖ с вязкостью $(5 \ldots 6)10^{-4}$ м^2/с, а на чистовых режимах, когда межэлектродные промежутки малы, – с вязкостью $(1{,}8 \ldots 4)10^{-4}$ м^2/с.

Для проволочных вырезных станков в качестве РЖ применяют дистиллированную техническую воду, а также керосин. Электропроводность на черновых режимах должна быть порядка 0,04 ... 0,05 См/м, а на чистовых - порядка 0,03... 0,04 См/м. Загрязненность РЖ шламом снижает ее электропроводность и увеличивает износ электрод-инструмента.

Если электропроводность РЖ повышается до 0,06 См/м, то производительность ЭЭО на чистовых режимах падает в шесть-десять раз. Поэтому замену РЖ производят при электропроводности 0,05 См/м. Практически замену РЖ при двухсменной работе производят не реже одного раза в месяц.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ СОТС

Производство СОТС заданного состава и свойств – сложный и ответственный процесс, определяющий долговечность и эффективность жидкости в процессе эксплуатации.

Производство масляных СОЖ. Масляные СОТС изготовляют простым смешением компонентов (базового масла и присадок) при заданной температуре до образования однородной смеси. Этот процесс периодический и состоит из следующих стадий: подготовка сырья, смешение компонентов, фильтрация и расфасовка готового продукта.

На машиностроительные предприятия масляные СОЖ часто поступают в готовом виде и технология их приготовления заключается в предварительном перемешивании (для взбалтывания осадка).

Производство водных СОЖ. Наиболее сложна и трудоемка технология приготовления водных СОЖ, включающая водоподготовку, растворение концентратов (для синтетических СОЖ) или диспергирование эмульсолов (для эмульсий).

Технология производства эмульсола состоит из: подготовки сырья, приготовления мыла (эмульгатора), смешения компонентов, фильтрации и расфасовки готовой продукции.

Водоподготовка в общем случае предусматривает деионизацию, дегазацию и обеззараживание технической воды и поддержание определенной температуры воды в период введения компонентов СОЖ. После водоподготовки в базовый растворитель (воду, масло) вводят дозированное количество исходных компонентов и затем их диспергируют или растворяют.

Методы введения компонентов в растворитель разделяются на самопроизвольные и с приложением внешних нагрузок. Самопроизвольное растворение концентратов и эмульсолов применяют крайне редко, так как этот процесс малопроизводителен и не обеспечивает однородности. Для интенсификации приготовления СОЖ используют различные силовые воздействия.

В промышленности используются следующие *способы диспергирования*: механическое перемешивание; акустический способ; гомогенизация; барботирование острым паром и сжатым воздухом; циркуляционный способ; перемешивание неподвижными турбулизаторами; коллоидное измельчение – активация; ударно-импульсный способ. Различные методы перемешивания дают различные размеры и устойчивость капелек эмульсии. (Например, при механическом перемешивании размер частиц – 2 ... 9 мкм, гомогенизации – 1 ... 3 мкм, ультразвуковом перемешивании – менее 1 мкм.)

Приготовление аэрозолей. *Аэрозоли* – неустойчивые среды, поэтому их приготовляют в процессе обработки и в непосредственной близости от зоны обработки. Устройства для приготовления аэрозолей (форсунки, распылители) можно рассматривать и как устройства для подачи аэрозолей в нужном направлении. Основной метод приготовления аэрозолей – распыливание жидкостей механическими, электрическими и пневматическими методами.

При *механическом распылении* жидкость под давлением вытекает из различных форсунок в неподвижную воздушную среду. Механическое (безвоздушное) распыление чаще всего применяют для приготовления смазочно-охлаждающих аэрозолей при обработке металлов давлением.

При *пневматическом распылении* струя или пленка жидкости взаимодействует с воздушным потоком. В результате взаимодействия увеличиваются кинетическая энергия и деформация струи, что приводит к ее распаду на капли. Пневматические распылители получили в машиностроении наибольшее распространение.

При *электрическом способе распыления* жидкости струя помещается в электрическое поле. Под действием поля на поверхности струи возникает специфическое распределение давлений, вследствие чего струя деформируется, теряет устойчивость и распадается на капли.

Аэрозоли могут также приготовляться *комбинированными способами*, например электропневматическим.

Приготовление пластичных и твердых смазочных материалов. Пластичные смазочные материалы обычно поступают на машиностроительное предприятие в готовом виде. Иногда в смазочный материал вводят дополнительные компоненты (графит, мел, дисульфид молибдена и др.) или смешивают различные

смазочные материалы. В этом случае продукты перемешивают механическими смесителями, а затем гомогенизируют. В простейшем варианте *гомогенизации* смазки продавливают через металлическую сетку с определенным размером ячеек. Лучшие результаты обеспечивает перетирка смазочных материалов на валковых машинах.

Твердые смазочные материалы (брикеты, карандаши, бруски) получают путем прессования или экструзии предварительно подготовленной разогретой массы, состоящей из связующего компонента (смолы, воска, твердых жиров и др.) и наполнителя.

Физико-химические свойства СОТС. После приготовления СОТС, а также после транспортировки и во время эксплуатации необходимо проверять ее функциональные и физико-химические свойства. Существует ряд требований, которым должны удовлетворять все СОТС независимо от области их применения. Любая СОТС должна:

1. Не снижать эксплуатационных характеристик деталей, изготовленных при их применении (прежде всего – коррозионную стойкость и прочность).

2. Быть устойчивой при эксплуатации и хранении (бактериологическая стойкость, морозоустойчивость) .

3. Не воспламеняться при температурах, сопровождающих процесс резания.

4. Иметь удовлетворительные санитарно-гигиенические свойства (не оказывать аллергического, дерматического или иного вредного воздействия на организм человека).

5. Не выделять в процессе эксплуатации пену, дым, клейкие вещества, не смешиваться с машинными маслами.

6. Не оказывать окрашивающего, коррозионного и растворяющего действия на узлы и механизмы станка, а также на изоляцию электрооборудования.

8. Обладать легкостью разложения перед сбрасыванием в сточные воды.

Физико-химические свойства СОТС позволяют контролировать качество продукта и оценить результаты применения данной СОТС при резании.

Для оценки качества СОТС используют стандартизованные показатели физико-химической оценки качества, представленные в табл. 13 и 14 и специальные (исследовательские) методы.

Физико-химические свойства, принятые для характеристики **СОЖ**, можно разделить на три группы:

1. Свойства, которые в процессе транспортирования, хранения и эксплуатации почти не изменяются или изменяются незначительно (плотность, вязкость, температура вспышки, температура застывания, содержание активных элементов и др.);

2. Свойства, изменяющиеся в процессе транспортирования, хранения и эксплуатации (цвет, запах, кислотное число, коррозионное воздействие на металлы и др.);

3. Свойства, с помощью которых контролируется чистота продукта (внешний вид, содержание воды и механических примесей, запах).

Часть свойств характеризует физическое состояние СОЖ, а другая часть – их способность к химическим превращениям.

Для контроля функциональных свойств СОТС (смазочных, охлаждающих, моющих и др.) применяют методы, как использующие процесс резания, так и не использующие его. Методы, не использующие процесс резания, основаны на моделировании процессов трения, охлаждения, очистки поверхности и других процессов, определяющих функциональные свойства СОТС. При использовании этих методов экономно расходуются материальные ресурсы, но чаще всего возможно установить лишь качественный уровень, функциональные свойства СОТС. Такие методы целесообразно *использовать на стадии проектирования* СОТС, создания рецептуры.

Методы, использующие процесс резания, основаны на непосредственном измерении влияния СОТС на характеристики процесса резания – силы резания, температуру и др. Эти методы требуют большого расхода обрабатываемого материала, СОТС и времени, однако позволяют точно определять свойства СОТС для конкретных условий обработки. Поэтому их надо применять при определении технологических условий применения СОТС на производстве.

13. Методы физико-химической оценки качества водосмешиваемых СОТС для резания

Показатель качества	ГОСТ на метод определения
Концентрат	
Внешний вид	6243–75*, п. 1
Запах	Органолептически
Вязкость кинематическая при 50 °С	33 – 82
Стабильность при хранении	6243–75*, п. 6
Плотность при 20 °С	3900–85*
Содержание:	
воды	2477–65*
хлора	20242–74 *
Влияние жесткой воды	6243–75*, п. 8
Число:	
кислотное	11362–76*, 6707–76
омыления	21749–76*, 17362–71
Стабильность при низких температурах	6243–75*, п. 5
Рабочие эмульсии и растворы	
Внешний вид	6243–75*, п. 1
Запах	Органолептически
pH	6243–75*, п. 4
Стабильность эмульсии	6243–75*, п. 3
Коррозионная агрессивность	6243–75*, п. 2
Склонность к пенообразованию	Нестандартизован
Микробоустойчивость	9.085–78
Концентрация	Нестандартизован

14. Методы физико-химической оценки качества масляных СОТС для резания

Показатель качества	ГОСТ на метод определения
Внешний вид	6243–75*, п. 1
Запах	Органолептически
Вязкость кинематическая при 50 °С	33 – 82
Стабильность при хранении	6243–75*, п. 6
Плотность при 20 °С	3900–85*
Температура вспышки в открытом тигле	4333–87*
Стабильность при низких температурах	6243–75*, п. 5
Число:	
кислотное	11362–76*
омыления	21749–76*, 17362–71

Продолжение табл. 14

Показатель качества	ГОСТ на метод определения
Содержание:	
серы	1431–85, 3877–88*
хлора	20242–74*
фосфора	9827–75*
воды	2477–65*
механических примесей	6370–83*
Коррозионное воздействие на металлы	2917–76*
Определение смазывающих свойств	9490–75*

ПОДАЧА СОТС В ЗОНУ РЕЗАНИЯ

Известны три системы подачи СОЖ – **индивидуальная, централизованная и групповая.** Централизованная система имеет преимущества при очистке, регенерации, охлаждении, контроле качества и др. Главной трудностью при использовании централизованных систем является необходимость унификации составов СОЖ. Эта трудность может быть решена применением нескольких систем с разными жидкостями. Индивидуальная система позволяет использовать на каждом рабочем месте свою СОТС, но эксплуатация этой системы дороже, чем эксплуатация централизованной системы. Групповая система занимает промежуточное положение между индивидуальной и централизованной системами.

Подача СОТС при лезвийной обработке. Эффективность применения СОТС сильно зависит от способа ее подачи в зону резания. Классификация способов подачи СОТС в зону резания, применяемых в настоящее время, приведены на рис. 2 [9].

На большинстве операций обработки резанием используются жидкие СОТС. Наиболее распространены **семь способов подачи СОЖ** в зону резания, области применения которых приведены в табл. 15:

Способ 1 – **подача свободно падающей струей** (поливом) при давлении 0,02 ... 0,03 МПа – наиболее широкоприменяемый способ подвода СОТС. Он эффективен практически для всех видов обработки и инструментов. Эффективность этого способа зависит от расхода СОЖ, размеров, формы и траектории струи. В зависимости от условий обработки формируют струи круглого (точение, сверление, развертывание и др.) или прямоугольного (фрезерование, зубодолбление, точение и др.) сечения. Для сложных инструментов и многоинструментальной обработки используют многосопельную подачу СОЖ. Могут также использоваться охлажденные СОЖ. Расход СОЖ при поливе колеблется в зависимости от вида операции в пределах 2 ... 30 л/мин.

Способ 2 – **подача под давлением через сопловые насадки** (напорной струей). Этот способ применяется с целью увеличения расхода СОЖ через зону обработки и вымывания из нее стружки. При этом повышение производительности (обработки) может достигать 10 раз. Различают:

– подачу СОЖ высоконапорной струей под давлением не менее 1,5 МПа через сопла с выходным отверстием до 0,8 мм;

– низконапорную подачу под давлением 0,05... 0,2 МПа через сопла с отверстиями диаметром 2 ... 5 мм;

Эффективность подачи СОЖ под давлением значительно выше свободного полива, однако техника ее реализации гораздо сложнее и дороже, особенно при высоких давлениях, когда значительно ужесточается требование к чистоте СОЖ и возрастает разбрызгивание.

Способ 3 – **подача в распыленном состоянии** (в виде струи воздушно-жидкостной смеси) – обеспечивает эффективное охлаждение при весьма малом расходе СОЖ (до 10 г/мин эмульсии и до 0,1 г/мин масла), что снимает необходимость сбора, очистки и разложения отработавшей СОЖ. Для реализации распыления СОЖ станки оснащаются установками для образования воздушно-жидкостной смеси и специальными соплами для формирования струи и направления ее в зону резания.

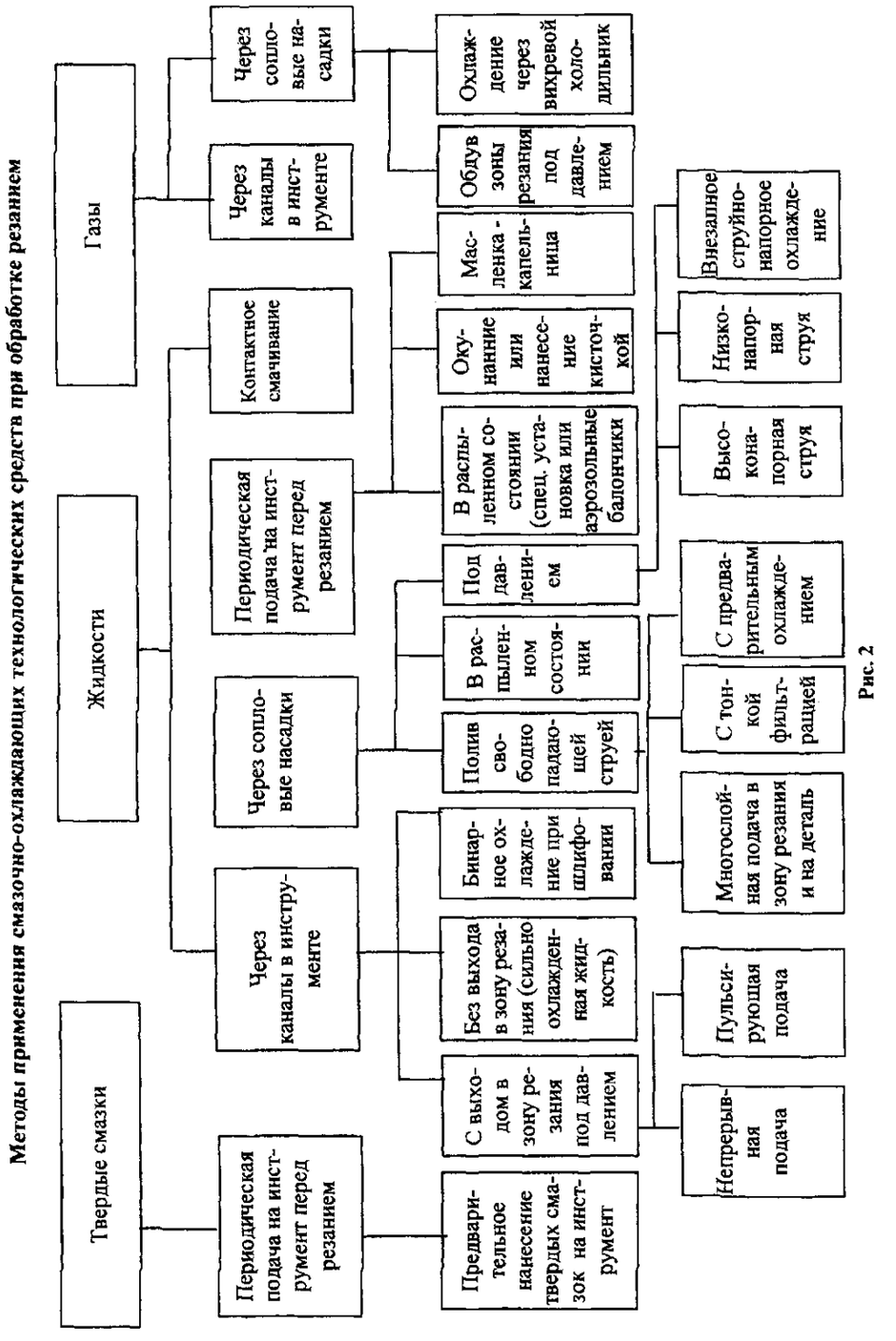


Рис. 2

Способ 4 – **через каналы в инструменте с выходом в зону резания** под давлением. Этот способ обеспечивает не только транспортирование СОЖ в зону резания, но и удаление стружки. Поэтому он получил широкое применение при обработке отверстий сверлами, зенкерами, развертками, протяжками и при нарезании резьбы метчиками. Расход СОЖ – 5 ... 1200 л/мин (при глубоком сверлении). Кроме того, этот способ может быть с успехом применен на станках с автоматической сменой инструмента, когда требуется часто менять направление и место подвода СОЖ.

Способ 5 – **через каналы в инструменте без выхода в зону резания.** При этом способе СОЖ циркулирует внутри тела инструмента, выполняя только одну функцию – охлаждение. Способ применяют на отдельных операциях точения (например, при точении чугуна, когда полив СОЖ приводит к сильному загрязнению рабочего места) или при обработке деталей, контакт которых с технологической средой недопустим. С целью усиления охлаждения температуру циркулирующей жидкости понижают, используя, например рассол $CaCl_2$ (-20 °С).

Способ 6 – **контактное смачивание** и способ 7 – **периодическая подача** на инструмент перед резанием применяются в единичных случаях. Например: при нарезании резьбы метчиками и плашками, и развертывании неглубоких отверстий в единичном и мелкосерийном производстве осуществляют импульсную (перидическую) подачу дозированного количества СОЖ на инструмент перед началом работы. На агрегатных станках порцию СОЖ подают автоматически, на универсальном оборудовании - вручную.

15. Области применения основных способов подачи СОЖ при обработке заготовок лезвийным инструментом [1]

Операция	Способы подачи СОТС		
	Предпочтительные	Применяемые	Редко применяемые
Точение наружных / внутренних поверхностей	1, 2/1	3	4, 5/2, 4, 5
Сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание	4	1,3	2
Глубокое сверление	4,2	–	–
Резьбонарезание метчиками и плашками	4	1	–
Резьбонарезание фрезами	1	3	–
Фрезерование	1	3	2,4
Зубонарезание	1	3	2
Протягивание	2,4	1,3	–

Для **подачи твердых и пластичных смазок** используются следующие способы:

– *насыпание (окунание, намазывание)* на поверхность инструмента или детали порошка. Способ малоэффективен.

– натирание поверхностей специальными брикетами, карандашами, пастами;

– нанесение поверхностных покрытий, содержащих твердую смазку и связующее пленкообразующее вещество (чаще всего эпоксидные смолы) – лучший способ смазывания. Такие покрытия целесообразно наносить распылением суспензии, содержащей твердую смазку, связку, летучий растворитель и отвердитель. После высушивания смеси на поверхности инструмента или заготовки образуется равномерное смазочное покрытие. Главный недостаток перечисленных способов – периодичность смазки;

– импрегнирование (пропитка) абразивного инструмента. Импрегнаторы содержат пластичный или твердый смазочный материал, вещество-связку, растворитель и другие добавки. При таком способе обеспечивается непрерывная доставка смазки к зоне резания.

Подача СОТС при абразивной обработке. Специфика применения СОТС при абразивной обработке связана с особенностями строения абразивных инструментов, кинематическими и режимными факторами. Так, вращающиеся с большими скоростями шлифовальные круги создают мощные окружные и торцевые воздушные потоки, препятствующие доступу СОЖ к зоне резания. Для хонингования, суперфиниширования, притирки и других подобных операций таких проблем нет.

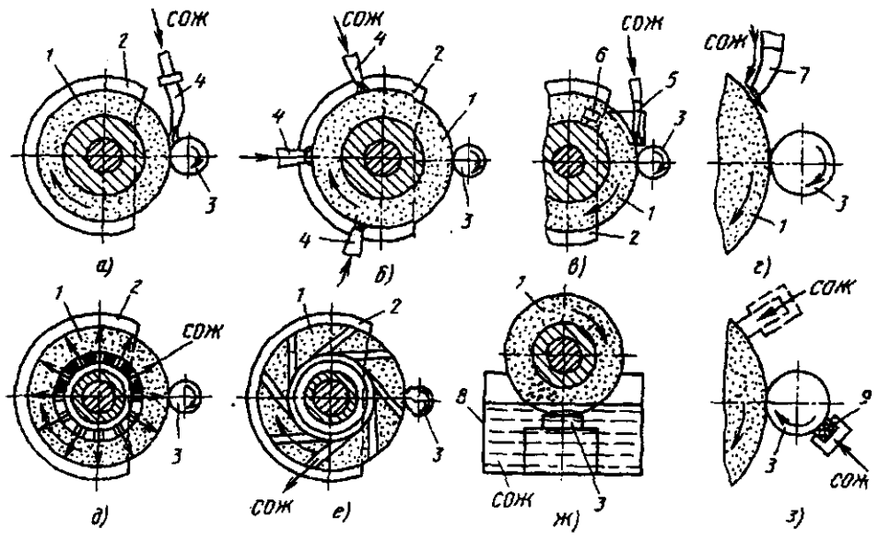


Рис. 3. Схемы основных способов подачи СОЖ при шлифовании:
1 – шлифовальный круг; *2* – кожух; *3* – шлифуемая заготовка; *4* – сопло; *5* – насадок; *6* – торцовый насадок; *7* – волновод; *8* – резервуар; *9* – пористый элемент

К основным способам подачи СОЖ относят следующие:

1. **Подача свободно-падающей струей (полив)** (рис. 3, *а*). Наиболее распространенный способ. Это объясняется лишь простотой его реализации. В настоящее время можно считать оправданным использовать этот способ только в единичном и мелкосерийном производстве, так как в результате действия воздушных потоков, создаваемых вращающимся шлифовальным кругом, большая часть жидкости, подаваемой свободным поливом, практически никакого участия в шлифовании не принимает. Для уменьшения влияния воздушных потоков используют специальные дуговые пластинки, отводящие воздушные потоки от зоны контакта круга с заготовкой.

2. Подача **напорной струей**. Схема подачи напорной струей такая же, что и поливом (рис. 3, *а*), но давление жидкости при этом 1,0 ... 1,5 МПа и более. Рост давления позволяет преодолевать воздушное сопротивление и улучшать проникновение жидкости в зону шлифования. Однако усиливается разбрызгивание, что требует надежной герметизации рабочей зоны станка.

3. Подача СОЖ **распылением** в виде струи воздушно-жидкостной смеси (рис. 3, *б*) при шлифовании применяется редко, т.к. энергия струи и количество жидкости недостаточно для оказания необходимого влияния на процесс шлифования. Этот способ нашел применение на операциях заточки режущего инструмента, шлифования крупногабаритных заготовок, а также на операциях, выполняемых ранее всухую.

4. При **струйно-напорном внезонном** способе подачи СОЖ (рис. 3, *в*) СОЖ подают

под давлением 3 ... 10 МПа и более на поверхность шлифовального круга вне зоны резания через одно или несколько сопел. Струи СОЖ, обладающие большой кинетической энергией, пробивают воздушный поток и с определенной силой воздействуют на рабочую поверхность круга, очищая поры и абразивные зерна от отходов шлифования. При этом на поверхности круга образуются смазочные пленки. Этот способ наиболее эффективен из всех основных способов подачи СОЖ.

5. **Гидроаэродинамический метод.** Сущность гидроаэродинамического метода заключается в использовании воздушных потоков для повышения скорости движения жидкостных потоков относительно рабочей поверхности круга и заготовки (рис. 3, *г*). В специальных насадках воздушный поток, образовавшийся вокруг шлифовального круга, подхватывает и ускоряет поток СОЖ и направляет его на поверхность круга, очищая ее и смачивая, а затем в зону контакта круга с заготовкой. При этом поток СОЖ получает дополнительную энергию, достаточную для преодоления сопротивления воздушных потоков. Этот способ очень похож на высоконапорную подачу, однако не требует особых устройств высоконапорной подачи.

6. Подача СОЖ **с ультразвуковыми колебаниями** (рис. 3, *д*). При этом способе СОЖ поступает в зазор между кругом и волноводом и образует промежуточную среду для передачи ультразвуковых колебаний к поверхности круга, что способствует очистке поверхности круга за счет кавитации и уменьшает засаливание. Данный способ создает условия для достаточно эффективного шлифования даже весьма вязких металлов – меди, алюминия, трудно-обрабатываемых сплавов на никелевой основе и др. Трудность реализации метода состоит в обеспечении точности зазора между волноводом и кругом, особенно при износе круга.

7. Подача **через поры шлифовального круга** (рис. 3, *е*). При этом способе жидкость подводится во внутреннюю полость круга и под действием центробежных сил и небольшого давления проходит через поры на рабочую поверхность. При этом поры круга непрерывно промываются, и хорошо удаляются отходы шлифования. Исключается вредное воздействие воздушных потоков – создаются условия для образования прочных смазочных пленок. При этом способе подачи значительно усиливаются смазывающее и моющее действие СОЖ, но практически отсутствует охлаждающее действие. Кроме этого: для кругов на вулканитовой и бакелитовой связках способ не применим; подача СОЖ происходит неравномерно и случайным образом; требуется высокая степень очистки СОЖ; могут появиться вибрации.

8. Подача СОЖ **через каналы в круге** (рис. 3, *е*) по своим достоинствам совпадает с подачей жидкости через поры круга, но избавлен от таких его недостатков как неравномерность подачи СОЖ и вибрации. Однако способ применяется редко из-за отсутствия кругов с радиальными или наклонными каналами.

9. Шлифование **в среде СОЖ** (рис. 3, *ж*) применяют сравнительно редко, главным образом при ленточном и плоском шлифовании и разрезании небольших заготовок.

10. Подача СОЖ **контактным способом** (рис. 3, *з*) позволяет непрерывно наносить тончайший слой активной смазки путем поджима к шлифуемой поверхности мягкого пористого материала, пропитанного смазкой. Этим способом хорошо наносить дорогие составы (т.к. нет разбрызгивания и других потерь). Основной недостаток этого метода – отсутствие охлаждения, поэтому контактный способ применяют только в сочетании с подачей СОЖ способами 1, 2 и 4.

11. **Поэтапный способ.** При этом способе используются две разные СОЖ. На первых этапах шлифования, когда снимается основной припуск и велико тепловыделение, подается водная СОЖ методом полива. На завершающих этапах, когда формируются показатели качества поверхности, подачу водной СОЖ прекращают и на шлифуемую поверхность наносят тончайший слой масляной СОЖ контактным способом. Этот способ предоставляет возможность полностью реализовать на одной операции технологический потенциал двух различных по составу СОЖ.

12 ... 17. В случае большой напряженности процесса шлифования и высоких требований к качеству деталей применяют различные **комбинированные** способы.

Иногда для доставки СОТС к зоне резания при шлифовании применяют **импрегнирование** шлифовальных кругов, которое позволяет обеспечить непрерывную доставку технологической среды к зоне резания и обеспечивает хорошее смазывание трущихся поверхностей. Однако импрегнирование не позволяет добиться хорошего охлаждения зоны резания, требует специальной технологии изготовления

16. Способы подачи СОЖ при шлифовании и их эффективность

Номер способа	Способ подачи СОЖ	Число одновременно подаваемых СОЖ	Действие СОЖ: смазочные	моющие по отношению к: кругу	моющие по отношению к: заготовке	моющие по отношению к: станку
	Основные способы					
1	*Поливом*	1	Н	Н	Х	Х
2	Напорной струей	1	У	У	В	Х
3	*В распыленном состоянии*	1	Н	Н	Н	Н
4	*Струйно-напорный внезонный*	1	Х	В	Х/В	Х
5	*Гидроаэродинамический*	1	Х	В	Х	Х
6	С ультразвуковыми колебаниями	1	Х	В	У	У
7	Через поры круга	1	В/Х	Н	Н	Н
8	Через каналы в круге	1	В/Х	Н	У/Н	Н
9	В среде СОЖ	1	В	У	У	У
10	Контактный	1	В/Х	Н	У	Н
11	Поэтапный	1*	С/В**	С/Н	С/Н	С/Н
	Комбинированные способы					
12	№1 (№ 2) + № 7 (№ 8)	2; 1	О	У	Х	Х
13	№1 (№ 2) + № 4	1	Х	В	В	В
14	№ 1 + № 6	1	Х	В	Х	Х
15	№1 (№ 2) + № 10	2	О/Х	О	Х	Х
16	№ 4 + № 10	2	О	В	Х	Х
17	№1 (№ 2) + № 5 и др.	1	Х	В/Х	В	В

* Последовательно используются две СОЖ.

** В числителе – на начальных этапах цикла шлифования, и зависимости от способа подачи СОЖ принимает значения Н, У, Х, В; в знаменателе – при выхаживании или на другом завершающем этапе.

Примечание. Обозначение эффективности действия СОЖ: Н – незначительная, У – удовлетворительная, Х – хорошая, В – высокая, О – особо высокая.

17. Области применения способов подачи СОЖ при шлифовании кругами из электрокорундов и карбида кремния

Материал заготовки	Разновидности шлифования				
	Круглое, наружное, плоское периферией круга, бесцентровое	Внутреннее, плоское торцом круга	Резьбошлифование	Отрезание, разрезание	Ленточные
Конструкционные углеродистые стали	1, 5, 4, 17, 13, 2, (11)	1, 2, 3, 4, 13, 12, (11)	13, 2, 5, 17, 4, 12, (11)	2, 1, 9, 13	9, 1, 3
Легированные и высоколегированные стали	5, 1, 9, 4, 13, 2, 12, 15, 14, (11)	13, 2, 12, 1, 4, (11)	13, 2, 4, 5, 17, 1, 12, (11)	2, 13, 1, 9, 17, 4	9, 1, 3
Титан и сплавы на его основе	13, 2, 17, 15, 14, 1, 4, 5, 12, (11)	2, 13, 4, 1, 12, (11)	13, 2, 14, 1, (11)	2, 13, 1, 9, 17	9, 1
Медь, алюминий и сплавы на их основе	5, 17, 13, 14, 15, 1, 2, 4	13, 2, 4, 1 13, 1, 2	13, 2, 14, 1 13, 2, 1	13, 2, 17, 9, 1	9, 1
Чугуны	1, 5, 17, 13, 2, 4, 3			2, 13, 1, 9, 17	9, 1, 3
Стекло, керамика, пластмассы	2, 1, 17, 13, 4 5, 9	2, 1, 13, 9	9, 2, 1, 13	2, 13, 9, 17, 1	–

Примечания: 1. В таблице приведены номера способов (см. табл. 16). Способы подачи СОЖ указаны в порядке убывающей предпочтительности.

2. Поэтапный способ (11) рекомендуется для операций, завершающим этапом является выхаживание или тонкое шлифование.

18. Области применения способов подачи СОЖ при алмазно-эльборном шлифовании

Материал заготовки	Разновидности шлифования			
	Круглое, наружное, внутреннее, плоское периферией круга	Плоское торцом круга	Фасонное (глубинное) резьбошлифование	Отрезание, разрезание
Легированные и высоколегированные стали	13, 2, 15, 14, 1, (11)	13, 2, 1	2, 13, 9, 1, (11)	2, 13, 1, 9
Чугуны	1, 13, 2, 3	13, 1, 2	2, 13, 9, 1	2, 13, 1
Твердые сплавы	1, 2, 13, 3	1, 2, 13, 3	2, 13, 9, 1, 3	13, 2, 1, 3
Стекло, керамика, пластмассы	2, 1, 13, 9	2, 1, 13, 9	–	2, 9, 1, 13

Примечание. См. примечания к табл. 17.

шлифовальных кругов и сужает область применения конкретного импрегни-рованного круга.

Области применения способов подачи СОЖ при шлифовании в зависимости от материала заготовки и их краткая характеристики приведены в табл. 16, 17 и 18 [1, 4].

РЕГЕНЕРАЦИЯ, РЕКУПЕРАЦИЯ, ЗАМЕНА И УТИЛИЗАЦИЯ СОТС

Регенерация СОЖ. В процессе использования при механической обработке металлов СОТС истощаются и теряют свои эксплуатационные свойства. Для полного или частичного восстановления свойств СОТС применяют регенерацию. В промышленности используется только регенерация жидких СОТС.

Регенерацию масляных СОЖ осуществляют **физическими, химическими и комбинированными** методами. Физические методы заключаются в восстановлении отработавших масел отстоем, фильтрацией, центрифугированием. Химические методы заключаются в обработке масляных СОЖ специальными реагентами с целью удаления продуктов старения масла – кислот, смолистых отложений, влаги и др. Комбинированные методы совмещают физическую и химическую обработки.

Для регенерации водных СОЖ проводят их обработку на регенерационных установках. При этом возможно как восстановление рабочих свойств эмульсий, так и разрушение эмульсий с целью извлечения масла, используемого в дальнейшем как эмульсол или утилизируемого другим путем.

Рекуперация СОЖ. До 30 % СОЖ теряется вследствие прилипания к стружке, поэтому целесообразно использовать устройства по извлечению СОЖ из стружки (рекуперации). Экономически целесообразно применять рекуперацию при использовании дорогих СОЖ, при централизованном сборе СОЖ, больших объемах стружки или при повышенных требованиях к стружке со стороны металлургических предприятий. Рекуперация применяется только для жидких СОТС.

Процесс рекуперации состоит из: сбора замасленной стружки; ее измельчения, отделения СОЖ от стружки в сепараторах и регенерации отделенной СОЖ.

Утилизация СОТС. Последней стадией технологического цикла производства и применения СОТС является их утилизация. Твердые, пластичные, газообразные СОТС используются в металлообработке мало и проблема их утилизации не стоит. Поэтому, рассмотрим утилизацию только жидких СОТС – водных и масляных СОЖ.

Утилизируемые масляные СОЖ используются в качестве среды для закалочных ванн, в качестве топлива или смазочного материала. Если утилизация неприменима, то отработанные масла и эмульсолы рекомендуется сжигать.

Главной проблемой утилизации эмульсий является разделение эмульсии на две фазы - воду и масло. Применяют следующие способы разложения эмульсий:

– **физико-химические** способы (реагентные, коагуляционные и флотационные способы переработки эмульсий, окисление и мембранная технология);

– **термические** способы (огневое обезвреживание, упаривание);

– **биохимические** способы (аэробная очистка).

Замена СОТС. Эмульсии являются нестабильными жидкостями, которые подвержены изменениям, ухудшающим их свойства – нарушается однородность, происходит расслаивание, повышается кислотность, изменяется концентрация из-за испарения воды и уноса части СОЖ со стружкой. Основным фактором, определяющим срок службы водной СОЖ является микробиологическое поражение (загнивание). Поэтому смена эмульсии должна производиться:

– при операциях лезвийной обработки – 1 раз в месяц, летом – через 2 недели.

– при абразивной обработке черных металлов при 3-сменной работе с интенсивной загрузкой – 1 раз в неделю, при менее интенсивной нагрузке – через 2 недели.

– при обработке алюминиевых сплавов – через неделю.

Чистые минеральные масла, керосин и их смеси являются стабильными жидкостями и при правильной эксплуатации СОТС можно менять один раз в 3 ... 6 месяцев при лезвийной обработке и 2 ... 3 раза в месяц при абразивной обработке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Смазочно-охлаждающие** технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник / Под ред. С. Г. Энтелиса,

Э. М. Берлинера. М.: Машиностроение, 1995. 496 с.

2. **Резников А. Н.** Теплообмен при резании и охлаждение инструментов. М.: Машгиз, 1963. 200 с.

3. **Бердичевский Е. Г.** Смазочно-охлаждающие средства для обработки материалов: Справочник. М.: Машиностроение. 1984, 224 с.

4. **Худобин Л. В., Бердичевский Е. Г.** Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке. М.: Машиностроение. 1977. 189 с.

5. **Технологические свойства** новых СОЖ для обработки резанием / Под ред. М. И. Клушина. М. Машиностроение. 1979. 192 с.

6. **Малиновский Г. Т.** Масляные смазочно-охлаждающие жидкости для обработки металлов резанием. Свойства и применение. М.: Химия, 1993. 160с.

7. **Курчик Н. Н., Вайнштшток В. В., Шехтер Ю. Н.** Смазочные материалы для обработки металлов резанием (состав, свойства и основы применения). М.: Химия. 1972. 312 с.

8. **Худобин Л. В.** Смазочно-охлаждающие средства, применяемые при шлифовании. М.: Машиностроение. 1971. 214 с.

9. **Применение** смазочно-охлаждающих жидкостей для обработки металлов резанием в станкостроительной и инструментальной промышленности: Руководящие материалы. М.: НИИИнформации по машиностроению. 1971. 175 с.

10. **Латышев В. Н.** Повышение эффективности СОЖ. М.: Машиностроение. 1985. 64 с.

11. **Немилов Е. Ф.** Справочник по электроэрозионной обработке материалов. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. 1984. 164 с.

Глава 6 ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

При изготовлении деталей машин применяют **поверхностное пластическое деформирование (ППД)** – обработку давлением, при которой пластически деформируется только поверхностный слой детали (термины и определения по ГОСТ 18296). В качестве **деформирующих тел (ДТ)** используют ролики, шарики, дробь и т.д., которые взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью по схемам: **качения, скольжения или внедрения** (рис. 1).

По схеме качения или скольжения ДТ прижимается к поверхности детали с фиксированной силой P и перемещается относительно нее, соответственно, с вращением или без него (рис. 1, *а* и *б*). В зоне локального контакта ДТ с обрабатываемой поверхностью возникает **очаг пластической деформации (далее очаг деформации – ОД)**, который перемещается вместе с инструментом, благодаря чему поверхностный слой детали последовательно деформируется на глубину h. Размеры ОД и интенсивность пластической деформации, возникающей в ОД, зависят от технологических факторов обработки – силы P, формы и размеров ДТ, подачи, твердости обрабатываемого материала и др.

Характерным признаком методов ППД, основанных на схемах качения и внедрения, является стабильность формы и размеры ОД, а следовательно, и сил обработки в стационарной фазе процесса. Поэтому они относятся к методам **статического ППД**.

По схеме внедрения ДТ наносят удары (см. рис. 1, *в*) перпендикулярно или под некоторым углом к профилю поверхности.

Многочисленные удары, осуществляемые по заданной программе или хаотично, оставляют на детали большое число локальных пластических отпечатков, которые в результате покрывают всю поверхность. Размеры ОД зависят от материала детали, размеров и формы ДТ, энергии удара по поверхности, времени обработки. Методы ППД, работающие по схеме внедрения, относятся к **ударному ППД** (термин по ГОСТ 18296).

Цель обработки ППД – уменьшение шероховатости поверхности **(сглаживание)**, деформационное упрочнение и изменение структуры материала поверхностного слоя, создание в нем сжимающих остаточных напряжений **(упрочняющее ППД)**, образование определенной макро- и (или) микрогеометрической формы **(поверхностное пластическое формообразование)**, изменение размеров заготовки до допустимых **(калибрующее ППД)**. Обработке ППД подвергаются детали практически любых размеров, изготовленные из стали, чугуна, цветных сплавов и других материалов, способных пластически деформироваться.

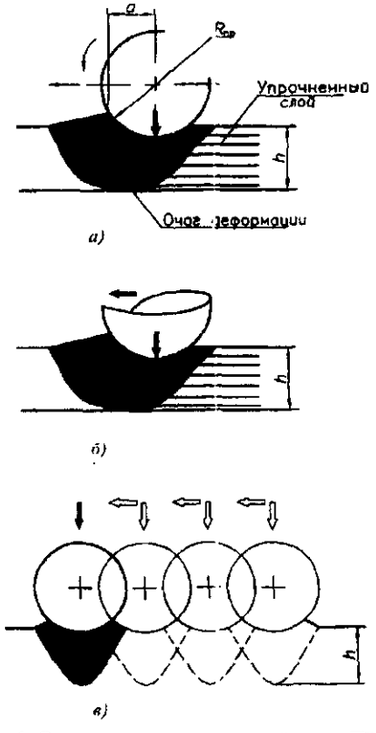


Рис. 1. Основные схемы взаимодействия ДТ с обрабатываемой поверхностью:
а – качение; *б* – скольжение; *в* – внедрение

При обработке деталей все перечисленные выше изменения состояния металла зависят от метода обработки ППД.

К статическим методам относят: накатывание (упрочняющее, сглаживающее, формообразующее, калибрующее), выглаживание, калибрование (синонимы-дорнование, деформирующее протягивание), поверхностные редуцирование.

К ударным методам – обработка дробью, вибрационная ударная обработка, ударно-барабанная обработка (*галтовка*), импульсная обработка (*чеканка*), центробежно-ударная обработка, обработка механической щеткой и др. Разновидностью ударных методов ППД является *ударное накатывание*.

Обработка ППД является эффективным методом получения поверхностей с регулярным микрорельефом, существенно улучшающим эксплуатационные свойства поверхностей, которые во многом зависят от микрогеометрических параметров поверхности. Классификация, параметры и характеристика таких поверхностей даны в ГОСТ 24773–81 (в ред. 1987 г.).

ОБКАТЫВАНИЕ И РАСКАТЫВАНИЕ

В соответствии с ГОСТ 18296 поверхностное пластическое деформирование при качении инструмента по поверхности деформируемого материала называется **накатыванием**. В свою очередь накатывание подразделяется на **обкатывание** и **раскатывание**, в зависимости от того, какие поверхности обрабатываются: выпуклые (валы, галтели), плоские или вогнутые (например, отверстия).

Сущность процесса и схемы обработки. Накатывание осуществляют роликами и шариками.

Сочетанием вращательного и поступательного перемещений детали и деформирующих элементов методами обкатывания и раскатывания обрабатывают плоские, цилиндрические, переходные поверхности, фасонные поверхности и канавки (рис. 2).

В табл. 1 приведены способы обкатывания переходных поверхностей. При обкатывании наклонными и клиновыми роликами не требуется больших усилий, так как деформация на обрабатываемом участке происходит постепенно, при весьма малой мгновенной площади контакта. Однако такие ролики сложны в изготовлении. Обкатывание с подачами по хорде и вдоль оси вала происходит при неодинаковых условиях нагружения по длине хода. Поэтому обработку следует проводить так, чтобы наибольшее упрочнение металла происходило в зоне концентрации эксплуатационных напряжений. В этом случае эффективным является применение станков с ЧПУ.

Инструмент и приспособления. В условиях единичного и мелкосерийного производства крупных жестких деталей широко применяют однороликовые приспособления с упругими элементами (рис. 3, табл. 2). Наличие упругого элемента обеспечивает постоянное усилие обкатывания в любой точке обрабатываемой поверхности.

Приспособление состоит из ролика *1*, роликовой головки *2*, державки с нагрузочным устройством и упругим элементом (пружиной) *4*.

Перед выполнением операции осуществляют предварительную затяжку рабочей пружины, сжимая ее с помощью резьбового элемента *6*. Силу сжатия контролируют по шкале, нанесенной на державке. Затем, перемещая суппорт в поперечном направлении, ролик подводят до соприкосновения с поверхностью детали. При силе обкатывания до 5000 Н рабочая сила создается дальнейшим смещением суппорта. В рабочем положении между торцом гайки *6* и торцом державки *3* (рис. 3, *а*) или винта *5* (рис. 3, *б*) должен быть зазор 1 – 2 мм. При усилии обкатывания более 5000 Н нагружение проводится специальным механизмом приспособления: вращая винт *5*, включают или выключают рабочую нагрузку (рис. 3, *б* и *в*). Для облегчения настройки приспособления на рабочее усилие под торцы элементов *6* установлены упорные подшипники, а в приспособлении с усилием до 40000 Н для этих же целей предусмотрен рычажный механизм.

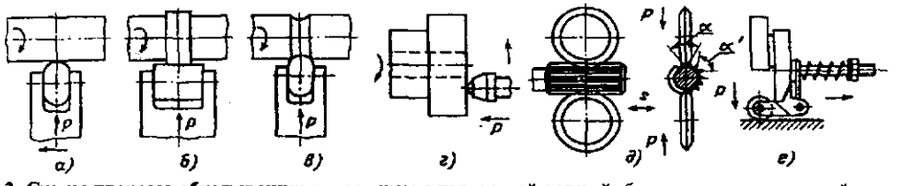
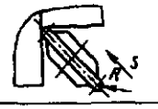
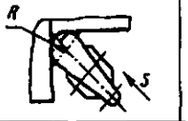
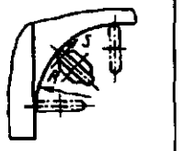
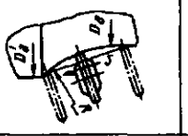
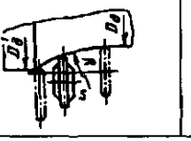


Рис. 2. Схемы процесса обкатывания: *а* – роликом с продольной подачей; *б* – роликом с поперечной подачей; *в* – фасонным роликом с поперечной подачей; *г* – торцовой поверхности шариком; *д* – роликами поверхности шлицев ($\alpha > \alpha'$); *е* – плоской поверхности роликом

Приспособления крепят в резцедержателе токарного или карусельного станка. При этом ось ролика должна находиться в одной плоскости с осью детали. Необходимо также обеспечивать правильное угловое положение ролика. На рис. 4 показаны схемы установки приспособлений на токарном станке. Для крепления приспособления в резцедержателе корпус *1*

1. Способы обкатывания переходных поверхностей

Продолжение табл. 1

Способ обкатывания	Схема обработки	Радиус переходной поверхности R, мм
Роликом		До 5
Шариком		До 10
Наклонным роликом		До 15
Клиновым роликом		До 25
Роликом с подачей по дуге образующей переходной поверхности		Св. 50
Роликом с подачей по хорде		Св. 2,5 ($D'_д - D_д$)
Роликом с подачей по оси вала		Св. 4 ($D'_д - D_д$)

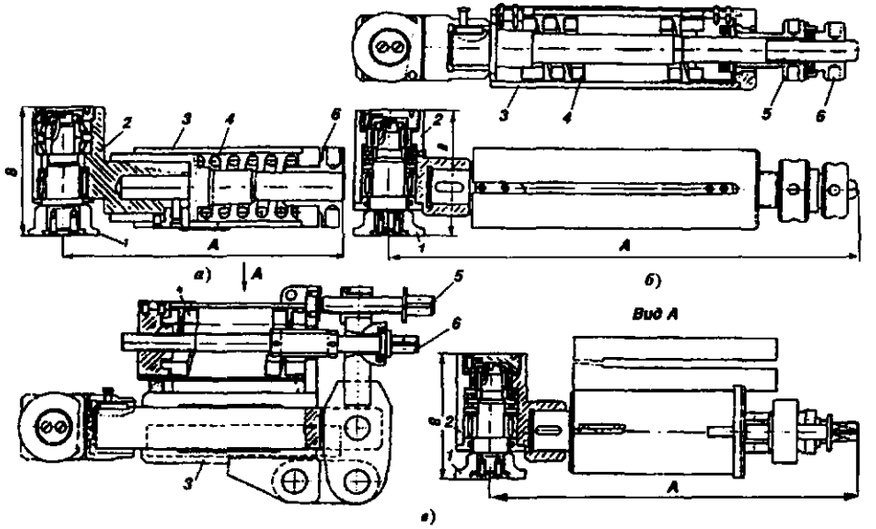


Рис. 3. Однороликовые приспособления с наибольшим усилием обкатывания, Н: *а* – 2500 – 5000; *б* – 10 000; *в* – 40 000

2. Основные размеры универсальных однороликовых приспособлений для упрочняющей обработки поверхностей

Тип приспособления	ГОСТ		Наибольшая сила обкатывания, Н	Высота центров станка, мм, не менее	Основные размеры, мм (обозначения см. на рис. 3 и 4)				Рисунок
	на державку	на роликовую головку			*A*	*B*	*H*	*c*	
I	16339 – 70	16342 – 70	2500 5000	200	219 245	87 112	110 120	20 25	3, *а*
II	16340 – 70	16343 – 70	10 000 20 000	300 500	549 648	136 187	135 150	30 36	3, *б*
III	16341 – 70		40 000	600	450	238	330	40	3, *в*

Примечание. Типы и технические требования к приспособлениям устанавливает ГОСТ 16345 – 70.

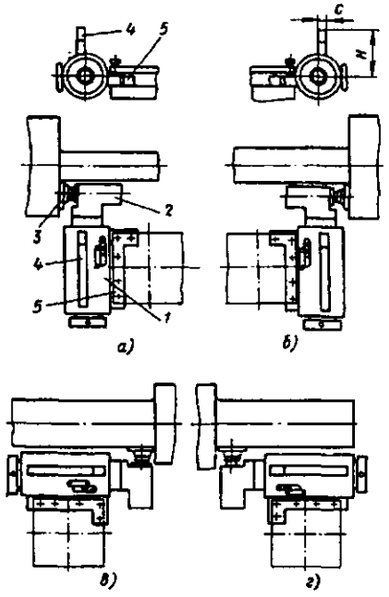


Рис. 4. Схемы установки однороликовых приспособлений для обкатывания поверхностей на токарном станке

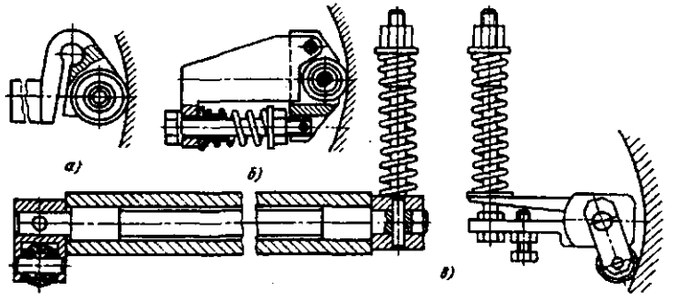


Рис. 5. Однороликовые приспособления для раскатывания отверстий: *а* – с пружинящим корпусом; *б* – с роликом, установленным на рычаге; *в* – с роликом, установленным на рычаге с пружиной, вынесенной из зоны обработки

приспособления имеет два угольника *4* и *5*, расположенных под углом 90° друг к другу. Пользуясь одним из этих угольников и повернув ролик *3* вместе с роликовой головкой *2* в корпусе приспособления (см. рис. 3), устанавливают приспособление для обкатывания шеек вала с подачами влево (рис. 4, *а*) и вправо (рис. 4, *б*) или для обкатывания торцовых поверхностей, расположенных справа (рис. 4, *в*) и слева (рис. 4, *г*) от ролика.

Приспособления с одним роликом применяют также при обработке отверстий большого диаметра и переходных поверхностей. Приспособления (рис. 5) крепят в расточной державке вместо резца. Упругий элемент – пружинный корпус державки (рис. 5, *а*) или пружины (рис. 5, *б* и *в*) позволяет проводить обработку с постоянным усилием обкатывания. Для уменьшения усилия пружины в конструкцию введен рычаг.

Ось вращения роликов в приспособлениях для обкатки переходных поверхностей (рис. 6, *а* и *б*) наклонена под углом 45° к оси детали. Корпус приспособления *1* крепится в резцедержателе токарного станка. Ролик *2* смонтирован на оси в головке-рычаге *3*, усилие обкатывания создается пружиной *4*. В конструкции,

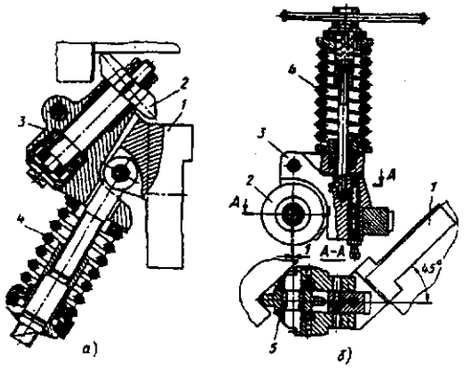


Рис. 6. Однороликовые приспособления для обкатывания переходных поверхностей: *а* – наклонным роликом; *б* – клиновым роликом

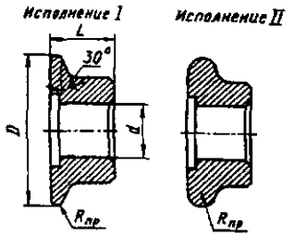
показанной на рис. 6, *б*, предусмотрен самоустанавливающийся ролик, положение которого в осевом направлении регулируется за счет деформации резиновых прокладок *5*. Для обеспечения контакта ролика с переходной поверхностью профиль ролика располагают эксцентрично относительно оси вращения.

Однороликовые приспособления просты и универсальны, но требуют значительного рабочего усилия, которое полностью воспринимается узлами станка.

Применение в качестве деформирующего элемента шарика (рис. 7) позволяет вести обработку с меньшим усилием обкатывания, однако по производительности обработка шариком уступает обкатыванию роликом.

Для разгрузки узлов станка от односторонне приложенного усилия и обработки нежестких деталей обкатывание целесообразно проводить инструментами с несколькими деформирующими элементами. Трехроликовое приспособление (рис. 8) крепят в суппорте станка.

3. Основные размеры (мм) роликов для упрочняющей обкатки поверхностей (по ГОСТ 16344)



Сила обкатывания, Н	*D*	$R_{пр}$ для исполнения		*d*	*L*
		I	II		
2500	50	0,8 – 3,0	4,0	20	19
5000	65	1,0 – 5,0	6,0; 8,0	28	27
10 000	80	1,6 – 6,0	8,0 – 12,0	30	30
20 000	115	2,0 – 8,0	10,0; 12,0	55	50
40 000	155	3,0 – 10,0	12,0; 16,0	75	70

Примечания. 1. Торцовое биение ролика на диаметре *D* относительно посадочного отверстия должно соответствовать IX степени точности по ГОСТ 24643.

2. Размер $R_{пр}$ выбирают для заданного диапазона из ряда: 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0;5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0.

3. Материал роликов – сталь ШХ 15, твердость *HRC* 63 – 65.

4. Шероховатость поверхности рабочего профиля $Ra = 0{,}16 \ldots 0{,}32$.

Державка *2* с роликами *3* шарнирно соединена с корпусом *1*, поэтому биение поверхности вала не сказывается на обработке.

Многороликовые раскатки с упругими элементами, предназначенные для обработки отверстий больших диаметров, показаны на рис. 9.

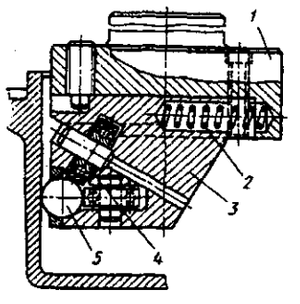
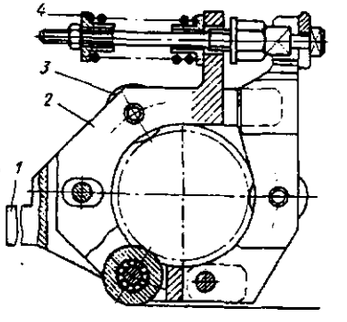


Рис. 7. Шариковая копирующая раскатка для обработки отверстий в чугунном тормозном барабане: *1* – корпус; *2* – пружина; *3* – подвижная державка; *4* – опорный подшипник; *5* – шарик

←

→

Рис. 8. Трехроликовое приспособление для обкатывания нежестких валов: *1* – корпус; *2* – плавающая державка; *3* – ролик; *4* - пружина



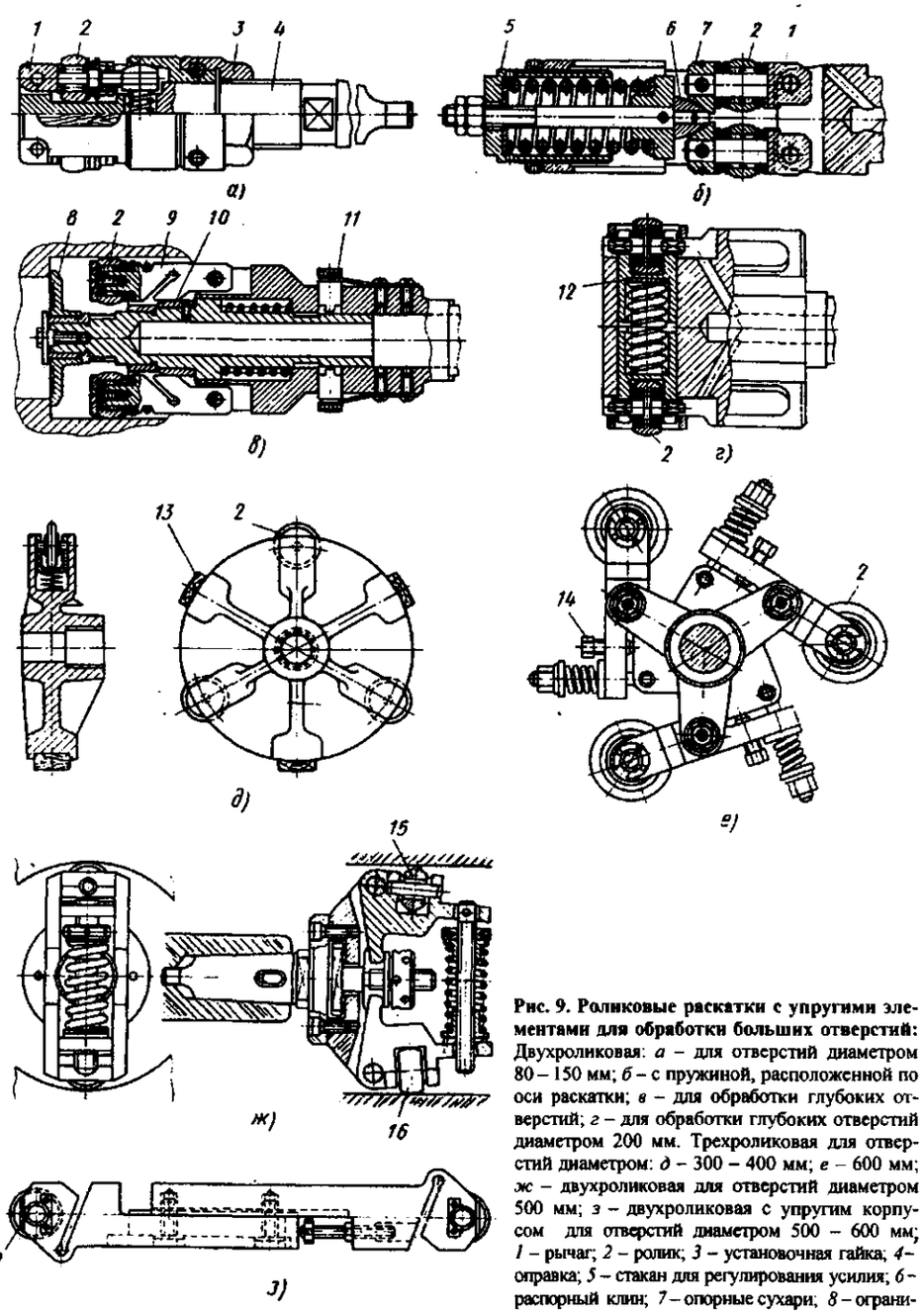


Рис. 9. Роликовые раскатки с упругими элементами для обработки больших отверстий: Двухроликовая: *а* – для отверстий диаметром 80 – 150 мм; *б* – с пружиной, расположенной по оси раскатки; *в* – для обработки глубоких отверстий; *г* – для обработки глубоких отверстий диаметром 200 мм. Трехроликовая для отверстий диаметром: *д* – 300 – 400 мм; *е* – 600 мм; *ж* – двухроликовая для отверстий диаметром 500 мм; *з* – двухроликовая с упругим корпусом для отверстий диаметром 500 – 600 мм; *1* – рычаг; *2* – ролик; *3* – установочная гайка; *4* – оправка; *5* – стакан для регулирования усилия; *6* – распорный клин; *7* – опорные сухари; *8* – ограничитель длины; *9* – упругий рычаг; *10* – прокладка для регулирования размера; *11* – стопор; *12* – прокладка для регулирования усилия; *13* – направляющие колодки; *14* – регулировочный винт; *15* – ролик для упрочнения; *16* – ролик для сглаживания поверхности

У двухроликовых раскаток рабочее усилие создается пружиной, регулирование которой проводится смещением втулки с конической выточкой (рис. 9, *а*), смещением конуса (рис. 9, *б*) или установкой прокладок. Диаметральный размер раскаток, показанных на рис. 9, *в*, *г* и *д*, регулируют с помощью прокладок, устанавливаемых под пружины.

У трехроликовой раскатки (рис. 9, *е*) ролики смещены по оси относительно друг друга на 1,5 мм, что обеспечивает лучшее качество обработки. Для этой же цели у раскатки (рис. 9, *ж*) установлено два ролика с разными радиусами профиля. Ролик с малым радиусом профиля установлен несколько впереди сглаживающего ролика. Плавающая двухроликовая раскатка, выполненная по типу плавающей развертки, показана на рис. 9, *з*.

Раскатывание глубоких отверстий выполняют на токарных станках или на станках для глубокого сверления. Для разгрузки роликов от силы тяжести раскаток и борштанг на раскатках монтируют деревянные, резиновые, пластмассовые направляющие. Рабочий профиль деформирующих роликов для упрочняющей обработки имеет форму тора (табл. 3) с радиусом профиля $R_{пр}$ = 0,8 ... 16,0 мм.

При высоких требованиях к шероховатости обработанной поверхности применяют ролики с рабочим профилем в виде тора ($R_{пр}$ = = 5 ... 200 мм; D = 40 ... 200 мм) и ролики с цилиндрическим пояском.

Производительность процесса раскатывания или обкатывания определяется $R_{пр}$ ролика. Ролики с большим радиусом профиля позволяют вести обработку с большой подачей (до 2,5 мм/об), однако в этом случае для получения высокого качества поверхности необходимо создавать большие рабочие силы. От значения допустимой рабочей силы зависят параметры ролика.

Ролики с цилиндрическим пояском позволяют работать с большой подачей. Чем больше ширина цилиндрического пояска, тем больше может быть подача. При обработке массивных деталей на крупных станках цилиндрический поясок следует делать более широким (более 12 – 15 мм), так как обработать такие детали на большой частоте вращения довольно сложно, а большая подача может быть применена с успехом.

Для обработки деталей меньшей жесткости, когда усилие обкатывания не должно быть большим, применяют ролики с пояском шириной 2 – 5 мм. Установка роликов с цилиндрическим пояском на станках затруднительна. Для обеспечения их правильного положения применяют специальные приспособления с самоустанавливающимися устройствами. Ширина цилиндрического пояска в этом случае равна 15 – 40 мм, подача – 5 – 15 мм/об.

Ролики изготовляют из сталей: .легированных ЩХ15, ХВГ, 9Х, 5ХНМ, углеродистых инструментальных У10А, У12А, быстрорежущих Р6М5, Р9, твердого сплава ВК8. Твердость рабочей поверхности роликов из сталей 62 ... 65 HRC.

Для обработки наружных и внутренних цилиндрических и конических поверхностей диаметром до 150 – 200 мм широко применяют многоэлементные инструменты (обкатки и раскатки) с установленными на заданный размер свободными роликами или шариками.

При обкатывании или раскатывании точно обработанных поверхностей используют жесткие инструменты (рис. 10, табл. 4).

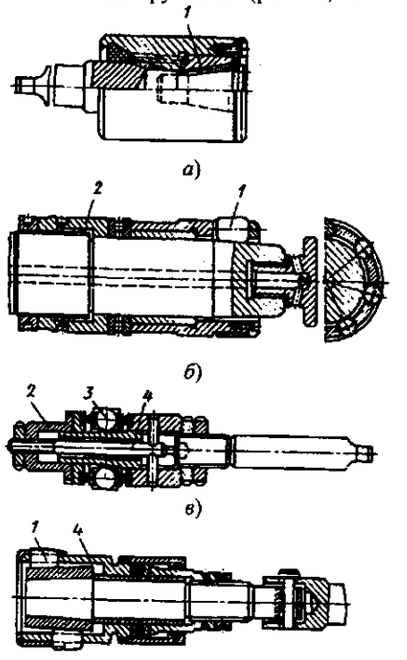
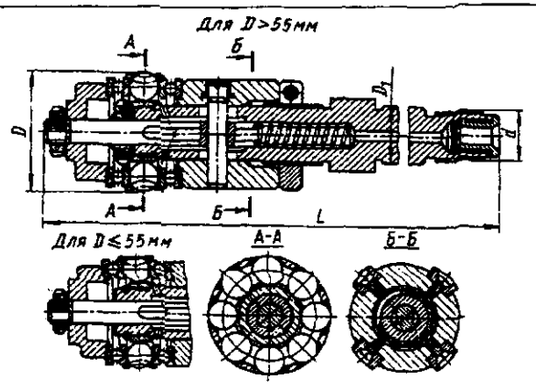


Рис. 10. Многоэлементные инструменты для обкатывания и раскатывания: *а* – многороликовая обкатка для обработки хвостовика; *б* –жесткая роликовая раскатка для отверстий диаметром 50 – 150 мм; *в* – то же, шариковая; *г* – двухрядная роликовая раскатка для отверстий диаметром до 80 мм: *1* – ролики; *2* – установочная гайка; 3 - шарики; *4* – сепаратор

4. Жесткие многошариковые раскатки (по ГОСТ 17573 и ГОСТ 17574)

Размеры, мм



D	Диаметры шариков	Число шариков	Пределы регулирования диаметра раскатки	L	D_1	d
40	10,319	6	0,14	180	22	Tr20 × 8(P4)
45	11,113			185		
50		8	0,17	210	30	Tr28 × 10(P5)
55	13,494					
60	14,288		0,21	245		
65	15,875					
70; 75			0,24	275	40	Tr36 × 12(P6)
80	19,050		0,28	290		
85				295		
90; 95	22,225		0,35	310		
100			0,38	315	70	Tr65 × 20(P10)
105				360		
110		10	0,42	370		
120				375		
125	25,400			380		
140; 160; 180	31,750	10	0,45	400 415	70	Tr65 × 20(P10)
200		12	0,52	415		
220	38,100			420		
250; 280	44,450			450		
300						

Примечания: 1. При раскатке разноразмерность шариков не должна быть более 2 мкм. 2. Опорную конусную втулку изготовляют из стали ШХ15 твердостью 61 ... 64 HRC.

Такие инструменты позволяют получать поверхности с высокой точностью размеров и геометрической формы. Но из-за погрешности предшествующей обработки пластическая деформация поверхностного слоя оказывается неравномерной. Основной размер (по роликам или шарикам) жестких инструментов регулируют перемещением деформирующих элементов в осевом направлении по опорному конусу.

Многоэлементные инструменты с упругими элементами (пружинящие) обеспечивают постоянное усилие контакта деформирующих элементов и обрабатываемой поверхности. Такие инструменты почти не уменьшают погрешности предшествующей обработки и являются копирующими. На рис. 11 показаны пружинящие двухшариковые раскатки. В регулируемой раскатке для обработки отверстий с диаметрами 130 – 400 мм (рис. 11, *а*) шарики во избежание заклинивания опираются на шарикоподшипники. В раскатке меньшего диаметра (рис. 11, *б*) опорой для шариков служат вставки из фторопласта.

Двухрядные инструменты позволяют обрабатывать поверхности за два перехода: предварительный и чистовой. За счет этого достигается более высокое качество обработки. У шестишариковой двухрядной раскатки (рис. 12) опорные конусы находятся под воздействием пружин, причем пружина шариков второго ряда сильнее пружины шариков первого ряда.

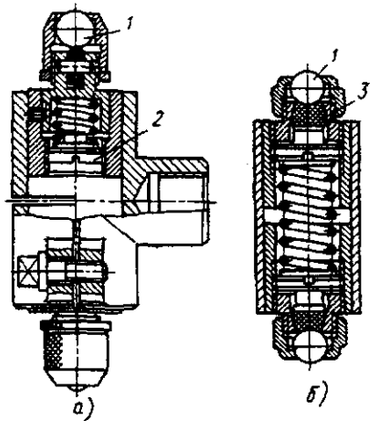


Рис. 11. Шариковые раскатки с опорой элементов (шариков): *а* – на подшипники; *б* – на вставки из фторопласта; *1* – шарик; *2* – регулировочный винт; *3* – вставки из фторопласта

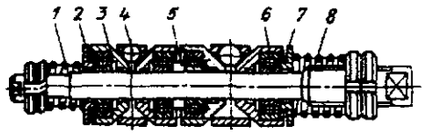


Рис. 12. Двухрядная шариковая раскатка для отверстий диаметром до 50 мм: *1* – пружина первого ряда; *2* и *7* – шайбы; *3* и *6* – конусы первого и второго рядов; *4* – шарики; *5* – кольцо; *8* – пружина второго ряда

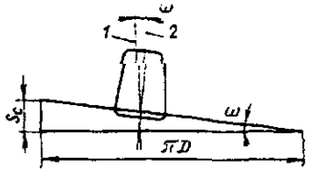


Рис. 13. Схема установки ролика в инструменте: *1* – ось инструмента; *2* – ось ролика

При конструировании многороликовых инструментов предусматривают установку роликов относительно оси вращения раскатки под углом ω = 0°20′... 1°30′ (рис. 13). В этом случае ролик перемещается по винтовой линии с углом подъема ω, обеспечивая самоподачу инструмента (мм/об) $S_c = \pi D \operatorname{tg} \omega$. При работе на самоподаче уменьшаются проскальзывание роликов и их износ. Самоподача трудноосуществима для тяжелых крупногабаритных инструментов. В этом случае применяют подачу от механизма.

В многоэлементных инструментах часто используют ролики от подшипников с обработкой заборного конуса (угол конуса 2φ = = 5 ...15°) или тора ($R_{пр}$ = 0,2 ... 5,0 мм). Углы опорного конуса и ролика подбирают так, чтобы обеспечивался определенный задний угол α между образующими ролика и детали. В этом случае пятно контакта имеет каплевидную форму. Принимают для деталей из стали α = 0°30′, для деталей из чугуна α = 1° ... 1°30′. Материал роликов и опорного конуса: сталь ШХ15, Р18, Р9, ХВГ. Твердость рабочей поверхности 60 ... 65 HRC.

На рис. 14 приведена раскатка ударного (импульсного) действия. Сепаратор с роликами надевается на оправку, на которой лыски сняты так, что в поперечном сечении равномерно чередуются дуги окружности и хорды. При работе каждый ролик в момент перехода с хорды на дугу наносит по обрабатываемой поверхности удар и одновременно перекатывается по ней.

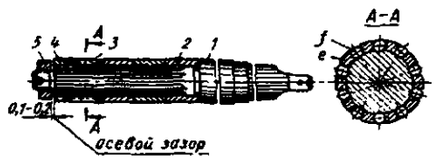


Рис. 14. Раскатка ударного действия для отверстий диаметром до 30 мм: *1* – корпус оправки; *2* – промежуточное кольцо; *3* – ролики; *4* – сепаратор; *5* – гайка

В результате такой обработки шероховатость поверхности деталей из стали, чугуна и цветных металлов снижается. Перед раскатыванием такими раскатками отверстия обрабатывают тонким растачиванием или развертыванием с допуском на диаметры 0,01 мм и шероховатостью поверхности до *Ra* 0,8. Припуск на обработку не должен превышать 0,02 … … 0,03 мм на диаметр.

При изготовлении раскатки ее детали обрабатывают с точностью по 5-му квалитету и шероховатостью поверхности *Ra* = 0,2 …0,4 мкм. Радиальное биение собранной раскатки по роликам при проверке на центрах не должно превышать 8 … 10 мкм. Рабочие поверхности оправки, сепаратора и роликов закаливают до твердости 62 …64 HRC. При износе оправки ролики переставляют по оси на неизношенный участок за счет перестановки колец.

Точность обработки. Изменение размера поверхности при обкатывании и раскатывании связано со смятием микронеровностей и пластической объемной деформацией детали. Таким образом, точность обработанной детали будет зависеть от ее конструкции и конструкции инструмента, режимов обработки, а также от точности размеров, формы и качества поверхности детали, полученных при обработке на предшествующем переходе.

При обработке копирующими инструментами жестких деталей изменение их размеров вызвано уменьшением микронеровностей на поверхностях. Величина изменения размера зависит от состояния исходной поверхности (табл. 5). При этом точность размеров существенно не меняется. Процесс обработки жестким инструментом характеризуется небольшими натягами и поэтому также сопровождается незначительными изменениями размеров. При обкатывании и раскатывании тонкостенных деталей точность их размеров можно повысить на 10 … 20 %, а отклонение формы при этом составит 10 … 30 мкм.

Неблагоприятные условия обработки детали вблизи торцов приводят к увеличенной пластической деформации детали на участках длиной 3 … 15 мм. При высоких требованиях к точности следует проводить обработку с малыми усилиями, устанавливать предохранительные шайбы и т.п.

Наиболее целесообразно обкатыванием и раскатыванием обрабатывать исходные поверхности 7 – 11-го квалитетов инструментами жесткого копирующего типа и поверхности 5 – 7-го квалитетов ударными инструментами.

Шероховатость поверхности. При ППД практически достигаются параметры шероховатости обрабатываемой поверхности *Ra* = = 0,2 … 0,8 мкм при исходных значениях этих параметров 0,8 … 6,3 мкм. Степень уменьшения шероховатости поверхности зависит от материала, рабочего усилия или натяга, подачи, исходной шероховатости, конструкции инструмента и т.д.

Режимы обработки. Обкатывание и раскатывание следует проводить так, чтобы заданные результаты достигались за один проход. Не следует использовать обратный ход в качестве рабочего хода, так как повторные проходы в противоположных направлениях могут привести к излишнему деформированию поверхностного слоя. Кроме того, рабочий профиль роликов обычно предназначен для работы только в одну сторону.

Скорость не оказывает заметного влияния на результаты обработки и выбирается с учетом требуемой производительности, конструктивных особенностей детали и оборудования. Обычно скорость составляет 30 – 150 м/мин.

5. Измерение размеров поверхностей изделия при обкатывании и раскатывании в зависимости от шероховатости исходной поверхности

Способ предварительной обработки	Шероховатость *Ra*, мкм	Величина, на которую изменяется размер после обработки, мм
Точение	6,3 3,2 1,6	0,03-0,06 0,02-0,04 0,01-0,02
Точение широким резцом	3,2 1,6	0,01-0,02 До 0,01
Шлифование	3,2 1,6	0,01-0,03 0,005-0,015

Основным технологическим фактором обкатывания является радиальная сила. Выбор этой силы зависит от сопротивления деформации материала детали, размеров деформирующих элементов, диаметра упрочняемой поверхности и др., а также от заданных значений шероховатости, глубины и степени упрочнения, величины остаточных напряжений, обеспечивающих требуемое повышения долговечности. Общие закономерности влияния силы на параметры качества поверхностного слоя показаны на рис. 15, где можно выделить три зоны: интенсивного упрочнения I, стабилизации параметров упрочнения II и разрушения поверхностного слоя (перенаклепа) III. Увеличение силы обработки после определенного значения может привести к снижению параметров упрочнения и разрушению поверхностного слоя.

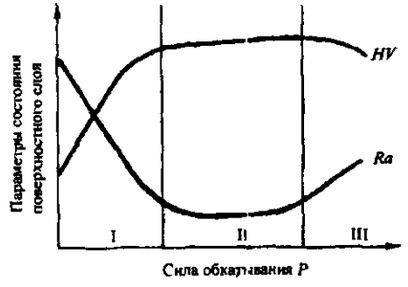


Рис. 15. Влияние силы обкатывания на упрочнение металла и шероховатость поверхности

При упрочняющей обработке необходимо повысить поверхностную твердость детали на 25 – 40 %. Глубина $h_н$ наклепанного слоя для крупных деталей должна находиться в пределах

$$0{,}02\,R_д \le h_н \le 0{,}10\,R_д,$$

где $R_д$ – радиус упрочняемой поверхности детали.

Силу $P_н$, обеспечивающую получение наклепанного слоя глубиной $h_н$, определяют по формуле

$$P_н = 2h_н^2\sigma_т m^2,$$

где $\sigma_т$ – предел текучести материала детали; m – поправочный коэффициент, учитывающий кривизну контактирующих поверхностей;

$$m = 1 + 0{,}07\left(\frac{1}{\frac{1}{R_{пр}} + \frac{2}{D_р} + \frac{1}{R_д} - \frac{1}{R}}\right),$$

где $R_{пр}$ – профильный радиус ролика; $D_р$ – диаметр ролика; R – радиус профиля детали в осевом сечении; для цилиндрической поверхности $R = \infty$.

Профильный радиус ролика принимают наименьшим, при этом не должно происходить шелушения обрабатываемой поверхности детали.

Расчетную силу корректируют при отладке технологического процесса. Контроль параметров упрочнения осуществляют путем измерения твердости (микротвердости) по глубине поверхностного слоя или измерением параметров очага деформации. В последнем случае производят обработку части детали и профилографируют по направлению подачи зону перехода от необработанной поверхности к обработанной (рис. 16). Глубину упрочнения определяют по формуле

$$h_н = 1{,}5\sqrt{d}; \quad \Gamma = 4d/R_{пр},$$

где d – параметр профиля очага деформации (см. рис. 16); Γ – степень деформации сдвига поверхности.

Значение Γ, обеспечивающее стабилизацию параметров упрочнения, должно находиться в диапазоне 0,5 … 1 в зависимости от диаграммы упрочнения обрабатываемого материала, которая устанавливается механическими испытаниями. Указанное значение Γ соответствует диапазону "насыщения" материала упрочнением. В ответственных случаях оптимальные параметры упрочнения устанавливают более сложными исследованиями, например с проведением измерения остаточных напряжений, стендовых или эксплуатационных испытаний.

Подачу при обкатывании назначают не более 0,2 … 0,6 мм/об. При упрочнении переходных поверхностей тяжелых валов используют ролики с профильным радиусом на 0,5 … … 2,0 мм меньше радиуса R переходной поверхности; усилие обкатывания $P_т \approx (1000\,R \pm \pm 1000)$ Н.

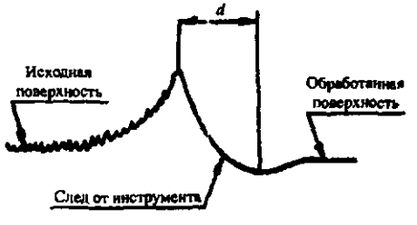


Рис. 16. Профилограмма очага деформации в плоскости подачи инструмента

6. Максимальные припуски на шлифование крупных валов после упрочняющего обкатывания

Размеры, мм

Длина поверхности	Диаметр детали					
	81 – 120	121 – 180	181 – 260	261 – 360	361 – 500	500 – 800
251 – 500	0,6	0,7	0,8	–	–	–
501 – 800	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0
801 – 1200	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0
1201 – 2000	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0
Допуск на припуск	–0,23	–0,26	–0,30	–0,34	–0,38	–0,45

Рекомендуемые режимы упрочняющей обработки предполагают возможной последующую механическую обработку деталей для получения заданной точности и шероховатости поверхности. Эффект обработки при снятии малых припусков (табл. 6) снижается незначительно.

При высоких требованиях к качеству поверхности и нецелесообразности снижения эффекта упрочнения в результате снятия части упрочненного слоя обработку ведут двумя роликами – упрочняющим и сглаживающим (табл. 7) или применяют один или несколько одинаковых роликов с большим профильным радиусом. Режимы обработки роликом с профильным радиусом определяют по табл. 7 и номограмме, показанной на рис. 17. При известных $D_р$, $D_д$ и $R_{пр}$ находят по номограмме значение усилия, которое следует умножить на коэффициент, зависящий от твердости материала:

$$K_р = 0{,}01\,HB - 0{,}4,$$

где HB – число твердости по Бринеллю; $120 \le HB \le 340$.

По табл. 8 с учетом требований шероховатости поверхности и профильного радиуса ролика находят величину подачи.

При работе роликом с цилиндрическим пояском шириной b принимают подачу $S_1 = 0{,}3b$ мм/об для шероховатости с Ra 0,8. Найденное значение подачи корректируют с учетом поправочных коэффициентов (табл. 9). При этом назначаемая подача

$$S = K_1K_2K_3S_1.$$

7. Режимы обкатывания осей и других деталей железнодорожного подвижного состава

Размеры роликов, мм		Нагрузка на ролике, Н, при диаметре детали, мм						
$D_р$	$R_{пр.у}$	40 – 69	70 – 89	90 – 129	130 – 159	160 – 194	195 – 239	240 – 284
110	9	6000	8000	10 000	14 000	16 000	–	–
110	15	7000	9000	12 000	16 000	–	–	–
130	12	–	–	–	17 000	19 000	22 000	24 000
130	15	–	–	–	–	20 000	23 000	25 000
150	19	–	–	–	22 000	24 000	26 000	28 000

Примечания: 1. Обработку проводят двумя роликами: первым – упрочняющим ($R_{пр.у}$) и вторым – сглаживающим ($R_{пр.с}$). Диаметры $D_р$ роликов одинаковы.

2. Профильный радиус сглаживающего ролика $R_{пр.с} = 50$ мм, упрочняющего $R_{пр.у}$ указан в таблице.

3. Накатывание проводят за один проход при подаче $S = 0{,}2 \ldots 0{,}6$ мм/об и скорости $v = 75 \ldots 125$ м/мин.

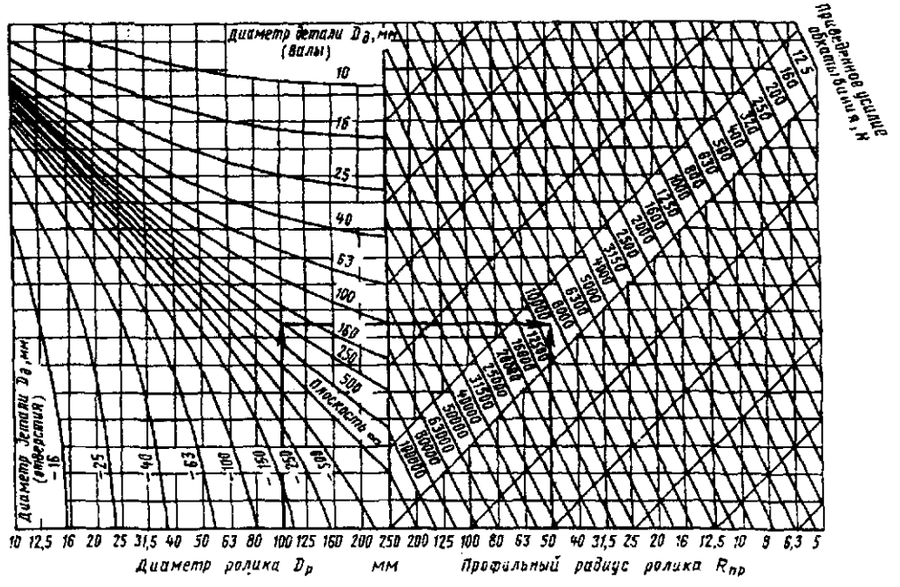


Рис. 17. Номограмма для определения усилия обкатывания и раскатывания поверхностей в зависимости от размеров детали и ролика. Например, при обработке вала диаметром $D_д = 250$ мм роликом диаметром $D_р = 100$ мм с профильным радиусом $R_{пр} = 50$ мм усилие обкатывания $P = 9000$ Н

Для многоэлементных инструментов принимают подачу $S = 0{,}1 \ldots 3{,}0$ мм/об. Оптимальная подача $S_э$ на один оборот ролика не должна превышать 0,1 … 0,5 мм/об, на один оборот шарика – 0,01 … 0,05 мм/об. Подачу на один оборот детали (или инструмента) определяют по формуле

$$S = kS_э,$$

где k – число деформирующих элементов; $S_э$ – подача на один деформирующий элемент.

Обычно при раскатывании и обкатывании жестким инструментом натяг $i \le 0{,}03 \ldots 0{,}30$ мм с учетом исходной и требуемой шероховатости, точности и диаметра обрабатываемой поверхности, а также жесткости инструмента.

8. Рекомендуемые значения подачи S (мм/об) при обкатывании в зависимости от профильного радиуса роликов

Профильный радиус ролика, мм	Ra, мкм, после обкатывания									
	0,8			0,4			0,2			
	Ra, мкм, до обкатывания									
	6,3	3,2		1,6	3,2		1,6			0,8
	Число роликов в приспособлении									
	1; 2; 3*	1	2; 3	1; 2; 3	1	2; 3	1; 2; 3	1	2; 3	1; 2; 3
5	0,07	0,15	0,30		0,07	0,15		0,07	0,15	
6,3	0,09	0,18	0,36		0,09	0,18		0,09	0,17	
8	0,12	0,23	0,46		0,12	0,23		0,12	0,19	
10	0,15	0,29	0,56		0,15	0,29		0,15	0,21	

Продолжение табл. 8

Профильный радиус ролика, мм	*Ra*, мкм, после обкатывания									
	0,8			0,4			0,2			
	Ra, мкм, до обкатывания									
	6,3	3,2		1,6	3,2		1,6			0,8
	Число роликов в приспособлении									
	1; 2; 3*	1	2; 3	1; 2; 3	1	2; 3	1; 2; 3	1	2; 3	1; 2; 3
12,5	0,18	0,37	0,64		0,18	0,34		0,18	0,24	
16	0,23	0,47	0,72		0,23	0,39		0,23	0,27	
20	0,29	0,58	0,80		0,29	0,42		0,29	0,30	
25	0,37	0,83	0,88		0,37	0,48		0,35	0,35	
32	0,47	0,94	1,00		0,47	0,54		0,39	0.39	
40	0,58	1,12	1,12		0,58	0,60		0,43	0,43	
50	0,74	1,24	1,24		0,66	0,66		0,48	0,48	
63	0,92	1,40	1,40		0,72	0,72		0,54	0,54	
80	1,17	1,60	1,60		0,84	0,84		0,60	0,60	
100	1,45	1,80	1,80		0,96	0,96		0,66	0,66	
125	1,80	2,00	2,00		1,05	1,05		0,75	0,75	
160	2,25	2,25	2,25		1,23	1,23		0,85	0,85	
200	2,55	2,55	2,55		1,35	1,35		0,95	0,95	

* Обработку выполняют соответственно за три, два и один проход, для остальных случаев – за один проход.

9. Поправочные коэффициенты для коррекции подачи при обработке роликами с цилиндрическим пояском

Параметры		Твердость обрабатываемого материала *HV*						
		160		160 – 300		300 – 375		
K_1		1,2		1,0		0,4		
Параметр шероховатости *Ra*, мкм	требуемый	0,8		0,4		0,2		
	исходный	6,3	3,2	3,2	1,6	3,2	1,6	0,8
K_2		0,25	1,0	0,35	0,85	0,14	0,24	0,40
Число проходов		1		2		3		
K_3		0,5		1,0		1,4		

Смазывающе-охлаждающей жидкостью при обкатывании и раскатывании служат машинное масло, смесь машинного масла с керосином (по 50 %), сульфофрезол (5 %-ная эмульсия). Обработку чугуна рекомендуется вести без охлаждения.

В табл. 10 приведены рекомендации по раскатыванию отверстий многороликовыми раскатками в деталях из чугуна.

10. Параметры многороликовых раскаток, обрабатываемых поверхностей и режимы раскатывания отверстий в деталях из чугуна

Параметр	Структура материала		
	Феррит	Феррит + перлит	Перлит
	Инструмент		
Задний угол	0°20′ – 0°30′	0°50′	0°10′ – 1°20′
Диаметр ролика, мм	12 – 14	10 – 12	8 – 10
Профильный радиус, мм	3 – 3,5	3,0 – 3,5	3,5 – 5
	Обрабатываемая поверхность		
Шероховатость *Ra*, мкм:			
исходной поверхности	1,6 – 3,2	1,6 – 3,2	1,6 – 3,2
обработанной поверхности	0,1 – 0,2	0,2 – 0,4	0,4 – 0,8
	Режим раскатывания		
Наибольшая радиальная сила раскатывания, Н	350 – 400	650 – 700	1400 – 1500
Осевая подача, мм/об	0,25 – 0,55	0,15 – 0,35	0,10 – 0,15

Примечания: 1. Превышение указанной радиальной силы может привести к шелушению обрабатываемой поверхности.

2. Рекомендуется вести обработку без смазочного материала.

КАЛИБРОВАНИЕ ОТВЕРСТИЙ

Сущность процесса и схемы обработки. *Калибрование (деформирующее протягивание, дорнование)* – чистовая операция обработки отверстий деталей машин пластическим деформированием. Эту операцию выполняют перемещением с натягом деформирующего инструмента (оправки с деформирующими элементами или шарика).

При $l / d \le 7$, где l – длина отверстия и d – его диаметр, детали обрабатывают методом прошивания (рис. 18, *а* и *б*), а при $l / d > 7$ – методом протягивания (рис. 18, *в* – *д*). Глухие отверстия обрабатывают при возвратно-поступательном движении оправки (рис. 18, *д*).

Различают обработку со сжатием (рис. 18, *в*) и с растяжением (рис. 18, *г*). Наиболее часто обработку ведут со сжатием. При обработке с растяжением тонкостенных цилиндров при $l / d > 4$ получают меньшие отклонения от прямолинейности поверхностей детали, чем при обработке их со сжатием.

Хорошие результаты в этом случае обеспечивает обработка с *осевым заневоливанием* (предварительным растяжением) детали (рис. 19). Так, при обработке цилиндра диаметром 70 мм, длиной 5000 мм и с толщиной стенки 2,5 мм отклонение от прямолинейности не превышает 0,4 мм/м. Иногда применяют обработку с радиальным заневоливанием (деталь с зазором помещают в жесткий корпус, рис. 20).

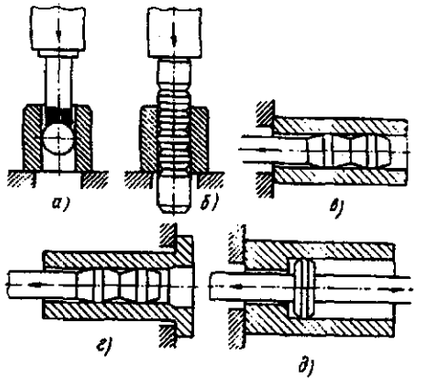


Рис. 18. Схемы обработки отверстий: *а* и *б* – прошиванием с помощью шарика и оправки; *в* – со сжатием детали; *г* – с растяжением детали; *д* – при возвратно-поступательном ходе оправки

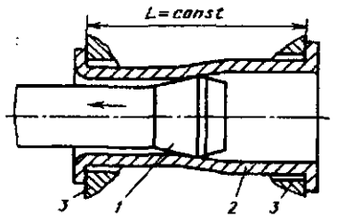


Рис. 19. Обработка с осевым заневоливанием детали: *1* – инструмент; *2* – деталь; *3* – опоры

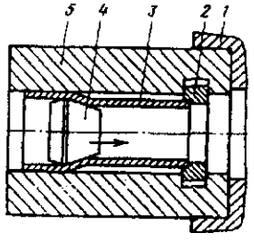


Рис. 20. Обработка с размещением детали в жестком корпусе: *1* – опорная плита станка; *2* – раздвижная опора; *3* – деталь; *4* – инструмент; *5* – жесткий корпус

Основным технологическим параметром процесса является натяг $i = d_{ин} - d_o$, где $d_{ин}$ – диаметр деформирующего инструмента; d_o – диаметр отверстия до обработки (средняя арифметическая величина с учетом отклонений формы в поперечном сечении).

Обработку проводят с малым (до 0,5 мм) или с большим натягом (до 20 % от диаметра отверстия). При обработке с малыми натягами уменьшаются отклонение формы в поперечном сечении (отклонение от круглости) и разброс значений диаметров отверстий в партии деталей (повышается точность размера) на 30 – 35 %, уменьшаются также параметры шероховатости поверхности. Метод применяют при обработке толстостенных деталей (отношение толщины стенки к радиусу отверстия $h/r > 0{,}5$) и деталей, у которых нежелательно существенное изменение формы и размеров после обработки. С малыми натягами обрабатывают детали и после термической обработки.

Тонкостенные цилиндры и втулки ($h/r \leq 0{,}2$) обрабатывают как с малыми, так и большими натягами. Зона пластической деформации при этом охватывает всю деталь. В результате обработки увеличивается диаметр отверстия на величину припуска $2\ z_i = d_и - d_o$, (рис. 21), изменяется размер наружной поверхности и уменьшаются длина детали и толщина стенки (объем детали до и после обработки остается неизменным). Недостатком процесса является снижение точности по длине, увеличение отклонения от прямолинейности и отклонений, определяющих положение торцов. Точность размера отверстия при этом можно повысить на один-два квалитета и получить поверхность высокого качества. Таким методом можно обрабатывать цилиндрические и фасонные отверстия.

Суммарный натяг лимитируется пластичностью материала детали. Деталь из хрупких материалов обрабатывают с малыми натягами, так как при больших натягах может произойти ее разрушение.

Инструментом для обработки при калибровании служат оправки или шарики. Обработка шариками не обеспечивает оптимальных условий деформирования – элементы имеют малую размерную стойкость. Однако шарики применяют в промышленности ввиду простоты процесса обработки и возможности его автоматизации.

В зависимости от диаметра обрабатываемого отверстия и выполняемой операции применяют оправки с одним (рис. 22, *а*) или несколькими (рис. 22, *б*) деформирующими элементами, цельные или сборные. Оправки, предназначенные для обработки сквозных отверстий, выполняют с передним и задним хвостовиками для крепления инструмента в патроне или подвижной каретке станка. Оправки могут иметь направляющие части, обеспечивающие взаимную ориентацию детали и инструмента.

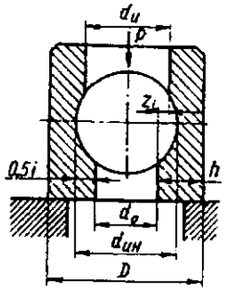


Рис. 21. Калибрование отверстия шариком

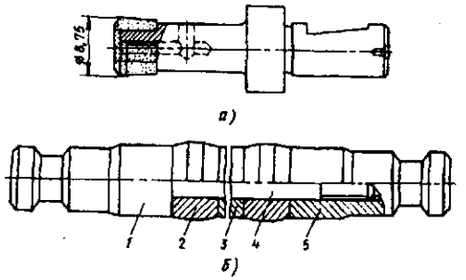


Рис. 22. Калибрующая оправка: *а* – одноэлементная для глухих отверстий; *б* – сборная для тонкостенных цилиндров; *1* – передний хвостовик с направляющей; *2* – деформирующий элемент; *3* – промежуточная (дистанционная) втулка; *4* – стержень; *5* – задний хвостовик с направляющей

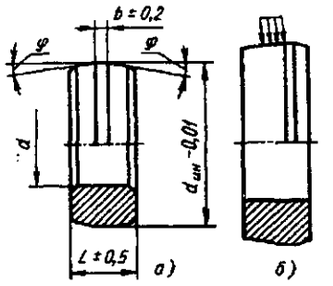


Рис. 23. Деформирующий элемент сборной оправки: *а* – симметричный; *б* – симметрично-нагруженный

Материал деформирующих элементов – твердый сплав ВК15, ВК15М. Стержни, хвостовики и дистанционные втулки сборных оправок изготовляют из углеродистых сталей, закаленных до твердости 40... 45 HRC. В собранном виде радиальное биение деформирующих элементов относительно направляющих не должно превышать 0,02 – 0,05 мм. Рабочая форма деформирующих элементов (рис. 23, *а*) обычно представляет собой два усеченных конуса с углами φ = 3 ... 5° (наиболее часто 4°) и цилиндрическую поверхность (калибрующую ленточку), соединяющую большие основания конусов. Ширина ленточки $b = 0{,}35 d^{0,6}$. При обработке отверстий диаметром 15 ... 150 мм ширину b (мм) выбирают в зависимости от материала детали и толщины ее стенки:

Материал детали	Деталь	
	тонкостенная	толстостенная
Конструкционные и легированные стали (10; 20; 35; 45; 20Х; 40Х и др.)	1,5 – 3,0	0,3 – 0,5
Легированные стали (30ХГСА; 40ХНМА; 38ХМЮА; 12Х18Н10Т и др.)	0,6 – 1,0	0,2 – 0,3
Цветные сплавы (АК6, Д16Т, В93, В95 и др.)	0,5 – 1,0	0,1 – 0,2

Деформирующий элемент часто выполняют симметричным – можно работать с подачами вперед и назад или повернуть элемент при его износе. Элемент с более длинным рабочим и более коротким обратным конусом (рис. 23, *б*) обладает наивысшей несущей способностью.

При работе с большими натягами расчет размеров деформирующего элемента проводится следующим образом.

Из условия прочности толщина стенки деформирующего элемента

$$t_к = \frac{0{,}329 Q^{0,735} K_L^{0,71} 0{,}938^l}{f^{0,43} [\sigma_{из}]^{0,735} d_{ин}^{0,36}}, \qquad (1)$$

где Q – сила протягивания, Н; K_L – коэффициент высоты деформирующего элемента (отношение фактической высоты $L_{факт}$ к оптимальной $L_{опт}$); значения коэффициента приведены в табл. 11 ; l – ширина контакта деформирующего элемента с обрабатываемой поверхностью, мм, зависящая от диаметра деформирующего элемента, натяга и толщины стенки обрабатываемой детали (табл. 12); f – коэффициент трения между элементом и обрабатываемой поверхностью; в зависимости от обрабатываемого материала и технологической смазки f = 0,05 ... 0,14; $d_{ин}$ – диаметр деформирующего элемента, мм; $[\sigma_{из}]$ – допустимое напряжение твердого сплава при изгибе, МПа;

$$[\sigma_{из}] = \sigma_{в.из} \frac{K_{пс}}{K_{зп}}, \qquad (2)$$

где $\sigma_{в\ из}$ – предел прочности при изгибе для твердого сплава;

$$\sigma_{в\,зп} = 4{,}62\, d_{ин}^{-0,36} t_к^{-0,45} \sigma_{в.из.ст}, \qquad (3)$$

здесь $\sigma_{в.из.ст}$ – предел прочности твердого сплава при изгибе, оговоренный ГОСТом (для ВК15 $\sigma_{в.из.ст}$ = 1800 МПа); $K_{пс}$ – коэффициент посадки деформирующего элемента на стержень протяжки; $K_{зп}$ – коэффициент запаса прочности (см. табл. 11).

В формуле (3)

$$K_{пс} = 1{,}1\, d_к^{0,33} t_к^{-0,42} e^{\frac{310\Delta^{1,1}}{d_к}} K_ф, \qquad (4)$$

11. Значения коэффициентов K_L и $K_{зп}$

Коэффициент	$d_{ин}$, мм	Обрабатывается отверстие		
		в горячекатаной трубе	в холоднотянутой трубе	предварительно обработанное
K_L	< 80	1,25 – 1,5*[1] / 1,2 – 1,3	1,1 – 1,3*[1] / 1,1 – 1,2	1,25 – 1,4*[2] / 1,1 – 1,25 (1,0 – 1,1)*[3]
	80 – 120	1,1 – 1,3 / 1,1 – 1,2	1,1 – 1,2 / 1,0 – 1,2	1,1 – 1,3 / 1,0 – 1,2 (1,0)
	>120	1,0 – 1,2 / 1,0 – 1,1	1,0 / 1,0	1,0 – 1,2 / 1,0 – 1,1 (1,0)
$K_{зп}$	–	2 – 3,5 / 2 – 3	1,8 – 2,2 / 1,8 – 2,0	2 – 2,5 / 1,8 – 2,2 (1,8 – 2,0)

*[1] В числителе дроби даны значения K_L и $K_{зп}$ для обработки заготовок с предварительно необработанными отверстиями, в знаменателе – для травленых отверстий.

*[2] В числителе дроби даны значения K_L и $K_{зп}$ для заготовок с колебанием толщины стенки по окружности $\frac{t_{o\,max} - t_{o\,min}}{t_{o\,min}} > 0{,}3$; в знаменателе – для $\frac{t_{o\,max} - t_{o\,min}}{t_{o\,min}} < 0{,}2$.

*[3] Значения коэффициентов K_L и $K_{зп}$, приведенные в скобках, используют при разностенности заготовок (после предварительной обработки) до 0,3 мм.

12. Ширина контакта l деформирующего элемента с обрабатываемой заготовкой

Размеры, мм

$d_{ин}$	t_o	Натяг i							$d_{ин}$	t_o	Натяг i						
		0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0			0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
16	2,5	0,7	1,4	5,0	8,8	13,0	–	–	45	2,5	0,3	0,5	3,1	6,3	10,9	14,4	18,6
	5,0	1,4	1,8	4,5	8,6	–	–	–		5,0	0,5	0,8	2,1	5,0	9,2	12,2	16,6
	7,5	1,4	2,4	5,2	–	–	–	–		10,0	0,8	1,7	2,8	4,6	7,2	10,8	13,3
	10,0	2,3	3,2	6,0	–	–	–	–		15,0	1,5	2,3	3,9	5,5	7,5	10,4	11,0
20	2,5	0,6	1,2	5,0	8,1	12,3	–	–		20,0	2,3	3,4	5,3	6,6	8,3	11,0	12,0
	5,0	1,1	1,6	4,1	7,9	11,0	–	–		25,0	2,9	4,4	6,5	8,0	9,4	12,3	13,5
	10,0	1,7	2,8	5,4	–	–	–	–	55	2,5	0,3	0,5	1,6	5,4	10,0	13,6	18,2
	15,0	2,9	4,3	–	–	–	–	–		5,0	0,4	0,7	1,7	4,3	8,8	11,4	15,8
25	2,5	0,5	0,8	4,8	7,4	12,1	15,8	19,7		10,0	0,7	1,1	2,2	3,6	5,9	9,2	12,1
	5,0	0,7	1,4	3,6	7,1	10,7	14,2	17,5		15,0	1,2	1,9	3,2	4,5	6,3	9,0	10,0
	10,0	1,4	2,4	4,7	6,0	10,5	13,7	16,0		20,0	1,9	2,9	4,6	5,8	7,3	9,9	11,0
	15,0	2,4	3,8	6,1	–	–	–	–		25,0	2,5	3,9	6,1	7,4	8,8	11,5	13,0
	20,0	3,3	4,4	6,6	–	–	–	–	65	2,5	0,3	0,5	1,4	4,7	8,9	13,0	18,0
35	2,5	0,4	0,6	4,3	6,9	11,9	15,0	19,1		5,0	0,3	0,6	1,4	3,5	7,3	10,3	14,9
	5,0	0,6	1,1	2,7	5,6	10,1	13,2	16,6		10,0	0,6	0,9	1,8	2,9	4,8	7,8	10,8
	10,0	1,1	1,8	3,6	5,0	8,8	12,4	14,1		15,0	1,0	1,6	2,7	4,1	5,3	7,7	9,2
	15,0	1,9	2,9	4,9	6,7	8,8	11,7	12,3		20,0	1,7	2,5	4,0	5,1	6,5	8,7	10,1
	20,0	2,8	4,1	6,2	–	–	–	–		25,0	2,2	3,5	5,6	6,9	8,2	10,5	12,7
	25,0	3,4	4,5	6,7	–	–	–	–									

Продолжение табл. 12

$d_{ин}$	t_o	Натяг i							$d_{ин}$	t_o	Натяг i						
		0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0			0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
80	2,5	0,3	0,5	0,8	3,5	6,2	12,3	17,7	130	2,5	0,3	0,4	0,4	1,4	3,2	10,6	17,3
	5,0	0,3	0,5	1,1	2,5	5,0	9,2	13,5		5,0	0,3	0,4	0,7	0,7	1,8	6,6	12,5
	10,0	0,5	0,8	1,4	2,3	3,7	6,2	10,0		10,0	0,5	0,6	0,9	1,3	2,2	4,0	7,2
	15,0	0,9	1,5	2,2	3,5	4,3	6,3	8,7		15,0	0,9	1,2	1,7	2,2	2,9	4,4	6,5
	20,0	1,5	2,2	3,5	4,4	5,5	7,3	9,7		20,0	1,1	2,1	2,8	3,8	4,5	5,6	6,8
	25,0	2,0	3,4	4,9	6,3	7,3	9,1	11,6		25,0	1,9	3,1	4,0	5,3	6,5	6,9	9,1
100	2,5	0,3	0,4	0,5	2,4	4,6	11,6	17,5	150	2,5	0,2	0,3	0,3	0,9	2,2	10,4	17,3
	5,0	0,3	0,5	0,9	1,5	3,3	7,9	12,5		5,0	0,2	0,3	0,5	0,8	1,7	6,0	12,3
	10,0	0,5	0,7	1,2	1,8	2,9	4,9	9,4		10,0	0,4	0,5	0,7	1,0	1,7	3,4	7,0
	15,0	0,9	1,2	1,9	1,9	3,5	5,1	7,2		15,0	0,7	1,1	1,3	1,8	2,5	3,9	6,3
	20,0	1,4	2,1	3,3	4,0	4,8	6,2	7,9		20,0	1,0	1,8	2,5	3,3	4,1	5,2	6,5
	25,0	1,9	3,1	4,5	5,6	6,7	7,8	10,1		25,0	1,4	2,9	3,7	5,5	5,9	6,3	8,5

Примечание: В таблице t_o – толщина стенки заготовки.

где K_ϕ – коэффициент формы деформирующего элемента; $K_\phi = 1$ при цилиндрическом отверстии в деформирующем элементе и $K_\phi = 1{,}2$ при отверстии с конусами и посадке с натягом. $K_{пс}$ не может быть меньше единицы, поэтому, если по формуле (4) $K_{пс} < 1$, для дальнейших расчетов $K_{пс} = 1$; Δ – величина зазора или натяга, мм, при посадке деформирующего элемента на стержень протяжки. В случае зазора показатель степени у величины **e** берется со знаком минус, в случае натяга – со знаком плюс. Опыт показывает, что применять натяги более 0,001 $d_к$ не следует, так как это может вызвать разрыв деформирующего элемента при его посадке на стержень протяжки ($d_к$ – диаметр посадочного отверстия; **e** – основание натурального логарифма).

При определении толщины стенки $t_к$ по уравнениям (1), (2) и (3) принимают $K_{пс} = 1$.

Если по формуле (3) $\sigma_{в\ из} < 800$ МПа или $\sigma_{в\ из} > 2000$ МПа, то в расчетах принимают $\sigma_{в\ из} = 800$ или 2000 МПа.

После определения толщины стенки $t_к$ деформирующего элемента рассчитывают его оптимальную высоту:

$$L_{опт} = K_L\left[\frac{l}{2} + \sqrt{\frac{l^2}{4} + \frac{8\nu R_к W}{\pi(R_к^2 - r_к^2)}}\right], \qquad (5)$$

где $R_к$ – наружный радиус деформирующего элемента, мм; $r_к$ – внутренний радиус деформирующего элемента, мм; ν – отношение предела прочности твердого сплава при изгибе к пределу прочности при сжатии; для сплава ВК15 $\nu = 0{,}516$; W – момент сопротивления изгибу деформирующего элемента в сечении, перпендикулярном его оси, мм^3;

$$W = \pi\frac{9(R_к^4 - r_к^4)(R_к^2 - r_к^2) - 8(R_к^3 - r_к^3)^2}{12(R_к^3 - r_к^3) - 18(R_к^2 - r_к^2)r_к}. \qquad (6)$$

После того как будет найдено значение $L_{опт}$, определяют минимальную (по конструктивным соображениям) высоту деформирующего элемента:

$$L_{кл} = \frac{i}{2\mathrm{tg}\,\varphi} + b + 2(b_{фас} + c), \qquad (7)$$

где b – ширина цилиндрической ленточки, мм; φ – угол рабочего конуса; $b_{фас}$ – ширина фаски, мм; c – длина нерабочего участка рабочего конуса, равная длине обратного конуса.

Сравнивают значения $L_{опт}$ и $L_{кл}$ и выбирают большее из них. Если большим окажется $L_{кл}$, то по формуле (5) определяют действительное значение K_L и по уравнению (1) корректируют значение $t_к$.

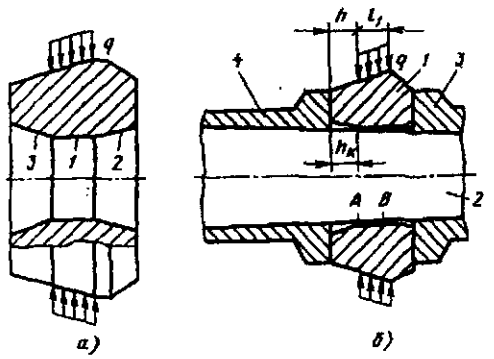


Рис. 24. Деформирующие элементы повышенной несущей способности: *а* – с отверстием, состоящим из трех частей: *1* – цилиндрической; *2* и *3* – конической; *б* – с отверстием, состоящим из цилиндрической и конической частей; *1* – элемент; *2* – конический стержень; *3* и *4* – дистанционные втулки

В тех случаях, когда расчет деформирующего элемента показывает, что ввиду большой рабочей нагрузки его запас прочности оказывается недостаточным, следует использовать элементы, показанные на рис. 24, и осуществлять посадку их на стержень протяжки с натягом.

На рис. 24, *а* показан деформирующий элемент, у которого цилиндрическое отверстие расположено только под зоной нагрузки, что снижает напряжения изгиба. На рис. 24, *б* деформирующего элемента коническое отверстие находится со стороны рабочей части элемента. Кроме того, элемент посажен на конический стержень протяжки, больший диаметр которого находится у переднего конца протяжки. На стержне элементы фиксируют регулируемыми по длине дистанционными втулками. За счет перемещения элементов по стержню создается необходимый натяг, который уменьшает напряжения изгиба и повышает несущую способность элемента.

Смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС). При обработке обязательно применение СОТС, предотвращающих схватывание деформирующих элементов с обрабатываемым металлом, что приводит к браку обработанных деталей и нередко к разрушению деформирующих элементов. Для деталей из углеродистых и низколегированных сталей вполне оправдывают себя широко распространенные смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), такие как сульфофрезол, МР-1, МР-2, эмульсии. Эти же жидкости следует применять при обработке деталей из цветных металлов (бронзы, латуни, алюминиевых сплавов). Для деталей из высоколегированных, жаростойких и коррозионно-стойких сталей и сплавов следует применять СОТС: АСМ-1, АСМ-4, АСМ-5, АСМ-6. При обработке деталей из закаленных сталей используют смазку АСФ-3.

Качество обработанных поверхностей отверстий. Шероховатость поверхности, обработанной пластическим деформированием, зависит от исходной шероховатости и материала обрабатываемой детали, толщины ее стенок, режима обработки, применяемой СОТС и угла рабочего конуса инструмента. От скорости обработки (в пределах диапазона применяемых скоростей) шероховатость обработанной поверхности не зависит.

Для получения малых значений шероховатости предварительную обработку отверстия целесообразно проводить твердосплавным инструментом (резцом, зенкером, разверткой), имеющим малые углы в плане ($\varphi = 30 \ldots 40°$), на скоростях резания, исключающих образование нароста. При обработке отверстий в толстостенных деталях после переходов растачивания или развертывания (исходный параметр $Ra = 6{,}3 \ldots 1{,}6$ мкм) получают поверхности с $Ra = 0{,}8 \ldots 0{,}1$ мкм, если материал деталей сталь; $Ra = 0{,}4 \ldots 0{,}1$ мкм при обработке деталей из бронзы и $Ra = 1{,}6 \ldots 0{,}4$ при обработке деталей из чугуна.

Шероховатость поверхностей тонкостенных деталей в 2 – 4 раза выше. Обычно существует оптимальный натяг, обеспечивающий наилучшие результаты при обработке поверхности (рис. 25).

Шероховатость поверхности после пластического деформирования будет тем ниже, чем меньше натяг, при котором проводится обработка отверстия. Так, при обработке детали из стали 45 с исходной шероховатостью $Ra = 4{,}0 \ldots 8{,}0$ мкм и при суммарном натяге 1 мм получают (см. рис. 25) следующую шероховатость обработанной поверхности при натягах на деформирующем элементе:

Натяг i, мм . . .	0,05	0,10	0,2	0,4	0,8
Ra, мкм	0,06	0,07	0,4	1,3	3,0

Таким образом, при малых натягах можно получить очень малые значения Ra. Однако при некоторых значениях суммарного натяга параметр шероховатости Ra может увеличиваться. При натягах на элементе 0,05 – 0,2 мм это явление возникает при обработке углеродистых сталей после прохода одного и того же числа деформирующих элементов

$$n_к = 0{,}28\frac{HB}{t_0^{0{,}65}}. \qquad (8)$$

Если необходимо осуществить большую деформацию и получить при этом высокое качество поверхности, нужно 75 – 80 % деформации осуществить с большими натягами, а остальные 25 – 20 % с малыми натягами, как это показано на рис. 25 штриховой линией.

При использовании различных СОЖ (сульфофрезола, эмульсии, МР-1, МР-2) получают поверхности примерно с одинаковой шероховатостью, но эти СОЖ обладают разными экранирующими свойствами. При обработке деталей из высоколегированных коррозионностойких и жаропрочных сталей и сплавов приходится применять твердые СОТС, обладающие очень высокими экранирующими свойствами против схватывания. При этом значительно снижается коэффициент трения, а шероховатость поверхности в меньшей степени. Для получения в этих случаях низкой шероховатости 80 – 90 % деформации следует осуществлять с применением твердых смазок, а остальные 20 – 10 % – с применением СОЖ.

Увеличение угла рабочего конуса инструмента снижает шероховатость, но в то же время уменьшает деформацию, при которой начинается повышение шероховатости.

Упрочнение металла является следствием происходящих деформаций. Обычно происходит два вида деформации – деформация растяжения, охватывающая всю стенку детали, и деформация сдвига, образующая слой текстуры на обработанной поверхности. Деформация в слое текстуры значительно превосходит по интенсивности деформацию в стенке детали.

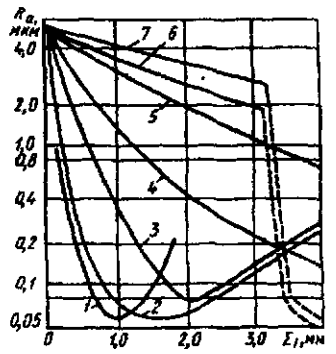


Рис. 25. Зависимость шероховатости обработанной поверхности от натяга после протягивания стали 45: *1* – $i = 0{,}05$ мм; *2* – $i = 0{,}1$ мм; *3* – $i = 0{,}2$ мм; *4* – $i = 0{,}4$ мм; *5* – $i = 0{,}8$ мм; *6* – $i = 1{,}6$ мм; *7* – $i = 3{,}2$ мм

Упрочнение, выражаемое изменением твердости (рис. 26), снижается при переходе от обработанной поверхности в глубину детали. Толщина слоя текстуры, обладающего повышенной твердостью, тем больше, чем больше толщина стенки, натяг и число рабочих деформирующих элементов, и тем меньше, чем выше исходная твердость обрабатываемого металла. Приращение твердости зависит от обрабатываемого металла и составляет 130 – 260 %.

Остаточные напряжения первого рода на поверхности отверстия могут быть как отрицательными (сжатие), так и положительными (растяжение). Если у обработанной поверхности возникли напряжения сжатия, то при переходе в глубину стенки они сначала несколько возрастают, а затем снижаются и переходят в напряжения растяжения. Если у поверхности создаются напряжения растяжения, то при переходе в глубину стенки они сначала несколько уменьшаются, а затем возрастают. Увеличение натяга уменьшает остаточные напряжения сжатия и переводит их в напряжения растяжения.

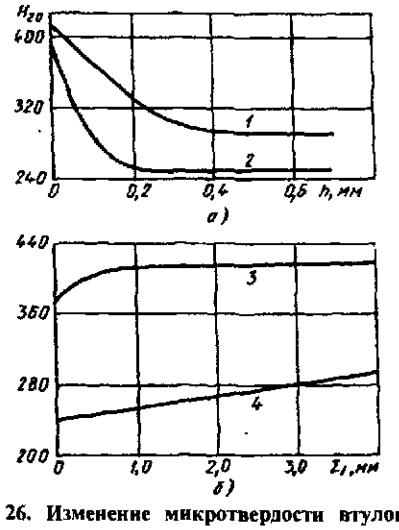


Рис. 26. Изменение микротвердости втулок из стали 45 $\left(\frac{D_0}{d_0} = 1{,}4;\ \text{СОЖ – сульфофрезол}\right)$: *а* – по сечению стенок при натяге 0,1 мм и дальнейшем его увеличении до значений суммарных натягов – 4 (*1*) и 0,5 мм (*2*); *б* – на поверхности (*3*) и в сердцевине (*4*)

Увеличение толщины стенки приводит к обратному изменению остаточных напряжений. С точки зрения эксплуатационных качеств поверхности желательно получение сжимающих остаточных напряжений.

Знак остаточных напряжений в обработанной детали можно определить следующим образом. Например, если в результате обработки отверстия его диаметр оказывается больше диаметра последнего деформирующего элемента, то это свидетельствует о наличии растягивающих остаточных напряжений.

Точность обработки. Если при обработке интенсивность напряжений больше предела текучести, то происходит упругопластическое деформирование детали. В этом случае (рис. 27) зависимость припуска ($2z_i$), характеризующего изменение размера отверстия при обработке от натяга на диаметр (i), имеет вид

$$2z_i = K_d(i - i_0).$$

Физический смысл величины i_0 состоит в том, что она определяет экстраполированный натяг, соответствующий наступлению пластической деформации деталей с некруглым отверстием. Для толстостенных деталей i_0 приближенно можно определить по соотношениям

$$i_0 = \frac{\sigma_т}{E}(d_3 + h) \quad \text{при} \quad \frac{2h}{d_3} = 0{,}2 \ldots 1{,}0;$$

$$i_0 = \frac{\sigma_т}{E}(2d_3 - h) \quad \text{при} \quad \frac{2h}{d_3} = 1{,}0 \ldots 2{,}0,$$

где $\sigma_т$ – предел текучести; E – модуль упругости; d_3 – диаметр отверстия.

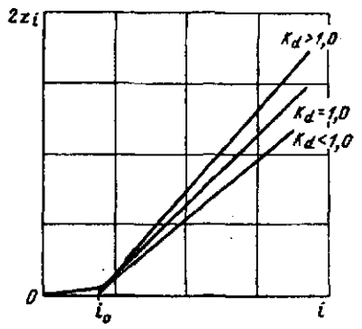


Рис. 27. Зависимость припуска ($2z_i$) от натяга (i) при калибровании цилиндров

Коэффициент K_d, равный тангенсу угла наклона прямой, является коэффициентом изменения размера, или коэффициентом копирования погрешностей. При обработке тонкостенных цилиндров K_d близок к единице. Для толстостенных цилиндров можно принять $K_d = A - Bh$. Для стальных деталей ($\sigma_т \approx 400$ МПа) при соотношении размеров $\frac{2h}{d_3} = 0{,}2 \ldots 2{,}0$ и диаметре отверстия d_3 = = 30 мм $A = 1{,}2$; $B = 0{,}02$.

Самый благоприятный вариант обработки детали с точки зрения ее точности – при $K_d = 1{,}0$, так как исходные погрешности при этом не копируются. Поэтому наиболее эффективно повышается точность при обработке тонкостенных цилиндров.

На величину собственной случайной погрешности $\sigma_{i(i-1)}$ наибольшее влияние оказывает непостоянство механических свойств материала заготовок. Например, колебания предела текучести в партии заготовок $T(\sigma_т) = 200$ МПа при диаметре цилиндров $d_0 = 40$ мм, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа приводят к возникновению случайной погрешности операции $\frac{d_0}{E}T(\sigma_т) =$ = 40 мкм. Поэтому для повышения точности целесообразно проводить предварительную термическую обработку, обеспечивающую стабильные механические свойства материала.

Практически калиброванием гладких цилиндров можно обрабатывать отверстия по 8 –9-му квалитетам; в отдельных случаях – по 6 – 7-му квалитетам, за исключением небольших участков около торцов. Из–за неодинаковых условий пластического деформирования отверстия в цилиндрах на расстоянии 2 – 4 мм от торцов имеют диаметр, отличающийся на 0,02 – 0,1 мм от диаметра на остальной длине цилиндра (у толстостенных деталей диаметр увеличивается, у тонкостенных – уменьшается). Если такая погрешность недопустима, то после калибрования проводят подрезку торца. Целесообразно в связи с этим длинные заготовки разрезать на отдельные детали после калибрования.

Для деталей массового производства обработку проводят на волочильных станах.

Разностенность заготовок порядка 4 – 6 % не оказывает существенного влияния на точность обработки. При обработке со сжатием изогнутость цилиндров, имеющих разностенность более 6 %, может превышать 0,02 – – 0,05 мм на длине 100 мм. В этих условиях целесообразно вести обработку с растяжением, причем натяги и число элементов следует принимать минимально необходимыми.

При деформировании тонкостенных цилиндров происходит увеличение наружного диаметра, уменьшение длины цилиндра и толщины его стенки. Поэтому окончательную обработку наружной поверхности и торцов следует проводить после калибрования.

Размеры после обработки можно определить по формулам

$$t = t_0\left(1{,}5 - 0{,}5\frac{d}{d_0}\right);$$

$$D = D_0 + (d - d_0)\left(1 - \frac{t_0}{d_0}\right);$$

$$L = L_0 \frac{d_0 + t_0}{\left[d + t_0\left(1{,}5 - 0{,}5\frac{d}{d_0}\right)\right]\left(1{,}5 - 0{,}5\frac{d}{d_0}\right)}.$$

Здесь d_0, D_0, t_0 и L_0 – соответственно внутренний и наружный диаметры, толщина стенки цилиндра и его длина до обработки; d, D, t, L – те же величины после обработки. Зависимости получены для случаев, когда обработку отверстия можно выполнить одним деформирующим элементом. В тех случаях, когда в детали размещается одновременно несколько элементов, t и D незначительно возрастают, а L уменьшается. Уравнения используют как для схемы сжатия, так и для схемы растяжения.

Для вновь проектируемого процесса часто возникает необходимость проведения экспериментальной проверки размеров инструмента. С учетом фактических значений размеров отверстий проводится корректирование диаметра последнего деформирующего элемента.

Режим обработки. Назначение режима обработки и конструирование инструмента – две взаимосвязанные задачи, так как основным параметром режима являются натяги на деформирующие элементы. Скорость обработки с учетом возможностей станка назначают в пределах 2 – 25 м/мин. Обработку ведут обычной оправкой с несколькими деформирующими элементами. Наиболее эффективным для получения требуемой точности является первый проход. Точность обработки последующими элементами снижается в геометрической прогрессии. Поэтому с точки зрения точности и шероховатости поверхности обработку следует вести оправкой с двумя – шестью элементами (для целых оправок число элементов можно увеличить до десяти). При излишне большом числе деформирующих элементов и больших натягах из-за нарушения условий смазывания и схватывания поверхностей деформирующих элементов и детали состояние обработанной поверхности может ухудшиться.

При обработке с малыми натягами для получения возможно лучших результатов по точности натяг на элемент следует назначать таким, чтобы обеспечить высокую точность формы, прямолинейность оси и требуемую шероховатость поверхности.

Следует учитывать, что качество обработки деформирующим инструментом зависит не только от режима обработки, но и (существенно) от точности размера отверстий, состояния поверхности и механических свойств деталей.

Для достижения точности по 11 –13-му квалитетам можно принять обработку с большими и одинаковыми для всех деформирующих элементов натягами и небольшим числом элементов на инструменте. Относительная деформация, осуществляемая каждым элементом, может достигать 2 – 4 %. Для достижения точности по 8 – 11-му квалитетам при обработке отверстий в жестких деталях с постоянной по их длине жесткостью следует применять средние натяги (0,5 – 1,0 мм), одинаковые для всех деформирующих элементов. Для достижения точности, соответствующей 8 – 9-му квалитетам, детали, изготовляемые из горячекатаных трубных заготовок, необходимо предварительно обрабатывать резанием.

При обработке отверстий с точностью по 8 – 11-му квалитетам в деталях с переменной толщиной стенки следует применять инструменты с уменьшающимися натягами от первого к последнему деформирующему элементу (натяги на последних элементах 0,1 – 0,02 мм). Для этой группы деталей при резко изменяющейся поперечной жесткости (буртs, приливы) целесообразна схема *деформирование – резание – тонкое деформирование*. Для получения точности по 5 – 6-му квалитетам необходима предварительная точная обработка резанием, после чего деформирование проводят с малыми натягами и с суммарной деформацией 0,5 – 1,0 %.

Осевую силу определяют расчетом или опытным путем. В сравнимых условиях осевая сила меньше при обработке отверстий в чугунной детали на 30 – 35 %, а в бронзовой и алюминиевой деталях – на 60 – 65 %, чем при обработке стальной детали.

Прилагая к инструменту или детали осевые вибрации и ударные импульсы с частотой порядка 20 Гц и амплитудой 0,3 – 1,5 мм, осевую силу можно существенно снизить. Сила снижается также при оптимальном подборе СОТС и его подводе к каждому деформирующему элементу. Осевую силу определяют по эмпирическому уравнению (при $\left(\frac{t_0}{d_0} < 0{,}3 \ldots 0{,}4\right)$:

$$Q = Ct_0^x d_0^y i^{-r} (HB)\left[\left(\sum_1^n \varepsilon\right)^m - \left(\sum_1^{n-1} \varepsilon\right)^m\right], \quad (9)$$

где C – коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого металла, угла рабочего конуса деформирующего элемента и применяемого СОТС; t_0 – исходная толщина стенки детали, мм; d_0 – диаметр отверстия до обработки, мм; HB – твердость обрабатываемого металла; i – натяг на элемент, мм; $\sum_1^n \varepsilon$ – суммарная деформация отверстия, мм, осуществляемая n элементами; $\sum_1^{n-1} \varepsilon$ – суммарная деформация отверстия (мм), осуществляемая $n - 1$ элементами; Q – осевая сила, Н, на одном деформирующем элементе в зоне установившейся нагрузки.

Значения величин C, x, y, r, m приведены в табл. 13.

13. Коэффициент и показатели степени к уравнению (9)

Обрабатываемый материал	C	x	y	r	m	СОТС
Стали						
10	0,2	1,60	0,52	0,72	1,22	
20	0,52	1,32	0,35	0,72	1,22	
35	0,54	1,32	0,35	0,72	1,22	
45	0,51	1,32	0,31	0,76	1,22	
У8	0,60	1,20	0,30	0,80	1,22	Сульфофрезол; МР-1;
20Х	0,35	1,44	0,42	0,68	1,22	МР-2у; эмульсия
40Х	0,60	1,12	0,42	0,71	1,16	
20Г	0,44	1,40	0,40	0,64	1,22	
12ХН3А	0,26	1,37	0,56	0,67	1,20	
38ХМЮА	0,41	1,32	0,35	0,72	1,22	
38ХНМЮА	0,41	1,32	0,35	0,72	1,22	
ШХ15	0,39	1,27	0,39	0,71	1,28	
18Х2Н4ВА	0,17	1,30	0,56	0,67	1,05	АСМ-1; АСМ-6
12Х18Н10Т	0,43	1,35	0,35	0,72	1,22	
Сплавы						
ВТ9	0,25	1,16	0,50	0,65	1,0	–
Н50	0,41	1,48	0,35	0,77	1,25	
АК6	0,19	1,55	0,50	0,52	1,22	Сульфофрезол; МР-1:
Л62	0,75	1,60	0,11	0,70	1,22	МР-2у
ЛС59-1	0,49	1,06	0,57	0,62	1,22	
БрОЦС5-3-3	0,99	1,20	0,31	0,70	1,27	

Если в обрабатываемом отверстии будут одновременно находиться несколько деформирующих элементов, силы, действующие на них, нужно суммировать с учетом неполной нагрузки в зонах входа и выхода, а также с учетом эффекта совмещения зон внеконтактной деформации соседних элементов.

При большой толщине стенки $\left(\frac{t_0}{d_0} \geq 1\right)$ *силы определяют по уравнению*

$$Q = Cd_0^y i^{-r}\left[\left(\sum_1^n i\right)^m - \left(\sum_1^{n-1} i\right)^m\right](HB), \quad (10)$$

где Q – сила, Н, на одном деформирующем элементе; $\sum_1^n i$ и $\sum_1^{n-1} i$ – соответственно суммарные натяги на n и $(n - 1)$-м деформирующих элементах, мм; значения C, y, r, m приведены в табл. 14. Натяг на деформирующий элемент может изменяться в пределах до 0,1 мм.

Уравнения (9) и (10) даны для случаев применения углов рабочего конуса деформирующих элементов $\varphi = 3 \ldots 6°$, определяющих минимум осевой силы.

Стойкость деформирующих элементов из твердого сплава при обработке стальных деталей составляет 50 – 100 км суммарной длины обработки.

14. Коэффициент и показатели степеней к уравнению (10)

Марка материала	C	y	r	m	СОТС
Стали					
10	2,97	1,0	0,79	1,4	Сульфо-
20	3,75	0,92	0,81	1,55	фрезол;
45	3,71	0,92	0,8	1,65	МР-1;
У8	2,84	1,0	0,82	1,7	МР-2у
30ХГСА	2,28	1,0	0,83	1,90	Масло
40ХН2МА	1,53	1,0	0,91	1,80	АМГ-10
Сплавы					
АК6	2,74	1,0	0,76	1,73	Масло
Д16	1,90	1,0	0,82	1,70	АМГ-10
В93	3,31	1,0	0,66	1,60	
В95	1,70	1,0	0,82	1,63	

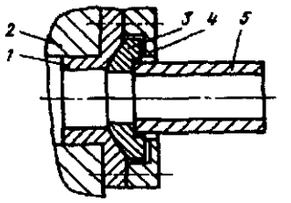


Рис. 28. Опора с шаровой опорной поверхностью

Приспособления для обработки. Деталь при обработке обычно устанавливают на торец и не закрепляют. Правильное взаимное расположение инструмента и детали обеспечивают с помощью плавающих (самоустанавливающихся) приспособлений на шаровой опоре (по типу приспособлений для протягивания, рис. 28). *Планшайба 1* установлена на плите *2* протяжного станка и имеет шаровую поверхность, на которую опирается вкладыш *3*, удерживаемый крышкой *4*. Обрабатываемая деталь 5 упирается при обработке во вкладыш *3*. Эта конструкция непригодна для тех случаев, когда при обработке внутренний диаметр детали становится равным или превышает наружный диаметр заготовки до протягивания, что часто встречается при обработке тонкостенных изделий с большим натягом. В этом случае элементы, на которые опирается деталь, должны перемещаться при увеличении диаметра опорного торца детали. В конструкции элементов с подпружиненными кулачками, перемещающимися по пазам, есть общий недостаток – значительное сопротивление перемещению этих кулачков, вызывающее увеличение осевой силы.

Опоры, в которых перемещение опорных элементов связано не с трением скольжения их в пазах, а с упругими деформациями хвостовиков, показаны на рис. 29. Опора выполнена в виде стакана, состоят из корпуса *1* и опорных элементов *2*. Корпус представляет собой жесткое кольцо с фланцем, а опорные элементы, составляющие одно целое с корпусом, являются отдельными лепестками, разделенными между собой продольными пазами *5*, доходящими до корпуса. Опорные лепестки имеют малую поперечную жесткость и при увеличении диаметра обрабатываемой детали *3*, центрируемой конической и цилиндрической поверхностями лепестков, упруго изгибаются, не вызывая заметного увеличения силы протягивания. Эта конструкция позволяет осуществить обработку и по схеме растяжения. В этом случае опорные элементы входят в кольцевую технологическую канавку на наружной поверхности детали.

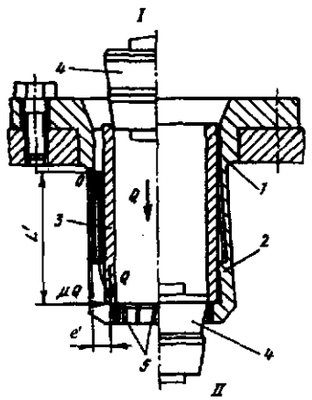


Рис. 29. *Опора с упругими опорными элементами в начале (I) и в конце (II) рабочего хода*

В целях автоматизации процесса применяют приспособления для возврата шариков (рис. 30), оправок и для загрузки деталей с помощью простейших автооператоров и промышленных роботов.

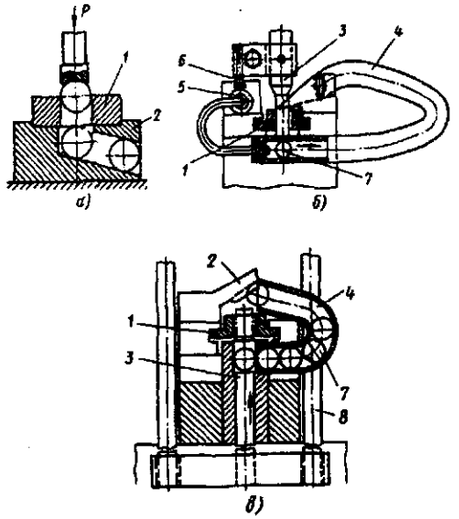


Рис. 30. Приспособления для калибрования: *а* – подставка для калибрования шариком; *б* – с пневматической подачей шарика к пуансону; *в* – снизу вверх; *1* – деталь; *2* – подставка; *3* – пуансон; *4* – труба; *5* – вентиль для сжатого воздуха; *6* – регулируемый упор для автоматического открывания вентиля; *7* – шарик; *8* – тяги, связывающие пуансон с ползуном пресса

АЛМАЗНОЕ ВЫГЛАЖИВАНИЕ

Сущность процесса и схемы обработки. При выглаживании поверхностей инструмент (алмаз, смонтированный в державке) прижимается с определенной силой к обрабатываемой поверхности.

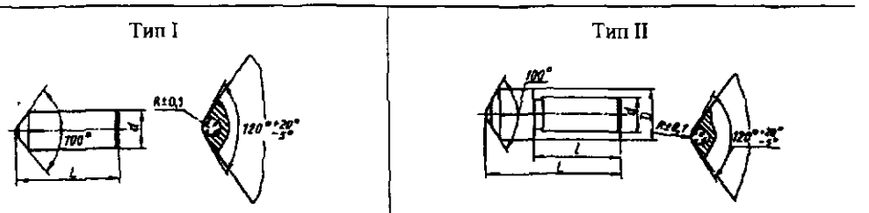
В процессе выглаживания поверхностей в месте контакта деформирующего элемента и обрабатываемой детали возникают значительные контактные напряжения. При определенном усилии выглаживания происходит пластическая деформация поверхностного слоя, в результате чего сминаются микронеровности и изменяются физико-механические свойства поверхностного слоя. Выглаживанием могут обрабатываться наружные и внутренние поверхности вращения (цилиндрической, сферической и другой формы), торцовые поверхности на токарных, карусельных, сверлильных, расточных и других станках.

Инструмент для выглаживания состоит из наконечника с алмазом (табл. 15) и державки. Державка при работе крепится на суппорте станка или в пиноли задней бабки. Нагружающие механизмы державок имеют упругие элементы (пружины), обеспечивающие непрерывный контакт алмаза с обрабатываемой поверхностью и примерно одинаковую силу выглаживания (рис. 31).

Алмаз обладает анизотропными свойствами, т. е. свойства его неодинаковы по различным кристаллографическим осям; это оказывает влияние, в частности, на износостойкость алмаза при выглаживании. Поэтому при креплении алмаза его ориентируют по риске, которую наносят на корпусе наконечника в направлении скорости. Риска определяет положение, при котором износ будет происходить в направлении наибольшей твердости алмаза.

Режимы обработки. Алмазным выглаживанием обрабатывают стали, цветные металлы и другие сплавы. Учитывая повышенную хрупкость алмаза, не следует обрабатывать выглаживанием прерывистые поверхности. Из-за нестабильности качества выглаживанием не обрабатывают детали со значительными отклонениями формы в поперечном сечении или неравномерной твердостью поверхности (разброс значений твердости не более 4 – 5 единиц по Роквеллу).

15. Основные размеры (мм) алмазных наконечников для выглаживания поверхностей



Тип наконечника	Номинальный размер R сферы алмаза, мм	Масса алмаза, карат	d	D	L	l
I и II	0,6; 1,0; 1,5; 2,0	0,21 – 0,30	6	10	22	12
II	2,5; 3,0	0,31 – 0,40				
	3,5	0,41 – 0,60				
	4,0	0,61 – 0,85				
I и II	0,6; 1,0; 1,5; 2,0	0,21 – 0,30	8	12	32	20
II	2,5; 3,0	0,31 – 0,40				
	3,5	0,41 – 0,60				
	4,0	0,61 – 0,85				

Примечания: 1. Для наконечников применяются алмазы VII группы.

2. Корпуса наконечников изготовляют из сталей 12ХН3А или 40Х. Алмаз крепится в корпусе наконечника пайкой серебряным припоем или латунью.

3. Рабочая часть алмаза, выступающая из корпуса, не должна превышать 1/3 длины кристалла.

4. Смещение кристаллографической оси алмаза, определяющей направление максимальной твердости, относительно оси наконечника должно быть не более 3°.

5. 1 карат — 200 мг.

Предварительная обработка поверхности может выполняться шлифованием, тонким точением или растачиванием. Рекомендуемые режимы выглаживания приведены в табл. 16. При внедрении процесса необходимо уточнить режимы экспериментально.

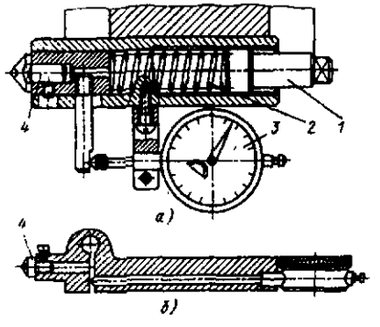


Рис. 31. Державки для выглаживания поверхностей: *а* – с цилиндрической пружиной; *б* – с пружинящим корпусом; *1* – регулировочный винт; *2* – тарированная пружина; *3* – индикатор; *4* – наконечник с алмазом

Точность обработки. Алмазное выглаживание проводится копирующим инструментом. Поэтому отклонения формы в продольном и поперечном сечениях изменяются незначительно, а размер детали (за счет смятия исходных микронеровностей) – на 1 – 15 мкм. Точность обработки при этом может несколько снизиться. В связи с этим целесообразно на предшествующем переходе обеспечивать точность размеров на 20 – 30 % выше заданной для окончательно обработанной детали.

Качество обработанной поверхности существенно зависит от режимов выглаживания – усилия выглаживания и подачи. Число проходов и скорость выглаживания влияют на шероховатость и микротвердость обработанной поверхности в меньшей степени.

При правильно подобранных режимах выглаживания микронеровности на поверхности могут быть уменьшены в несколько раз (Ra = 0,1 … 0,05 мкм), микротвердоть увеличивается на 5 – 60 % (глубина наклепанного слоя до 400 мкм).

16. Рекомендуемые условия алмазного выглаживания

Обрабатываемый материал	Твердость материала	Шероховатость исходной поверхности Ra, мкм	Радиус сферы, мм	Режимы выглаживания		
				Сила, H	Подача, мм/об	Скорость, м/мин
Цветные сплавы, мягкие стали	До 300 *HB*	1,6 – 3,2	2,5 – 4,0	$0{,}8HV\left(\frac{DR}{D+R}\right)^2$	0,04 – 0,08	10 – 80
Стали средней твердости (после термообработки)	35 … 50 *HRC*	1,6	1,5 – 2,5	$0{,}13HV\left(\frac{DR}{D+R}\right)^2$	0,02 – 0,05	200 – 280
Стали высокой твердости (после термообработки)	50 … 67 *HRC*	0,8	0,6 – 1,5		0,02 – 0,05	200 – 280

Примечания: 1. Обработка с применением масла И-20 снижает износ алмаза в 5 раз по сравнению с выглаживанием всухую. Применение керосина или эмульсии приводит к интенсивному износу алмаза.

2. Число проходов – один-два.

3. При обработке цилиндрических поверхностей алмаз устанавливают по центру детали.

4. Обозначения: D – диаметр обрабатываемой поверхности, мм; R – радиус сферы рабочего участка алмаза, мм.

5. Сила выглаживания не должна превышать 300 Н. Наиболее высокая износостойкость алмаза обеспечивается при $P = 250$ Н.

6. Коэффициент трения при выглаживании равен 0,03 – 0,11 для закаленных (65 … 67 *HRC*) и нормализованных (140 … 150 *HB*) сталей.

7. Инструмент необходимо восстановить после образования площадки износа диаметром 0,3 – 0,5 мм, что соответствует 50 – 100 км пути скольжения.

На выглаженной поверхности возникают значительные остаточные напряжения сжатия. Так, например, величина наибольших остаточных напряжений для образцов из стали 45 после нормализации составляет 200 … 350 МПа, а после закалки – 700 … 1000 МПа.

Детали с поверхностью, обработанной алмазным выглаживанием, обладают хорошими эксплуатационными качествами: высокой износостойкостью и усталостной прочностью.

ВИБРОНАКАТЫВАНИЕ

Вибронакатывание (ВН) – это процесс обработки плоских, цилиндрических, сферических и криволинейных поверхностей деталей ППД (шариком, алмазным индентором) при наличии дополнительного осциллирующего движения. Это движение деформирующего тела усложняет кинематику процесса и позволяет, наряду с обычным пластическим деформированием и сглаживанием исходной шероховатости (рис. 32, *а*), образовывать на обрабатываемых поверхностях деталей систему канавок (рис. 32, *б*), полностью новый регулярный микрорельеф (рис. 32, *в*) или регулярную волнистость (рис. 32, *г*).

Принципиальные схемы вибронакатывания поверхностей приведены на рис. 33.

Параметры, определяющие режим вибронакатывания, представлены на рис. 34, где n_3 – число оборотов заготовки в минуту; S – подача рабочего элемента за один оборот заготовки, мм; $n_{дв.х}$ – число двойных ходов (циклов осцилляции) в минуту; l – амплитуда осцилляции, мм; d_3 – диаметр заготовки, мм; r – радиус рабочего элемента, мм; P – сила накатывания, Н.

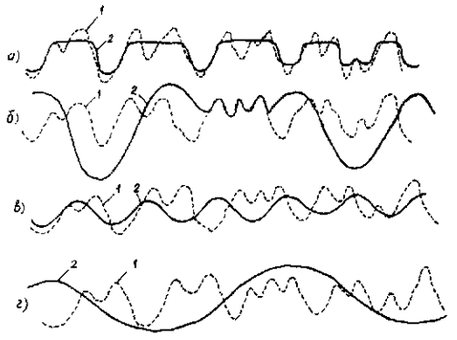


Рис. 32. Возможности вибронакатывания по изменению исходного макропрофиля поверхности: *1* – исходный микропрофиль поверхности; *2* – сформировавшийся рельеф поверхности после вибронакатывания при различных режимах

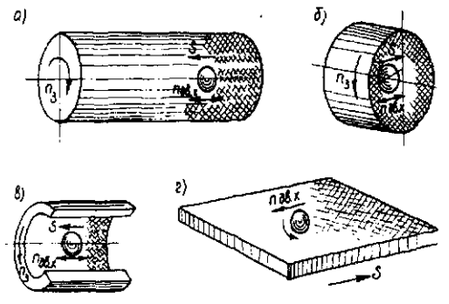


Рис. 33. Принципиальные схемы вибронакатывания поверхностей: *а* – наружной цилиндрической; *б* – торцовой; *в* – внутренней цилиндрической; *г* – плоской линейчатой

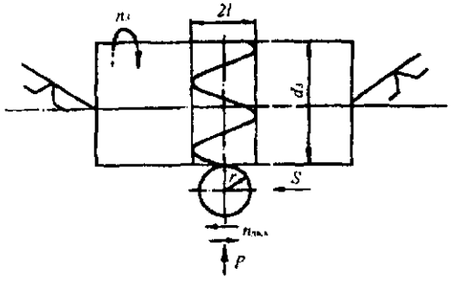


Рис. 34. Параметры режима вибронакатывания

При обработке внутренних цилиндрических поверхностей параметры режимов те же, что и при обработке наружных цилиндрических поверхностей. При обработке торцовых поверхностей с помощью головок обычного типа один из параметров режима – диаметр заготовки, а соответственно и окружная скорость ее на участках, расположенных на различном расстоянии от центра, различны. Что приводит к образованию микрорельефа закономерно переменного по всем характеристикам. Для многих случаев эксплуатации это является необходимым. Для образования однородного по всей торцовой поверхности микрорельефа имеются специальные установки или станки с ЧПУ, обеспечивающие непрерывное изменение числа оборотов заготовки пропорционально радиусу окружности.

В зависимости от поставленной задачи можно использовать несколько видов вибронакатывания, из которых основные показаны в табл. 17.

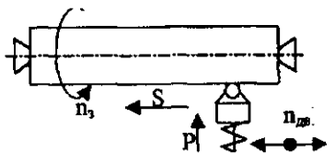
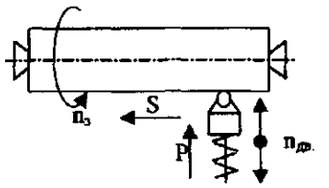
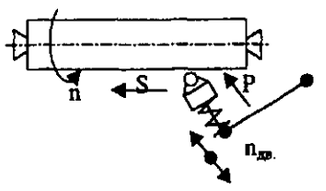
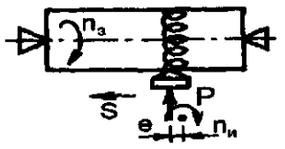
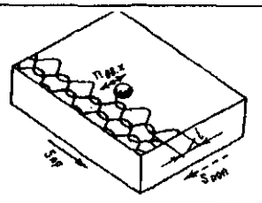
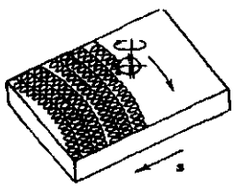
Наиболее универсальными являются первый, четвертый, пятый и шестой виды, с помощью которых можно образовывать как систему непрерывных канавок, так и полностью новый микрорельеф. Остальные схемы обработки не позволяют создавать систему непрерывных канавок, но с их помощью можно более производительно решать задачи образования нового регулярного микрорельефа.

Оборудование, инструмент и оснастка для вибронакатывания. ВН с применением специальных приспособлений выполняется на токарных станках для обработки тел вращения, на фрезерных и строгальных станках для обработки плоских поверхностей. Кроме этого ВН может выполняться на станках с ЧПУ.

При использовании токарных станков самым распространенным является приспособление для ВН, работающее по первой схеме табл. 17 (рис. 35). Приспособление устанавливается в резцедержатель токарного станка и может быть в двух вариантах. Исполнение I – для обработки отверстий, а исполнение II – для обработки наружных поверхностей цилиндрических деталей.

Приспособление содержит электродвигатель *1*, который вращает вал *2* с насаженным на него эксцентриком *3*. Возвратно-поступательное движение от эксцентрика передается

17. Основные схемы вибрационного накатывания

Вид ВН	Схема обработки	Наименование вида ВН
1		Вибрационное накатывание
2		Ударное вибрационное накатывание с нормальным направлением вибраций
3		Ударное вибрационное накатывание с неперпендикулярным направлением вибраций
4		Циклоидальное вибрационное накатывание
5		Синусоидальное вибрационное накатывание плоских поверхностей
6		Циклоидальное вибрационное накатывание плоских поверхностей

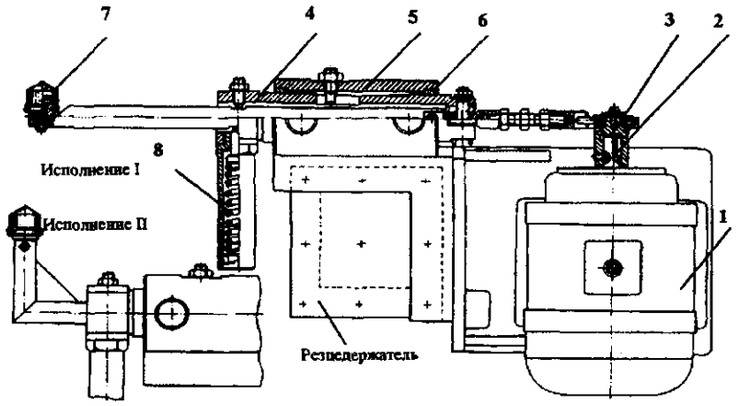


Рис. 35. Приспособление к токарному станку для вибронакатывания

на цилиндрическую направляющую *4*, перемещающуюся в корпусе *5* с подшипником скольжения *6*. Нагрузка на деформирующий элемент *7* передается с помощью тарированной пружины *8*. Деформирующий элемент при этом находится в постоянном контакте с поверхностью детали.

Ударное ВН по схеме 3 (см. табл. 17), осуществляется с помощью приспособления изображенного на рис. 36.

Приспособление состоит из деформирующего элемента *1*, закрепленного на конце коромысла *2*. Колебания коромысла *2* образуются ведомым колесом *3*, вращающимся с эксцентриситетом **e** вокруг оси коромысла *2*. Ведомое колесо *3* связано ведущим колесом *4* с электродвигателем *5*. Силу обработки устанавливают и контролируют тарированной пружиной *6*. Приспособление смонтировано на платформе *7*, которая закрепляется в резцедержателе станка.

Для обработки плоских поверхностей на строгальных станках по схеме 6 (см. табл. 17) может применяться приспособление, разработанное в Брянском государственном техническом университете (рис. 37).

Основание *6* приспособления устанавливается на суппорте продольно-строгального станка. Шариковая накатная головка *9* с опорой шара *8* на подшипник *7* находится в каретке *5*, перемещающейся возвратно-поступательно по шариковым направляющим относительно

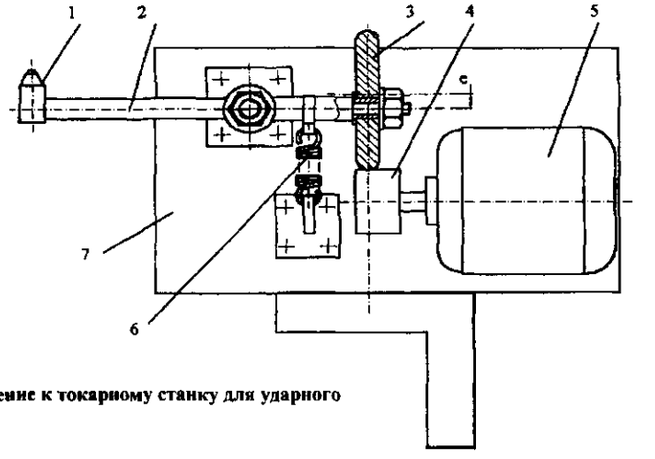


Рис. 36. Приспособление к токарному станку для ударного вибронакатывания

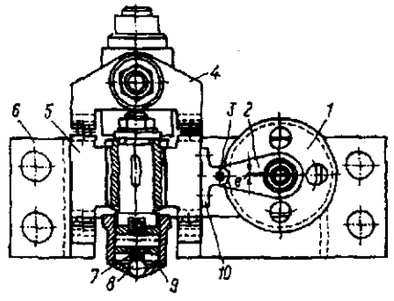


Рис. 37. Приспособление для ВН плоских поверхностей на строгальных станках

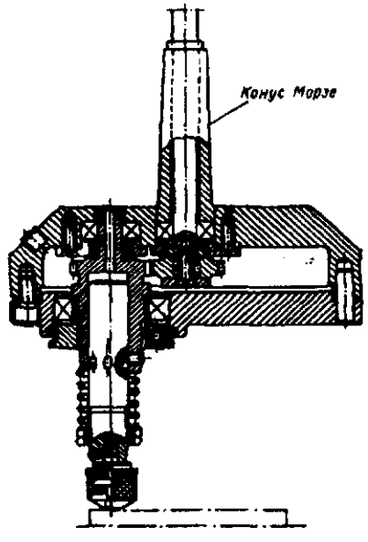


Рис. 38. Приспособление для ВН на вертикально-фрезерном станке

вилки *4*. Осцилляционное движение передается каретке *5* через кронштейн *10*, к которому шарнирно через палец *3* прикреплен шатун *2*, получающий качательное движение от кривошипа, сидящего на одной оси со шкивом *1* ременной передачи. Изменение режимов обработки производят варьированием числа двойных ходов и амплитуды колебания деформирующего элемента, скорости продольного перемещения стола и поперечной подачи суппорта. Данная головка может применяться и на вертикально-фрезерном станке. Для повышения производительности труда используют многошариковые вибронакатные головки.

Для ВН плоских поверхностей по схеме 6 (см. табл. 17) на вертикально-фрезерных станках применяют приспособление, показанное на рис. 38.

Для ВН по схеме 5 (см. табл. 17) с алмазным наконечником в качестве деформирующего элемента используют приспособление, приведенное на рис. 39, которое оснащено малогабаритным электродвигателем *2* постоянного тока. Приспособление позволяет регулировать силу вибронакатывания от 100 до 800 Н, эксцентриситет положения деформирующего элемента *1* относительно оси его вращения 0 ... 1,5 мм, частоту его вращения 0 ... 5 000 об/мин.

В качестве деформирующих элементов при ВН используются шары из стали ШХ 15 или твердого сплава или алмазные наконечники для выглаживания. Они устанавливаются в державках различных конструкций в зависимости от типа обрабатываемой поверхности, габаритов и конструкции обрабатываемых деталей.

Для ВН закаленных сталей и других материалов с повышенной твердостью целесообразно использовать стандартные алмазные наконечники с синтетическими алмазами с радиусами сферы: 0,5; 1,0 и 1,5 мм.

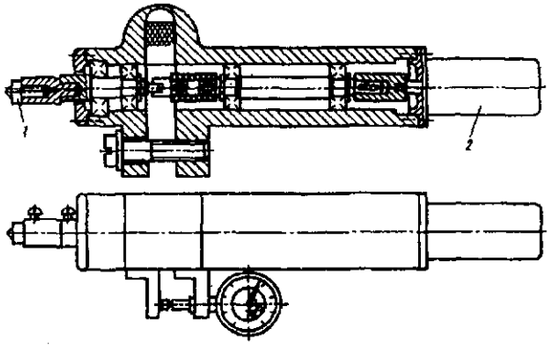


Рис. 39. Приспособление для ВН с деформирующим элементом в виде алмазного наконечника

Режимы вибронакатывания назначают на основе общих положений для процессов ППД.

К основным параметрам относятся:

$n_д$ – частота вращения детали, мин$^{-1}$;

$n_{дв.х}$ – число двойных ходов (или частота ударов) деформирующего элемента, мин$^{-1}$;

P – сила вдавливания (удара) деформирующего элемента, Н;

S – подача инструмента на один оборот заготовки, мм/об;

$n_и$ – частота вращения деформирующего инструмента, мин$^{-1}$.

Изменением соотношения указанных параметров можно в широких пределах влиять на многие параметры создаваемой системы канавок или вновь образуемого микрорельефа. Важным параметром вибрационного накатывания является отношение $n_{дв.х}$ и $n_д$. Изменением его управляют относительным расположением канавок, регулярных неровностей и их геометрическими параметрами. Это отношение обычно представляют в виде целой i и дробной $\{i\}$ части, то есть

$$\frac{n_{дв.х}}{n_д} = i + \{i\}.$$

На форму регулярных неровностей, создаваемых при ВН цилиндрических поверхностей, существенно влияет их расположение относительно образующей цилиндра, которое можно определить по следующей зависимости:

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{\pi d}{iS}\{i\},$$

где d – диаметр детали, мм.

Для образования регулярных неровностей с одинаковыми геометрическими характеристиками в двух взаимно перпендикулярных направлениях необходимо, чтобы угол наклона к образующей цилиндра составлял 45°, то есть необходимо выполнить следующее условие:

$$\begin{cases} \dfrac{\pi d\{i\}}{i} = S \\ \{i\} = 0.5. \end{cases},$$

Число регулярных неровностей на поверхности цилиндрической детали также определяется режимом вибронакатывания:

$$N = \frac{il}{S},$$

где l – длина детали, мм.

Величину силы P выбирают в зависимости от цели обработки; при образовании системы канавок силу назначают исходя из требуемой глубины или ширины выдавливаемой канавки, а при образовании нового регулярного микрорельефа – в зависимости от требуемой высоты микронеровностей. Практически сила изменяется в пределах 100 – 800 Н.

Полное переформирование исходной шероховатости обеспечивается при условии:

$$R_{z\,исх} \le \frac{P(1+f^2)^{0,5}}{\pi R_{пр} HV} - \frac{11(\pi HV\,P)^{0,5}}{32E_{пр}},$$

где f – коэффициент трения деформирующего элемента по обрабатываемой поверхности; $R_{пр}$ – приведенный радиус кривизны в зоне контакта, $R_{пр} = \dfrac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$; ($R_1$, R_2 – радиусы рабочей части инструмента и детали, соответственно); HV – твердость по Виккерсу; $E_{пр}$ – приведенный модуль упругости обрабатываемого материала и деформирующего элемента, $E_{пр} = \dfrac{E_1 E_2}{E_1 + E_2}$.

Если требуется обеспечить необходимую глубину или ширину образуемых на поверхности канавок, то для случая обработки алмазным наконечником можно воспользоваться формулой:

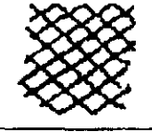
$$P = \pi\left(\frac{h}{R}\right)HV\,R^2,$$

где $\dfrac{h}{R}$ – относительная глубина внедрения деформирующего элемента; R – радиус деформирующего элемента.

В зависимости от цели ВН выбирается параметр i режима обработки. При образовании нового регулярного микрорельефа в зависимости от диаметра детали i = 160 ... 14, а при образовании системы канавок i = 70 ... 9. Подача S, как правило, находится в пределах 0,07 ... 4 мм/об. При образовании нового микрорельефа подача принимает минимальные значения, соизмеримые с шагом образуемых неровностей, а при образовании канавок зависит от степени их перекрытия друг другом и достигает максимальных величин.

Рекомендуемые режимы вибронакатывания различных деталей приведены в табл. 18.

18. Режимы вибронакатывания деталей различных пар трения ($n_{дв.х}$ = 1400 1/мин) r_a^1

Деталь		Условия работы	Причины выхода из строя	Режим вибронакатывания						
Наименование	Диаметр, мм			n_3, об/мин	S, мм/об	l, мм	$d_ш$ или r_a^1	P, Н	h, мм	Вид микрорельефа
Гильза[2] цилиндра двигателя ЯМЗ-236	130	Большие скорости относительного перемещения	Натиры, задиры, схватывания	12,5	1,56	1,0	4,0	350	0,0129	
То же ЗИЛ-130	100			12,5	1,74	1,0	4,0	350	0,008	
То же ГАЗ-21	92			12,5	1,56	1,0	4,0	350	0,0095	
То же М-412	82			25	3,0	1,38	7,94	400	0,0055	
Цилиндрическая прецизионная направляющая[3]	30	Периодическое движение	Задиры, схватывание	20	2,5	3,0	5,5	400	0,014	
Калибры[4]	35	Сухое трение	Абразивный и окислительный износ	25	0,95	1,0	1,0	250	0,0045	
	27			25	0,87	1,0	1,0	250	0,005	
	6			50	0,87	1,0	1,0	250	0,004	

[1]Для обработки калибров алмазным наконечником.
[2]Хромокремнистый сплав.
[3]Чугун СЧ28.
[4]Сталь У10А.

Области применения. Вибронакатывание в зависимости от кинематики процесса позволяет решать следующие технологические задачи:

а) повышение относительной длины опорной линии профиля шероховатости и поверхностной макротвердости (см. рис. 32, *а*);

б) образование на рабочих поверхностях деталей системы канавок, улучшающих процесс смазки и приработки поверхностей трения и снижающих их износ (см. рис. 32, *б*);

в) формирование на поверхностях деталей регулярных неровностей различной формы расположения в зависимости от требуемых эксплуатационных характеристик и свойств (см. рис. 32, *в*);

г) восстановление размерной точности деталей в определенных пределах, за счет перераспределения материала в поверхностном слое (см. рис. 32, *г*);

д) создание на сопрягаемых цилиндрических поверхностях винтовых микрошлицев (см. рис. 32, *г*);

е) декоративная обработка поверхностей деталей, взамен трудоемкой абразивной обработки.

Первая, четвертая, пятая и шестая схемы ВН (см. табл. 17) позволяют решать все приведенные технологические задачи, а остальные – лишь три последних задачи. Для восстановления размерной точности рекомендуются вторая и третья схемы. Первая схема при определенном сочетании режимов обработки внутренней и наружной сопрягаемых цилиндрических поверхностей позволяет создать на них винтовые микрошлицы, позволяющие передавать крутящий момент. Первая и пятая схемы ВН обладают наименьшей производительностью при решении технологической задачи восстановления размерной точности. Для повышения производительности обработки по данным схемам необходимо существенное увеличение количества деформирующих элементов, что не всегда возможно вследствие возникновения значительных инерционных сил.

На точность обработки при образовании системы канавок ВН практически не оказывает влияния. Изменение размера в данном случае происходит лишь за счет наплывов, образующихся у краев канавок, и составляет несколько микрометров. Изменения других параметров, характеризующих форму детали, не происходит.

Изменение размера детали при образовании полностью нового микрорельефа зависит от параметров исходной шероховатости, размеров деформирующего элемента и режимов обработки. При обработке по первой, четвертой, пятой и шестой схемам, за счет многократного перераспределения материала поверхностного слоя детали в различных направлениях, наблюдается уменьшение погрешности формы деталей и, в частности, отклонения от круглости цилиндрических поверхностей.

При определенных параметрах режима обработки, пластических свойств детали и ее шероховатости возможно увеличение размера детали или восстановление размерной точности. При этом наблюдается снижение величины опорной поверхности профиля шероховатости до средней линии. В общем случае можно считать, что точность размеров обработанной детали зависит от схемы и режимов обработки, точности размеров, формы и качества поверхностного слоя детали, полученных на предшествующем переходе.

Вибронакатывание применяется для обработки подшипников скольжения, гильз цилиндров, колонок штампов, крутильных колец – бегунков, направляющих станин, прокатных валков, матриц вытяжных штампов, калибров, шеек валов под манжетные уплотнения, рефлекторов, утюгов и других изделий.

ОБРАБОТКА ДРОБЬЮ

Обработка дробью (ОД) осуществляется ударами дроби по деформируемому материалу, используется для упрочнения деталей и инструментов сложной формы и деталей, имеющих малую жесткость: зубьев шестерен, листовых рессор, витых пружин, лопаток компрессоров и турбин, сварных швов, штамповой оснастки и др.

Обработка дробью подразделяется на дробеструйную и дробеметную.

Дробеструйное упрочнение (ДУ) осуществляется на установках, в которых в качестве **движителя дроби (ДД)** используется сжатый воздух или жидкость. В зависимости от этого ДУ подразделяются на пневмодробеструйное (ПДУ), гидродробеструйное (ГДУ) и пневмогидродробеструйное упрочнение (ПГДУ). Разновидностью ДУ является пневмодинамическое упрочнение (ПДМУ).

***Пневмодробеструйное упрочнение* ПДУ.** Схема универсальной установки для ПДУ показана на рис. 40.

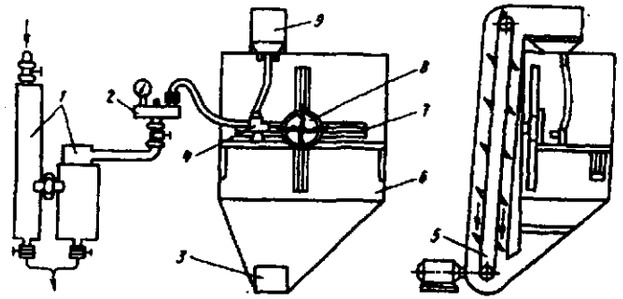


Рис. 40 Схема пневмодробеструйной установки

В замкнутой рабочей камере *6* размещаются планшайба *7* с деталью *8*, рабочие сопла *4*, нижний дробесборник *3*. Сжатый воздух подается через воздушный фильтр *1* к рабочим соплам *4*, к которым дробь поступает из верхнего дробесборника *9*, расположенного над камерой. Увлекаемая воздухом дробь направляется под заданным углом атаки на упрочняемую деталь (вращающуюся или неподвижную) со скоростью от 1 ... 100 м/с, которая зависит от давления сжатого воздуха (0,1...0,5 МПа). Отработанная дробь под действием силы тяжести поступает в нижний дробесборник *3*, а затем захватывается элеватором *5* и поступает в верхний дробесборник.

Рабочее сопло (рис. 41) состоит из корпуса *2*, сменной насадки *1*, форсунки *3* подачи сжатого воздуха, канала *4* подачи дроби.

Основные преимущества ПДУ: простота конструкции установок, возможность использования централизованной подачи сжатого воздуха и обработки труднодоступных участков деталей; отсутствие необходимости промывания деталей после обработки.

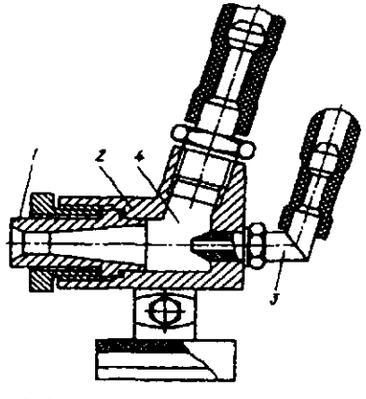


Рис. 41. Рабочее сопло

Недостатки ПДУ: высокие локальные мгновенные температуры (600 ... 750 °С), приводящие к созданию значительного подслойного максимума сжимающих остаточных напряжений; увеличение шероховатости поверхности деталей; ускоренный износ сопел, дроби и деталей камеры; наличие металлической пыли; низкая производительность каждого сопла.

***Гидродробеструйное упрочнение* ГДУ** осуществляется в установках (рис. 42), в которых в качестве ДД применяется СОЖ, например, минеральное масло.

Деталь *4* устанавливается на шпиндель *3* с возможностью вращения и (или) поступательного движения в камере *1*, разделенной сеткой *9* на две полости. В сетке находятся шарики (дробь), в емкости 8 – СОЖ. В нижней части емкости установлен струйный аппарат, имеющий одно или несколько **сопел-эжекторов (С-Э).** В форсунку С-Э подается под давлением 0,2 ...1,5 МПа рабочая жидкость, которая засасывает (эжектирует) шарики, находящиеся в камере вокруг С-Э, и направляет их на обрабатываемую деталь.

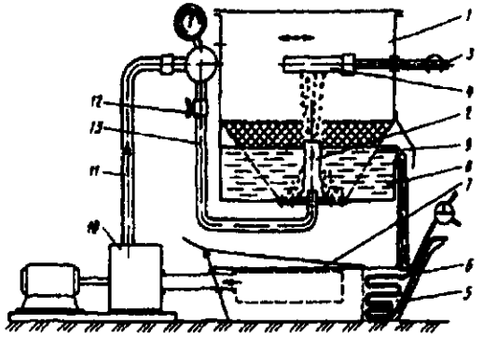


Рис. 42. Схема гидродробеструйной эжекторной установки

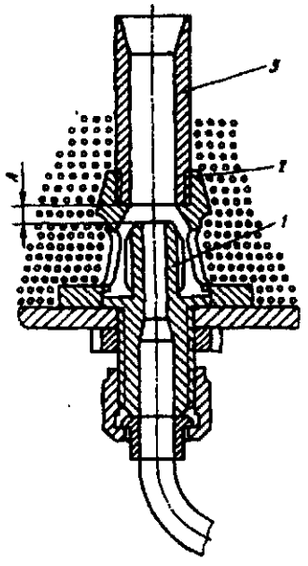


Рис. 43. Схема сопла-эжектора гидродробеструйной установки

Отработанная смесь жидкости и шариков стекает на сетку *9*, которая задерживает шарики в зоне С-Э, а СОЖ стекает через сетку в полость *8*, а затем через сливной патрубок в бак *5*.

СОЖ к соплам-эжекторам подается через фильтр *7* с помощью насоса *10* по трубопроводам *11*, *13* через кран *12*. Охлаждение СОЖ осуществляется устройством *6*. Качество работы установок для ГДУ зависит от стабильности работы С-Э (рис. 43). Важными конструктивными элементами С-Э являются внутренние диаметры форсунки *1* и сменной насадки *3*, а также зазор *А* между срезом форсунки и торцем насадки. Этот зазор устанавливается экспериментально при отладке процесса (*2* – корпус-эжектор).

Благодаря наличию масляной пленки между шариком и деформируемой поверхностью, ГДУ обеспечивает более высокие качественные показатели поверхностного слоя по сравнению с ПДУ: образуются только сжимающие остаточные напряжения с незначительным спадом к поверхности; шероховатость поверхности Ra = 10 ... 2,5 мкм понижается до Ra = = 2,5 ... 1,25 мкм; исключен процесс газонасыщения поверхности детали; на деталях из цветных металлов практически отсутствуют вкрапления частиц железа.

ГДУ имеет и другие преимущества: высокая производительность (минутный расход дроби через одно С-Э более 50 кг/мин); высокая стабильность режима обработки; высокая стойкость шариков и соплового аппарата (в тысячи раз выше, чем при ПДУ); исключены воздухоосушительные и воздухоочистительные системы. При ГДУ в качестве рабочей жидкости применяют наряду с минеральными маслами различные водные растворы с антикоррозионными и снижающими коэффициент трения добавками.

В настоящее время разработана гамма ГДУ, применяемая в мелкосерийном, серийном и массовом производствах.

***Пневмогидродробеструйное упрочнение* ПГДУ** осуществляется потоком смеси дроби, воздуха и СОЖ, направляемого на деталь. ПГДУ имеет достоинства ПДУ и ГДУ.

Для ПГДУ применяют высокоскоростные (более 50 м/с) установки, струйные аппараты которых оснащены С-Э в количестве от 1 до 80. В ПГДУ используют преимущественно **микрошарики** – мелкая стальная или стеклянная дробь диаметром 0,03 ... 0,3 мм.

Микрошарики обеспечивают возможность упрочнения практически любых деталей: с острыми кромками, канавками, проточками, резьбовых деталей, елочных замков лопаток турбин, режущего инструмента, вырубных штампов и т.п.

Особенностью упрочнения микрошариками является обеспечение сжимающих остаточных напряжений, практически не имеющих подслойного максимума.

Для ПГДУ применяют установки ПГДУ-П, ПГДУ с ПУ-1, ПГДУ с ПУ-2, ПГДУ с ПУ-3.

На рис. 44 показана схема пневмогидродробеструйной установки ПГДУ с ПУ-3 с программным управлением, которая предназначена для упрочнения крупногабаритных лопаток компрессора, дисков компрессора и турбин и других деталей сложной формы.

Установка состоит из рабочей камеры *12*, верхней штанги *7*, на которой крепятся сопла *13*, нижней штанги *3* с поворотной планшайбой *4*, рабочей емкости *2*, смывной емкости *18*, циклона. Камера *12* имеет наклонное дно для стока микрошариков в рабочую емкость *2*. Упрочняемая деталь *6* закреплена в патроне *5*.

Установка имеет узлы продольного *11* и вертикального *10* перемещений. Последнее осуществляется через шаговый двигатель *9* и редуктор *8*. Для конденсации образующихся паров и отделения их от микрошариков предусмотрен циклон, подключенный к вытяжной вентиляции.

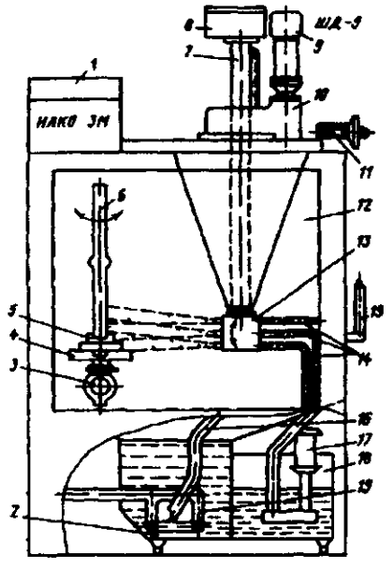


Рис. 44. Схема пневмогидродробеструйной установки ПГДУ с ПУ-3

Управление установкой производится от пульта *1*. Питание гидравлической системы осуществляется от автономной насосной станции. Двухфазная среда (микрошарики и жидкость) в рабочей емкости *2* приводится в псевдокипящее состояние в воздушном коллекторе *19* и через всасывающий патрубок *16* подается через трубопроводы к соплам. Избыточное количество жидкости из емкости *2* переливается в емкость *18*, откуда с помощью помпы *17* подается в устройство *15* для смыва микрошариков со стенок рабочей камеры *12*.

Ответственным узлом пневмогидродробеструйных установок является емкость для рабочей среды с системой, обеспечивающей псевдокипящее состояние рабочей среды.

На рис. 45 представлена конструкция рабочей емкости, обеспечивающей наиболее равномерное перемешивание рабочей среды *6* и предотвращающей слипание микрошариков на днище. Емкость выполнена в виде двух цилиндров, сопряженных усеченным конусом *5*, обращенным большим основанием вверх. Коллекторы *9* забора рабочей среды выполнены с внешней стороны емкости и сообщаются с емкостью через отверстия на образующей конуса *5*. Большой цилиндр *3* емкости снабжен заслонкой *1*, установленной так, что она может поворачиваться на горизонтальной оси *2*. Заслонка *1* выполнена в виде дисков с отверстиями, между которыми устанавливается сетка. В меньшем цилиндре *8* смонтированы разделительные сетки, через которые в емкость поступает сжатый воздух.

Принцип работы емкости. До начала работы микрошарики собирают на заслонке *1* (см. рис. 45), находящейся горизонтально. В начале работы в емкость с жидкостью подают через цилиндр *8* и сетку 7 сжатый воздух, который приводит жидкость в "кипящее" состояние. В процессе псевдокипения жидкости заслонку *1* устанавливают вертикально. С вертикально установленной заслонки микрошарики под действием силы тяжести и энергии "кипящей" жидкости попадают в емкость и перемешиваются сжатым воздухом. Двухфазная среда (микрошарики и жидкость) при подаче сжатого воздуха к рабочим соплам эжектируется через коллекторы *9* и направляется на упрочняемые детали.

Расположение коллекторов *9* с внешней стороны емкости обеспечивает равномерное перемешивание рабочей среды в емкости и отсутствие влияния коллекторов на качество перемещения. По окончании процесса упрочнения заслонка *1* устанавливается в горизонтальное положение; при этом микрошарики собираются, а жидкость поступает в емкость. Отсутствие микрошариков в емкости исключает возможность их слипания на разделительных сетках *7*. Таким образом обеспечивается равномерная концентрация микрошариков в жидкости в процессе работы. Избыточная жидкость *6* из цилиндра *3* перетекает через фильтр *4*.

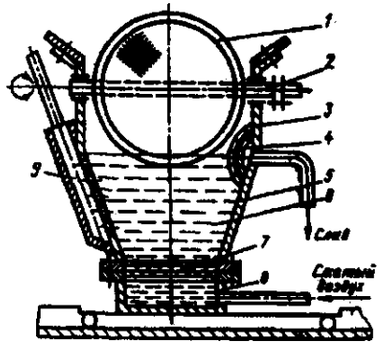


Рис. 45. Схема рабочей емкости пневмогидродробеструйных установок

19. Техническая характеристика установки ПГДУ с ПУ-3

Параметр	Значение
Диаметр микрошариков, мкм	100 ... 160
Масса микрошариков, кг	25
Давление сжатого воздуха, МПа	0 ... 0,5
Объем, м^3, емкости:	
рабочей	60
смывной	60
Число рабочих сопел, шт	3
Мощность электродвигателя насосной станции, кВт	3
Давление насосной станции, МПа	4
Расстояние, на которое перемещаются сопла в направлении, мм:	
горизонтальном	890
вертикальном	790
Угол поворота сопла в вертикальной плоскости, град.	± 120
Расстояние, на которое перемещается деталь по оси *x*, мм	510
Угол поворота детали, град.	360
Габаритные размеры обрабатываемых деталей, мм	1150×800
Количество, шт:	
гидроусилителей ЭМГ18-12Н	1
пультов управления ИЛКО-3М	1
Габаритные размеры установки, мм	3070 × 1750 × ×1200

Пневмодинамическое упрочнение **ПДМУ** – это метод, в котором в качестве дроби применяются стальные шарики диаметром 2 ... 3 мм, размещенные в замкнутой камере, ограниченной боковыми стенками с отверстиями для отвода воздуха, сверху – обрабатываемой поверхностью детали, снизу – устройством для подачи сжатого воздуха, разгоняющего шарики до скорости 12 ... 15 м/с. Камера перемещается с подачей 10 ... 100 мм/мин вдоль детали. Давление воздуха изменяется в пределах 0,3 ... 0,6 МПа.

ПДМУ применяется для обработки поверхностей: плоских участков деталей, радиусных сопряжений, галтелей, а также отверстий. Для этой цели используются различные по конструкции устройства.

Дробеметное упрочнение (ДМУ) осуществляется на установках, в которых в качестве ДД применяется ротор – дробемет, вращающийся со скоростью 40 ... 100 м/с. Дробеметные установки более производительны и экономичны, чем дробеструйные установки, отличаются высокой надежностью.

В авиационной промышленности применяют многопозиционные дробеметные установки: УДМ-2, УДМ-3, УДМ-4П и их модификации, предназначенные для дробеметного упрочнения деталей микрошариками.

Установку УДМ-2 применяют для упрочнения лопаток компрессоров и турбин, деталей с резьбой и др. (рис. 46). При подаче микрошариков из бункера *6* в дробемет *2* через расходную втулку *5* микрошарики под действием центробежных сил вращающегося дробемета выбрасываются со скоростью до 124 м/с на поверхность вращающихся деталей, закрепленных в кассетах *10* и установленных внутри камеры *9*. Отраженные от деталей и экрана камеры *9* микрошарики под действием силы тяжести по наклонному дну камеры *11* и каналу *13* попадают к транспортирующему эжекторному соплу *8*, а оттуда по каналу *12* в бункер *6*. Таким образом происходит циркуляция микрошариков в камере.

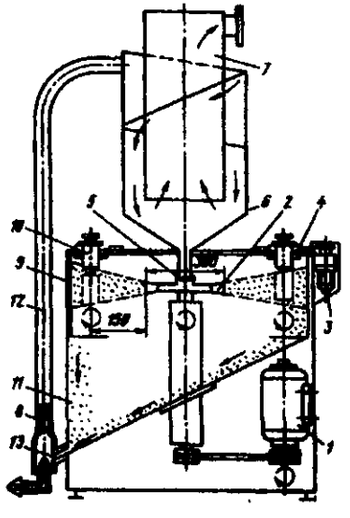


Рис. 46. Схема дробеметной установки УДМ-2

20. Техническая характеристика дробеметной установки УДМ-2

Параметр	Значение
Диаметр микрошариков из *ШХ15 и Р6М5, мкм*	*63 ... 315*
Масса микрошариков, кг	50
Частота вращения, мин$^{-1}$:	
дробемета	2800 ... 3600
деталей	18
Число одновременно обрабатываемых деталей, шт.	9 ... 15
Время обработки, мин	3 ... 12
Мощность приводов, кВт	5,7
Габаритные размеры, мм:	
детали	350 × 75 × 75
установки	2000×1150 × 850

Циклон *7* обеспечивает очистку микрошариков от пыли. Вращение деталей с кассетами *10* осуществляется электроприводом *3* через звездочки *4*. Дробемет вращается электроприводом *1*. Техническая характеристика установки УДМ-2 представлена в табл. 20.

Недостатками дробеметных установок УДМ-2, УДМ-3, УДМ-3М являются: отсутствие технологических возможностей обработки крупногабаритных деталей без дополнительной перенастройки и ориентации потока микрошариков на новые участки детали, а также постоянство угла атаки потока микрошариков.

Проблема ориентации углов атаки микрошариков в дробеметной установке УДМ-3Д с ПУ решена путем обеспечения автоматического перемещения детали относительно потока микрошариков по двум координатам, а также возможности ее поворота по заданной программе.

В серийном и массовом производствах листовых рессор, витых пружин, шестерен коробок передач и других деталей автомобилей применяют установки проходного или карусельного типа. Качество поверхностного слоя деталей после ДМУ такое же, как после дробеструйного упрочнения.

Гидродробеметное упрочнение (ГДМУ) – это процесс ГДУ с той лишь разницей, что в качестве ДД служит ротор – дробемет, как при ДМУ. Подача дроби к дробемету осуществляется посредством С-Э, т.е. без механического элеватора.

Выбор дроби определяется материалом, размерами и конфигурацией детали, требованиями к упрочнению и др. Применяется литая стальная или чугунная дробь (диаметром 0,2 ... 3,6 мм), шарики для подшипников (1 ... 10 мм), стальные микрошарики (0,005 ... 0,3 мм), стеклянные шарики (0,25 ...1,2 мм).

Смазочной и охлаждающей технологической средой служат минеральные масла с кинематической вязкостью не выше $30 \cdot 10^{-6}$ м^2/с и температурой вспышки более 135 °С (трансформаторное масло, масло МК-8,5 %-ная сточная эмульсия, вода с антикоррозионными и снижающими коэффициент трения добавками.

Технологическая оснастка. включает в себя приспособления для установки детали и контроля режима. Установку детали допускается выполнять отклонениями ±5 мм. Детали закрепляют только в случаях обработки их на шпинделе, барабане и т.п., а также при упрочнении деталей в заневоленном состоянии (листовых рессор, витых пружин и т.п.). Станочные приспособления, выполняют с защитой резьбовых и других подвижных соединений от попадания в них дроби и металлической пыли в процессе обработки дробью.

К контрольным приспособлениям относятся индикаторный прибор для измерения стрелы прогиба после ОД **контрольных пластин (КП)** с базовой длиной *33*, 60, *95* мм; приспособления для измерения пропускной способности сопел; а также устройства для определения расходной характеристики потока дроби по пятну обработки.

Контроль процесса ОД производится в основном по замеру стрелы прогиба КП при её одностороннем упрочнении; диаметров отпечатков на поверхности детали от ударов отдельными дробинками; по распределению числа дробинок в зоне обработки; расходу дроби и др.

Выбор режимов обработки дробью. К основным технологическим параметрам относятся: диаметр дроби D, скорость полета дроби $V_д$ и время обработки t, угол атаки α. От этих параметров зависят степень пластической деформации поверхности, глубина упрочненного слоя, остаточные напряжения и шероховатость поверхности.

Степень деформации ε и глубина упрочнения $h_н$ для процессов ППД, осуществляемых по схеме внедрения, определяют по формулам:

$$\varepsilon = d/D; \quad h_н \approx 1{,}5d,$$

21. Динамические характеристики материалов

Марка	$H_{дин}$, МПа	$n_{дин}$	Марка	$H_{дин}$, МПа	$n_{дин}$
Сталь 20	2300	2	30ХНМА	5400	2
25	2380	2	Д16	2350	2,12
40	2930	2	В95	3100	2,14
30ХГСА	8200	2	АК4–1Т	2240	2,10
30ХГСНА	11000	2	В93ПЧ	3140	2,14
40Х	5340	2			

где d – диаметр отпечатка шарика при единичном внедрении; D – диаметр шарика.

Скорость потока деформирующих тел при обработке дробью определяют из условия обеспечения заданного значение ε по формуле:

$$v = \sqrt{\frac{\varepsilon^{n_{дин}+2}}{\frac{2}{3}K_y^{n_{дин}+2}\frac{\rho(n_{дин}+2)}{gH_{дин}}}},$$

где $H_{дин}$ и $n_{дин}$ – истинная динамическая твердость и показатель динамического упрочнения, соответственно (табл. 21); K_y – отношение диаметра отпечатка d_y образованного при числе ударов n_y, нанесенных в один и тот же отпечаток, к диаметру отпечатка d при однократном ударе (рис. 47); ρ – плотность материала; g – ускорение свободного падения.

Время обработки определяют из условия сплошного покрытия обрабатываемой поверхности следами отпечатков дроби и "насыщения" упрочнением. Это время обычно определяется экспериментально по прогибу контрольных пластин. На рис. 48 представлены графики изменения прогиба пластин в зависимости от продолжительности обработки t.

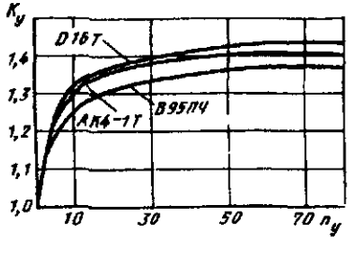


Рис. 47. Зависимость K_y от n_y

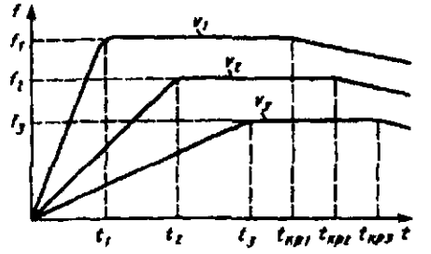


Рис. 48. Кривые изменения прогиба f пластины от времени дробеструйной обработки t

Точки перегиба t_1, t_2, t_3 соответствуют эффективной продолжительности упрочнения единицы площади для различных скоростей полета дроби ($v_1 > v_2 > v_3$). Превышение времени эффективного упрочнения в 2 ... 3 раза до $t_{кр}$ вызывает разрушение поверхностного слоя.

Общая продолжительность обработки зависит от размера упрочняемой поверхности и диаметра ядра распыла дроби. Например, продолжительность упрочнения детали в одной позиции при вращении вала равна

$$T = \frac{t\pi D_в}{zd_я},$$

где t – эффективная продолжительность упрочнения одним соплом каждого участка детали; $D_в$– диаметр вала; $d_я$ – диаметр эффективного ядра распыла дроби при упрочнении поверхности детали, установленной перпендикулярно оси сопла; z – число одновременно упрочняющих сопел в одной позиции.

ВИБРОУДАРНАЯ ОБРАБОТКА

Сущность процесса. ***Виброударная обработка* (*ВиУО*)** – метод (рис. 49), осуществляемый соударением *частиц обрабатывающей среды* (*ЧОС*) (в виде стальных закаленных шаров, роликов, абразивной среды и др.) с поверхностью обрабатываемых деталей, помещенных в вибрирующую рабочую камеру (РК).

Обработка сопровождается непрерывной циркуляцией или периодической подачей *технологической жидкости* (ТЖ). ВиУО подразделяют на зачистную обработку, которая сопровождается съемом микронеровностей и удалением заусенцев, и упрочняющую.

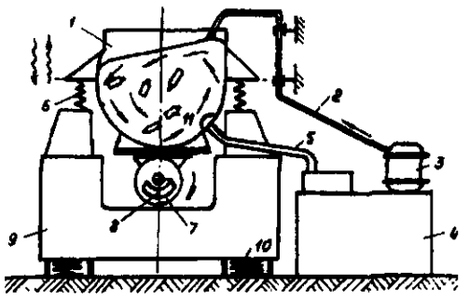


Рис. 49. Схема виброударной обработки: *1* – рабочая камера; *2* – трубопровод подачи СОЖ; *3* – насос; *4* – бак-отстойник; *5* – слив; *6* – пружины; *7* – вибратор; *8* – дебаланс; *9* – основание; *10* – амортизаторы; *11* – обрабатываемые детали

В процессе ВиУО происходит уменьшение шероховатости поверхности до *Ra* 0,2, повышение микротвердости на 20 … 60 % на глубине 0,1 … 0,5 мм и более, образование в поверхностном слое сжимающих остаточных напряжений, скругление острых кромок, удаление заусенцев, уменьшение или ликвидация концентраторов, выравнивание остаточных напряжений по сечению детали, что способствует стабилизации формы деталей.

На качество и производительность ВиУО влияют режимы и продолжительность обработки, характеристика и размеры ЧОС, состав и количество ТЖ, масса обрабатываемых деталей, их число в рабочей камере. Технологические параметры ВиУО регулируются в следующих пределах: амплитуда и частота колебаний, соответственно A = 0,5 … 9 мм и f = = 15 … 50 Гц; скорость соударения ЧОС и обрабатываемых деталей 0,3 … 1 м/с; ускорение 20 … 150 м/с^2; давление при соударении 300 … … 700 МПа; температура в рабочей камере не превышает обычно 30 … 40 °С.

Станки. Вибрационные станки (табл. 22) разделяют по классификационным признакам.

Достоинством станков резонансного типа является возможность создания машин большой массы с меньшей энергоемкостью привода.

Современные станки для вибрационной обработки деталей работают в основном в зарезонансном режиме, который характеризуется минимальными усилиями, действующими на подшипники вибратора и упругие связи, и достаточно высокой устойчивостью.

Наиболее распространены инерционные (дебалансные) (см. рис. 49) и электромагнитные вибраторы. Расположение оси привода может быть горизонтальным, вертикальным, наклонным и поворотным, что определяет направление действия возмущающей силы.

В вибрационных станках применяют упругие элементы, связывающие колеблющиеся и неподвижные массы, в виде стальных спиральных пружин, пластинчатых рессор, резинокордных баллонов и упругих элементов из резино-металлических материалов.

Рабочие среды. В зависимости от целей ВиУО применяют абразивные, металлические, полимерные, древесные, войлочные, стеклянные и др. среды.

Для ППД применяются среды в виде полированных шаров диаметром 1 … 16 мм из закаленной стали ШХ15. Для весьма тонкой отделки применяют шарики из высококачественного стекла.

На протекание процесса ВиУО влияют технологические жидкости (ТЖ). Основными ТЖ являются водные растворы щелочей, кислот и нейтральных солей, в которые в зависимости от характера выполняемой операции вводят различного рода химические добавки.

22. Классификационные признаки вибрационных станков

Режим работы	Тип привода	Форма рабочей камеры	Принцип действия	Степень универсальности	Степень механизации
Дорезонансный	Инерционный Эксцентриковый	Прямоугольная	Периодический	Универсальные	Немеханизированный
Резонансный	Электромагнитный	Кольцевая (спиральная)	Непрерывный	Специализированнные	Механизированные
Зарезонансный	Гидравлический Пневматический	Специальная		Специальные	Автоматические

Химические добавки интенсифицируют процесс, повышают антикоррозийные и смазочные свойства растворов, могут образовывать сильную пенистую подушку; способствуют лучшему сглаживанию обрабатываемой поверхности и обрабатываемости мягких и вязких материалов; обладают свойствами блескообразования; препятствуют загрязнению и затемнению полируемых поверхностей; предотвращают слипание плоских поверхностей и обеспечивают их равномерную обработку.

Для интенсификации обработки в состав рабочих сред вводят низкомолекулярные ПАВ и полимеросодержащие ТЖ.

Расчет основных параметров виброударной упрочняющей обработки с рабочей средой из закаленных стальных шаров включает расчет шероховатости поверхности, минимальною время для достижения стабильной шероховатости, толщины упрочненного слоя, нормы штучного времени, потребного количества оборудования, объема рабочей среды.

Область рационального использования. Виброударная обработка ППД приводит к повышению износостойкости, сопротивлению усталости на 15 – 70 %, долговечности в 3 – 10 раз в зависимости от условий работы деталей, режимов и технологии упрочнения, материала, исходного состояния поверхности, предыдущей термообработки, контактной жесткости, отражательной способности, коррозионной стойкости и некоторых других свойств.

Совмещенный процесс ППД вибрационным способом и нанесения дисульфида молибдена или графита на поверхность гильзы гидроцилиндров, шестерни, рейки, вкладыши сферических подшипников и т.п. позволяет уменьшить коэффициент трения и повысить износостойкость деталей.

УДАРНО-ИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА

Ударно-импульсная обработка (УИО) – это ППД при возвратно-поступательном движении инструмента перпендикулярно обрабатываемой поверхности, осуществляемое с заданными частотой ударного импульса и законом расположения по поверхности деталей пластических отпечатков. В зависимости от частоты и силы ударного импульса УИО делят на чеканку и ультразвуковую обработку.

Чеканка применяется для упрочнения тех участков крупных деталей машин, которые являются эффективными концентраторами

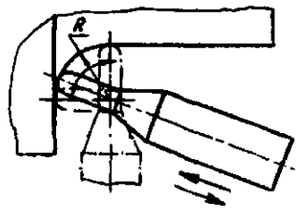


Рис. 50. Схема чеканки галтели большого радиуса

напряжений: галтели валов (рис. 50), основания зубьев крупных шестерен, канавки, углы шпоночных пазов и дна шлиц, сварные швы и т.п.

Для чеканки используют устройства с механическим или пневматическим приводом, устанавливаемые на универсальные токарные, фрезерные или специальные станки.

Наиболее распространены пневмомолотки с числом ударов в минуту 1500 … 3500 и мощностью 6 … 20 Дж. Форма деформирующего инструмента должна соответствовать профилю упрочняемой поверхности. Для упрочнения сварных швов, наряду с однобойковым инструментом применяют многобойковые в виде пучка, состоящего из 25 … 30 проволочек диаметром 2 … 3 мм и длиной 150 … … 180 мм.

Распространение получили чеканочные устройства на основе пневмомолотков 57КМП-4, КЕ19 и многобойковые пневмоинструменты типа П-2а.

На рис. 51 показан инструмент для чеканки на основе пневмомолотка.

В зависимости от требуемой толщины $h_н$ и условной степени деформации ε рассчитывают диаметр пластического отпечатка d, энергию удара $W_у$ и размер (диаметр) бойка D.

Приближенно $h_н = 1{,}5d$; $\varepsilon = d / D$.

При упрочняющей чеканке конструкционных сталей степень деформации должна находиться в пределах $0{,}7 \geq \varepsilon \geq 0{,}3$.

Шероховатость обработанной поверхности возрастает с увеличением ε, поэтому степень деформации $\varepsilon > 0{,}4$ назначается только при допускаемой повышенной шероховатости.

Энергия удара

$$W_у = \pi / 32 (H_д d^4 / D),$$

где $H_д$ – динамическая твердость.

Для равномерного упрочнения величина подачи (шаг чеканки) не должна превышать (0,10 … 0,12) d.

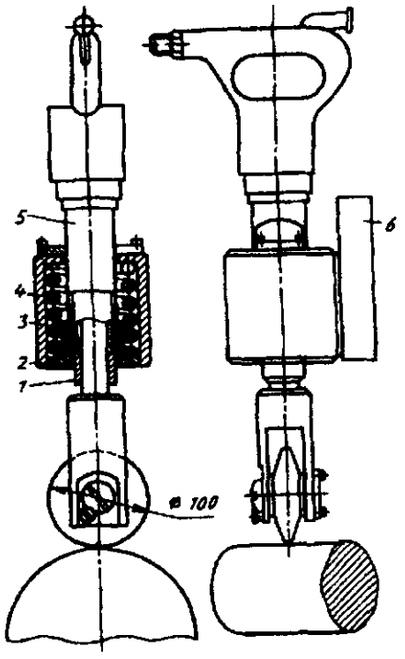


Рис. 51. Схема чеканочного приспособления с роликовым бойком: *1* – втулка; *2* – втулка с буртом; *3* – корпус; *4* – пружина; *5* – пневматический молоток; *6* – пластина для крепления приспособления в суппорте токарного станка

Толщина упрочненного слоя после чеканки может достигать 15 … 30 мм с повышением поверхностной твердости заготовки на 30 % и более. В поверхностном слое формируются остаточные сжимающие напряжения до 1000 МПа и выше.

Шероховатость поверхности после чеканки $Rz = 40 … 160$ мкм. При большой толщине упрочненного слоя для снижения шероховатости допускается шлифование (при мягких режимах) верхнего слоя толщиной до 0,5 мм, что практически сохраняет эффект упрочнения.

Упрочнение чеканкой эффективно для галтелей с малым радиусом ($R_г / d_в = 0{,}2$, где $R_г$ – радиус галтели; $d_в$ – диаметр вала). В этом случае чеканка выполняется без подачи.

Ультразвуковая обработка (УЗО) – это метод ППД, при котором к инструменту (шарику, ролику, алмазному выглаживателю), установленному в концентраторе, наряду со статической силой прижима к поверхности сообщают ультразвуковые колебания, создаваемые специальным генератором (табл. 23).

23. Основные технологические параметры УЗО

Параметр	Значение
Статическая сила P, Н	30 … 300
Амплитуда колебания инструмента A, мкм	5 … 30
Частота колебании f, кГц	18 … 24

Применение УЗО эффективно для упрочняющей чистовой обработки термообработанных деталей, инструментов из твердых сплавов, деталей малой жесткости. Благодаря колебаниям инструмента в направлении, перпендикулярном упрочняемой поверхности, на поверхности детали формируется маслоемкий микрорельеф, благоприятный для повышения износостойкости.

УЗО проводят на универсальных или специальных станках. Для возбуждения ультразвуковых колебаний используют магнитострикционные или пьезокерамические преобразователи.

Рекомендуемые режимы УЗО даны в табл. 24.

24 Рекомендуемые режимы УЗО

Обрабатываемый материал	Режимы			Микротвердость, МПа		Шероховатость, *Ra*, мкм	
	P, Н	2A, мкм	v, м/мин	Исходная	После УЗО	Исходная	После УЗО
Железо Армко	100	27	7	1100	2800	4,30	0,13
Сталь 45	140	27	15	2180	5000	2,60	0,20
СЧ20	200	20	17	2100	4100	1,90	0,52
Сталь У10А, закаленная	240	25	6	8600	11800	0,30	0,18
Сталь ШХ15, закаленная	250	30	7	8400	10300	0,35	0,14

НАКАТЫВАНИЕ РИФЛЕНИЙ И КЛЕЙМ

Накатывание рифлений проводят цилиндрическими роликами, свободно установленными на осях в специальных державках (табл. 25). Обработку выполняют на токарных, револьверных станках и автоматах как один из переходов обработки или как самостоятельную операцию на специальных станках. Рифления на плоских поверхностях накатывают на строгальных, долбежных и фрезерных станках. Накатываемые рифления могут быть прямыми и сетчатыми.

Шаг рифлений выбирают из рядов: прямых – 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; сетчатых – 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0 (табл. 26).

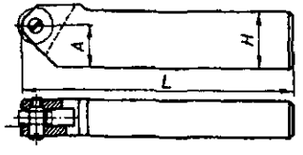
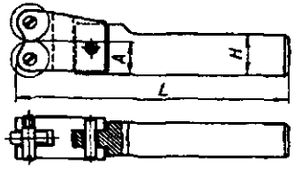
В результате накатывания происходит увеличение наружного диаметра детали на величину 0,5 – 1,0 шага рифлений.

Режимы накатывания. Рекомендуемые скорости при накатывании: для стали – 10 … 25 м/мин, для чугуна — 10 … 15 м/мин, для латуни и бронзы — 30 … 50 м/мин, для алюминия — 90 м/мин. Для накатывания рифлений поперечной подачей ширина накатного ролика должна быть на 3 – 4 мм больше длины обрабатываемой поверхности. В противном случае обработку ведут с продольной подачей. Значения подачи зависят от диаметра обрабатываемой поверхности:

Диаметр детали, мм	До 10	Св. 10 до 25
Подача, мм/об	1	1,5
Диаметр детали, мм	Св. 25 до 40	Св. 40 до 60
Подача, мм/об	2	2,5

Необходимый профиль рифлений получают за пять – десять последовательных проходов. Число проходов зависит от материала детали, шага накатки и связанной с ним глубины рифлений.

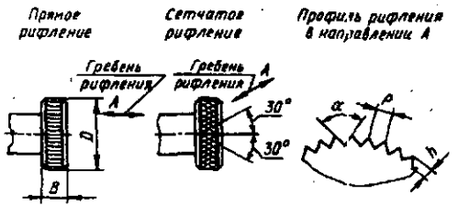
25. Державки суппортные для накатки рифлений на токарных станках
Размеры, мм

Державки	Размеры роликов	A	H*	B*	L
Однороликовые 	15 × 6 20 × 6 20 × 9	13 16 20	25	16	140
				20	
	25 × 9	23 25	32	25	150
	30 × 10	30 32,5	40	32	200
Двухроликовые для сетчатой накатки 	20 × 9 25 × 9 30 × 10	16 25 32,5	25 32 40	–	150 180 220

* H и B – размеры сечения стержня державки.

26. Рекомендуемый шаг рифлений *P*, мм

Размеры, мм



Ширина накатываемой поверхности	Диаметр накатываемого изделия					
	До 8	Св. 8 до 16	Св. 16 до 32	Св. 32 до 63	Св. 63 до 125	Св. 125
Рифления прямые на деталях из любых материалов						
До 4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,8	1,0
Св. 4 до 8		0,6				
» 8 » 16			0,8	0,8		
» 16 » 32				1,0	1,0	1,2
» 32					1,2	1,6
Рифления сетчатые на деталях из цветных металлов и сплавов						
До 8	0,5	0,6	0,6	0,6	–	–
Св 8 до 16			0,8	0,8	0,8	–
» 16 » 32				1,0	1,0	–
» 32					1,2	1,6
Рифления сетчатые на деталях из сталей						
До 8	0,5	0,6	0,8	0,8	0,8	–
Св 8 до 16		0,8	1,0	1,0	1,0	–
» 16 » 32				1,2	1,2	–
» 32					1,6	2,0

Примечания: Высота рифлений *h*: для стали (0,25 ... 0,7) *P*; для цветных металлов и сплавов (0,25 ... 0,5) *P*.

2. Угол $\alpha = 70°$ для рифлений из стали и $\alpha = 90°$ для цветных металлов и сплавов.

Схемы клеймения деталей методом накатывания показаны на рис. 52, *а – г*. Накатывание по схеме, приведенной на рис. 52, *б*, осуществляется при перекатывании роликовой каретки с заготовкой. Каретка возвращается в исходное положение пружиной. Возможно накатывание клейм на резьбонакатных станках с плоскими и круглыми плашками и на других станках, удобных для накатывания по кинематике рабочих движений.

На рис. 53 показаны накатные ролики для клейм. У цельного ролика (рис. 53, *а*) знаки клейма гравируются, при этом клейма небольшой длины для лучшего использования ролика наносят на окружности 2 раза и более. Между рабочими участками делают выемки, исключающие возможность соприкосновения вращающегося ролика с деталью на нерабочих участках.

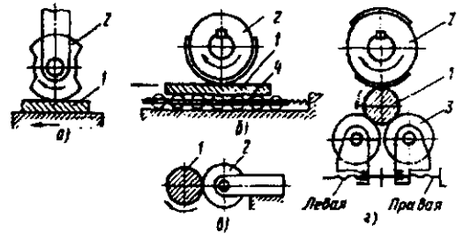


Рис. 52. Схемы клеймения деталей накатыванием: *а* и *б* – плоских деталей на поперечно-строгальном и горизонтально-фрезерном станках: *в* и *г* – цилиндрических деталей на токарном и горизонтально-фрезерном станках; *1* – деталь; *2* – накатный ролик; *3* – опорные ролики; *4* – каретка

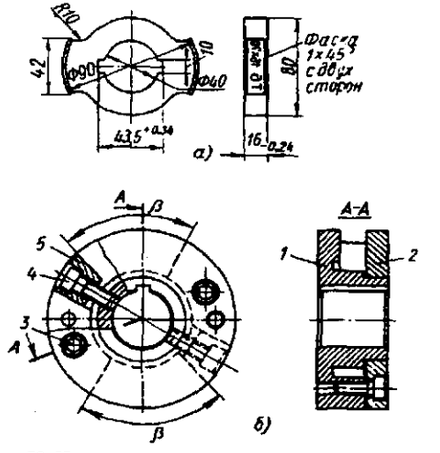


Рис. 53. Накатные ролики для клеймения: *а* – цельный ролик с двумя рабочими участками; *б* – сборный ролик

В сборном ролике (рис. 53, *б*) секторы со знаком клейма устанавливают на шейку и выступом заводят в паз корпуса *1*. Необходимые интервалы по окружности между знаками обеспечивают установкой секторов-прокладок. Прокладками заполняют пустые места при наборе клейм, состоящих из небольшого числа знаков. Полный комплект знаков размещают в одном из секторов ролика и стягивают клином *5* с помощью винта *4*. Крышку *2* скрепляют с корпусом винтами *3*.

Рабочие секторы изготовляют из инструментальных сталей и закаливают до 56 ... 58 *HRC*. Секторы пригоняют по пазу и шлифуют по цилиндру в собранном с корпусом виде, после чего на них гравируют нужные знаки.

Рабочие скорости при клеймении назначают экспериментально, при этом учитывают качество получаемого отпечатка и возможность выполнения операций.

НАКАТЫВАНИЕ И РАСКАТЫВАНИЕ РЕЗЬБЫ

Накатывание наружных резьб. Наружные резьбы крепежных изделий изготовляют, как правило, наиболее прогрессивным способом накатывания. Это объясняется тем, что накатывание по сравнению с другими методами изготовления резьб имеет пре-имущества и, в частности, по сравнению с нарезанием позволяет уменьшить трудоемкость до 10 раз, увеличить КИМ и повысить реальную прочность деталей за счет наклепа, ориентированного расположения структуры и создания благоприятной системы остаточных напряжений. Способы накатывания основаны на использовании пластических свойств металла заготовки и заключаются в одновременном или последовательном перенесении профиля с накатного инструмента на деталь. Полученная при этом резьба является зеркальным отражением калибрующей части профиля инструмента.

Распространены следующие способы накатывания: плоскими плашками, роликом и сегментом, роликами различных конструкций, резьбонакатными головками, резьбонакатными плашками.

Накатывание осуществляется, как правило, на накатных станках, относящихся к типажу кузнечно-прессовых машин. При годовых программах выпуска 10^6 ... 10^8 деталей рекомендуется планетарное накатывание на станках, которые, как правило, не переналаживаются. Если при больших программах выпуска требуется за одним станком закрепить несколько деталей, то следует применять станки с плоскими плашками. При большой номенклатуре деталей с малым объемом выпуска предпочтительнее двух- и трехроликовые станки. Детали сложной конфигурации, большой длины, с малыми допусками взаимного расположения поверхностей, широким диапазоном диаметров и шагов обрабатывают на двухроликовых станках или станках с аксиальными головками. Если при накатывании резьбы необходимо накатать еще и спиральные или кольцевые канавки, или рифления, применяют двухроликовые станки или станки с плоскими плашками.

Самый распространенный способ накатывания резьбы – **накатывание плоскими плашками,** осуществляется по двум схемам:

– неподвижной и подвижной плашками;

– двумя вдвижными плашками в центрах.

Способ характеризуется высокой производительностью, высокой степенью автоматизации и быстрой переналаживаемостью оборудования с одного размера резьбы на другой. Этим способом обрабатывают болты, винты, шурупы с головками, шпильки с буртами. Можно одновременно формировать рифления и резьбу, кольцевые канавки и т.п.

Станки с плоскими плашками выпускаются в виде автоматов.

Особенно эффективно применение станков с двумя парами плашек, которые позволяют вести одновременное накатывание на деталях типа вала (диаметром до 42 мм) двух поверхностей: различных резьб или резьбы и шлица, шлица и зубьев и т.п. При этом достигается необходимая точность взаимного расположения двух одновременно обрабатываемых поверхностей детали относительно друг друга и относительно оси, а расстояние между обрабатываемыми поверхностями практически не имеет ограничений. Недостатками этой схемы являются высокая стоимость оборудования, сложность конструкции и большие размеры инструмента.

Накатывание роликами – самый универсальный и точный способ накатывания, характеризующийся широкими технологическими возможностями при изготовлении резьбы различных диаметров, длины и точности. Применяют чаще всего два ролика, реже три.

Двухроликовые станки выпускают в виде универсальных полуавтоматов и специальных

автоматов. Они имеют четыре режима работы: наладочный, полуавтоматический, автоматический и режим работы на опоре без отвода подвижной бабки станка.

Трехроликовые станки работают по двум схемам: "напроход" и с радиальной подачей в ручном или автоматическом цикле. Их можно оснащать средствами автоматической загрузки заготовок. Радиальная подача роликов осуществляется эксцентриком. Отличительная особенность трехроликовых станков в том, что они могут накатывать резьбу на полых тонкостенных деталях типа штуцеров, пробок, фитингов с цилиндрической и конической резьбой различных профилей.

Планетарное накатывание – самый производительный способ накатывания резьб, позволяет производить непрерывную и одновременную обработку нескольких заготовок. Для этого способа характерна полная автоматизация, самая высокая стойкость резьбообрабатывающего инструмента, высокие точность и стабильность.

Станки для планетарного накатывания выпускают в виде автоматов с бункерами различных типов. В качестве инструмента используется ролик и сегмент или ролик и кольцо, между которыми прокатывается заготовка. Главным движением в станке является вращательное движение шпинделя, на котором установлен резьбонакатной ролик. Станки данного типа применяют в основном для производства крепежных деталей – болтов, винтов, шпилек, шурупов. Накатываемая резьба – цилиндрическая и коническая.

Накатывание резьбы резьбонакатными головками производят на токарно-винторезных, сверлильных, болторезных станках и токарных автоматах. Различают аксиальные, тангенциальные и радиальные головки. Аксиальными головками предпочтительнее накатывать резьбу на полых деталях, деталях большой длины или больших диаметров, сложной конфигурации и т.д. Для этого способа характерны наименьшие радиальные силы. Известны следующие разновидности способа накатывания: с осевой подачей; тангенциальной подачей затылованными роликами; осевой и радиальной подачей – для обработки длинных конических резьб.

Аксиальными головками накатывают резьбы d = 1 4 ... 150 мм; P = 0,35 ... 8,0 мм; длина резьбы не более 6000 мм; сбег резьбы не менее 1,5 P; степень точности 4 ... 7.

Тангенциальными и радиальными головками накатывают цилиндрическую и коническую, правую и левую резьбу на станках токарной группы на любом участке заготовки, в том числе и за буртом. Привод роликов осуществляется от контакта с вращающейся заготовкой. При накатывании происходит незначительное осевое перемещение роликов относительно заготовки, поэтому ролики в корпусе должны иметь осевой зазор. Головку крепят на поперечном суппорте. Наибольшее распространение получило накатывание двухроликовыми тангенциальными головками.

Тангенциальными головками получают резьбу d = 3,0 ... 52 мм; P = 0,5 ... 2,5 мм; длина резьбы до 20 мм, сбег резьбы 0,5P; степень точности 4 ... 7.

Накатывание резьбонакатными плашками осуществляется на токарных, револьверных станках и автоматах. Резьбу накатывают при подаче плашки вдоль изделия. Плашки в конце рабочего хода не раскрываются и после окончания накатывания резьбы свинчиваются. Различают плашки нерегулируемые и плашки, допускающие регулировку роликов в узком диапазоне диаметров резьбы. Недостатком резьбонакатных регулируемых плашек являются большие габариты, затрудняющие их установку в головке револьверного станка или автомата при многопозиционной обработке. В этих случаях используют малогабаритные плашки с нерегулируемыми роликами.

Диаметры стержней (заготовок) под накатывание для метрических резьб приведены в табл. 27.

Для резьб с крупным шагом из высокопластичных материалов диаметр заготовки выбирают ближе к максимальному размеру (см. табл. 27). Для заготовок из материала с относительным удлинением $\delta > 50$ % диаметр стержня под накатывание может превышать максимальный размер.

Ориентировочный диаметр заготовки под накатывание трапецеидальных резьб рассчитывают по формуле

$$d_{заг} = \sqrt{\frac{1}{2} + \left(d^2 + d_1^2\right)},$$

где d – наружный диаметр резьбы; d_1 – внутренний диаметр резьбы.

Для метрических и трапецеидальных резьб окончательный диаметр заготовки $d_{заг}$ определяется пробным накатыванием.

27. Диаметр заготовки под накатывание метрической резьбы

Размеры, мм

$d \times P$	$d_{заг}$	$d \times P$	$d_{заг}$
4 × 0,7	3,523 – 3,433	18 × 1,5	16,99 – 16,85
5 × 0,8	4,456 – 4,361	18 × 1	17,32 – 17,21
6 × 1	5,324 – 5,212	20 × 1,5	18,99 – 18,85
7 × 1	6,324 – 6,212	20 × 1	19,32 – 19,21
8 × 1,25	7,160 – 7,042	22 × 1,5	20,99 – 20,85
8 × 1	7,324 – 7,212	22 × 1	21,324 – 21,212
8 × 0,75	7,491 – 7,391	24 × 2	22,66 – 22,49
9 × 1,25	8,160 – 8,042	27 × 2	25,66 – 25,49
9 × 1	8,324 – 8,212	30 × 3,5	27,67 – 27,46
9 × 0,75	8,491 – 8,391	30 × 2	28,66 – 28,49
10 × 1,5	8,994 – 8,862	30 × 1,5	28,99 – 28,84
10 × 1	9,324 – 9,212	33 × 3,5	30,67 – 30,46
11 × 1,5	9,994 – 9,862	33 × 2	31,66 – 31,49
11 × 1	10,324 – 10,212	33 × 1,5	31,99 – 31,84
11 × 0,75	10,491 – 10,391	36 × 4	33,34 – 33,12
12 × 1,75	10,83 – 10,68	36 × 3	34,00 – 33,80
12 × 1,5	10,99 – 10,85	36 × 1,5	34,99 – 34,86
12 × 1,25	11,16 – 11,04	39 × 4	36,34 – 36,12
12 × 1	11,32 – 11,21	39 × 3	37,00 – 36,80
14 × 2	12,66 – 12,50	39 × 1,5	37,99 – 37,86
14 × 1,5	12,99 – 12,85	42 × 4,5	39,01 – 38,78
14 × 1	13,32 – 13,21	45 × 4,5	42,01 – 41,78
16 × 2	14,66 – 14,50	48 × 5	44,68 – 44,43
16 × 1,5	14,99 – 14,85	48 × 3	46,00 – 45,80
16 × 1	15,32 – 15,21	52 × 5	48,68 – 48,43
16 × 0,75	15,491 – 15,391	52 × 3	50,00 – 49,80

На конце заготовок на длине 2 – 2,5 шага накатываемой резьбы следует делать фаску под углом 10° к оси заготовки.

При эксплуатации головок не следует допускать обкатывания наружного диаметра резьбы изделия, так как это приводит к поломке роликов.

Режимы накатывания резьб приведены в табл. 28 – 32.

Скорость накатывания роликами зависит от материала накатываемой детали: для латуни 100 ... 120; мягкой стали 80 ... 100; стали средней твердости 40 ... 60; твердой стали 15 ...20; титановых сплавов 12 ... 14 м/мин.

При планетарном накатывании скорость накатывания выбирается в пределах 20 ... 80 м/мин, причем большие значения рекомендуются для резьбы с меньшими диаметром и шагом, а также для материалов с $\sigma_в \le 500$ МПа.

28. Радиальные подачи при накатывании резьбы роликами

Шаг резьбы, мм	Материал накатываемой заготовки					
	Алюминий	Бронза, латунь	Сталь $\sigma_в$, МПа			
			400	500	700	900
0,2 – 0,5	0,03	0,02 – 0,1	0,02 – 0,1	0,02 – 0,1	0,02 – 0,07	0,02
0,5 – 0,8	0,05	0,03 – 0,16	0,03 – 0,15	0,025 – 0,12	0,02 – 0,07	0,02
1,0	0,085	0,06 – 0,15	0,06 – 0,15	0,06 – 0,1	0,035 – 0,09	0,025
1,5 – 1,75	0,1	0,08 – 0,17	0,08 – 0,17	0,08 – 0,15	0,05 – 0,12	0,035
2 – 3	0,1	0,1 – 0,2	0,1 – 0,25	0,1 – 0,25	0,05 – 0,17	0,045

29. Число оборотов заготовки за время профилирования резьбы

Шаг резьбы, мм	Материал заготовки				
	Алюминий	Бронза, латунь, мягкая сталь	Сталь $\sigma_в$, МПа		
			500 – 700	700 – 900	900
1,0 – 1,5	4 – 6	6 – 8	10 – 12	14 – 18	20 – 30
1,75 – 3	6 – 8	8 – 10	14 – 18	20 – 30	30 – 40

30. Скорости накатывания резьбы резьбонакатными плашками

Материал	Алюминиевые сплавы и углеродистые стали	Легированные и жаропрочные стали	Титановые сплавы
v, м/мин	20 – 40	7 – 10	3 – 7

31. Режимы накатывания метрических резьб аксиальными головками

Материал детали	Твердость НВ*	Параметры*	Резьба, мм					
			4 × 0,7	6 × 1	8 × 1,25	10 × 1,5	12 × 1,75	16 × 2
Конструкционная сталь	260	v	25,1	37,7	50,3	62,8	47,1	50,3
		t_0	0,029	0,030	0,032	0,033	0,055	0,080
		N_e	0,89	1,91	3,18	4,76	4,49	5,08
		T	3540	1615	2190	1390	1110	1010
			(10700)	(6460)	(6000)	(5000)	(4440)	(4040)
Коррозионностойкая сталь		v	25,1	37,7	50,3	62,8	60,3	50,3
		t_0	0,029	0,030	0,032	0,033	0,043	0,080
		N_e	0,81	1,74	2,90	4,36	4,88	4,65
		T	8080	3760	5120	3300	2650	2450
			(10700)	(7500)	(6000)	(5000)	(5360)	(7500)

Материал детали	Твердость НВ	Параметры*	Резьба, мм					
			20 × 2,5	24 × 3	30 × 3,5	36 × 4	42 × 4,5	48 × 5
Конструкционная сталь	160	v	62,8	47,5	47,1	45,1	33,0	30,2
		t_0	0,080	0,127	0,171	0,286	0,373	0,480
		N_e	4,89	4,43	5,13	4,42	4,62	4,69
		T	6000	8000	8570	9380	5060	1970
			(6000)	(8000)	(8570)	(9380)	(13300)	(7880)
	180	v	50,2	47,5	37,7	35,6	33,0	30,2
		t_0	0,100	0,127	0,214	0,286	0,373	0,480
		N_e	4,39	4,99	4,62	4,99	5,20	5,27
		T	6000	7900	8910	3940	1320	460
			(6000)	(7900)	(10700)	(11900)	(5280)	(1840)
	200	v	50,3	47,7	37,7	28,3	26,4	24,1
		t_0	0,100	0,160	0,214	0,360	0,467	0,600
		N_e	4,89	4,39	5,13	4,40	4,62	4,69
		T	7500	7930	2900	1400	430	135
			(7500)	(7930)	(10700)	(5600)	(1720)	(540)

Продолжение табл. 31

Материал детали	Твердость НВ	Параметры*	Резьба, мм					
			20 × 2,5	24 × 3	30 × 3,5	36 × 4	42 × 4,5	48 × 5
Коррозионно-стойкая сталь	160	v	62,8	60,3	47,1	45,2	33,0	30,1
		t_0	0,080	0,100	0,171	0,225	0,373	0,480
		N_e	4,47	5,15	4,69	5,15	4,22	4,27
		T	6000	6250	8570	9380	11900	3890
			(6000)	(6250)	(8570)	(9380)	(13330)	(12000)
	180	v	62,8	47,5	47,1	35,6	33,0	30,2
		t_0	0,080	0,127	0,171	0,286	0,373	0,480
		N_e	5,03	4,56	5,27	4,56	4,75	4,83
		T	6000	7900	8570	9430	3320	1210
			(6000)	(7900)	(8570)	(11900)	(13320)	(4840)
	200	v	50,3	47,5	37,7	35,6	26,4	24,1
		t_0	0,100	0,127	0,214	0,286	0,467	0,600
		N_e	4,47	5,07	4,69	5,07	4,24	4,28
		T	7500	8000	7050	2960	1150	300
			(7500)	(8000)	(10700)	(11840)	(4600)	(1290)

*v – в м/мин; t_0 – в мин; N_e – в кВт; T – стойкость, мин.

Примечания 1. При накатывании резьб на легированных сталях рекомендуемые скорости накатывания отличаются от указанных в таблице не более, чем на 20 %.

2. В скобках указана стойкость накатных роликов, изготовленных из стали 6Х6В3СМФ.

32. Режимы накатывания резьбы тангенциальными головками

P, мм	Обрабатываемые стали		Жаропрочные сплавы	Подача, мм/об. заготовки
	углеродистые	легированные, коррозионно-стойкие		
	Скорость накатывания, м/мин			
0,5	30	25	20	0,15
0,75	30	25	20	0,20
1,0	25	20	15	0,25
1,25	25	20	15	0,30
1,5	25	20	15	0,35
1,75	20	15	10	0,40
2,0	20	15	10	0,40
2,5	20	15	10	0,35
3,0	20	15	10	0,30

На основе промышленных данных, штучная наработка роликов ограничена величиной 200000 деталей.

Для всех методов накатывания наружной резьбы рекомендуется в качестве СОТС применять ОСМ-3, ОСМ-5, сульфофрезол, МР-99.

Раскатывание резьб в сравнении с резьбонарезанием обеспечивает:

а) стабильность получения высокой точности резьбы (степени точности 2, 3, 4);

б) шероховатость боковых сторон профиля резьбы $Ra \le 0,5$;

в) повышение статической и усталостной прочности резьбы;

г) повышение производительности за счет более высокой скорости обработки, исключения времени на удаление стружки из отверстия;

д) уменьшение поломок инструмента и увеличение его стойкости.

Известны три способа раскатывания резьб: самонарезающими винтами и шпильками, роликовыми головками и бесстружечными метчиками. Самонарезающие винты применяют для ввинчивания в детали из пластмасс, изделий из алюминиевых и стальных листов. Разработаны способы ввинчивания стальных стандартных шпилек с накатанной резьбой в гладкие отверстия в корпусах из алюминиевых литейных сплавов. При этом образуются прочные надежные соединения, названные гладкорезьбовыми.

Бесстружечные метчики применяют для раскатывания (точнее выдавливания) резьб диаметром от 1 до 36 мм и шагом до 2,5 мм в высокопластичных материалах (медь, латунь, пластичные бронзы, низкоуглеродистые стали с содержанием углерода до 0,2 %, алюминиевые деформируемые сплавы). Рекомендуется раскатывание резьб бесстружечными метчиками в некоторых литейных алюминиевых и цинковых сплавах. С повышением шага резьбы, прочности металла заготовки и снижением его пластичности резко возрастают усилия деформации, что снижает надежность работы бесстружечных метчиков и качество резьбы.

Роликовые резьбонакатные головки применяются для раскатывания резьб диаметром свыше 30 – 50 мм в материалах средней и высокой пластичности. Имеется опыт получения резьбы такими головками в деталях из ковкого чугуна.

Наиболее ответственным моментом при резьбораскатывании является правильный выбор диаметра и точности подготовки отверстия под резьбу и режимов обработки.

Отверстия под раскатывание резьб получают расчетом, исходя из условия сохранения постоянства объема металла при пластической деформации. Металл, вытесняемый вершинами витков инструмента выше границы отверстия под резьбу d_0, должен заполнить впадину витка инструмента и сформировать виток получаемой резьбы с внутренним диаметром d_1.

Расчет номинального значения d_0 производят по формуле

$$d_0 = \sqrt{d^2\left(0,5 - \frac{2d}{3P\mathrm{tg}\alpha} + \frac{d_2}{P\mathrm{tg}\alpha}\right) + d_1^2\left(0,5 + \frac{2d_1}{3P\mathrm{tg}\alpha} - \frac{d_2}{P\mathrm{tg}\alpha}\right)},$$

или для метрической резьбы

$$d_0 = \sqrt{d^2\left(0,5 - \frac{0,3849d}{P} + \frac{0,57735d_2}{P}\right) + d_1^2\left(0,5 + \frac{0,3849d_1}{P} - \frac{0,57735d_2}{P}\right)},$$

где d_1 и d_2 – соответственно наружный и средний диаметры резьбонакатного инструмента; d_1 – внутренний диаметр формируемой резьбы; P – шаг резьбы, мм.

Окончательно d_0 следует определять экспериментальной проверкой с учетом физико-механических свойств обрабатываемого материала и принципа формирования резьбы (замкнутый или открытый контур).

При формировании по принципу открытого контура допуск на отверстие может быть расширен, отверстия под резьбу получают, как правило, сверлением. Формирование резьбы по принципу замкнутого контура в сталях, титановых сплавах может привести к поломкам инструмента или срывам витков резьбы. В этих случаях ужесточается допуск d_0, и подготовка отверстий выполняется зенкерованием и развертыванием. В табл. 33 – 36 приведены расчетные значения диаметров отверстий для наиболее распространенных резьб.

33. Отверстия под метрическую резьбу с профилем по ГОСТ 9150–81 и с допусками по ГОСТ 16093–81

Диаметр резьбы, мм	P, мм	Диаметр, мм, отверстия под резьбу гаек с полем допуска									
		4H5H		5H6H		6H		7H		6G	
		Наименьший	Предельное отклонение	Наименьший	Предельное отклонение	Наименьший	Предельное отклонение	Наименьший	Предельное отклонение	Наименьший	Предельное отклонение
1,6–3,5	0,35	*d*–0,180	+0,020	*d*–0,170	+0,023	*d*–0,170	+0,020	*d*–0,170	+0,023	*d*–0,150	+0,015
2	0,40	*d*–0,210	+0,021	*d*–0,210	+0,027	*d*–0,200	+0,025	*d*–0,200	+0,030	*d*–0,180	+0,027
2,2–2,5	0,45	*d*–0,240	+0,026	*d*–0,230	+0,032	*d*–0,220	+0,030	*d*–0,230	+0,035	*d*–0,210	+0,028
3–20	0,50	*d*–0,270	+0,030	*d*–0,260	+0,038	*d*–0,250	+0,036	*d*–0,250	+0,040	*d*–0,230	+0,025
3,5	0,60	*d*–0,320	+0,029	*d*–0,310	+0,038	*d*–0,300	+0,038	*d*–0,300	+0,038	*d*–0,280	+0,038
4	0,70	*d*–0,380	+0,033	*d*–0,370	+0,044	*d*–0,360	+0,042	*d*–0,360	+0,058	*d*–0,340	+0,034
4,5–33	0,75	*d*–0,400	+0,035	*d*–0,390	+0,045	*d*–0,380	+0,042	*d*–0,380	+0,060	*d*–0,360	+0,037
5	0,80	*d*–0,430	+0,038	*d*–0,420	+0,048	*d*–0,410	+0,047	*d*–0,420	+0,070	*d*–0,400	+0,044
6–30	1,00	*d*–0,550	+0,047	*d*–0,540	+0,066	*d*–0,520	+0,059	*d*–0,520	+0,075	*d*–0,500	+0,048
8–14	1,25	*d*–0,700	+0,057	*d*–0,680	+0,069	*d*–0,660	+0,063	*d*–0,670	+0,089	*d*–0,640	+0,057
10–36	1,50	*d*–0,840	+0,059	*d*–0,820	+0,076	*d*–0,800	+0,071	*d*–0,810	+0,098	*d*–0,780	+0,008
12	1,75	*d*–0,990	+0,073	*d*–0,960	+0,084	*d*–0,940	+0,082	*d*–0,950	+0,112	*d*–0,910	+0,070
14–36	2,00	*d*–1,130	+0,077	*d*–1,110	+1,101	*d*–1,080	+0,090	*d*–1,100	+0,133	*d*–1,060	+0,088

Данные таблицы могут использоваться при накатывании резьбы в пластичных материалах – малоуглеродистых, коррозионно-стойких, жаропрочных, конструкционных сталях и цветных сплавах твердостью до 200 НВ.

34. Отверстия под метрическую резьбу с переходными и тугими посадками

Диаметр резьбы, мм	P, мм	Диаметр, мм, отверстия под резьбу с полем допуска					
		2H5D	Предельное отклонение	2H5C	Предельное отклонение	3H6H	Предельное отклонение
6	1,0	5,46	+0,04	–	–	5,44	+0,04
8	1,0	7,46	+0,04		–	7,44	+0,04
	1,25	7,33	+0,04	–	–	7,29	+0,05
10	1,0	9,46	+0,04	–	–	9,44	+0,04
	1,25	9,33	+0,04	–	–	9,29	+0,05
	1,5	–	–	9,18	+0,05	9,15	+0,05
12	1,25	11,33	+0,04	–	–	11,29	+0,05
	1,5	–	–	11,03	+0,05	11,00	+0,06
16	1,5	–	–	15,18	+0,05	15,15	+0,05
	2,0	–	–	14,89	+0,06	14,86	+0,07

35. Отверстия под коническую дюймовую резьбу

Резьба	Диаметр отверстия, мм	
	с развертыванием на конус	без развертывания на конус
1/16"	7,42	7,36
1/8"	9,80	9,47
1/4"	12,87	12,78
3/8"	16,35	16,26
1/2"	20,32	20,20
3/4'	25,66	25,55
1"	32,12	31,99
11/4"	40,88	40,74
11/2"	46,95	46,81
2"	58,99	58,85

36. Отверстия под трубную дюймовую резьбу

Резьба	Диаметр отверстия, мм	
	с развертыванием на конус	без развертывания на конус
1/8"	9,42	9,36
1/4"	12,70	12,62
3/8"	16,21	16,62
1/2"	20,34	20,22
3/4'	25,82	25,71
1"	32,46	32,32
11/4"	41,12	40,98
11/2"	47,02	46,87
2"	58,83	58,68

Рекомендуемые условия накатывания резьб приведены в табл. 37.

37. Условия накатывания резьб бесстружечными метчиками

Обрабатываемый материал	Скорость резьбовыдавливания, м/мин	СОТС
Алюминий и его сплавы	22 – 30	В31 (по ВТУ НП № 131 – 65); олеиновая кислота; сульфофрезол
Медь	15 – 22	В32-К (по ВТУ НП № 193 – 65); В3 (по ВТУ НП № 131 – 65); сульфофрезол
Латунь	10 – 15	В29б (по ВТУ НП № 192 – 65); сульфофрезол
Сталь	8 – 10	В35 (по ВТУ НП № 192 – 65); В32-К (по ВТУ НП № 193 – 65); олеиновая кислота; сульфофрезол

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бабичев А. П., Бабичев И. А.** Основы вибрационной технологии. Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ. 1999. 624 с.
2. **Браславский В. М.** Технология обкатки крупных деталей роликами. М.: Машиностроение. 1975. 160 с.
3. **Кузнецов Н. Д., Цейтлин В. И., Волков В. И.** Технологические методы повышения надежности деталей машин.: Справочник. М.: Машиностроение. 1992. 304 с.
4. **Одинцов Л. Г.** Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. М.: Машиностроение. 1987. 328 с.
5. **Петросов В. В.** Гидродробеструйное упрочнение деталей и инструмента. М.: Машиностроение. 1977. 166 с.
6. **Розенберг О. А.** Механика взаимодействия инструмента с изделием при деформирующем протягивании. Киев: Наукова думка. 1981. 288 с.
7. **Рыковский Б. П., Смирнов В. А., Щетинин Г. М.** Местное упрочнение деталей поверхностным наклепом. М.: Машиностроение. 1985. 152 с.
8. **Смелянский В. М.** Механика упрочнения поверхностного слоя деталей машин в технологических процессах поверхностного пластического деформирования. М.: Объединение "МАШМИР". 1992. 60 с.
9. **Шнейдер Ю. Г.** Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплуатационные свойства. Л.: Машиностроение. 1972. 240 с.

Глава 7 ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ, ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ, ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ И ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКИ

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Сущность способа и его возможности. *Электрохимическая обработка (ЭХО)* основана на принципе растворения токопроводящего материала заготовки (анода) в проточном электролите при высокой плотности тока. Образующиеся в результате электрохимической реакции на поверхности анода оксиды металла удаляются потоком электролита, не осаждаясь на катоде.

Нижний предел напряжения постоянного тока составляет 4 ... 5 В, верхний – около 30 В в зависимости от обрабатываемых материалов, технологических операций и потерь в подводящих сетях. Для большинства технологических операций применяют напряжение 10 ... 18 В, кроме обработки титановых сплавов, где напряжение достигает 30 В.

Электрод – инструмент (ЭИ), обычно катод, практически не изнашивается и может использоваться многократно. В качестве электролита обычно используются водные растворы нейтральных солей (15 ... 20 % NaCl, 20 ... 30 % $NaNO_3$, и т.п.).

Качество и производительность обработки зависят практически только от химического состава металла заготовки и не зависят от механических свойств обрабатываемой поверхности (твердости, вязкости, теплофизических характеристик). Это позволяет обрабатывать заготовки в закаленном состоянии, снижая погрешности от термического коробления и окисления, воздействуя сразу на всю обрабатываемую поверхность, когда с увеличением площади одновременной обработки увеличивается только потребляемый технологический ток без снижения общей скорости обработки.

Утилизация вторичных продуктов ЭХО (шламов) позволяет создать безотходные технологии и возвращать в сферу производства ценнейшее вторичное сырье.

При поступательном перемещении ЭИ к заготовке происходит прямое копирование профиля ЭИ на обработанной поверхности. Поступательное движение одного из электродов (обычно катода) может дополняться вращением или вибрацией с заданной частотой.

По характеру кинематических связей ЭИ и заготовки, наиболее часто встречающиеся в производстве, *технологические процессы ЭХО* можно условно разделить на *три группы*:

1. Поступательное перемещение электродов (ЭИ или заготовки).
2. Вращение одного из электродов.
3. Неподвижные электроды.

Первая группа технологических процессов (прямое копирование) позволяет наиболее полно использовать преимущества ЭХО: получение сложных трехмерных поверхностей; обеспечить высокую производительность за счет одновременной обработки всей поверхности, а также избежать наклепов и остаточных напряжений, вследствие отсутствия силового контакта при формообразовании. Применяется при копировании сложных поверхностей (рис. 1, *а*), прошивании (рис, 1, *б*), калибровании (рис. 1, *в*) и затачивании режущего и колющего инструментов (рис. 1, *г*).

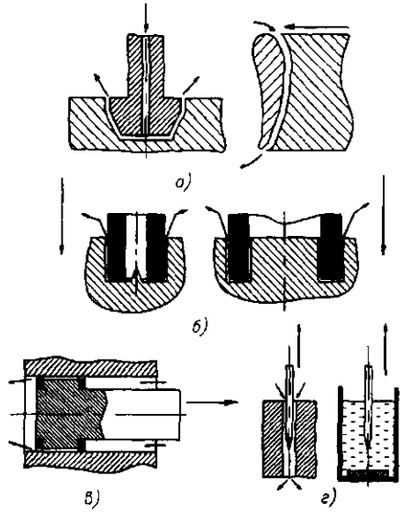


Рис. 1. Схемы ЭХО с поступательным перемещением ЭИ

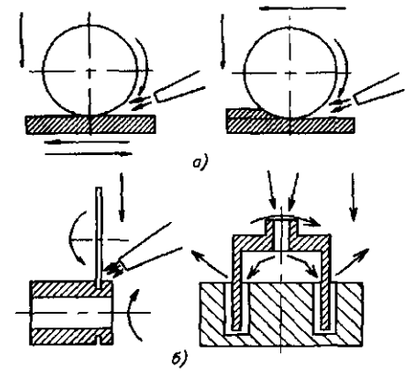


Рис. 2. Схемы ЭХО с вращающимся электродом

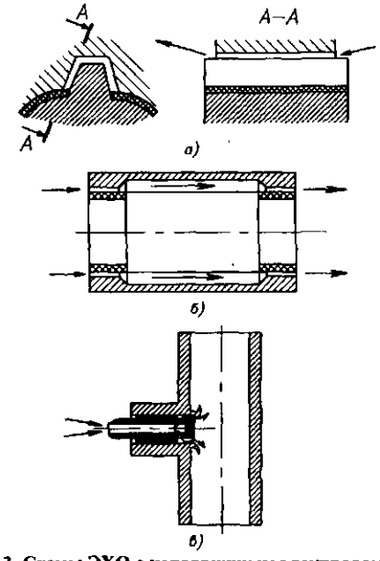


Рис. 3. Схемы ЭХО с неподвижным электродом

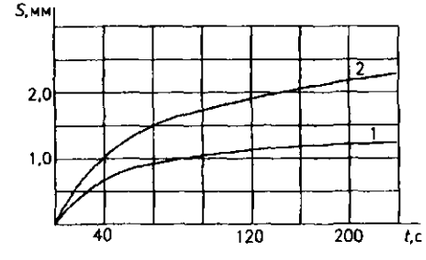


Рис. 4. Формирование МЭЗ при ЭХО неподвижным катодом:
1 – подача электролита струей; *2* – погружение электродов в электролит

ЭХО с вращением одного из электродов (обычно катода) проводится как безабразивным (углеграфитовым или металлическим), так и абразивным или алмазным на металлической связке (обычно медной) кругами. При этом *межэлектродный зазор (МЭЗ)* в первом случае поддерживается системой слежения станка, а во втором – выступающими абразивными (алмазными) частицами, которые одновременно обеспечивают электрическую изоляцию круга и детали. Износ круга при этом уменьшается в среднем на 30 %. Применяется при плоском, круглом и фасонном шлифовании, (фрезеровании) (рис. 2, *а*), отрезке и круговой вырезке (рис. 2, *б*).

ЭХО с неподвижными электродами применяется при калибровании (рис. 3, *а*) и контурной обработке (рис. 3, *б*) со снятием малых припусков (0,05 ... 0,2 мм), удалении заусенцев, округлении острых кромок (рис. 3, *в*) и маркировании. Во всех других случаях ЭХО с неподвижными электродами из-за постоянного увеличения МЭЗ значительно ухудшается точность обработки, особенно с увеличением расстояния между электродами. Величина МЭЗ при этом зависит от режимов и времени обработки и может достигать значительных величин (рис. 4).

Точность обработки. При ЭХО плотность тока по длине МЭЗ неравномерна и зависит от формы электродов и расстояния между ними и тем выше, чем меньше текущее значение МЭЗ (рис. 5). Следовательно, скорость растворения в начальный период также неравномерна, в результате наблюдается эффект саморегулирования процесса ЭХО. Однако, в процессе ЭХО текущее значение каждой точки анода определяет текущую погрешность обработки и может быть описана величиной МЭЗ по нормали к торцевой поверхности инструмента и отклонением от эквидистанты инструмента (рис. 6). Очевидно, что наибольшую погрешность будет иметь участок поверхности, подвергающийся наиболее длительному воздействию электрического поля, причем тем бóльшему, чем меньше угол ее наклона к направлению подачи инструмента. Поскольку форма обработанной поверхности эквидистантна поверхности ЭИ с некоторой погрешностью, практически всегда требуется коррекция электрода для получения обработанной поверхности заданной формы.

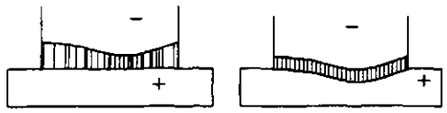


Рис. 5. Концентрация силовых линий при ЭХО

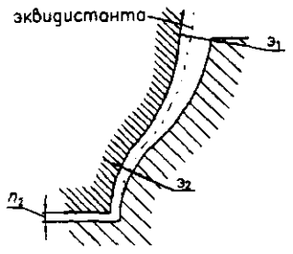


Рис. 6. Формирование анодной поверхности при ЭХО

Кроме того, при ЭХО в технологической системе (станок – приспособление – инструмент – деталь – электролит) всегда появляется дополнительное последнее звено, и точность обработки в значительной мере зависит от гидродинамического режима именно этого звена (потока электролита). Уменьшение искажающего влияния гидродинамики потока электролита на точность обработки может быть достигнуто за счет повышения сплошности потока, снижения влияния циркуляционных течений, а также стабилизации процесса образования газовой составляющей потока в результате закипания электролита и электрохимического разложения воды.

При стабилизации основных параметров технологического процесса точность обработки может быть 0,05 … 0,1 мм. Для этого необходимо стабилизировать параметры процесса в следующих пределах: напряжение ± 0,2 В (± 1,67 %), скорость подачи ЭИ ± 0,025 мм/мин (≈ 1 %), температуру электролита ± 0,9 °С (≈ 4,5 %), электропроводность электролита ± 0,004 Ом·см (≈ 2 %). Шероховатость поверхности при этом *Ra* 0,2 … 0,5 мкм, практически не зависит от шероховатости исходной поверхности, а зависит только от ее физико-химического состояния. С увеличением МЭЗ плотность тока падает, и шероховатость ухудшается (рис. 7). Величины оптимальных рабочих МЭЗ и напряжений даны в табл. 1.

1. Типовые значения МЭЗ при ЭХО

Операция	*Величины МЭЗ, мм*		Напряжение, В
	пределы	типовые	
Прошивка:			
сложных полостей	0,05 – 0,5	0,1 – 0,3	10 – 18
мелких отверстий полостей	0,02 – 0,2	0,05 – 0,1	6 – 12
Обработка лопатки с длиной пера, мм:			
до 80	0,05 – 0,3	0,1 – 0,2	12 – 18
80 – 200	0,08 – 0,5	0,15 – 0,3	12 – 18
свыше 200	0,2 – 0,7	0,3 – 0,5	12 – 18
Прошивка и прямое копирование в циклическом режиме	0,02 – 0,08	0,03 – 0,06	6 – 12
Электрохимическое шлифование:			
металлическим кругом	0,1 – 0,8	0,2 – 0,3	6 – 12
металлоабразивным кругом	0,02 – 0,08	0,03 – 0,05	4 – 8
Электрохимическая разрезка	0,2 – 0,5	0,3 – 0,4	4 – 18
Обработка неподвижными электродами	0,1 – 0,5	0,1 – 0,3	10 – 24

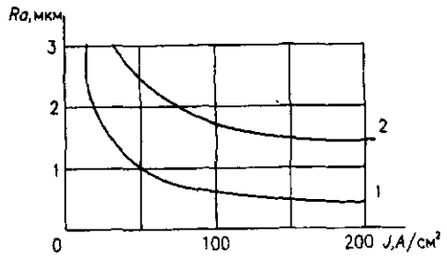


Рис. 7. Зависимость шероховатости поверхности от плотности тока в растворе:
1 – $NaNO_3$; *2* – NaCl

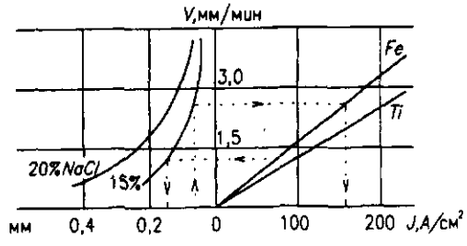


Рис. 8. Зависимость скорости ЭХО и плотности тока от величины МЭЗ

Скорость подачи ЭИ зависит как от величины МЭЗ, так и от состава электролита и от плотности технологического тока (рис. 8). Регулирование процесса ЭХО может осуществляться различными способами (табл. 2).

Стабилизировать гидродинамический режим можно также простым уменьшением величины рабочего МЭЗ до создания эффекта капиллярности между электродами. При этом резко возрастает гидравлическое сопротивление в МЭЗ (рис. 9), поток электролита замедляется или полностью останавливается и после закипания электролита в рабочей зоне процесс ЭХО прекращается. Для возобновления процесса растворения электроды разводят на величину промывочного зазора, увеличенного до 0,9 – 1,2 мм, потоком электролита удаляются продукты растворения, электроды снова сближаются на величину рабочего зазора, и процесс повторяется снова (циклическая ЭХО). Введение дополнительных вспомогательных перемещений для перевода электродов от рабочего МЭЗ к промывочному и наоборот, повышая точность обработки, снижает производительность ЭХО в целом на 30 – 40 %.

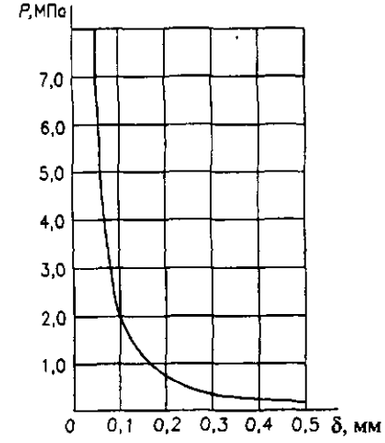


Рис. 9. Зависимость давления электролита от величины МЭЗ

ЭХО можно подвергать практически все токопроводящие материалы. При этом количество растворяемого в реальных условиях материала $Q_{факт}$ практически всегда меньше теоретически возможного $Q_т$. Отношение $\frac{Q_{факт}}{Q_т} = \eta$ называется выходом по току. Обрабатываемость используемых на практике некоторых сплавов приведена в табл. 3.

Инструмент и приспособления. Электролиты. Поскольку ЭИ при ЭХО не изнашиваются, основным требованием, предъявляемым к материалам для их изготовления, можно считать механическую и антикоррозионную стойкость при хранении.

ЭИ проектируют и изготавливают, как правило, для каждого типоразмера детали. Точность формы и размеров его рабочего профиля должна быть на один квалитет выше, чем обрабатываемой детали (6 – 8-й квалитет точности). Шероховатость поверхности рабочей части не влияет на качество обрабатываемой поверхности, но определяет характер течения электролита, интенсивность загрязнения зазора

2. Характеристики систем регулирования ЭХО

Принцип регулирования	Преимущества системы	Недостатки системы	Примеры применения (станки)
По величине МЭЗ при выключенном рабочем токе	Возможность поддержания величины МЭЗ в заданных пределах	Трудность коммутации больших токов; низкая производительность	Обработка пера лопатки на станках (ЭХО-1, ЭХА-300)
По величине рабочего тока	Простота регулирования	Может работать только при постоянной площади обработки	Обработка пера лопатки на станке (АГЭ-2)
По напряжению на электродах			Отверстия и полости постоянного сечения (4422)
По плотности тока	Возможность регулирования при переменном МЭЗ	Сложность оборудования	Сложные поверхности переменного сечения (4А423ФЦ)
По давлению электролита на входе в МЭЗ	Простота регулирования без включения источника тока	Может работать только при постоянной площади обработки	Обработка неглубоких полостей постоянного сечения (ЭХС-10А)
По заданной скорости подачи электрода	Нет необходимости в системе регулирования подачи электрода	Жесткая стабилизация всех параметров технологического процесса	Обработка поверхностей простой конфигурации (СЭХО-4П)
По постоянной величине тока с заданными параметрами напряжения	Простота регулирования	Сложность системы, переменность МЭЗ при переменной площади обработки	Обработка трехмерных полостей с небольшой точностью (хуже ±0,15 мм) (ЭКУ-400)
По величине зазора в паузах между импульсами	Поддержания МЭЗ без выключения рабочего тока	Возможность регулирования только на импульсном токе	Обработка сложных поверхностей (ЭРО-120)

3. Обрабатываемость некоторых сплавов

Сплав	Съем металла, мм²/А·ч		Анодный выход по току, %		Энергоемкость процесса, кВт·ч/кг	
	В водных растворах					
	25 % NaCl	30 % $NaNO_3$	25 % NaCl	30 % $NaNO_3$	25 % NaCl	30 % $NaNO_3$
Сталь 45	103,5	80,1	77,5	60,0	11,2	14,2
Х18Н10Т	72,7	–	61,0	–	21,0	–
У10 сырая	103,5	34,2	77,5	25,7	7,4	32,7
У10 закаленная	114,3	50,2	86,0	37,7	7,0	23,0
ВТ3-1	100,0	93,5	78,0	72,6	21,4	36,0
ВМ3	11,7	55,0	10,0	46,0	33,0	83,0
ВН-2А	119,2	13,6	96,0	11,0	6,7	70,0

продуктами обработки. Шероховатость рабочей поверхности $Ra \leq 2{,}5$ мкм. При проектировании электродов-инструментов необходимо предусмотреть, чтобы электролит протекал плавно, без резких поворотов, поскольку это приводит к срывам потока и проявлению местных необработанных участков. При проектировании рабочей поверхности следует учитывать возможность многократной ее коррекции по результатам экспериментов и оставлять припуск для ремонта после возможных коротких замыканий. Для ЭИ необходимо выбирать сплавы, обладающие коррозийной стойкостью, высокой электропроводностью, хорошей сопротивляемостью местному разрушению при коротких замыканиях, высокой адгезией к диэлектрическим покрытиям, достаточной механической прочностью и обрабатываемостью, низкой стоимостью (табл. 4). Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют медь, медные сплавы, коррозионно-стойкие стали; в меньшей степени – титановые сплавы.

4. Материалы для рабочей части электрода - инструмента

Характеристика материалов	Медь	Латунь	Бронза	Коррозионно-стойкая сталь
Удельное электрическое сопротивление, Ом·мм²/м	0,0175	0,062	0,021	0,75
Проводимость относительно меди, %	100	32	83	2 – 3
Адгезия с покрытиями	удовлетворительная	удовлетворительная	удовлетворительная	хорошая

5. Электроды для ЭХО

Операция ЭХО	Материал ЭИ	Долговечность, шт.
Прошивка отверстий и полостей:		
сложные полости	Коррозионно-стойкая сталь	500
мелкие отверстия и полости	Латунь, медь	350
Обработка лопатки с длиной пера, мм:		
до 80	Коррозионно-стойкая сталь	600
80 – 200		550
свыше 200		500
Прошивка и прямое копирование в циклическом режиме	Коррозионно-стойкая сталь	800
Электрохимическое шлифование:		
металлическим кругом	Медь, латунь	800
металлоабразивным кругом	Абразив или алмаз на медной связке	Износ 2 – 10 % от снятого металла
Электрохимическая разрезка	Коррозионно-стойкая сталь, бронза, латунь	800
Обработка неподвижными электродами	Коррозионно-стойкая сталь, латунь	1000

Обычно используемые электроды для различных операций ЭХО, приведенные в табл. 5.

В качестве электролитов при ЭХО обычно используются водные растворы нейтральных солей азотной, соляной или серной кислот. Характеристики часто применяемого раствора NaCl приведены в табл. 6.

Основными функциями электролита, как проводника второго рода, являются поддержание процесса электролиза в МЭЗ и удаление продуктов растворения из рабочей зоны, для чего электролит непрерывным потоком под давлением подается в МЭЗ. Для гарантированного удаления продуктов растворения из МЭЗ необходимо обеспечить требуемые расход и давление электролита на входе в МЭЗ (табл. 7).

6. Характеристики раствора NaCl

Концентрация		Плотность, г/см³	Удельная электропроводность при 18 °С, Ом · см⁻¹	Температура, °С	
%	г/л			кипения	замерзания
5	51,72	1,0345	0,0672	101	–3
10	107,1	1,0707	0,1211	102	–6
15	166,30	1,1087	0,1642	103	–11,8
18	204	1,1319	0,1734	104	–15
20	230	1,1470	0,1865	105	–17,8
22	250	1,1639	0,1975	105,5	–19
24	284	1,1804	0,1982	106	–21,2
25	297,4	1,1898	0,2135	106,5	–22
26	311,5	1,1982	0,2151	107	–23,8

7. Давление и скорость прокачки электролита

Операция ЭХО	Давление в рабочей зоне, МПа	Давление на выходе, МПа	Скорость прокачки, м/с
Прошивка отверстий и полостей:			
сложные полости	0,3 – 0,8	0,05 – 0,08	10 – 16
мелкие отверстия и полости	1,0 – 1,5	0,1 – 0,15	6 – 10
Обработка лопатки с длиной пера, мм:			
до 80	0,3 – 0,5	0 – 0,05	15 – 20
80 – 200	"	"	"
свыше 200	"	"	"
Прошивка и прямое копирование в циклическом режиме	4,0 – 8,0	–	0,1 – 0,15
Электрохимическое шлифование:			
металлическим кругом	–	–	12 – 16
металлоабразивным кругом	–	–	14 – 20
Электрохимическая разрезка	–	–	12 – 16
Обработка неподвижными электродами	0,3 – 0,8	0,3 – 0,8	15 – 20

В процессе обработки электролит загрязняется гидроокислами обрабатываемого материала заготовки, что требует его периодической очистки. Длительность использования электролита при различных способах его очистки приведена в табл. 8.

Утилизация вторичных продуктов ЭХО (шламов) позволяет создать безотходные технологии и возвращать в сферу производства ценное вторичное сырье. В результате может быть достигнут большой экономический и социальный эффект, связанный с улучшением экологии окружающей среды (ликвидация, отвалов, улучшение воздушного бассейна и т.п.)

8. Длительность использования электролита

Операция ЭХО	Загрязненность, г/л	Длительность использования, ч	
		Отстой	Центрифуги
Прошивка отверстий и полостей:			
сложные полости	10 – 15	60 – 80	150 – 200
мелкие отверстия и полости	5 – 8	30 – 40	150 – 200
Обработка лопатки с длиной пера, мм:			
до 80	8 – 10	–	200 – 250
80 – 200	8 – 10	–	200 – 250
свыше 200	10 – 12	–	250 – 300
Прошивка и прямое копирование в циклическом режиме	5 – 8	30 – 40	150 – 200
Электрохимическое шлифование:			
металлическим кругом	8 – 10	40 – 60	200 – 250
металлоабразивным кругом	5 – 8	80 – 100	250 – 300
Электрохимическая разрезка	8 – 10	40 – 60	200 – 250
Обработка неподвижными электродами	10 – 15	60 – 80	200 – 250

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Сущность способа и его возможности. Под *электрофизической обработкой* обычно понимают *электроэрозионную обработку* (*ЭЭО*), которая подразделяется на электроискровую, электроимпульсную и электроконтактную в зависимости от параметров технологического процесса. Сущность способа, как физического явления, заключается в направленном удалении материала из электродов при приложении к ним импульса электрической энергии. При этом межэлектродный промежуток (МЭП) заполнен диэлектрической жидкостью: маслом, керосином, дистиллированной или, что, как правило, используется в современных станках – водопроводной воды. Под действием импульса тока происходит электрический пробой МЭП. Через образовавшийся узкий канал сквозной проводимости проходит вся энергия импульса тока, направленно разрушая электроды в намеченном месте. Длительность импульса ограничена миллисекундами и сопровождается малым нагревом электродов в среде жидкого диэлектрика. Производительность обработки зависит, главным образом, от параметров технологического процесса и теплофизических свойств материала электродов и практически никак не зависит от механических свойств обрабатываемого материала.

При электроискровой обработке используют короткие (до $3 \cdot 10^{-4}$ с) импульсы (большое отношение амплитуды импульса к его длительности) с большой скважностью (отношение периода следования импульсов к их длительности). Полярность электрода-инструмента прямая (катод). При электроимпульсной обработке уменьшается скважность и увеличивается длина импульса, полярность электрода-инструмента обратная (анод). Электроконтактная обработка использует прерывистые дуговые разряды. Области применения и энергопоказатели способов даны в табл. 9 и табл. 10.

9. Области применения электрофизических способов обработки

Вид обработки	Шероховатость, *Ra*	Глубина измененного слоя, мкм	Основное применение
Электроискровая:			Координатная вырезка, объемное копирование прецизионных деталей из тугоплавких металлов, твердого сплава и т.п.
черновая	6,3	200 – 300	
чистовая	1,6 – 0,8	20 – 50	
прецизионная	0,4 – 0,1	10 – 20	
Электроимпульсная:			Трехкоординатная обработка фасонных поверхностей, типа гравюр штампов и пресс-форм площадью до единиц квадратных метров
черновая	12,5	800 – 1500	
чистовая	3,2 – 1,6	100 – 200	
Электроконтактная:			Обдирка труднообрабатываемых заготовок, резка литников, труб, сортамента
разрезание	12,5 – 0,8	200 – 500	
точение	3,2 – 0,8	10 – 50	
обдирка	12,5	2000 – 5000	
прошивание	12,5 – 6,3	200 – 500	

10. Основные энергопоказатели электрофизических способов обработки

Вид обработки	Средняя удельная производительность	Средний удельный расход энергии
	$см^3/с$	$Дж/см^3$
Электроискровая:		
черновая	$9{,}3 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2}$	$(4{,}3 - 7{,}2) \cdot 10^5$
чистовая	$8 \cdot 10^{-4} - 1{,}6 \cdot 10^{-3}$	$(1{,}4 - 2{,}0) \cdot 10^6$
прецизионная	$1{,}7 \cdot 10^{-6} - 1{,}7 \cdot 10^{-5}$	$(2{,}0 - 2{,}5) \cdot 10^6$
Электроимпульсная:		
черновая	$1{,}7 \cdot 10^{-2} - 1{,}8 \cdot 10^{-1}$	$(3{,}5 - 7{,}1) \cdot 10^5$
чистовая	$8 \cdot 10^{-4} - 8 \cdot 10^{-3}$	$(2{,}6 - 5{,}8) \cdot 10^5$
Электроконтактная:		
разрезание	$1{,}6 \cdot 10^{-2} - 1{,}3 \cdot 10^{-1}$	$(0{,}3 - 1{,}2) \cdot 10^5$
точение	$1{,}6 \cdot 10^{-2} - 6{,}5 \cdot 10^{-1}$	$(1{,}2 - 1{,}4) \cdot 10^5$
обдирка	15 – 17	$(2{,}3 - 4{,}6) \cdot 10^5$
прошивание	$8{,}3 \cdot 10^{-3} - 2{,}5 \cdot 10^{-2}$	$(0{,}12 - 5{,}8) \cdot 10^4$

При практическом применении ЭЭО, независимо от ее разновидности, в зону обработки необходимо подать импульс тока. Оптимальный ток импульса в общем случае для всех разновидностей электрофизической обработки определяется из зависимости

$$I_{опт} \approx K\sqrt[4]{F_p^3},$$

где K – коэффициент, зависящий от материала электрода и режимов обработки (например, при обработке стали 45 медным электродом, $K = 2{,}27$); F_p – площадь обработки.

Выбор технологических показателей и режимов ЭЭО проводится в следующей последовательности.

1. *Производительность Q процесса* оценивается отношением объема или массы удаленного (или нанесенного) металла. Исключение составляют операции разделения и вырезки деталей, где под производительностью понимают отношение площади боковой поверхности паза ко времени обработки.

Этот показатель находят по зависимости

$$Q = \psi a A_и f,$$

где ψ – коэффициент, учитывающий количество холостых импульсов, определяется по соотношению: $\psi = f/f_{г.и.}$, где $f_{г.и.}$ – частота импульсов, вырабатываемых генератором; a – объем металла, удаляемого с поверхности заготовки импульсами, суммарная энергия которых равна 1 Дж; $A_и$ – энергия импульса, Дж; f – частота импульсов, вызывающих эрозию.

Для получения высокопроизводительного режима необходимо, чтобы ψ был ближе к единице, т.е. чтобы как можно больше импульсов участвовало бы в процессе эрозии. При малой частоте импульсов $\psi \approx 0{,}85$, в случае высокой частоты $\psi \approx 0{,}75$. Объем расплавленного металла можно найти из уравнения теплопроводности, если принять температуру T на 50 … 100 К выше температуры плавления материала электрода. Введя коэффициент $k = \psi a$, и выразив частоту через длительность импульса $f = 1/(q\tau_и)$, расчет ведут по зависимости

$$Q = kA_и/(q\tau_и),$$

где q – скважность; k – коэффициент, который находят экспериментально. Он зависит от вида и состояния рабочей среды, ее прокачки, материалов и размеров электродов, характеристики импульсов.

Как видно, повышение производительности возможно при подборе оптимального сочетания факторов, позволяющих увеличить долю полезных рабочих импульсов. Для этого необходимо выполнить условие оптимального соотношения между максимальным значением силы тока I_{max} в импульсе и его длительностью $\tau_и$. Так для случая обработки со средней силой тока 10 … 100 А наибольшая производительность может быть достигнута при соотношении $I_{max}/\tau_и = 5$ … 8 МА/с. Для черновых операций используют импульсы с энергией более 1 Дж, для чистовых – от 0,1 до 1 Дж и отделочных – менее 0,1 Дж.

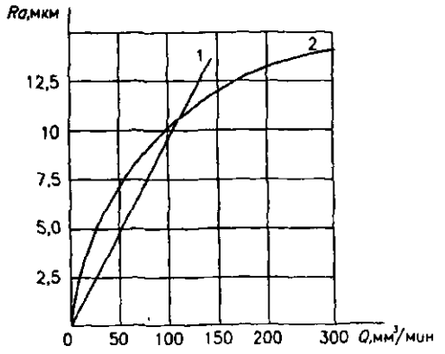


Рис. 10. Зависимость шероховатости обработанной поверхности от производительной обработки: *1* – твердый сплав; *2* – сталь

Производительность обработки играет существенную роль при формировании шероховатости обработанной поверхности (рис. 10).

В свою очередь, производительность обработки зависит от напряжения и тока короткого замыкания I генератора (табл. 11 и 12).

При увеличении площади обрабатываемой поверхности на начальном этапе происходит возрастание скорости съема металла, но в дальнейшем наблюдается ее снижение. Это связано с тем, что с течением времени ухудшаются условия удаления продуктов обработки из межэлектродного промежутка.

По мере углубления прошиваемого отверстия усложняется удаление продуктов обработки и поступление свежей жидкости в межэлектродный промежуток. Наличие большого количества электропроводных капель застывшего металла вызывает импульсы, энергия которых тратится на вторичное расплавление этих частиц. Для предотвращения таких "паразитных" импульсов используют принудительную прокачку жидкости через межэлектродный промежуток под давлением 100 ... 1200 кПа. Это в свою очередь требует повышения жесткости технологической системы.

11. Зависимость производительности обработки от тока короткого замыкания

$I_{к.з.}$, А	Производительность, мм³/с							
	ВК20	ВК15	ВК8	Т15К6	У10А	Х12М	ХВГ	Р6М5
0,25	0,0147	0,0150	0,0135	0,0125	0,0187	0,0163	0,0153	0,0150
0,5	0,0305	0,0292	0,0285	0,0250	0,0373	0,0322	0,0308	0,0295
0,7	0,0420	0,0400	0,0388	0,0363	0,0525	0,0440	0,0430	0,0407
0,9	0,0535	0,0525	0,0497	0,0467	0,0667	0,0577	0,0550	0,0522
1,2	0,0717	0,0695	0,0662	0,0622	0,0875	0,0772	0,0730	0,0700
1,5	0,0897	0,0855	0,0808	0,0785	0,1122	0,0965	0,0908	0,0863
1,8	0,1072	0,1027	0,0997	0,0945	0,1323	0,1160	0,1092	0,1038
2,0	0,1190	0,1150	0,1100	0,1050	0,1480	0,1280	0,1208	0,1163

12. Зависимость производительности обработки от напряжения

U, В	Производительность, мм³/с							
	ВК20	ВК15	ВК8	Т15К6	У10А	Х12М	ХВГ	Р6М5
70	0,0383	0,0370	0,0347	0,0338	0,0475	0,0408	0,0388	0,0372
80	0,0437	0,0417	0,0395	0,0383	0,0540	0,0467	0,0447	0,0425
90	0,0488	0,0470	0,0445	0,0433	0,0605	0,0528	0,0492	0,0472
100	0,0545	0,0523	0,0492	0,0478	0,0678	0,0587	0,0538	0,0528
110	0,0600	0,0572	0,0543	0,0527	0,0742	0,0650	0,0605	0,0573
120	0,0652	0,0625	0,0592	0,0572	0,0812	0,0708	0,0687	0,0630
130	0,0708	0,0677	0,0650	0,0625	0,0878	0,0753	0,0712	0,0688

13. Относительный объемный износ (%) ЭИ при ЭЭО стали с генератором ШГИ

Частота следования импульсов, кГц	Форма импульсов			
	Прямоугольные		Гребенчатые	
	Материалы ЭИ			
	Медь	Графит	Медь	Графит
8	15 – 40	0,6 – 1,0	0,3 – 0,5	–
22	22 – 45	3,0 – 5,0	0,3 – 0,8	0,08 – 0,15
44	30 – 50	5,0 – 18	0,5 – 1,0	0,1 – 0,15
66	33 – 55	15 – 25	0,8 – 1,2	0,12 – 0,15
88	40 – 70	30 – 40	1,0 – 1,8	0,3 – 0,5
100	–	–	1,0 – 2,0	0,8 – 1,2
200	45 – 90	40 – 70	–	–
440	90 – 140	–	–	–

При электроконтактной обработке в воздушной среде скорость съема металла зависит от тех же факторов, что и при эрозии в жидкости. Однако условия теплообмена в рассматриваемом случае имеют существенные отличия. Электроды при работе постепенно нагреваются до высоких температур, что не наблюдается при работе в жидкостях. При этом способе используются большие токи, а поскольку зависимость скорости съема от среднего тока имеет характер, близкий к линейному, то производительность процесса можно оценивать через силу тока:

$$Q = k_2 I ,$$

где k_2 – коэффициент, учитывающий режим обработки и материал электродов.

При разрезании заготовок производительность

$$Q_p = k_3 I ,$$

где $k_3 = k_2 / b$ (b – толщина заготовки).

Скорость электроконтактного разрезания материалов в воздушной среде достигает 2 ... 3 мм/с, что в 5 ... 10 раз выше, чем при механической обработке.

2. *Точность изготовления деталей* при ЭЭО зависит от нескольких факторов: точность изготовления электрода-инструмента, *износ электрода-инструмента вследствие эрозии*, погрешности формы и размеров углубления на заготовке относительно электрода-инструмента.

Допуски на размеры электрода-инструмента составляют обычно 0,015 ... 0,1 мм, что соответствует требованиям к изготовлению металлорежущих инструментов.

При вырезании по контору непрофилированным электродом-инструментом (проволокой) постоянный по времени износ не влияет на точность.

Относительный объемный износ ЭИ приведен в табл. 13.

Сравнительно большой относительный износ ЭИ определяет необходимость использовать в ряде случаев несколько одинаковых ЭИ. На рис. 11 приведена номограмма, позволяющая определять необходимое количество ЭИ при копировании для заданной глубины обработки и радиуса скругления обрабатываемой полости.

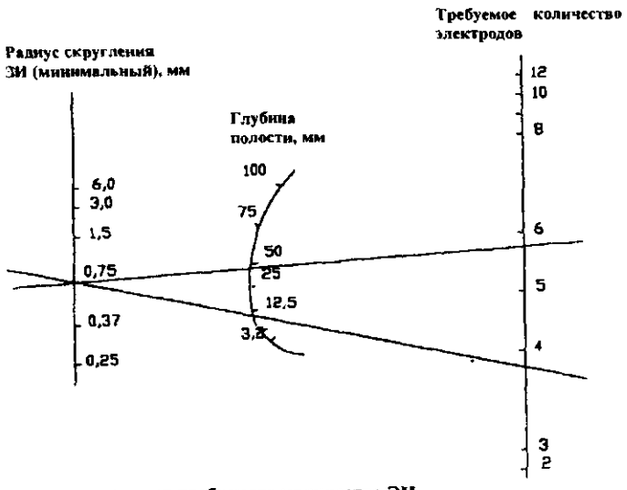


Рис. 11. Номограмма определения требуемого количества ЭИ

14. Технологические характеристики ЭЭО стали ЭИ из графита

Длительность импульса $\tau_и$, мкс	Скважность q	Средний ток импульса $I_{ср}$, А	Частота импульсов f, кГц	Производительность технологического процесса Q, м³/мин	Шероховатость поверхности Ra, мкм	Износ ЭИ ν, %	Площадь обработки S, мм²
666	1,5	65	1	65	40 – 50	0,2	3000
		22		22	30 – 35	0,2	1000
		12		12	24	0,15	1000
222	1,5	65	3	500	30	0,5	3000
		22		140	20 – 22	0,5	1000
		12		60	16,5	0,45	1000
83	1,5	60	8	435	20	2	3000
		20		120	10 – 12	1,5	1000
		11		57	10	0,8	1000
27	1,5	50	22	390	13 – 15	8	3000
	1,5	19		110	9	6	1000
	2,0	10		48	7	6	1000
14	1,5	45	44	160	10 – 12	12	2000
14	1,5	22		120	7,8	10	1000
10,5	2,0	10		40	5,0	9	500
7	1,5	28	88	150	5,0 – 5,5	20	1000
7	1,5	15	88	70	4,0 – 4,5	20	500
6	2,0	8	88	25	3,9	18	250
1,5	2,0	10	200	30	3,0	50	500
1,0	3,0	5	200	10	2,2 – 2,5	40	250

Примечание: Полярность обратная, импульсы прямоугольные, генератор ШГИ-63-440, материал ЭИ – ЭЭПГ.

15. Технологические характеристики ЭЭО стали ЭИ из меди

Длительность импульса $\tau_и$, мкс	Скважность q	Средний ток импульса $I_{ср}$, А	Частота импульсов f, кГц	Производительность технологического процесса Q, м³/мин	Шероховатость поверхности Ra, мкм	Износ ЭИ ν, %	Площадь обработки S, мм²
62,5	2	8	60	100	12,0	150	3000
			35	20	5,8	130	2000
			12	15	4,2	110	1000
21,0	2	22	45	65	4,7	115	3000
10,5		44	35	42	3,2	80	2000
6,0		88	25	30	2,5	82	1000
1,5	2	200	16	26	2,4	75	500
1,5	2	200	10	16	2,0	70	250
1,0	3	440	3 – 4	5	1,25	50	120
0,9	2	440	3 – 4	3,5	1,0	40	120

Примечание: Генератор ШГИ-63-440, полярность на частотах до 22 кГц обратная, а на частотах свыше 22 кГц – прямая.

Технологические характеристики ЭЭО в зависимости от применяемых ЭИ приведены в табл. 14 и 15.

3. *Качество поверхностного слоя детали.* В результате электроэрозионной обработки поверхность приобретает характерные неровности, а приповерхностные слои металла претерпевают физико-химические изменения. Обрабатываемая поверхность формируется из перекрывающих друг друга произвольно расположенных лунок. Размеры лунок зависят от энергии импульса и материала электродов. Они возрастают с ростом энергии импульсов и уменьшением частоты их следования. Высота неровностей зависит от степени перекрытия лунок.

Поскольку размер лунки зависит от энергии импульса, то можно высоту неровностей Rz выразить через энергию импульса ($A_и$)

$$Rz = k_н A_и^p,$$

где $k_н$ – коэффициент, зависящий от режима обработки, материала электродов, их размеров, вида и состояния рабочей среды, при чистовых режимах для твердых сплавов $k_н = 1 \ldots 5$, для сталей $k_н = 2 \ldots 12$, при черновых режимах $k_н = 10 \ldots 50$; $p = 0{,}3 \ldots 0{,}04$ – показатель степени, характеризующий форму лунки, в расчетах принимают $p = 1/3$.

Если металл обрабатывают импульсами высокой энергии, то в начале разряда нагревается и плавится металл на поверхности; затем теплота проникает вглубь. Для нагрева внутренних слоев требуется какое-то время. Поскольку время разряда невелико, а мощность его значительна, то возникает большая разница температур по глубине. Наружные слои, как более нагретые, расширяются больше, внутренние – меньше. Однако металл в зоне лунки в начале разряда не обладает достаточной пластичностью, поэтому в нем возникают значительные внутренние напряжения, вызывающие разрыв. В конце импульса под действием резкого охлаждения нагретого металла жидкой рабочей средой вновь возникает большой перепад температур под лункой и появляются внутренние напряжения, которые вызывают трещинообразование. Толщина измененного слоя после серии импульсов значительно превышает высоту неровностей. Она зависит от теплофизических свойств материала заготовки, температуры, при которой происходят фазовые превращения обрабатываемого металла, и других причин.

Глубина H измененного слоя зависит от тех же факторов, что и шероховатость

$$H = k_т A_и^p.$$

В зависимости от материала заготовки коэффициент $k_т = (1{,}8 \ldots 4)\, k_н$.

В табл. 16 приведена глубина измененного слоя для стальных заготовок в зависимости от вида обработки.

16. Глубина измененного слоя для стальных заготовок в зависимости от вида обработки

Схема электроэрозионной обработки	Глубина измененного слоя, мм
Черновая обработка (на электроимпульсном режиме)	0,1 ... 0,4
Чистовая обработка (на электроискровом режиме)	0,004 ... 0,1
Шлифование в жидкости	0,005 ... 0,08
Разрезание в жидкости	0,5 ... 0,1
Электроконтактная обработка на воздухе	≤ 5

При разработке технологических процессов ЭЭО рекомендуется пользоваться табл. 17, в которой приведены примерные значения технологических параметров ЭЭО для трех основных режимов.

Различные материалы по-разному обрабатываются способом ЭЭО в зависимости от их физико-химических свойств (табл. 18).

Тепловое воздействие импульсов сравнительно высокой энергии на обрабатываемую поверхность приводит к образованию микротрещин и ухудшению шероховатости поверхности. Особенно это сказывается на закаленных деталях и деталях из твердого сплава (табл. 19).

Необходимость постоянного поддержания заданной величины МЭП требует автоматического регулирования процесса ЭЭО. Характеристики используемых автоматических регуляторов МЭП приведены в табл. 20.

17. Технологические режимы ЭЭО

Режим	Мощность, кВт	Длительность импульса $\tau_и$, мкс	Частота импульсов f, Гц	Производительность, мм^3/мин
Черновой	3 – 30	10 000 – 100	50 – 3000	30 000 – 100
Чистовой	0,3 – 5	500 – 20	1000 – 10 000	200 – 30
Доводочный	1	Не менее 20	Не более 3000	30

18. Сравнительная обрабатываемость материалов латунным электродом

Металл или сплав	Режим обработки		
	мягкий	средний	жесткий
	Сравнительная обрабатываемость		
ВТ3	0,85	1,3	1,2
ВН-2А	2,6	0,2	0,94
ВМ3	1,5	0,7	0,26
У10	1	1	1
30Х10Г10	1,5	0,64	0,48
ВК8	3,4	0,64	0,4

19. Качество электроэрозионной обработки твердого сплава

Режимы обработки		Глубина микротрещин, мкм	Шероховатость, Ra, мкм	Точность обработки, мм	
Энергия импульса, Дж	Длительность импульса, мкс			Боковой МЭЗ, мм	Колебания МЭЗ, мм
0,95	160	130	6,3	0,25	0,045
0,42	140	80	3,2	0,22	0,045
0,22	130	56	3,2	0,20	0,040
0,5	120	26	3,2	0,15	0,039
0,025	100	0	3,2	0,10	0,035
$6 \cdot 10^{-3}$	72	0	1,6	0,06	0,027
$2 \cdot 10^{-3}$	42	0	0,8	0,05	0,018
$1 \cdot 10^{-4}$	10	0	0,4	0,04	0,01
$2 \cdot 10^{-5}$	2	0	0,2	0,03	0,005
$20 \cdot 10^{-6}$	0,3	0	0,1	0,02	0,002

20. Характеристики автоматических регуляторов межэлектродного промежутка

Принцип действия	Область применения	Технические данные	Преимущества	Недостатки
Соленоидный регулятор ЭИ закреплен на ползуне, который под действием собственного веса опускается по направляющим. Тяговый электромагнит поддерживает систему. Избыточный вес компенсирует противовес	Специализированные станки для обработки небольшой глубины при средней энергии импульса	Вес ЭИ до 3 кг Рабочий ход до 100 мм с периодической подстройкой	Простота конструкции. Быстродействие Возможность работы до изолированного упора	Малый рабочий ход Малый вес ЭИ Рабочее положение только вертикальное
Электродинамический регулятор ЭИ с ползуном удерживается во взвешенном состоянии электромагнитом с подвижной и неподвижной катушкой	Станки небольшой мощности	Вес ЭИ до 5 кг Рабочий ход до 150 мм	Простота конструкции Быстродействие	Рабочее положение вертикальное Периодическая подстройка
Реечный регулятор с электродвигателем ЭИ с ползуном удерживается во взвешенном состоянии электродвигателем через реечную передачу	Станки средней мощности	Вес ЭИ до 10 – 15 кг Рабочий ход практически неограничен	Большая длина рабочего хода Значительный вес ЭИ. Возможна работа с реверсом	Рабочее положение вертикальное. Высокие требования к зубчатой передаче
Электродвигатель – регулятор ЭИ с ползуном на направляющих качения перемещается электродвигателем через винт и редуктор	Универсальное использование в широком диапазоне мощностей	Вес подвижной системы 50 кг и выше	Значительный вес ЭИ. Значительный рабочий ход. Любое расположение подвижной системы	Сложность конструкции

Продолжение табл. 20

Принцип действия	Область применения	Технические данные	Преимущества	Недостатки
Эксцентриковая подача ЭИ ЭИ с ползуном перемещается в направляющих электродвигателем через редуктор и эксцентрик	Специализированные станки для обработки неглубоких полостей	Вес подвижной системы 1 – 3 кг Рабочий ход 15 – 50 мм	Высокая точность регулирования Расположение подвижной системы произвольное	Малый вес ЭИ Непрерывная подстройка Сложность конструкции
Дифференциальный регулятор Ползун электродвигателями и через дифференциал и винтовую передачу перемещается по направляющим. При регулировании изменяются скорости вращения одного или обоих электродвигателей	Станки для обработки прецизионных деталей	Вес подвижной системы 20 – 50 кг Рабочий ход практически не ограничен	Точное регулирование Отсутствие люфтов в кинематической цепи Любая величина подачи. Расположение любое	Сложность конструкции
Гидравлическая подача Изменение тягового усилия электромагнита управляет золотником	Станки большой мощности	Вес подвижной части практически не ограничен Длина рабочего хода 400 – 500 мм	Отсутствие люфтов Большой вес ЭИ. Любая глубина подач Расположение подвижной системы любое	Сложность и громоздкость конструкции Высокие требования к изготовлению золотника

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ

Сущность процесса. *Электромеханическая обработка* (*ЭМО*) основана на сочетании термического и силового воздействий на поверхность обрабатываемой детали, что приводит к изменению физико-механических и геометрических показателей поверхностного слоя деталей и, как следствие, к повышению износостойкости, предела выносливости и других эксплуатационных характеристик. Сущность метода ЭМО заключается в том, что в процессе обработки через место контакта инструмента и заготовки проходит ток большой силы и низкого напряжения. Высокое сопротивление зоны контакта приводит к сильному нагреву контактирующих микронеровностей обрабатываемой поверхности, и под силовым воздействием инструмента они деформируются и сглаживаются, а поверхностный слой упрочняется за счет быстрого отвода тепла в основную массу материала и скоростного охлаждения от температуры фазового превращения металла. При этом разогрев до температур фазовых превращений является необходимым условием упрочняющих режимов обработки.

Электромеханическая обработка характеризуется следующими особенностями.

1. Тепловое и силовое воздействие на поверхностный слой осуществляется одновременно.

2. Тепловыделение в зоне контакта инструмента и заготовки является следствием действия двух основных источников: внешнего (теплоты, выделяющейся в процессе трения между инструментом и деталью во время обработки) и внутреннего (теплоты, выделяющейся при прохождении тока через малую дискретную площадь контакта). При этом особенностью второго источника тепловыделения является то, что теплота от него создается одновременно и мгновенно во всем локальном объеме поверхностного слоя, находящемся в контакте с инструментом в данный момент времени.

3. Термический цикл (нагрев, выдержка и охлаждение) весьма кратковременный и измеряется долями секунды. Высокая скорость охлаждения определяется интенсивным отводом теплоты вовнутрь детали.

В местах локализации тепловыделения в поверхностном слое температура выходит за критическую точку, и происходит сначала аустенитное превращение, а затем интенсивная закалка, вызванная большой скоростью отвода тепла из зоны контакта. Эффект упрочнения ЭМО достигается благодаря тому, что реализуются сверхбыстрые скорости нагрева и охлаждения, и достигается высокая степень измельченности аустенитного зерна, которая обуславливает мелкокристаллические структуры закалки поверхностного слоя, обладающего высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Схемы и методы обработки. Разработаны различные методы электромеханической обработки, при реализации которых варьируются:

1. Способ подвода электрического тока к месту контакта инструмента и заготовки:

– подвод от неподвижного контакта, закрепленного на станке (рис. 12);

– подвод от неподвижного контакта через вращающиеся элементы оборудования (рис. 13);

– подвод тока через катящийся ролик (рис. 14);

Рис. 12. Подвод тока через неподвижный контакт

Рис. 13. Подвод тока через вращающиеся элементы оборудования

Рис. 14. Подвод тока через ролик

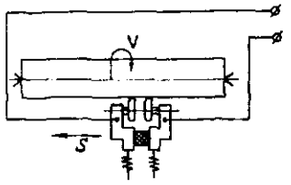


Рис. 15. Подвод тока через сдвоенные ролики

– подвод тока через катящиеся сдвоенные ролики (рис. 15);

Каждый из способов подвода тока обладает своими преимуществами и недостатками.

2. Род тока:

– постоянный;

– переменный.

ЭМО при применении постоянного тока позволяет добиваться значительного уменьшения исходного параметра шероховатости *Ra* в 4 – 8 раз, тогда как при переменном токе *Ra* практически не изменяется. При одинаковых значениях силы тока увеличение подачи при *переменном токе в* 4 *раза приводит к* увеличению *Ra* 2 раза, при постоянном токе *Ra* практически не изменяется. Это объясняется лучшим прогревом микронеровностей, уменьшением сопротивляемости их деформированию и снижением вибраций при упрочнении постоянным током. Однако, наблюдается резкий перепад твердости упрочненного слоя и неупрочненной сердцевины, что может привести к отслаиванию поверхностного слоя, подвергшегося ЭМО, и к уменьшению усталостной и контактной прочности. Применение переменного тока обеспечивает плавный переход твердости от поверхности к сердцевине, большую глубину упрочнения и более высокую микротвердость упрочненного слоя. Повышение твердости можно объяснить пульсацией переменного тока и образованием сегментообразных светлых полей, имеющих большую поверхность контакта с окружающей средой, что приводит к более интенсивной теплоотдаче и, как следствие, к более интенсивной закалке. Обработка на постоянном токе позволяет получить: Ra = 0,02 – 1,6 мкм, относительную опорную длину профиля на средней линии t_m = = 50 – 80 %, степень упрочнения поверхностного слоя U_H = 0,4 – 1,0 и глубину упрочнения h = 0,05 – 0,5 мм; на переменном токе – Ra = = 0,8 – 3,2 мкм, t_m = 45 – 60 %, U_H = 0,8 – 2,5 и h = 0,2 – 1,5 мм.

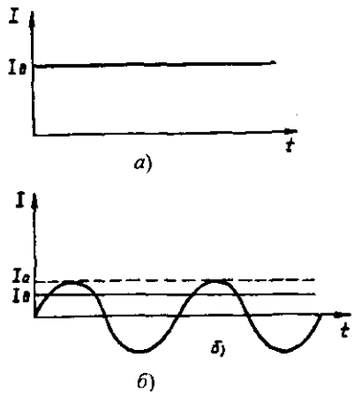


Рис. 16. Сплошной способ подачи тока *I* во времени *t*:
а – постоянного тока; *б* – переменного тока; $I_а$, $I_д$ – амплитудное и действующее значения силы тока, соответственно

3. Способ подачи тока во времени:

– сплошной при постоянной подаче тока, *что позволяет получить равномерно упрочненную* поверхность (рис. 16);

– импульсный при прерывистой подаче тока (рис. 17), что позволяет не допустить перегрева поверхностного слоя при значительной силе тока и, кроме того, формировать на упрочняемой поверхности специфическую структуру, представляющую собой чередование упрочненных и неупрочненных участков.

4. Частота тока:

– промышленная частота тока 50 Гц (рис. 16, *б*);

– высокая частота тока до 20 кГц (рис. 18, *а*);

– промышленная частота тока, модулированная высокой частотой (рис. 18, *б*);

Применение высокой частоты тока позволяет перейти к бестрансформаторным схемам ЭМО и получать высокое качество поверхностного слоя по сравнению с ЭМО переменным током промышленной частоты, в частности, параметр шероховатости *Ra*, однако при этом резко снижается глубина упрочнения. Модулирование тока промышленной частоты током высокой частоты позволяет использовать преимущества обоих предыдущих способов обработки, т.е. добиваться высокого качества поверхности при значительной глубине упрочнения.

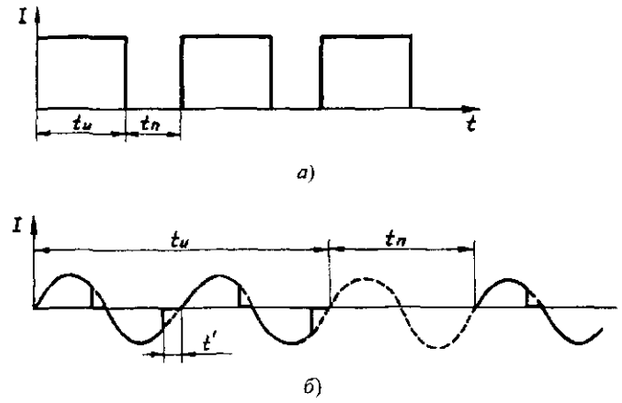


Рис. 17. Импульсный способ подачи тока во времени:
а – постоянного тока; *б* – переменного тока; $t_и$ – время протекания импульса тока; $t_п$ – время пауз между импульсами тока; *t'* – фазовое значение регулирования действующей силы тока

5. Вид инструмента:

– пластина, работающая в условиях трения скольжения;

– ролик, работающий в условиях трения качения, что снижает тепловыделение внешнего источника теплоты при ЭМО, при этом повышается стойкость инструмента.

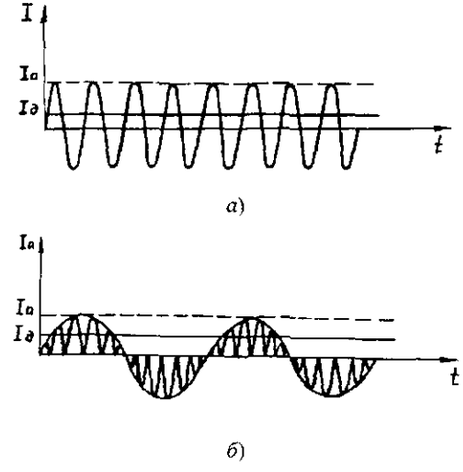


Рис. 18. Частота тока при ЭМО (сплошной способ подачи тока во времени):
а – высокая частота; *б* – промышленная частота тока, модулированная высокой частотой; $I_а$, $I_д$ – амплитудное и действующее значения силы тока, соответственно

Аппаратные средства для ЭМО. В качестве источников переменного тока для ЭМО в основном используют понижающие трансформаторы с питанием от сети 220/380 В, *предназначенные для работы в режиме* короткого замыкания тока, в частности, трансформаторы машин для контактной сварки. Мощность трансформатора выбирают в зависимости от его технологического назначения: характера обрабатываемых деталей, их размеров, конструкции инструмента, серийности производства. При выборе мощности трансформатора следует учитывать, что продолжительность его включения при ЭМО может достигать 50 % рабочего времени. Для многих процессов ЭМО (обработка зубчатых колес, упрочнение цилиндров, плоских поверхностей, восстановление деталей с добавочным металлом), особенно при одновременном использовании нескольких инструментов, а также при обработке крупногабаритных деталей, требуется большая мощность источника тока, а сила тока во вторичной цепи может достигать 2000 – 5000 А. В этих случаях наиболее подходящими являются трансформаторы для контактной сварки мощностью 25 – 50 кВт.

Для упрочнения малогабаритных деталей перспективным является применение бестрансформаторных схем обработки, основанных на использовании тиристорных преобразователей, что значительно снижает габариты, массу устройства для ЭМО и его стоимость. В целях минимизации габаритов электрических блоков управления бестрансформаторных схем целесообразно применение высокочастотных

преобразователей, позволяющих получить на выходе частоту тока до 20 кГц.

В качестве источников постоянного тока могут быть использованы мощные низковольтные выпрямители, а также электромагнитные преобразователи. Регулирование силы тока осуществляется включением в рабочую силовую цепь (или в цепь возбуждения) балластных реостатов, а также путем введения в питающую цепь специальных автотрансформаторов.

Управление током при осуществлении процесса ЭМО в импульсном режиме может осуществляться с помощью сварочных прерывателей тока, специальных полупроводниковых регуляторов тока в первичной цепи трансформаторов или в выходных цепях тиристорных преобразователей.

Инструмент и приспособления. Одной из важных задач реализации методов электромеханической обработки является выбор соответствующего проводимым процессам материала инструмента, являющегося наиболее критичным элементом технологических установок ЭМО, работающего в жестких условиях - высоких температурных и силовых нагрузках. При этом необходима высокая электрическая проводимость материала и достаточная износостойкость контактной поверхности. В этой связи наиболее целесообразным является применение в качестве материала инструмента термостойких бронз и твердых сплавов с насыщением объема материалами на основе меди.

Преимуществом инструмента с неподвижным креплением (типа пластин) является возможность получения малых значений высотных параметров шероховатости (Ra = 0,2 – – 0,63 мкм). Однако, сравнительно небольшая стойкость ограничивает его применение обработкой поверхностей небольших размеров (типа шеек валов) в мелкосерийном и ремонтном производстве. Преимущество инструмента с подвижным креплением (роликов) в том, что, обладая большой массой, он гарантирует большую стабильность рабочего профиля. Кроме того, ролики имеют высокую стойкость, их используют при упрочнении деталей на большую глубину, при обработке поверхностей больших размеров, когда не предъявляются высокие требования к шероховатости поверхности, а также при обработке заготовок из чугуна.

Большое значение имеет выбор державок для рабочего инструмента. Регулирование силы прижатия инструмента к детали может осуществляться самими державками при помощи спиральных пружин, пневматических и гидравлических устройств, плоских пружин. Державки на основе плоских пружин менее чувствительны к воздействию вибраций. При установке державки ее необходимо изолировать от станка пластинами (втулками) из изоляционного материала (гетинакс, текстолит). В конструкции державки должна быть предусмотрена тепловая разгрузка пружинящей части путем подведения тока непосредственно к инструменту. В качестве охлаждающей среды инструмента и зоны упрочнения применяют сжатый воздух, эмульсию или раствор электролита на основе $NaCO_3$, $NaNO_2$, $NaNO_3$.

Геометрия инструмента выбирается, исходя из обеспечения требуемых диапазонов плотности тока в контакте инструмент-деталь, типа обрабатываемых деталей и способа подвода тока.

В зависимости от назначения и типа обрабатываемых деталей для ЭМО могут быть использованы токарные, фрезерные, сверлильные и другие металлообрабатывающие станки, оснащенные соответствующими приспособлениями для обеспечения придания требуемого взаимного расположения инструмента и детали.

На рис. 19 – 22 представлены инструменты с державками и приспособления, применяемые для различных методов электромеханической обработки деталей.

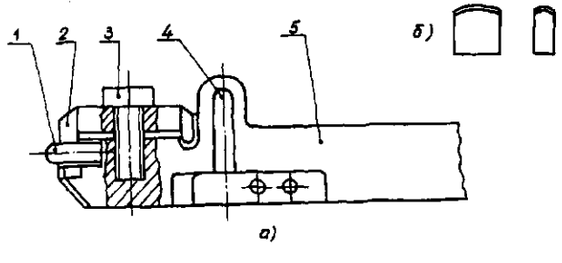


Рис. 19. Пружинная державка (*а*) с инструментом в виде пластины (*б*):
1 – пластина - инструмент; *2* – прижим; *3* – болт; *4* – плоская пружина; *5* – основание державки

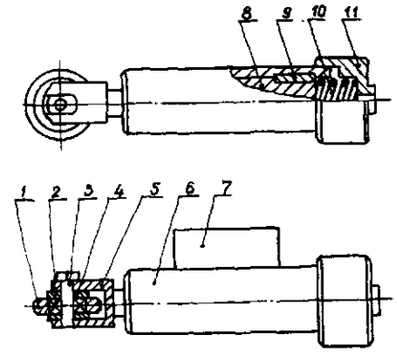


Рис. 20. Державка со спиральной пружиной и вращающимся роликом – инструментом:
1 – ролик – инструмент; *2* – подшипник; *3* – ось; *4* – кольца; *5* – вилка; *6* – корпус; *7* – пластина крепления к резцедержателю суппорта станка; *8* – шток державки; *9* – направляющая шпонка; *10* – спиральная пружина; *11* – гайка, осуществляющая натяг пружины

Режимы обработки. Электромеханическая обработка связана, в основном, с резким повышением твердости и снижением шероховатости обрабатываемой поверхности деталей и в меньшей мере оказывает влияние на другие характеристики. В зависимости от степени влияния на структуру и свойства поверхностного слоя различают следующие режимы электромеханической обработки:

1. Жесткий упрочняющий режим, как правило, используется при обработке на переменном токе. При этом в поверхностном слое значительной глубины образуется светлая зона мелкодисперсного мартенсита, а в переходном слое отсутствуют значительные пластические деформации. Данный режим предусматривает высокую плотность тока (700 – 1500 А/мм^2) в контакте инструмента с деталью, низкую скорость обработки (0,5 – 5 м/мин) и невысокие требования к шероховатости поверхности.

2. Средний упрочняющий режим может осуществляться как на переменном, так и на постоянном токе. Он характеризуется незначительной глубиной упрочнения, наличием светлой и темной зон ферритно-мартенситной структуры поверхностного слоя и значительным деформированием переходного слоя.

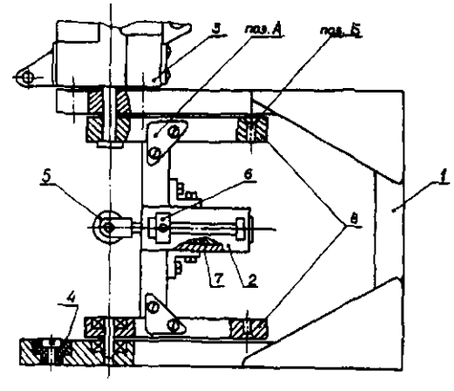


Рис. 21. Приспособление к токарному станку для упрочнения сферических поверхностей.
Поз. *А* и *Б* – соответственно позиции узла крепления ролика – инструмента для обработки внутренних и наружных сферических поверхностей; *1* – сварной каркас; *2* – узел крепления ролика – инструмента; *3* – червячный редуктор с автономным приводом; *4* – электрические изоляторы; *5* – вращающийся ролик – инструмент; *6* – маховик для выдвижения оправки; *7* – выдвижная оправка; *8* – перекладины

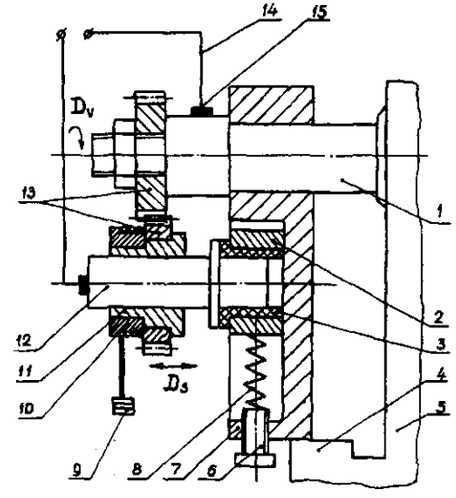


Рис. 22. Приспособление к фрезерному станку для упрочнения зубчатых колес:
1 – шпиндель станка; *2* – ползун; *3* – изоляционная втулка; *4* – стол станка; *5* – станина; *6* – винт; *7* – корпус приспособления; *8* – пружина; *9* – груз, обеспечивающий постоянное давление в контакте шестерен; *10* – барабан с намотанным тросом; *11* – резьбовая втулка; *12* – неподвижный вал; *13* – упрочняемые зубчатые колеса; *14* – электрические шины; *15* – скользящий контакт; D_v – движение обкатывания зубчатых колес; D_s – продольное перемещение нижнего зубчатого колеса за счет резьбового соединения втулки *11* и вала *12*

Плотность тока в контакте ниже 800 А/мм^2, причем ее значение непосредственно влияет на наличие или отсутствие фазовых превращений. Скорости обработки аналогичны или несколько выше применяемых на жестком режиме упрочнения. Высокие давления оказывают отрицательное воздействие на упрочняющих режимах ЭМО. Величина давления инструмента на обрабатываемую поверхность выбирается, исходя из требований к глубине и шероховатости поверхностного слоя.

3. Отделочный режим, как правило, применяется при обработке на постоянном токе. Он характеризуется отсутствием фазовых превращений, невысокой плотностью тока в контакте, высокими скоростями обработки (10 – 120 м/мин), значительными давлениями инструмента. Применяется, когда не требуется существенная глубина упрочнения, а необходимо значительное уменьшение исходной шероховатости обрабатываемой поверхности. При этом достигается высокая производительность.

Общая закономерность при выборе режимов ЭМО состоит в следующем: *чем больше удельное насыщение энергией поверхностного слоя до момента его охлаждения, тем выше упрочняемость по глубине*. Повышение скорости способствует уменьшению глубины упрочнения. Однако в весьма тонком поверхностном слое увеличенная скорость может оказаться доминирующим фактором в связи с тепловыделениями от трения, что также происходит с увеличением давления в контакте при малых значениях силы тока. При высоких скоростях нагрева возможно неполное аустенитное превращение, однако под действием высоких давлений структура настолько измельчается, что превращение происходит даже при высоких скоростях. Выбор оптимальных режимов ЭМО представляет значительный практический интерес и зависит от требуемой степени и глубины упрочнения, шероховатости поверхности, закономерностей контактного нагрева, начальной шероховатости, геометрии инструмента, структуры обрабатываемой заготовки, метода электромеханического упрочнения и т.д.

Влияние режимов электромеханической обработки на твердость поверхностного слоя и глубину упрочнения представлено в табл. 21 – 23.

21. Режимы упрочнения среднеуглеродистых конструкционных сталей постоянным током

Режимы упрочнения	Плотность тока, А/мм^2	Скорость, м/мин	Давление, Н/мм^2	Подача, мм/об.	Твердость, HV	Глубина упрочнения, мм
Жесткий упрочняющий	700 – 1000	3 – 5	10 – 20	0,1 – 0,3	500 – 650	0,15 – 0,30
Средний упрочняющий	400 – 600	8 – 10	20 – 40	0,1 – 0,3	400 – 500	0,06 – 0,10
Отделочный	250 – 350	60 – 80	150 – 200	0,1 – 0,3	260 – 320	0,02 – 0,03

22. Влияние плотности тока на глубину упрочнения и твердость поверхностного слоя при ЭМО постоянным током стали 65Г

Плотность тока, А/мм^2	Глубина упрочнения, мм	Твердость, HV
800	0,6	680
1000	0,8	720
1200	1,0	770

Примечание: скорость обработки – 0,15 м/мин; давление инструмента – 75 Н/мм^2.

23. Влияние плотности тока на глубину упрочнения и твердость поверхностного слоя при ЭМО переменным током для различных материалов

Материал	Глубина упрочнения h, мм; твердость, HV	Плотность тока, А/мм^2				
		400 – 500	600 – 700	750 – 850	900 – 1000	1100 – 1200
Сталь 45	h	0,2 – 0,3	0,4 – 0,42	0,48 – 0,62	0,6 – 0,75	0,8 – 0,9
	HV	360 – 420	480 – 540	550 – 660	680 – 720	760 – 820
Сталь 40ХН	h	0,2 – 0,36	0,4 – 0,48	0,52 – 0,6	0,6 – 0,75	–
	HV	540 – 600	620 – 700	750 – 860	900 – 1000	–
Сталь 65Г	h	–	–	1,2 – 1,3	1,5 – 1,7	1,8 – 2,1
	HV	–	–	820 – 900	950 – 1080	1050 – 1180
Высокопрочный чугун ВЧ-50	h	0,45 – 0,6	0,65 – 0,8	0,85 – 0,9	1,0 – 1,2	1,2 – 1,4
	HV	480 – 620	630 – 740	770 – 870	860 – 1020	980 – 1100

Примечание: скорость обработки – 1 – 5 м/мин; давление инструмента – 10 – 30 Н/мм^2.

Электромеханическая обработка, осуществляемая на отделочных и упрочняющих режимах, не оказывает влияние на точностные характеристики, сформированные на предшествующих технологических операциях обработки деталей.

Шероховатость обработанных поверхностей при ЭМО зависит от исходной шероховатости, геометрии инструмента, его шероховатости, значения подачи, давления, силы и рода тока, скорости обработки. Во всех случаях обработка должна осуществляться при достаточной жесткости технологической системы и отсутствии существенной вибрации. При этом шероховатость рабочей поверхности инструмента должна быть ниже требуемой шероховатости после обработки, а подача – меньше применяемой при механической обработке.

Шероховатость обработанной поверхности после ЭМО в значительной мере зависит от значения подачи и радиуса инструмента. Увеличение радиуса инструмента снижает влияние значения подачи. С увеличением исходной шероховатости повышается степень неоднородности образованной поверхности и увеличивается вероятность отклонения силы деформирования от оптимального значения. При обработке на упрочняющих режимах ЭМО шероховатость поверхности должна сочетаться с необходимой высокой глубиной упрочнения. При скорости обработки ниже 5 м/мин наблюдается значительное уменьшение шероховатости поверхности, что объясняется влиянием повышенного нагрева. Основное влияние на шероховатость оказывает первый рабочий проход, последующие два снижают шероховатость меньше. Дальнейшее увеличение числа рабочих ходов приводит к повышению шероховатости. Практически их не должно быть больше трех. Однако, необходимо помнить о том, что повторные проходы могут приводить к отпуску материала заготовки и снижению поверхностной микротвердости.

При упрочнении постоянным током осуществляется лучший прогрев микронеровностей и уменьшение их сопротивляемости деформированию. Поэтому увеличение силы постоянного тока существенно не ухудшает шероховатости в отличие от переменного, с увеличением амплитуды которого происходит увеличение вибрации и сопротивляемости неровностей деформированию, что приводит к ухудшению шероховатости поверхностного слоя, однако глубина упрочнения при этом повышается и превосходит глубину упрочнения постоянным током при аналогичных его значениях.

Влияние силы тока и силы прижатия ролика – инструмента на изменение параметра шероховатости *Ra* при ЭМО постоянным током стали 45 представлено в табл. 24.

Влияние плотности тока i при ЭМО переменным током образцов из сталей 45 и 40ХН на параметры шероховатости *Ra Rp, Sm, tm*; волнистости *Wp* и степень упрочнения U_H представлено в табл. 25. Зависимость шероховатости от давления инструмента на поверхность детали имеет экстремальный характер. Поэтому необходима экспериментальная оптимизация значения давления при совокупности влияния остальных факторов. Влияние давления q ролика на деталь при ЭМО образцов из сталей 45 и 40ХН на геометрические параметры поверхностного слоя представлено в табл. 26.

24. Изменение параметра шероховатости *Ra* при различных режимах ЭМО постоянным током

$Ra_{исх}$, мкм	Сила тока I, А	Сила прижатия ролика P, Н	Ra, мкм	U_H
1,13	0	784	0,27	0,4
1,4	300	–	0,11	0,6
1,35	450	–	0,46	0,7
1,6	600	–	1,71	0,9
1,13	0	980	0,24	0,5
1,35	450	–	0,22	0,8
1,34	600	–	0,77	1,0

Примечание: $Ra_{исх}$ и Ra – параметры шероховатости до и после ЭМО, соответственно;

$U_H = (HV - HV_{исх}) / HV_{исх}$ – степень упрочнения поверхностного слоя, где HV и $HV_{исх}$ – твердость упрочненной поверхности и исходная твердость материала, соответственно

25. Влияние плотности переменного тока на качество поверхностного слоя

i, А/мм^2	Ra, мкм	R_p, мкм	S_p, мм	t_m, %	W_p, мкм	U_H
500	1,7 – 2,1	4,0 – 5,5	0,05 – 0,06	40 – 50	7,5 – 8,3	0,2 – 0,4
625	0,8 – 1,8	3,8 – 4,8	0,06 – 0,08	45 – 50	6,4 – 7,3	0,5 – 1,5
750	0,7 – 1,5	2,3 – 3,3	0,06 – 0,08	55 – 63	5,6 – 6,4	1,6 – 2
875	0,6 – 1,2	2,1 – 2,5	0,05 – 0,06	60 – 70	4,8 – 5,9	1,8 – 2,2
1000	1,0 – 1,4	3,0 – 4,6	0,06 – 0,08	60 – 68	5,2 – 6,0	2 – 2,5
1125	1,5 – 1,7	4,2 – 8,1	0,07 – 0,09	56 – 62	5,5 – 6,7	2,5 – 3

Примечание: режимы упрочнения: давление q = 18 Н/мм^2; скорость обработки v = 3 м/мин.

26. Влияние давления на геометрические параметры поверхностного слоя

q, Н/мм^2	Ra, мкм	R_p, мкм	S_m, мкм	t_m, %	W_p, мкм
6	2,0 – 3,2	4,0 – 6,3	0,04 – 0,05	50 – 60	6,0 – 9,4
12	1,2 – 2,3	2,5 – 3,1	0,05 – 0,06	55 – 64	5,2 – 8,1
18	0,6 – 1,2	2,1 – 2,5	0,05 – 0,06	60 – 70	4,8 –5,9
25	0,9 – 1,5	2,4 – 2,8	0,05 – 0,06	60 – 70	4,2 – 5,6
32	1,0 – 1,8	2,6 – 3,9	0,0 – 0,08	56 – 68	5,4 – 7,2
38	1,4 – 2,6	3,6 – 5,8	0,06 – 0,09	54 – 62	5,8 – 8,4

Примечание: режимы упрочнения: плотность переменного тока i = 875 А/мм^2; скорость обработки v = = 3 м/мин.

Влияние ЭМО на эксплуатационные свойства деталей. Оптимальные режимы электромеханического упрочнения позволяют получить закаленную структуру поверхностного слоя с повышенной износостойкостью, что обуславливается его высокой твердостью, прочностью и мелкозернистой структурой. Сжимающие остаточные напряжения в поверхностном слое от сил деформирования оказывают благоприятное влияние на различные виды разрушающих нагрузок в совокупности с повышенной пластичностью после ЭМО, что является одной из причин повышения контактной прочности поверхностного слоя. Кроме того, износостойкость повышается за счет образования после ЭМО большей несущей способности профиля, чем после механической и термической обработки, что уменьшает время приработки, а отсутствие прижогов и трещин наряду со снижением числа микронеровностей

снижает число микроконцентраторов напряжения, что наряду с упрочнением поверхностных слоев повышает выносливость деталей на удар. Повышение износостойкости деталей машин, работающих в условиях трения скольжения, возможно также за счет электромеханической обработки при протекании электрического тока по импульсной схеме, благодаря чему на упрочняемой поверхности формируется специфическая текстура, представляющая собой чередование упрочненных и неупрочненных участков. Влияние режимов импульсной ЭМО переменным током (плотности тока i, давления инструмента q, скорости обработки v и длительности импульсов $t_и$) на износостойкость образцов из сталей 45 и 40ХН представлено в табл. 27. Упрочнение проводилось на режимах: i = 875 А/мм^2; q= 18 Н/мм^2; v = 3 м/мин; $t_и$ = 0,8 с; $t_п$ = 0,1 с (длительность пауз тока) при очередном варьировании значения каждого режима обработки.

Кроме повышения износостойкости ЭМО повышает также сопротивление усталости поверхностного слоя. Это связано с наличием остаточных напряжений сжатия, появляющихся в мартенситной структуре при умеренных температурах ЭМО (которые выше точки Ac_3) и небольших давлениях. Однако необходимо помнить о том, что при высоких температурах и значительных давлениях можно ожидать появления растягивающих остаточных напряжений в светлой зоне поверхностного слоя, несмотря на его мартенситное строение, что приводит к снижению предела выносливости. В условиях ЭМО знак и величина напряжений будут зависеть от совокупности температурного и силового воздействия на поверхностный слой. Следует также отметить, что применение постоянного тока не дает повышения сопротивления усталости. Для деталей, работающих при высоких динамических нагрузках и в особенности в местах концентрации напряжений (переходные сечения, галтели, канавки и др.) целесообразно совместное применение обработки с током и без тока, что способствует образованию в поверхностном слое благоприятных остаточных напряжений сжатия.

Поверхностные слои деталей, обработанные ЭМО, обладают более высокой теплостойкостью по сравнению с другими видами термообработки. Причем, снижения микротвердости поверхностного слоя практически не наблюдается до температуры отпуска около 300 °С, а полное разупрочнение светлой зоны наблюдается при температуре отпуска свыше 600 °С. Интенсивность изменения прочностных свойств поверхностного слоя в процессе старения существенно зависит от режимов ЭМО. Наиболее интенсивное падение прочности наблюдается у образцов с более высокой твердостью, обработанных по более жесткому режиму.

Упрочнение поверхностных слоев ЭМО повышает их коррозионную стойкость (особенно в кислой среде), в частности, фреттингостойкость. Это объясняется не только высокой степенью упрочняемости, особой структурой и дисперсностью поверхностного слоя, но и совокупностью благоприятных физико-механических свойств этого слоя. При этом существенное значение имеют особенности микропрофиля поверхности, связанные с увеличением радиусов закругления микровыступов и впадин, а также увеличением опорной поверхности, что приводит к уменьшению контактных давлений. Влияние плотности тока на фреттингостойкость имеет экстремальный характер, что можно объяснить развитием усталостных трещин в связи с увеличением шероховатости при значительных значениях плотности тока.

27. Влияние режимов импульсной ЭМО переменным током на износостойкость образцов

i, А/мм^2	$I_{ср} \cdot 10^{-10}$	q, Н/мм^2	$I_{ср} \cdot 10^{-10}$	v, м/мин	$I_{ср} \cdot 10^{-10}$	$t_и$, с	$I_{ср} \cdot 10^{-10}$
500	20	10	14	5	15	0,4	10,6
625	15	15	11	4	12	0,6	10,2
750	10	20	8	3	10	0,8	9,8
875	8	25	9,5	2	8	1,0	9,9
1000	6	30	10,5	–	–	1,2	10,1

Примечание: $I_{ср}$ – средняя интенсивность изнашивания образцов.

Применение ЭМО. В связи с повышением эксплуатационных свойств электромеханическую обработку целесообразно применять для широкой номенклатуры деталей, работающих в различных условиях трения и изнашивания. Так, эффективным является применение ЭМО для деталей транспортного, сельскохозяйственного, дорожного, строительного машиностроения, которые в процессе эксплуатации подвергаются тяжелым нагрузкам в условиях граничного трения и абразивного изнашивания. В качестве примера можно привести упрочнение шеек рессорных подвесок локомотива; шеек крупногабаритных валов; шкворня поворотного кулака, шаровых опор, кулачков распределительных валов, чашек дифференциала заднего моста автомобиля, галтели валов коробки передач, цилиндров двигателей; цилиндров насосов, гидравлических и пневматических механизмов; торцовых поверхностей поршневых колец, дисков тормозных устройств.

Методы электромеханической обработки находят также применение для упрочнения: винтовых поверхностей – ходовые винты станков, глобоидные червяки рулевого управления автомобиля, цилиндрические и конические резьбовые соединения (с метрической и трубной резьбой); зубьев зубчатых колес – цилиндрических, конических, червячных; инструмента – сверл, фрез, разверток, зенкеров, пуансонов, матриц, долбяков, червячных фрез, зубострогальных резцов – по передним и задним режущим поверхностям; поверхностей деталей, образованных металлизацией, напылением, нанесением покрытий, наплавкой. Упрочнение плоских поверхностей ЭМО на фрезерных станках имеет существенное значение для таких деталей, как направляющие станин, ножи режущих аппаратов сельскохозяйственных машин, лапы культиваторов, штанги различных типов инструментов, ножи измельчителей кормов.

Эффективно применение ЭМО таких деталей, работающих в условиях фреттинг-коррозии, как сопряжения "вал – подшипник качения", "корпусная деталь – подшипник качения", где происходят относительные микроперемещения вследствие вибраций и приложения ударных нагрузок в процессе эксплуатации машин. Таким же воздействиям подвергаются детали автотракторных, строительных и горных машин.

Важную роль ЭМО играет применительно к восстановлению нормально изношенных поверхностей деталей, таких как посадочные поверхности, неподвижные и подвижные соединения и сопряжение с добавочным металлом и без него; упругих свойств пружин. ЭМО можно эффективно использовать в качестве отделочно-упрочняющей обработки труднообрабатываемых титановых сплавов. При этом можно получать шероховатость обрабатываемой поверхности $Ra = 0{,}11 - 0{,}22$ мкм.

Широкое применение находят методы ЭМО для нанесения покрытий и осуществления процесса наплавки поверхностей деталей, обеспечивая при этом по сравнению с другими технологическими методами: бóльшую равномерность твердости и структуры наносимого материала; более высокую прочность сцепления с основой; повышение физико-механических свойств активного поверхностного слоя детали без дополнительных операций термической обработки; более низкую трудоемкость и себестоимость осуществления процесса.

В условиях серийного производства и ремонта деталей основной задачей совершенствования методов электромеханической обработки должно явиться повышение производительности процесса и обеспечение высокого качества обрабатываемых деталей за счет применения многоинструментальных приспособлений, автоматизации технологического процесса ЭМО, развития САПР ЭМО в целях обеспечения и повышения эксплуатационных свойств деталей машин путем обоснованного выбора метода и режимов обработки.

ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА

Лазерная обработка материалов относится к локальным методам термической обработки с помощью высококонцентрированных источников нагрева. Высокие плотности мощности лазерного излучения, существенно превышающие многие другие источники энергии, позволяют не только значительно увеличить производительность обработки, но и получать качественно новые свойства поверхностей, недоступные традиционным методам обработки материалов.

Из разнообразных типов квантовых генераторов (лазеров) для обработки материалов в основном используются твердотельные и газовые лазеры. В твердотельных лазерах генерация излучения осуществляется в твердом активном элементе, в качестве которого используются стержни из кристалла искусственного рубина, стекла с примесью редкоземельного элемента неодима (Стекло – Nd) или иттрий-алюминиевого граната с добавкой неодима (ИАГ - Nd). В газовых лазерах в качестве активной среды используются газы и смеси газов. Наиболее распространены газовые лазеры на диоксиде углерода CO_2. Параметры наиболее распространенных отечественных лазерных установок приведены в табл. 28.

Среди параметров лазерной обработки можно выделить энергетические, пространственно-временные и оптические.

К энергетическим параметрам относятся:

– для лазеров непрерывного действия – мощность излучения P, Вт;

– для лазеров импульсного и импульсно-периодического действия – энергия в импульсе W, Дж.

К пространственно-временным параметрам относятся:

– для лазеров непрерывного действия – скорость перемещения (сканирования) луча v, м/с;

– для импульсно-периодических лазеров – длительность импульса τ, мс; частота следования импульсов ν, Гц; шаг перемещения луча ΔS, мм.

28. Основные технические характеристики отечественных технологических лазерных установок

Тип лазера	Активный элемент или среда	Режим работы	Параметры лазерного излучения			
			длительность импульса τ, мс	энергия импульса W, Дж	мощность $P_{ср}$, кВт	частота ν, Гц
Установки с твердотельными лазерами						
АК-345	Стекло – Nd	Импульсный	0,25	0,2; 0,5	–	2,5
АК-378	Стекло – Nd	Импульсный	0,25	1,5	–	5
"Квант-10" (модернизированная)	Стекло	Импульсный	4	15	–	1
"Квант-16"	Стекло	Импульсный	4 ... 7	30	0,050	0,5
"Квант-18"	Стекло	Импульсный	8 ... 12	10 ... 130	–	1
"Квант-41" (модернизированная)	ИАГ– Nd	Импульсный	0,2 ... 1,0	15	0,150	150
"Квант-50" (модернизированная)	ИАГ – Nd	Непрерывный	–	–	0,125	–
"Корунд"	Стекло – Nd	Импульсный	0,15	0,1 ... 0,5	–	1 ... 10
"Кристалл-6"	Стекло – Nd	Импульсный	0,2	0,5 ... 4	–	0,5 ... 20
"Кристалл-8"	Стекло – Nd	Импульсный	0,1 ... 0,2	0,1	–	20
Установки с газовыми лазерами						
"Импульс"	CO_2-N_2-He	Импульсный	0,1	2	–	50
"Кардамон"	CO_2-N_2-He	Непрерывный	–	–	0,8	–
"Катунь"	CO_2-N_2-He	Непрерывный	–	–	0,8	–
"Комета"	CO_2-N_2-He	Непрерывный	–	–	1,5	–
"Латус-31"	CO_2-N_2-He	Импульсный	0,1 ... 100	–	1,5	–
ЛГ-22	CO_2-N_2-He	Непрерывный	–		0,04	–
ЛГИ-21	N_2	Импульсный	$1 \cdot 10^{-4}$	10^{-5}	–	100
ЛГИ-37	Ar	Импульсный	$6 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$	–	100 ... 700
ЛУРМ-1600	CO_2-N_2-He	Непрерывный	–	–	0,8	–
ОКГ-19	He-Cd	Непрерывный	–	–	$(10 ... 50) \cdot 10^{-3}$	–

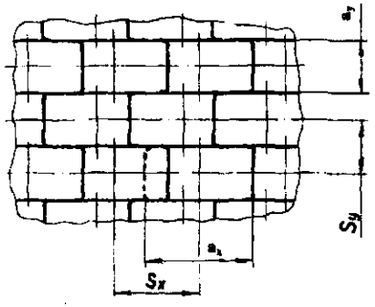


Рис. 23. Схема наложения лазерных пятен прямоугольной формы по двум координатам при $K_n^x < 1,\ K_n^y \approx 1$

К оптическим параметрам относятся размеры сфокусированного на обрабатываемой поверхности луча (его диаметр d или линейные размеры), которые определяют площадь лазерного воздействия S, мм^2, и длина волны излучения λ мкм. Отношение шага перемещения луча при импульсно-периодической обработке к линейному размеру лазерного отпечатка в направлении перемещения (a_x и a_y на рис. 23) называют коэффициентом перекрытия по соответствующей оси:

$$K_n^x = \frac{\Delta S_x}{a_x} \quad \text{и} \quad K_n^y = \frac{\Delta S_y}{a_y}.$$

Для комплексной характеристики лазерного излучения используется показатель плотности мощности энергии E, который определяется:

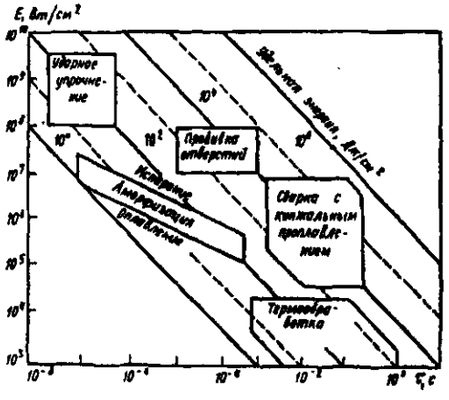


Рис. 24. Классификационная диаграмма различных видов лазерной технологии по энергетически-временным параметрам

$$E = \frac{W}{S\tau}$$ – для импульсного и импульсно-периодического излучения;

$$E = \frac{P}{S}$$ – *для непрерывного излучения.*

В зависимости от соотношения времени воздействия излучения и времени релаксации, а также от энергетических характеристик лазерного излучения могут иметь место различные эффекты взаимодействия лазерного луча с обрабатываемой поверхностью. В соответствии с этим разрабатываются различные методы лазерной обработки материалов. Значения диапазонов плотностей потока лазерного излучения при различных видах лазерной обработки приведены на рис. 24.

Лазерная поверхностная обработка. *Лазерная поверхностная обработка материалов* основана на возможности лазерного излучения создавать на малом участке поверхности высокие плотности теплового потока, необходимые для интенсивного нагрева или расплавления практически любого материала, что позволяет:

– упрочнять локальные (по глубине и площади) объемы деталей в местах их износа с сохранением исходных свойств материала в остальном объеме;

– упрочнять поверхности труднодоступных полостей, углублений, куда луч лазера может быть введен с помощью оптических устройств;

– создавать "пятнистое" поверхностное упрочнение значительных площадей, при котором не образуется сплошного хрупкого слоя, склонного к растрескиванию, деформированию и отслаиванию;

– получать заданные свойства (механические, химические и др.) обрабатываемых поверхностей деталей путем их легирования различными элементами с помощью лазера;

– получать, при необходимости, микрошероховатость упрочненных поверхностей деталей;

– предотвращать деформации обрабатываемых деталей, обусловленные локальностью термообработки, и, таким образом, практически полностью исключать финишную обработку;

– исключить механическое воздействие на обрабатываемый материал, что вместе с бесконтактностью лазерного нагрева обусловливает простоту автоматизации процесса термообработки по контуру, в том числе деталей сложной формы.



Рис. 25. Технологическая схема процессов поверхностной лазерной обработки

Технологическая схема процессов поверхностной лазерной обработки приведена на рис. 25.

На обрабатываемую поверхность должен действовать в зависимости от степени концентрации излучения точечный или распределенный источник теплоты плотностью мощности

$$q = A\,E,$$

где $A = 1 - R$ – эффективный коэффициент поверхностного поглощения (R – коэффициент отражения обрабатываемой поверхности (табл. 29).

Коэффициент поверхностного поглощения, определяющий эффективность использования лазерной энергии, может быть увеличен до $A = 0.75 \ldots 0.9$ за счет нанесения на обрабатываемую поверхность специальных покрытий:

– химических (воронение, анодирование, сульфитация, фосфатирование);

– углеродистых (сажа, графит и их растворы в спирте, растворителях);

– лакокрасочных (водоэмульсионные краски, гуаши, туши, грунтовки);

– специальные водорастворимые краски (МСЦ-510, СГ-504, ФС-1М);

– порошки металлов и оксидов, напыленные на поверхность;

– твердопленочные покрытия из бумаги или полиэтилена.

Значения плотности мощности, рекомендуемые для поверхностной обработки, ограничиваются пороговым уровнем E^*, с превышением которого начинается активное плавление и испарение материала. Ориентировочные значения пороговой плотности мощности для ряда металлов при лазерном облучении их на воздухе представлены в табл. 30.

29. Коэффициенты отражения нормально падающего лазерного луча для металлов

Характеристики лазера		Коэффициент отражения, R							
активное вещество	длина волны, мкм	Au	Cu	Mo	Ag	Al	Cr	Fe	Ni
Ar	0,488	0,415	0,437	0,445	0,952	0,850	–	–	0,597
Рубин	0,694	0,930	0,831	0,498	0,961	0,820	0,555	0,575	0,676
ИАГ – Nd	1,064	0,981	0,901	0,582	0,964	0,733	0,570	0,650	0,741
CO_2	10,6	0,975	0,984	0,945	0,989	0,970	0,930	–	0,941

30. Значения пороговой плотности мощности лазерного излучения

Материал	Ag	Al	Au	Cr	Cu	Fe	Mp	Феррит
Пороговая плотность мощности E^*, Вт/м^2	$6.4 \cdot 10^{10}$	$2.4 \cdot 10^{10}$	$3,5 \cdot 10^{10}$	$2,2 \cdot 10^{9}$	$2,6 \cdot 10^{10}$	$3,0 \cdot 10^{9}$	$9,7 \cdot 10^{9}$	$4,0 \cdot 10^{8}$

Лазерная закалка (термоупрочнение). *Лазерное упрочнение сталей и чугунов* заключается в нагреве локальных участков поверхности до температур выше критических (A_{C_1}, A_{C_2}) и последующем охлаждении с высокой скоростью (за счет теплоотвода во внутренние объемы материала и теплоотдачи с поверхности), приводящих к образованию мартенситных структур. В зависимости от плотности мощности лазерного излучения E упрочнение может осуществляться нагревом как до температур плавления, так и до температур ниже плавления материала. Для осуществления процесса используются уровни плотности мощности $E = 10^8 \ldots 10^9$ Вт/м^2, обеспечивающие локальный разогрев материала до температур $T \sim T_{пл}$ без заметного его испарения.

При лазерной термической обработке без оплавления поверхности глубину упрочнения можно оценить, используя зависимости (для лазерного пятна круглой формы)

$$Z_{зак} = \sqrt{\frac{4at}{\pi}} - \frac{T_{зак}\lambda_i}{q},$$

где a, λ_i – коэффициенты температуро- и теплопроводности, соответственно; $T_{зак}$ – температура нагрева под закалку для данного материала; t – время воздействия лазерного излучения на поверхность: для обработки импульсно-периодическим излучением $t = \tau_и$, непрерывным – $t = 2r_и/v$ ($\tau_и$ – длительность лазерного импульса; $r_и$ – радиус сфокусированного лазерного пятна; v – скорость перемещения (сканирования) лазерного луча).

Учитывая, что глубина упрочнения будет максимальной при достижении на поверхности температуры плавления, ее величину можно определить по формуле

$$Z_{зак}^{max} = \sqrt{\frac{4at}{\pi}} \frac{(T_{пл} - T_{зак})}{T_{пл}}.$$

При этом плотность мощности действующего на поверхность теплового источника должна составлять

$$q_{пл} = T_{пл}\lambda(\pi / 4at).$$

При обработке с $q < q_{пл}$ обеспечивается меньшая глубина закалки, а при $q > q_{пл}$ происходит оплавление поверхности.

При выборе варианта лазерного упрочнения следует иметь в виду, что при обработке без оплавления шероховатость поверхности практически не изменяется. В некоторых случаях она может даже несколько снизиться за счет оплавления вершин микронеровностей. В случае оплавления лазером упрочняемой поверхности, ее микрогеометрические характеристики изменяются (иногда достаточно существенно) за счет формирования валиков (наплывов) переплавленного металла, что требует применения последующей механической обработки, в процессе которой частично удаляется упрочненный слой. Высота валиков зависит от энергетических характеристик излучения, свойств материала, поглощающей способности обрабатываемой поверхности и составляет в большинстве случаев 20 ... 150 мкм.

В случаях использования для упрочнения импульсного излучения весьма важное влияние на равномерность глубины упрочненного слоя оказывает коэффициент перекрытия. С точки зрения наибольшей эффективности и качества упрочняемого слоя процесс импульсной закалки целесообразно осуществлять при $K_п \approx 0{,}5$. Больший эффект может быть достигнут при двукратном последовательном проходе с $K_п \approx 1$, однако при этом возрастает трудоемкость реализации процесса.

Основные требования к технологии лазерной закалки сводятся к следующему:

1. Изделия перед обработкой должны пройти окончательную механическую и термическую подготовку, быть очищены от пыли, грязи, масел и т.д.

2. На обрабатываемых поверхностях не должно быть трещин, сколов, прижогов и других дефектов.

3. Перед обработкой партии изделий необходимо определить основные режимы упрочнения: энергию излучения и размер сфокусированного пятна. В процессе обработки выбранные режимы следует корректировать, так как изделия (даже из одного материала) имеют разброс параметров от партии к партии. Для выбора оптимальных режимов импульсного излучения можно пользоваться следующим приемом. На обрабатываемой поверхности устанавливается пятно лазерного луча диаметром 3 ... 5 мм и при энергии 15 ... 20 Дж производится облучение (один импульс). Если в зоне лазерного воздействия образовалось оплавление, то следующий импульс (в другой точке поверхности) производят при меньшей энергии. Плавным изменением этого параметра добиваются исчезновения оплавления и вблизи этого порога проводят обработку всех изделий.

4. Если лазерная установка позволяет изменять длительность лазерного импульса, то для достижения большей глубины закалки необходимо иметь импульс большей длительности.

5. Важным фактором при лазерной закалке является схема обработки, от которой в

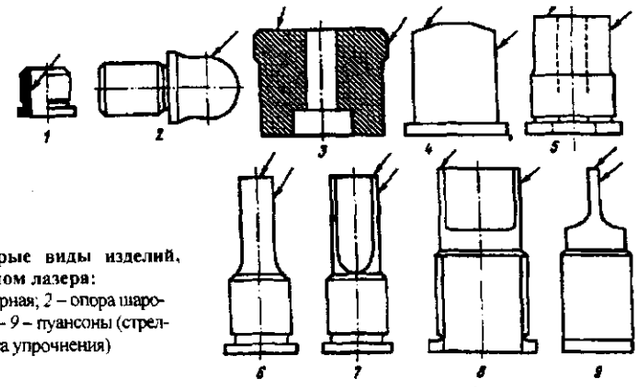


Рис. 26. Некоторые виды изделий, упрочняемые лучом лазера:
1 – втулка кондукторная; *2* – опора шаровая; *3* – матрица; *4 – 9* – пуансоны (стрелками показаны места упрочнения)

большинстве случаев зависит эффективность эксплуатации упрочненных изделий. На рис. 26 приведены варианты лазерной закалки поверхностей некоторых деталей. Следует отметить, что при обработке краевых частей поверхностей (например, режущих кромок пуансонов *7*, *8*, *9*) возможно их разупрочнение (отпуск), что связано с существенным снижением скорости их охлаждения ввиду большей (чем у остальных поверхностей изделия) площади контакта с воздушной средой, имеющей низкую теплопроводность. Для устранения проблемы "краевого эффекта" следует интенсифицировать теплоотвод от граничных зон изделия, что достигается применением дополнительных охлаждающих сред: сжатого воздуха, инертных газов. Наиболее эффективным и технологичным способом оказывается применение теплоотводящих экранов, являющихся своеобразным "продолжением" обрабатываемой поверхности. Результаты упрочнения железоуглеродистых сплавов излучением CO_2-лазера при плотности мощности $6 \times 10^3 \ldots 5 \cdot 10^5$ Вт/см^2 и скорости перемещения образцов 8 ... 25 мм/с представлены в табл. 31.

31. Упрочнение железоуглеродистых сплавов излучением непрерывного CO_2-лазера

Материал	Состояние материала перед облучением		Характер лазерной обработки	Микротвердость после лазерной обработки H_{50}, МПа
	Термообработка	Микротвердость H_{50}, МПа		
Армко-железо	отжиг	1500 ... 1700	без оплавления	2400 ... 2500
			с оплавлением	1800 ... 1900
Малоуглеродистые стали 10,25,35	отжиг	перлит, 2500 ... 3000 феррит, 1200 ... 1900	без оплавления	4000 ... 5700
			с оплавлением	5600 ... 5900
Среднеуглеродистые стали 40Х, 45	отжиг	перлит, 2300 ... 2500 феррит, 1000 ... 1200	без оплавления	6000 ... 7400
			с оплавлением	7400 ... 7800
Углеродистые инструментальные стали У8,У10	закалка + отпуск при 250 °С	6250 ... 6700	без оплавления	8500 ... 9000
			с оплавлением	8500 ... 9000
Подшипниковая сталь ШХ15	закалка + отпуск	6700 ... 7000	без оплавления	8300 ... 8950
			с оплавлением	8950 ... 9500
Легированная инструментальная сталь Х12М	закалка + 3-кратный отпуск при 525 °С	5600 ... 6000	без оплавления	5400 ... 6000
			с оплавлением	7300 ... 10600
Быстрорежущие стали Р18, Р6М5	то же	8400 ... 8800	без оплавления	9400
			с оплавлением	8900
Рессорно-пружинная сталь 60ХФА	улучшение	2400 ... 2500	без оплавления	8900 ... 9400
Легированная сталь 30ХГСА	отпуск при 580 °С	3000 ... 3400	без оплавления	5400 ... 5700

32. Упрочнение конструкционных сталей импульсно-периодическим излучением

Марка стали	Исходная микротвердость, МПа	Обработка без оплавления поверхности		Обработка с оплавлением поверхности		
		глубина упрочнения, мкм	микротвердость, МПа	глубина упрочнения, мкм	микротвердость в зоне, МПа	
					оплавления	термического воздействия
08	2000	70	2500 ... 3000	–	–	–
10	2000 ... 2200	75	5700 ... 6000	100 ... 150	3900 ... 4300	6800 ... 7420
25	2300	90	4700 ... 5200	100 ... 150	4900 ... 5700	6700 ... 7420
35	2300 ... 2700	100	4900 ... 5700	100 ... 150	4900 ... 5680	7050 ... 7420
45	2300 ... 2500	100	7400 ... 7600	100 ... 150	6000 ... 7050	7050 ... 7420
40Х	2300 ... 2500	120	7400 ... 7800	100 ... 150	7400	7420 ... 7820

В табл. 32 представлены результаты лазерной закалки сталей импульсным излучением при W = 15 ... 35 Дж, τ = 3 ... 6 мс, d = 4 мм.

При обработке чугунов с оплавлением поверхности графит растворяется в расплаве и в зоне оплавления (ЗО) формируется структура отбеленного чугуна, имеющая специфические особенности, обусловленные высокими скоростями охлаждения. Микротвердость зоны оплавления чугунов различных марок несколько отличается и имеет следующие значения, МПа (при v = 14,5 ... 52,3 мм/с, P = 0,5 ... 2,5 кВт, q = 50 ... 100 МВт/м^2): 8000 ... 1000 для ВЧ60; 6400 ... 9450 – ВЧ50; 7400 ... 9000 – СЧ24; 6000 ... 8000 – КЧ35. Глубина зоны лазерного воздействия может достигать 1,5 мм.

При определенных энергетических параметрах луча и скорости обработки возможна закалка с локальным оплавлением отдельных участков поверхности. Локально оплавленные зоны возникают на границе феррит-графит: непосредственно к графиту прилегает область, состоящая из эвтектической смеси аустенита и цементита, с микротвердостью 9,5 ГПа. Оплавленные объемы имеют оторочку из аустенитных разноосных зерен с микротвердостью 4,5 ГПа.

По оценкам специалистов, износостойкость чугунов в условиях трения после лазерной обработки в режиме оплавления в 5 ... 15 раз превышает износостойкость неупрочненных лазером чугунов. Кроме того, оплавленные слои обладают высокой износостойкостью в абразивных средах, повышенной коррозионной стойкостью и устойчивостью к отпуску.

Существенным недостатком поверхностного оплавления чугунов являются газовые поры и трещины, появление которых обусловлено присутствием в структуре чугуна графита, обладающего высокой адсорбционной способностью. Для предупреждения этого недостатка следует оптимизировать режимы облучения, при которых дефекты минимальны. Кроме этого возможна предварительная дегазация в вакууме, что осложняет эту технологию в условиях производства.

Обработка чугунов без оплавления поверхности также позволяет избежать отмеченной технологической проблемы, однако глубина зоны лазерного воздействия при этом несколько снижается (до 0,6 ... 0,8). Перлитные чугуны с пластинчатым и глобулярным графитом (типа СЧ24, ВЧ60) после такой обработки имеют примерно одинаковый уровень микротвердости ($H\mu$ = 8,9 ГПа), который незначительно отличается от микротвердости оплавленной зоны в этих же чугунах (меньше на 10 ... 15 %). В низколегированных чугунах (типа ХНМч) микротвердость снижается до $H\mu$ = 7,9 ГПа, наименьшая микротвердость при лазерной обработке без оплавления поверхности свойственна ковким чугунам с ферритной матрицей, причем по мере удаления от поверхности ее величина уменьшается с 6,5 до 3,8 ГПа.

В отличие от сталей, большинство цветных металлов и сплавов не испытывают полиморфных превращений и не могут быть упрочнены путем закалки на мартенсит. В случаях же образования мартенсита закалки (для сплавов на основе титана и циркония) значительного повышения твердости не наблюдается. Последнее объясняется различием в строении мартенситных фаз в углеродистых сталях и сплавах на основе цветных металлов. Лазерное термоупрочнение сплавов цветных металлов осуществляется, как правило, в режиме оплавления поверхности, в противном случае обработка оказывается малоэффективной.

33. Результаты упрочнения алюминиевых сплавов (H_{20} в МПа) непрерывным лазерным излучением

Состояние	АК4	Д19	АЛ4	АЛ10В	АК5М7	АЛ25
Исходное:						
раствор	1110 ...1180	1310 ... 1650	700 ... 920	790 ... 970	970 ... 1140	1000 ... 1330
эвтектика	1600 ... 1790	–	1010 ... 1460	1180 ... 1780	1720 ... 1950	1070 ... 1890
После ЛО	940 ... 1790	840 ... 1070	970 ... 1790	1220 ... 2570	1460 ... 2570	2350 ... 2650

Лазерная обработка алюминиевых сплавов характеризуется образованием только зоны оплавления (ЗО), зона термического воздействия (ЗТВ), имеющаяся в сталях и чугунах, здесь практически отсутствует. В табл. 33 отражены возможности повышения микротвердости (H_{20}) сплавов на основе алюминия (исходное состояние – закалка и старение, обеспечивающие наибольшее упрочнение) непрерывным излучением лазера (P = 0,5 ... 5 кВт, v = 5,8 ... 271,7 мм/с). Глубина зоны оплавления может достигать 0,8 мм. Лазерной обработкой оказывается возможным повысить предел текучести сплавов (до 25 %), а также их усталостную долговечность и сопротивление распространению трещин. Особой областью применения лазерной поверхностной обработки может быть восстановление прочностных свойств алюминиевых сплавов после их сварки (в этом случае удается практически полностью восстановить значение предела текучести до уровня свойств исходного материала).

Лазерная обработка медных сплавов может осуществляться как с целью повышения поверхностной микротвердости (табл. 34), так и для существенного увеличения их коррозионной стойкости в средах с повышенным содержанием NaCl, H_2S и Cl_2. Глубина лазерного воздействия при обработке импульсным излучением составляет 0,1...0,2, непрерывным – до 0,6 мм.

34. Результаты поверхностного упрочнения медных сплавов (H_{20} в МПа) лазерным излучением

Материал	Исходное состояние, микротвердость, МПа	Обработка непрерывным излучением			Обработка импульсно-периодическим излучением		
		P, кВт	v, мм/с	H_{20} в зоне оплавления	W, Дж	τ, мс	H_{20} в зоне оплавления
БрНХК	1520 ...1860	2 ... 2,5	16,7	1460 ... 1900	31 ... 33	4 ... 7	–
Fe + 30 % Cu	1320 ...2340	2 ... 2,5	16,7	2600 ... 4000	31 ... 33	4 ... 7	3300 ... 4300
БрОЦС-4-4-2,5	860 ... 1070	2 ... 2,5	16,7	1580 ... 1650	31 ... 33	4 ... 7	1720
Ag + 75 % Cu	отжиг, 970	–	–	–	оплавление поверхности		1830
Ag + 50 % Cu	отжиг, 850	–	–	–	оплавление поверхности		2750
Ag + 25 % Cu	отжиг, 950	–	–	–	оплавление поверхности		1250

35. Упрочнение титановых сплавов непрерывным лазерным излучением

Сплав, исходная микротвердость, H_{50}, МПа	Лазерная обработка		Глубина упрочнения, мм	Пределы микротвердости H_{50}, МПа		
	скорость, мм/с	среда		зона оплавления	зона термического воздействия	
					игольчатый слой	двухфазный слой
ВТ6, 3280 ... 3660	14	воздух	0,77	7700 ... 16500	–	3960 ... 4660
	14	гелий	0,43	5570 ... 7520	–	3660 ... 4660
ВТ3-1, 3400 ... 3810	4,2	воздух	1,1	5320 ... 10100	6440 ... 6770	3280 ... 5080
	14	– " –	0,89	7520 ... 13100	–	3660 ... 5570
	14	гелий	0,3	5080 ... 7520	–	4120 ... 5320
ВТ16, 3530 ... 3960	14	воздух	1,02	6440 ... 8900	4860 ... 5080	2960 ... 4290
	14	– " –	0,85	5080 ... 6440	–	3400 ... 4290
	14	гелий	0,4	4570 ... 5830	–	3280 ... 4290

Возможности упрочнения титановых сплавов непрерывным CO_2-лазером при мощности излучения 2 кВт представлены в табл. 35. Исследования показали, что при импульсной лазерной обработке без оплавления существенного упрочнения этих сплавов не происходит. Наряду с увеличением прочностных свойств титановых сплавов лазерная обработка позволяет снизить их коррозионное растрескивание под напряжением.

Лазерное поверхностное легирование. *Процесс лазерного поверхностного легирования* заключается в расплавлении участка поверхности металла или сплава вместе с добавляемыми легирующими элементами, предварительно нанесенными на обрабатываемый участок (или подаваемыми в зону обработки), что позволяет получить в локальном объеме новый сплав (слой), отличающийся по структуре и свойствам от основного материала.

Предварительное нанесение легирующих компонентов может осуществляться газотермическим напылением, гальваническим и химическим осаждением, накаткой, диффузионным методом, электроискровым легированием, нанесением паст, насыпкой и др. Подача компонентов во время лазерного воздействия осуществляется с помощью газовой, газопорошковой или жидкой струи, под действием силы тяжести порошка, при механической подаче ленты и т.д. Подача легирующих составов во время лазерного воздействия применяется при обработке непрерывными лазерами, так как при импульсном воздействии необходимы сложные устройства, синхронизирующие подачу присадки и воздействие импульса. Средняя глубина образующихся легированных объемов в большинстве случаев составляет 0,2 ... 0,4 мм при импульсной обработке и 0,3 ... 1 мм – при непрерывной.

При реализации процессов легирования используемые энергетические характеристики лазерного излучения несколько выше, чем при термоупрочнении, так как энергия используется на расплавление слоя обмазки и на переплавление поверхности подложки. Определенные проблемы связаны с выбором коэффициента перекрытия при легировании из обмазок в связи с тем, что в процессе обработки происходит выгорание обмазки в местах, непосредственно прилегающих к зоне лазерного воздействия. Поэтому целесообразно вести обработку с перекрытием только по одной координатной оси (например, $K_n^x < 1$), по другой же – обеспечивать коэффициент перекрытия больше или равным единице.

Наиболее универсальным и технологичным методом поверхностного легирования является обработка предварительно нанесенных обмазок. Сам процесс в этом случае может рассматриваться состоящим из двух этапов: подготовка и нанесение обмазки и обработка поверхности лучом лазера. Обмазка, как правило, представляет собой мелкодисперсные (размер частиц обычно не превышает 20 ... 40 мкм) компоненты, перемешанные в связующем веществе. Выбор связующего вещества обмазки является достаточно важным элементом подготовки к легированию, так как оно должно обладать рядом специфических свойств:

– высокой жидкотекучестью, позволяющей равномерно наносить обмазку на обрабатываемую поверхность;

– достаточной вязкостью для длительного удержания частиц компонентов обмазки во взвешенном состоянии и получении однородного состава наносимой обмазки;

– малым временем высыхания после нанесения на обрабатываемую поверхность, позволяющим сократить общую трудоемкость процесса лазерного легирования;

– высокой адгезией слоя обмазки с обрабатываемой поверхностью, что позволяет получать качественный равномерный легированный слой, а также подвергать детали с нанесенной обмазкой транспортированию;

– высокой поглощающей способностью, обеспечивающей более эффективное использование энергии лазерных импульсов.

В табл. 36 приведены некоторые виды связующих веществ, объединенных в группы. В пределах каждой группы обнаруживаются близкие характеристики оплавления.

Нанесение подготовленной обмазки осуществляется различными способами: обмакиванием, кистью, пневмораспылением и др. Пневмораспыление наиболее эффективно, так как не только обеспечивает наиболее равномерный слой, но и легко может быть механизировано на предприятиях подключением к централизованной пневмосистеме. Поверхности образцов (наиболее рациональная шероховатость под нанесение обмазки в большинстве случаев Ra = 1,25 ... 6,3 мкм) перед нанесением обмазки должны быть тщательно обезжирены.

Наиболее изученными в настоящее время являются процессы однокомпонентного легирования неметаллическими элементами – углеродом, азотом, кремнием и бором.

36. Результаты оплавления обмазок с различными связующими веществами

Группа	Связующее вещество	Результат обработки
I	Клей синтетический, эпоксидная смола, самотвердеющая пластмасса, раствор буры в ацетоне, раствор канифоли в спирте, масла	Интенсивный выброс в виде сажи
	Изопропиловый спирт	Неравномерное оплавление
I	Жидкое стекло	Неравномерное оплавление
	Силикатный клей	Неравномерное оплавление
	Клейстер	Наплывы
III	Клей "суперцемент"	Равномерное оплавление
	Цапонлак	Неравномерное оплавление
	Цапонлак с борной кислотой	Пористость
	Цапонлак с бурой	Пористость
IV	Цапонлак с флюсом Ф34А	Пористость
	Цапонлак с графитом	Сильный газовый факел
	Цапонлак с керамикой АБН	Неравномерное оплавление

Цементация. В качестве паст или обмазок при лазерной цементации сталей могут применяться растворы графита или сажи в ацетоне, спирте или других растворителях. Часто используют растворы в различных лаках (поскольку другие обмазки осыпаются с поверхности): в бакелитовом, пековом, каменноугольном и др. Кроме того, в состав паст добавляют активирующие добавки, увеличивающие степень усвоения элемента металлом за счет активации диффузии, как и при диффузионных методах получения поверхностных покрытий: буру, хлорид аммония и др.

Насыщение углеродом из газовой фазы возможно лишь при больших давлениях – около ста атмосфер, поскольку при малом давлении диссоциация углеродсодержащих газов идет слабо и заметного насыщения расплава не наблюдается. Иногда процесс ведут при плотности мощности излучения 10^6 ... 10^7 Вт/см^2. Тогда под поверхностью обрабатываемой детали образуется плазменное облако, представляющее собой смесь ионизированных частиц легирующего элемента и металла, испарившегося с поверхности детали. Ионизация частиц легирующего элемента приводит к более полному насыщению расплавленного металла. Такая разновидность легирования из газовой фазы названа **лазерно-плазменной обработкой.**

Принципиально возможна ионизация газовой фазы и другими методами, например, с помощью электроискрового разряда, электрической дуги и др. Для использования лазерной цементации из газовой фазы требуются сложные камеры высокого давления, в которые нужно помещать обрабатываемые детали и вводить лазерный луч.

Процесс лазерной цементации из жидкой фазы или иначе **гидролучевая обработка** в углеродсодержащих растворах технологически осуществляется довольно просто. Обычно деталь помещают в жидкость, содержащую углерод, например, в гексан, ацетилен, толуол, тетрахлорид углерода, минеральное масло и др. При лазерном воздействии в жидкости образуется парогазовый канал, через который излучение попадает на поверхность изделия. Около поверхности изделия канал расширяется, образуя куполообразное пространство, насыщенное парами углерода. Тепловое воздействие лазер-

ного луча усиливается тем, что часть отраженного от поверхности излучения повторно фокусируется в зону лазерного воздействия стенками жидкости в куполообразном пространстве.

В зависимости от количества вводимого углерода фазовый состав легированных зон и их микротвердость могут быть различными.

При легировании в режимах, обеспечивающих введение небольшого количества углерода в зону оплавления низко- или среднеуглеродистой стали, структура состоит из мартенсита и остаточного аустенита. Микротвердость в этом случае достаточно велика и достигает 9000 МПа вследствие высокой насыщенности мартенсита. При введении большого количества углерода в зону оплавления количество аустенита может заметно увеличиваться и микротвердость колеблется в широком интервале от 4500 до 9000 МПа. При дальнейшем повышении содержания углерода в зоне оплавления или при лазерной цементации высокоуглеродистых сталей в структуре легированных зон кроме мартенсита и аустенита появляются карбиды. Микротвердость с увеличением количества карбидной фазы повышается от 9000 до 14 000 МПа.

Таким образом, лазерная цементация может быть применена для повышения твердости углеродистых сталей.

Азотирование. При лазерном азотировании в качестве паст используют аммиачную соль, карбамид $(NH_2)_2$ CO. Азотирование железоуглеродистых сплавов из газовой фазы проводят в азоте при высоком давлении в специальной камере. Введение лазерного луча в такую камеру отличается значительной сложностью, и такой метод имеет ограниченное применение.

Значительно проще осуществляется газовое азотирование в струе аммиака, хотя и в этом случае нужна специальная камера для предотвращения выброса аммиака в окружающую среду. Увеличение давления газовой фазы обычно приводит к повышению концентрации азота в легированной зоне. Об этом свидетельствует увеличение микротвердости по Виккерсу стали 38ХМЮА от 700 до 900 HV при увеличении давления аммиака от 0,1 до 0,4 МПа в процессе лазерного азотирования на установке "Квант-10" при плотности мощности $0{,}3 \cdot 10^5$ Вт/см^2.

Наиболее просто осуществляется газовое азотирование таких металлов и их сплавов, как титан, цирконий, гафний. Для насыщения расплавленного металла в этом случае достаточно проведения лазерного оплавления на воздухе или в струе азота. При азотировании титановых сплавов в зоне оплавления формируется альфированный слой, содержащий нитриды титана; микротвердость его возрастает до 17 000 ... 20 000 МПа.

Для осуществления азотирования сплавов из жидкой фазы изделие помещают в жидкий азот.

В структуре легированных зон сталей имеется азотистый мартенсит, остаточный аустенит и нитриды железа.

Лазерное азотирование может применяться для увеличения твердости, износостойкости и повышения теплостойкости, поскольку азотистый мартенсит сохраняется при нагреве до высоких температур. Стойкость стали против каплеударной эрозии после лазерного азотирования возрастает в 3 раза по сравнению с лазерной закалкой.

Силицирование. Этот процесс осуществляется либо с нанесением обмазок, содержащих порошок кремния, либо из жидкой фазы, например, из суспензии силикагеля H_2SiC_3. При концентрации кремния до 0,1 % в легированной зоне сталей структура представляет собой α-железо, очевидно мартенсит. При увеличении концентрации кремния кроме α-Fe в структуре зоны образуются силициды Fe_3Si, Fe_2S_3, FeSi, $FeSi_2$. С увеличением содержания кремния в зоне легирования железа или низкоуглеродистых сталей микротвердость увеличивается от 8000 до 14 000 ... 15 000 МПа. При наличии силицидов FeSi и $FeSi_2$ в зоне наблюдается образование пор и трещин. Отличительной чертой силицирования является большая равномерность микротвердости по всему объему зоны легирования.

После лазерного силицирования значительно увеличивается теплостойкость, износостойкость, коррозионная стойкость сталей.

Борирование. Чаще всего применяется борирование с нанесением обмазок, которые представляют собой смеси порошков бора, карбида бора B_4C, борного ангидрида B_2O_3, буры $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$, ферробора со связующим веществом, например, с клеем БФ-2. Используются также водные суспензии некоторых из этих порошков. Иногда применяется смесь борного ангидрида с графитом. Особенностью лазерного борирования с нанесением обмазок является образование кратера на поверхности легируемого металла при обработке с повышенной плотностью мощности излучения. Это обусловлено горением бора и выделением дополнительного количества теплоты, вследствие чего могут развиваться процессы кипения и испарения металла.

Борирование может осуществляться при оплавлении поверхностных слоев, напыленных плазмой, а также при оплавлении диффузионных покрытий.

В структуре борирования зон при небольшом содержании бора имеется α-Fe и боридная эвтектика, микротвердость в этом случае составляет 6000 ... 12 000 МПа. Увеличение скорости обработки, уменьшение мощности или энергии в импульсе, увеличение диаметра лазерного пятна и толщины обмазки приводят к увеличению содержания бора в зоне легирования. Увеличения содержания бора можно достичь при обработке в защитной среде или при многократном нанесении в оплавлении обмазки. При увеличении концентрации бора в структуре появляется большое количество боридов, микротвердость резко повышается и составляет 14 000 ... 21 000 МПа. Среди боридов следует выделить Fe_3B, Fe_2B, FeB. Отметим, что борид Fe_3B при диффузионном борировании не образуется. Максимальное значение микротвердости фиксируется при наличии в слое борида FeB.

Отличием структуры борированных зон от азотированных и цементированных является отсутствие остаточного аустенита, что приводит к большей твердости и износостойкости. При увеличении в легированном слое количества фазы FeB поверхность хорошо работает при абразивном изнашивании, тогда как при ударном воздействии рекомендуется получать в структуре бориды Fe_3B и Fe_2B. В большинстве случаев экспериментально установлено, что наибольшая износостойкость имеется не при полном перекрытии пятен или полос, а при 60 ... 90 %-м заполнении упрочняемой поверхности. Падения микротвердости в легированной зоне не наблюдается после нагрева до 600 °С, если в структуре имеются бориды Fe_2B и FeB.

Технологически близкой лазерному легированию является **наплавка.** Оба процесса выполняются аналогично и различаются лишь глубиной проплавления подложки. При наплавке проплавление подложки незначительное и химический состав покрытия формируется за счет присадки. При легировании имеет место значительное проплавление подложки и основу в зоне легирования составляют элементы основного металла.

В табл. 37 приведены технологические возможности повышения эксплуатационных характеристик некоторых металлов и сплавов многокомпонентным легированием их поверхностей.

Аморфизация. При обеспечении сверхвысоких скоростей охлаждения в некоторых сплавах вязкость жидкого металла возрастает настолько, что центры кристаллизации вырасти не успевают, и весь металл затвердевает как стеклообразная масса, в которой отсутствует дальний порядок в расположении атомов. Сравнительная оценка различных свойств кристаллических и аморфных сплавов показывает, что у последних наблюдаются более высокие прочностные и коррозионные свойства, увеличение (существенное) пластичности, радиационной стойкости и др. Поэтому ввиду уникальности свойств аморфных состояний получение их с помощью лазерного излучения весьма перспективно.

С помощью импульсно-периодического TEA-CO_2-лазера при плотности мощности 10^5 ... 10^9 Вт/см^2 и длительности $(0{,}1 \ldots 100) \cdot 10^{-6}$ с удается получить аморфные пленки толщиной 10 ... 20 мкм на поверхности сплавов $Fe_{80}B_{16}Si_4$, $Fe_{77}B_{19}Si_4$, $Fe_{83}P_{13}Si_4$, $Fe_{79}P_{17}Si_4$, $Fe_{75}B_{11}P_{11}Si_4$, $Fe_{72}B_{14}C_{10}Si_4$, $Fe_{73}P_{12}C_{11}Si_4$. Также получено аморфное состояние на поверхности сплава $Fe_{80}P_{13}C_7$ при обработке его в вакууме импульсно-периодическим лазером при плотности мощности $5 \cdot 10^7$ Вт/см и длительности импульса $0{,}2 \cdot 10^{-6}$ с.

Аморфизация с помощью непрерывных лазеров осуществляется при плотности мощности 10^6 Вт/см^2 и скорости обработки 1 м/с и более. Микрорельеф поверхности после аморфизации непрерывным лазером значительно ровнее, чем после аморфизации импульсным лазером.

После лазерной аморфизации некоторых сплавов имеет место значительное увеличение микротвердости поверхности. Так, микротвердость сплавов системы Fe-B-Si повышается от 3500 ... 3800 в исходном состоянии до 7100 ... 11 700 МПа.

Основным недостатком лазерной аморфизации сплавов является высокая вероятность образования развитой сетки трещин.

37. Лазерное легирование при различных вариантах введения легирующих компонентов

Легирующий состав	Обрабатываемый материал	Режимы лазерной обработки						Характеристики легированного слоя		Примечания
		вид	P, кВт	W, Дж	q, Вт/см^2	v, см/с	τ, мс	глубина $h_д$, мкм	микротвердость, МПа	
Лазерное оплавление покрытий, получаемых химико-термической обработкой										
Диффузионное борирование ($h_{покр}$ ~ 0,1 мм)	сталь 45	н/п	–	32 ... 120*	–	–	–	160 ... 440	15 000	снижается вероятность хрупкого разрушения
Диффузионное борохромирование ($h_{покр}$ ~ 0,1 ... 0,15 мм)	сталь 45	имп.	–	30...35	–	–	8	150 ... 200	17 000	повышение износостойкости до 2,5 раз
	сталь 40Х							70 ... 100	23 400	
Безэлектролизное жидкостное борирование	Ст 3	н/п	–	–	$4 \cdot 10^4$	0,3	–	600 ... 1000	11 000	
Силицирование ТВЧ ($h_{покр}$ ~ 0,15 ... 0,2 мм)	сталь 45	имп.	–	5 ... 10*	–	–	10, 12	260	15 200 ... 21 300	
Лазерная обработка плазменных и электроэрозионных покрытий										
Ионно-плазменное покрытие на основе TiN ($h_{покр}$ ~ 3 ... 13 мкм)	сталь 45	имп.	–	8 ... 92	–	–	2 ... 6	200	11 500 ... 25 700	
Ионно-плазменное покрытие на основе кортинита (TiN-Al_2O_3) ($h_{покр}$ ~ 500 мкм)	сталь 40Х	н/п, азот	3,2	–	–	100	–	250 ... 300	–	повышение износостойкости в условиях сухого трения до 140 раз
Плазменное покрытие на основе высокохромистого чугуна (Fe-C-Cr-V) $h_{покр}$ ~ 0,3 ...0,4 мм)	малоуглеродистые стали	н/п	1 ... 1,9	–	–	–	–	500 ... 1700	6000 ... 8500	ликвидация пористости, трещин и отслоений плазменного покрытия

Продолжение табл. 37

Легирующий состав	Обрабатываемый материал	Режимы лазерной обработки						Характеристики легированного слоя		Примечания
		вид	P, кВт	W, Дж	q, Вт/см^2	v, см/с	τ, мс	глубина $h_д$, мкм	микротвердость, МПа	
Электроэрозионное покрытие на основе твердых сплавов ВК8, КТФК ($h_{пок}$ ~ 15 ± 5 мкм)	Х12Ф1	н/п, гелий	0,2	–	–	16,5 – 75	–	300 ... 350	12 000 ... 13 000	
	Х12М							450 ... 700	11500 ... 14500	
Непосредственная подача легирующих компонентов в зону обработки										
Карбид титана (транспортирующий газ - гелий)	Ст 3 Р6М5	н/п	0,5 ... 1,5	–	–	0,83 – 8,3	–	100 ... 1200	12 500	
									16500	
Карбид бора (транспортирующий газ - гелий)	ВТ6	н/п	–	–	$(3...4) \cdot 10^4$	–	–	до 1500	15 500 (выбросы до 33 000)	износостойкость возрастает в 1,5 ... 2 раза
Оксид хрома Cr_2O_3	12Х18Н9	н/п	0,3 ... 1,5	–	–	120 – 300**	–	~ 500	–	коррозионная стойкость возрастает в 2 ... 3 раза
Фольга Ni	сплав 80 % – Ti 20 % – Zr	имп. гелий	–	15	$2 \cdot 10^5$	–	4	1000 ... 1500	до 7000	повышение коррозионной стойкости
Порошок железа	АЛ30	н/п, аргон	2	–	–	0,2	–	500	1800	повышение износостойкости
Сплав ПГ-12Н-01	АЛ30	н/п, аргон						500	1600	
Электролизные покрытия										
Электролизное боросилицирование ($h_{покр}$ ~ 0,14 ... 0,15 мм)	сталь 45	имп.	полное оплавление поверхности					~ 600	до 32000	
Электролитическое хромирование ($h_{покр}$ ~ 0,05 мм)	12Х18Н10Т 38ХН3М	н/п	–	–	$(1...3) \cdot 10^4$	1 ... 4	–	150...400 580...1100	3400 7600	
Электролитическое хромирование ($h_{покр}$ ~ 0,005... 0,017 мм)	ОТ 4	н/п. гелий	1 ... 1,5	–	–	2,78	–	110...250	5320...7520	

Продолжение табл. 37

Легирующий состав	Обрабатываемый материал	Режимы лазерной обработки						Характеристики легированного слоя		Примечания
		вид	P, кВт	W, Дж	q, Вт/см^2	v, см/с	τ, мс	глубина $h_д$, мкм	микротвердость, МПа	
Электролитическое осаждение железа (подслой - медь) ($h_{покр}$ ~ 0,05 мм)	ВТ1-0	н/п	630	–	–	3,1 – 10,0		50 ... 130	9500	
Электролитическое осаждение никеля (подслой - медь) ($h_{покр}$ ~ 0,05 мм)	ВТ1-0	н/п	220	–	–	10,0 – 15,0	–	90 ... 170	8000	снижение хрупкости
Лазерное легирование оплавлением обмазок										
Хром (связующее вещество – оксиметилцеллюлоза)	У10	н/п	5	–	$7 \cdot 10^4$	–	–	750...1000	8500	
Бор аморфный ($h_{обм}$~0,15...0,3 мм)	высокопрочные чугуны	н/п	1	–	–	0,2 – 0,4	–	280 ... 920	20 000 ... 21000	повышение антифрикционных свойств
Порошок БХМ-28 ($h_{обм}$~0,5 мм)	сталь 35Л	н/п	2,5	–	–	0,3	–	600 ... 800	7500...8000	
Бор + твердый сплав (порошок) + + фтористый активатор (связующее – клей БФ2 + ацетон)	Х12М	имп.	–	0,4...0,6*	–	–	1, 2	100 ... 120	16 000 ... 16 500	
70 % смесь (30 % Cr_2O_3 + 70 % TiO_2) + 25 % Al_2O_3 + 5 % NH_4Cl	У8А	имп.	–	4*	–	–	–	150...180	10130 ... 10790	
	сталь 45								9200...9600	
25 % SiO_2 + 12 % B_2O_3 + 63 % SiC ($h_{обм}$ ~ 0,2 мм, связующее – клей БФ2 + ацетон)	У8	имп.	–	30...40	–	–	8	200...300	20 100 ... 26 830	повышение износостойкости вырубных штампов
Карбид кремния ($h_{обм}$ ~ 0,15 мм, связующее – клей БФ2 + ацетон)	сталь 45	имп.	–	5 ... 10*	–	–	10,12	190	14 100 ... 25 700	
40 % бура + 60 % SiC ($h_{обм}$ ~ 0,15 мм, связующее – клей БФ2 + ацетон)	сталь 45	имп.	–	5 ... 10*	–	–	10, 12	260	15 200 ... 25 700	

Продолжение табл. 37

Легирующий состав	Обрабатываемый материал	Режимы лазерной обработки						Характеристики легированного слоя		Примечания
		вид	P, кВт	W, Дж	q, Вт/см^2	v, см/с	τ, мс	глубина $h_д$, мкм	микротвердость, МПа	
Композиции бор-углерод-кремний, связующее – клей БФ2 + ацетон	Х12М	имп.	–	25 ... 30	–	–	8	200...250	до 18 000	
	ВТ1-0 ВТ22			5...20			3 ... 6	240	1430...2290	повышение коррозионной стойкости в 1,6 ... 6 раз
30 % Cr_2O_3 + 70 % B_4C ($h_{обм}$ ~ 0,15 мм, связующее – цапонлак + ацетон)	сталь 45	имп.	–	5 ... 6	–	–	10, 12	150...200	до 17 000	
25 % B_4C + 75 % Cr	ВТ3-1	имп.	полное оплавление поверхности					270	11 000 ... 11 800	повышение антифрикционных свойств
25 % Cr + 75 % B_4C ($h_{обм}$ ~ 0,25 мм, связующее – раствор канифоли в спирте)	сталь 45	имп.	–	–	$2,5 \cdot 10^4$	–	4	250	15 000 ... 16 000	
10 % SiC + 28 % феррохром (ФХ65) + 62 % B_2O_3 ($h_{обм}$ ~ 0,1 мм, связующее – цапонлак + ацетон)	40Х	имп.	–	5 ... 6*	–	–	8	200	19200 ... 23800	повышение износостойкости базовых деталей технологической оснастки в 2 ... 3 раза
20 % Cr_2O_3 + 10 % ферросилиций (ФС80) + 70 % B_4C ($h_{обм}$ ~ ~ 0,1 мм, связующее – цапонлак + ацетон)										
Железисто-синеродистый калий ($K_4Fe(CN)_6$) ($h_{обм}$~0,5 мм, связующее – клей БФ2 + ацетон)	Х12М	имп.	12 ...16	–	–	–	–	80	14 000	повышение стойкости вырубных штампов в 2,5...3 раза
	ХВГ							80	13 000	
	У8А, У10А							100	12 000	
	40Х							110	9000	
Мелкодисперсный порошок Cr (специальная органическая связка)	40ХН	н/п	–	–	(0,6 ... 6,3) $\cdot 10^4$	0,4 ... 2	–	700	6000	
Мелкодисперсный порошок Co (специальная органическая связка)									9500	

Примечания: * – указана плотность энергии излучения (Дж/мм^2); ** – указана скорость сканирования лазерного луча.

Лазерная резка. *Лазерная резка* материалов осуществляется как с использованием непрерывного, так и импульсно-периодического (импульсного) излучения. При этом наиболее распространена обработка с поддувом газа (кислорода или кислородосодержащей смеси) – газолазерная резка (ГЛР).

Резка непрерывным лазерным излучением связана с постоянным существованием канала, перемещающегося вдоль направления движения источника. Рез образуется путем удаления расплава с передней стенки (обычно струей газа, направленной в канал). В случае импульсной обработки материал из канала удаляется силами реакции паров с образованием отверстия. При резке тонких материалов каждый очередной импульс пробивает отверстие, а перекрытие этих отверстий с определенным шагом приводит к образованию реза. В случае резки толстых материалов, когда один импульс не в состоянии пробить отверстие, формирование реза осуществляется в виде ступенчатой поверхности в результате многократного последовательного воздействия импульсов при перемещении с определенным шагом.

При реализации ГЛР приходится решать проблему обеспечения качества получаемого реза одновременно с высокой производительностью процесса обработки. Рассматривая качество поверхности резов, следует учитывать, что при резке углеродистых и нержавеющих сталей, титановых и алюминиевых сплавов характерно образование грата, расположенного на нижней кромке деталей. Это значительно снижает качество ГЛР, а иногда делает ее неприменимой.

Количество грата на кромках зависит от мощности излучения, толщины металла, скорости резки и давления кислорода. В табл. 38 приведено соотношение размеров грата в зависимости от режимов непрерывного лазерного излучения при резке углеродистой стали (избыточное давление газа p_0 = 0,5 МПа).

38. Размеры грата при лазерной резке углеродистой стали

Толщина листа, мм	Отношение высота / ширина, мм, грата при мощности излучения, Вт		
	800	450	300
1,0	0,12 / 0,24	0,25 / 0,45	0,31 / 0,52
1,5	0,22 / 0,31	0,37 / 0,60	0,49 / 0,69
2,0	0,31 / 0,36	0,45 / 0,70	0,58 / 0,82

Общие рекомендации по качественной лазерной резке металлов можно сформулировать следующим образом:

– с увеличением давления поддуваемого газа возрастает глубина качественной резки как для нержавеющих сталей, так и для титановых сплавов, причем при малых скоростях резки влияние давления сказывается в большей степени;

– глубина резки с низким качеством практически на всех металлах возрастает с повышением мощности лазерного излучения, давления поддуваемого газа и с уменьшением скорости резки;

– для обеспечения минимальных ширины реза, зоны термического влияния на его кромках и шероховатости поверхности реза обработку следует проводить на максимальной (для деталей данной толщины) скорости при установленных мощности излучения и давлении поддуваемого газа;

– давление поддуваемого газа в целях повышения качества обработки при резке углеродистых сталей должно быть невысоким (0,05 ... 0,15 МПа), а при резке нержавеющих сталей и титановых сплавов его следует повышать до 0,2 ... 0,3 МПа.

В табл. 39 приведены режимы и результаты резки различных металлических материалов излучением непрерывного CO_2-лазера (диаметр пятна фокусировки d = 0,2 мм), в табл. 40 – нержавеющей стали излучением непрерывного ИАГ-лазера.

Обработка металлов импульсно-периодическим излучением с использованием твердотельных лазеров позволяет получать более точные и качественные резы. Однако на существующем технологическом оборудовании производительность такой резки намного ниже, чем на установках непрерывного действия. В табл. 41 приведены режимы наиболее производительной резки импульсным излучением стальных деталей различной толщины (при τ = 1,5 мс), а также параметры получаемых при этом резов. Следует отметить, что для получения качественных резов обработку следует вести при малых скоростях резки таким образом, чтобы коэффициент перекрытия элементарных отверстий составлял $K_п$ = 0,2 ...0,4. При необходимости высокопроизводительной обработки в ущерб качеству значение $K_п$ можно увеличить до 0,7 ... 0,9.

39. Режимы резки металлов и сплавов непрерывным излучением CO_2–лазера

Материал	Толщина листа	Мощность лазера, Вт	Скорость резки, м/мин	Давление газа, МПа	Параметры реза		
					ширина, мм	глубина ЗТВ, мм	шероховатость Rz, мкм
Углеродистая сталь	1**	500	2,23	0,15	0,64	0,12	14,5
	1	1000	6,0	0,15	0,41	0,081	–
	1	1000	8,0*	0,15	0,37	0,06	–
	3,3	1000	2,0	0,15	0,51	0,26	–
	5,2	1000	1,0	0,15	0,51	0,26	–
	5,2	1000	2,5*	0,15	0,46	0,165	–
	10**	1000	0,37*	0,15	0,82	0,40	80
Нержавеющая сталь	2,0	1000	3,5	0,25	0,39	0,098	–
	2,0	1000	3,0*	0,15	0,40	0,088	–
	5,0**	1000	0,91	0,15	0,64	0,27	–
Титан	2,0	1000	2,2	0,15	0,344	–	–
	1,0**	1000	2,27	0,15	0,34	0,24	16,4
Алюминий	2,0	1000	0,2	0,15	0,377	–	–
	2,0	1000	0,5*	0,15	0,344	–	–
	8,0***	3000	0,6	–	0,5	–	–
Никель	1,0***	2000	7,9	–	–	–	–
Молибден	4,0***	4000	0,5	–	–	–	–
Вольфрам	3,0***	4000	0,3	–	–	–	–

Примечания: * – режимы высокопроизводительной обработки, но с низким качеством; ** – диаметр пятна фокусировки d = 0,4 мм; ***– диаметр пятна фокусировки неизвестен.

40. Режимы резки нержавеющей стали непрерывным излучением ИАГ-лазера

Толщина стали, мм	Мощность излучения, Вт	Скорость резки, м/мин	Ширина реза, мм
0,5	70	1,5	0,1
1,0	70	0,7	0,12
1,5	70	0,5	0,15
0,5	120	4,0	0,1
1,0	120	2,0	0,14
2,0	120	0,8	0,18
3,0	400	1,5	0,2

Неметаллические материалы в основном разрезают без поддува газа, т.е. путем испарения. Однако при резке горючих материалов (бумага, ткань и др.) для получения гладкого необожженного края реза используют обдув защитным газом (аргоном, азотом и др.). Режимы резки некоторых материалов излучением непрерывного CO_2-лазера приведены в табл. 42.

Качество резов в неметаллах (по сравнению с металлами) в меньшей степени зависит от параметров обработки. Обычно шероховатость поверхности реза в таких материалах, как древесина, резина, оргстекло, пластмассы, текстолит, стекло, керамика незначительна и составляет Rz = 5 ... 15 мкм.

41. Режимы резки стальных листов различной толщины импульсным излучением

Толщина листа, мм	Энергия излучения, Дж	Фокусное расстояние, мм	Скорость резки, см/с	Параметры выполнения резов			
				неперпендикулярность кромок, мм	ширина, мм	глубина ЗТВ, мм	шероховатость поверхности *Rz*, мкм
3,0	8	57	0,026	0,088	0,43	0,105	3,2
2,5	8	57	0,038	0,102	0,43	0,102	10,2
1,5	8	57	0,165	0,109	0,43	0,094	24,2
1,5	2	57	0,02	0,059	0,32	0,084	8,2
1,0	8	57	0,228	0,116	0,43	0,09	31,4
1,5	2	57	0,093	0,066	0,32	0,077	13,2
0,5	2	57	0,207	0,072	0,32	0,071	18,2
2,0	8	27	0,015	0,118	0,44	0,141	11,9
1,5	8	27	0,096	0,139	0,44	0,13	24,1
1,0	8	27	0,205	0,16	0,44	0,124	36,3
1,0	2	27	0,25	0,069	0,28	0,072	11,8
0,5	8	27	0,316	–	0,44	0,117	48,5

42. Режимы лазерной резки неметаллических материалов непрерывным излучением

Материал	Толщина, мм	Мощность, Вт	Скорость резки, м/мин
Кварц	3,2	500	0,74
Стекло	3,2	5000	4,57
Фанера	6,4	850	5,41
Картон	19,4	200	0,1
Керамика	6,5	850	0,6
Плексиглас	10,0	900	3,5
Асбоцемент	5,0	500	0,05
Стеклотекстолит	8,0	2500	1,0
Стеклоткань	5,0	800	0,75
Текстильная ткань	0,45	500	40,0
Нейлон	0,76	200	6,1
Кожа	3,2	200	0,64
Резина	2,0	100	1,9

Лазерная пробивка отверстий. Использование энергии лазерного луча позволяет получать отверстия небольшого диаметра (обычно до 1 мм) в изделиях со стенками толщиной до 12 мм. Размеры получаемых отверстий существенно зависят от длительности импульса τ и энергии лазерного излучения *W*. В табл. 43 представлены значения глубины *h* и диаметра отверстий $d_{отв}$, полученных импульсным излучением различной длительности в образцах из стали 45.

Получение отверстий в процессе одноимпульсной обработки имеет определенные технологические ограничения (прежде всего по глубине получаемых отверстий), поэтому более эффективным для этих целей оказывается метод многоимпульсной обработки (МИО).

В процессе МИО отверстие растет в глубину постепенно в результате послойного испарения материала каждым импульсом. Данный метод обработки используют обычно для решения двух различных технологических задач:

– получение максимально глубоких отверстий без особо жестких требований к их точности и форме;

– получение прецизионных отверстий.

43. Получение отверстий с использованием импульсного излучения лазера

Параметры лазерного излучения			Параметры отверстия		
энергия излучения, Дж	длительность импульса, мс	плотность мощности излучения, Вт/см^2	глубина отверстия *h*, мм	диаметр отверстия $d_{отв}$, мм	$h / d_{отв}$
5,4	0,25	$2{,}2 \cdot 10^8$	1,2	0,42	2,9
5,1	0,35	$1{,}5 \cdot 10^8$	1,3	0,39	3,3
5,9	0,55	$1{,}1 \cdot 10^8$	1,5	0,38	3,9
5,7	0,75	$7{,}6 \cdot 10^7$	1,6	0,36	4,4
5,4	0,85	$6{,}3 \cdot 10^7$	1,8	0,30	6,0
5,0	1,15	$4{,}4 \cdot 10^7$	1,6	0,26	6,1

44. Получение отверстий в различных материалах методом многоимпульсной лазерной обработки

Материал	Параметры отверстия				Режим обработки				Способ обработки	
	$d_{отв}$, мкм	*h*, мм	$h / d_{отв}$	допуск δ, мкм	*E*, Дж	$\tau \cdot 10^{-4}$, с	q_0, Вт/см^2	*n*	фокальный	проекционный
Высокоглиноземистая керамика	200	3,2	16	–	1,4	5	$4 \cdot 10^6$	40	+	–
	200	1,0	5	+30	1,6	10	$5 \cdot 10^6$	1	+	–
Феррит	200	1,0	5	± 4	0,3	1	$1{,}2 \cdot 10^7$	7	–	+
	50	1,0	20	–	0,05	0,9	$6 \cdot 10^7$	10	–	+
	100	0,7	7	± 15	1,5	10	$2 \cdot 10^7$	1	+	–
	100	0,5	5	± 5	0,2	0,9	$6 \cdot 10^7$	9	–	+
Коррозионностойкая сталь	50	1,2	24	–	0,2	0,9	$1{,}2 \cdot 10^6$	12	–	+
	50	0,1	2	± 2	0,2	0,8	$1{,}5 \cdot 10^8$	1 – 5	–	+
Рубин	10	0,4	40	–	0,1	М*	–	–	–	+
Латунь	30	0,1	3,5	± 1,5	0,05	1,0	$4 \cdot 10^7$	1 – 3	–	+
Ситалл	50	0,6	12	–	0,3	1,0	$5 \cdot 10^7$	3 – 5	–	+

Примечание: М – модуляция добротности.

Применение МИО в этих случаях отличается режимами обработки. Если для первого их них оптимальному режиму МИО соответствует получение в каждом импульсе максимального отношения приращения глубины к диаметру $h_i / d_{отв} > 1$), то для второго – наиболее благоприятным режимом является такой, когда приращение глубины лунки за импульс меньше диаметра ($h_i / d_{отв} < 1$). Микрогеометрия поверхности отверстий в последнем случае соответствует в среднем параметру шероховатости *Ra* = 0,08 ... 0,63 мкм. Типичные параметры отверстий в различных материалах и режимы их получения приведены в табл. 44.

Лазерное скрайбирование. *Скрайбирование* представляет собой широко распространенный метод резки и контурной обработки образцов, в ходе которого испарению подвергается лишь часть поверхности вдоль границы раздела. Скрайбирование осуществляется путем нанесения на поверхности сплошной канавки или прошивки близко расположенных

45. Режимы лазерного скрайбирования некоторых материалов

Материал	Толщина, мм	Скорость скрайбирования, $\times 10^{-3}$ м/с	Ширина надреза, мм	Средняя мощность излучения, Вт	Частота следования импульсов, кГц
Стеклянная подложка	1,27	25,4	0,102	3,5	0,35
Листовое стекло	1,57	26,3	0,05	40	–
Кварц	0,8	25,4	0,05	9,6	–
Сапфир (монокристалл)	0,254	25,4	0,102	3,5	–
Керамика:					
стеатитовая	0,635	101,5	0,127	50	–
алюмооксидная	2,03	7,2	–	250	–
оксиднобериллевая	0,763	76,2	0,127	50	–
Полупроводники:					
кремний	0,4	50	0,03	8	17,2
арсенид галлия	0,15	150	0,02	6	26,5

отверстий, после чего материал легко надламывается вдоль линии скрайбирования. Некоторые режимы скрайбирования различных материалов приведены в табл. 45. Оптимальная глубина надреза в большинстве случаев составляет 25 ... 30 % толщины материала.

Для лазерного скрайбирования стекла и большинства полупроводниковых материалов используются ИАГ-лазеры свободной генерации и лазеры на азоте. Вследствие более высокой поглощающей способности керамики на длине волны 10,6 мкм для скрайбирования керамических пластин более эффективны CO_2-лазеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аскинази Б. М.** Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой. М.: Машиностроение, 1989. 200 с.

2. **Рыжов Э. В.** Технологическое методы повышения износостойкости деталей машин. Киев.: Наукова думка, 1984. 272 с.

3. **Суслов А. Г.** Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. М.: Машиностроение, 1987. 208 с.

4. **Белый А. В., Карпеко Г. Д., Мышкин Н. К.** Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев. М.: Машиностроение, 1991. 208 с.

5. **Бойцов А. Г. и др.** Упрочнение деталей комбинированными способами / А. Г. Бойцов, В. Н. Машков, В. А. Смоленцев и др. М.: Машиностроение, 1991. 144 с.

6. **Андрияхин В. М.** Процессы лазерной сварки и термообработки. М.: Наука, 1988. 176 с.

7. **Григорьянц А. Г.** Основы лазерной обработки материалов. М.: Машиностроение, 1989. 304 с.

8. **Качество** машин: Справочник. В 2 т. Т. 2 / А. Г. Суслов, Ю. В. Гуляев, А. М. Дальский и др. М.: Машиностроение, 1995. 430 с.

9. **Коваленко В. С.** Обработка материалов импульсным излучением лазеров. Киев: Вища школа, 1977. 144 с.

10. **Лазерная** и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник / Н. Н. Рыкалин, А. А. Углов, И. В. Зуев, А. Н. Кокора. М.: Машиностроение, 1985. 496 с.

11. **Лазерная** техника и технология. В 7 кн. Кн. 3. Методы поверхностной лазерной обработки / А. Г. Григорьянц, А. Н. Сафонов; Под ред. А. Г. Григорьянца. М.: Высшая школа, 1987. 191 с.

12. **Лазерная** техника и технология. В 7 кн. Кн. 4. Лазерная обработка неметаллических материалов / А. Г. Григорьянц, А. А. Соколов; Под ред. А. Г. Григорьянца. М.: Высшая школа, 1988. 191 с.

13. **Лазерная** техника и технология. В 7 кн. Кн. 6. Основы лазерного термоупрочнения сплавов / А. Г. Григорьянц, А. Н. Сафонов; Под ред. А. Г. Григорьянца. М.: Высшая школа, 1988. 159 с.

14. **Лазерная** техника и технология. В 7 кн. Кн. 7. Лазерная резка металлов / А. Г. Григорьянц, А. А. Соколов; Под ред. А. Г. Григорьянца. М.: Высшая школа, 1988. 127 с.

15. **Леонтьев П. А., Хан М. Г., Чеканова Н. Г.** Лазерная поверхностная обработка металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1986. 142 с.

16. **Упрочнение** деталей лучом лазера / В. С. Коваленко, Л. Ф. Головко, Г. В. Меркулов, А. И. Стрижак; Под общ. ред. В. С. Коваленко. Киев: Техніка, 1981.131 с.

17. **Оборудование** для размерной электрохимической обработки деталей машин / Под. ред. Ф. В. Седыкина. М.: Машиностроение, 1980. 277 с.

18. **Немилов Е. Ф.** Справочник по электроэрозионной обработке материалов. Л.: Машиностроение, 1989. 164 с.

19. **Основы** теории и практики электрохимической обработки металлов и сплавов / М. В. Щербак, М. А. Толстая, А. П. Анисимов, В. Х. Постаногов. М.: Машиностроение, 1981. 285 с.

20. **Смоленцев В. П.** Технология электрохимической обработки внутренних поверхностей. М.: Машиностроение, 1978. 176 с.

21. **Способ** электроразрядной обработки крупногабаритных изделий / Е. А. Заставный, Г. А. Толмачев. А. М. Кривной, А. З. Певзнер. Патент РФ № 2103122. М.: РОСПАТЕНТ, 1998.

22. **Справочник** по электрическим и ультразвуковым методам обработки материалов / Л. Я. Попилов. Л.: Машиностроение, 1981. 542 с.

23. **Электроконтактный** станок для обработки бандажей колесных пар / М. О. Мамет, В. В. Евграфов, Е. А. Заставный. Патент РФ № 2085346. М.: РОСПАТЕНТ, 1997.

24. **Электрофизические** и электрохимические станки: Каталог / Под. ред. А. Л. Лившица. М.: НИИ информации по машиностроению, 1978. 228 с.

Глава 8

ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОКРЫТИЙ И ОСНОВЫ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ИХ НАНЕСЕНИЯ

Покрытия представляют собой направленно сформированные поверхностные слои, существенно отличающиеся по своим свойствам от свойств материала основы и в значительной мере изменяющие свойства последнего. Назначение покрытий в основном сводится к защите от коррозии и окисления, износа, снижению сопротивления трению, а также для использования в качестве слоя припоя или для восстановления первоначальных размеров изделия.

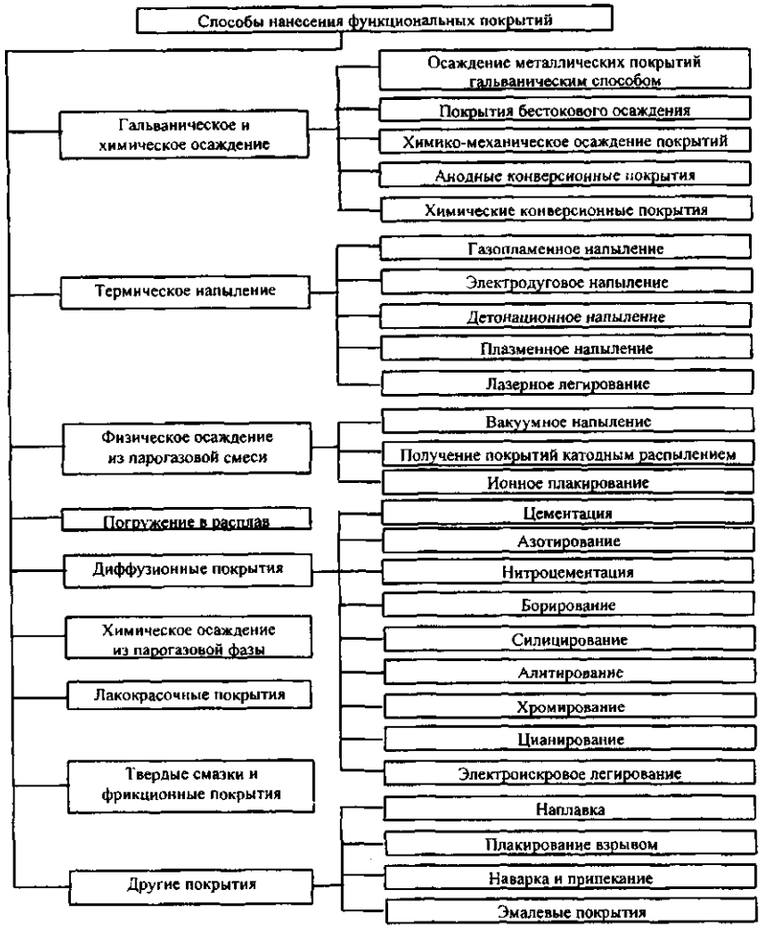


Рис. 1. Способы нанесения функциональных покрытий

1. Назначение и свойства покрытий

Покрытие	Сопротивление коррозии	Сопротивление окислению	Сопротивление износу: истирание	Сопротивление износу: адгезия*1	Антифрикционность	Прочность сцепления*2	Влияние на прочность основы	Твердость, HV	Максимальная температура работы, °С
	Реакционные и гальванические металлические покрытия								
Алюминий	+++*3	++	+++*4		+	+	-	50	400
Хром	+++*5	+++	+++	++	++	+++	→	900	500
Кобальт	++	+	+	++	++	+++	→	280	400
Кобальт + оксид хрома	++	++	++	+++	+	+++	→*10	420	800
Никель	++	+	+	+		+++	→	250	500
Никель + карбид кремния	++	+	++	++	+	+++	→	420	400
Бестоковый никель 400 °С, 1 ч	+		+++	+++		+++	→	900	500
Бестоковый никель+карбид кремния	++		+++	++				650	400
Бестоковый никель+ алмаз	++		+++	++		+++	→	700	500
Бестоковый никель+ ПТФЭ	+		+	+++		+++	→	280	300
Медь	++	+	+	++	+++	+++	-	190	350
Латунь	++		++	++	++	+++		600	200
Бронза	++		++	++	++	+++		700	200
Цинк	+++*3		+	+	++	+++	-	80	250
Серебро	+	+	+	+++	+++	+++	-	60	850
Кадмий	+++*3		+	++	++	+++	→	80	220
Никель-кадмий	+++	+				+++		320	500
Олово	+++		+	+++	+++	++	-	5	100

Продолжение табл. 1

Покрытие	Сопротивление коррозии	Сопротивление окислению	Сопротивление износу		Антифрикционность	Прочность сцепления*2	Влияние на прочность основы	Твердость, HV	Максимальная температура работы, °С
			истирание	адгезия*1					
Свинец	+ + +		+	+ + +	+ + +	+ +	-	5	200
Свинец-олово	+ + +		+	+ + +	+ + +	+ +	-	10	100
Анодные и реакционные конверсионные покрытия									
HAE-покрытие (Mg)	+ +		+ + +	+ +		+ +	-		*6
Анодные покрытия (Al)	+ +		+ +	+ +		+ + +	↓		*6
Твердые анодные покрытия (Al)	+ + +		+ + +	+ +		+ + +	↓		*6
Хроматные покрытия (Mg)	+			+ +			-		200
Слои пассивации (Al)	+			+ +			-		150
Слои воронения (сталь)	+			+ +	+ +*7		-		*6
Фосфатные покрытия (сталь)	+			+ +	+ +*7		-		300
Слои пассивирования (легированная сталь)							-		*6
Покрытия термического нанесения									
Алюминий	+ +*3					+			
Цинк	+ +*3					+		1000	350
Молибден	+	+	+ +	+ +	+ +	+	↓	250-500	*6
Сталь	+					+			1000
MoCrAlV	+ + +	+ + +				+	↓	600	900

Продолжение табл. 1

Покрытие	Сопротивление коррозии	Сопротивление окислению	Сопротивление износу		Антифрикционность	Прочность сцепления*2	Влияние на прочность основы	Твердость, HV	Максимальная температура работы, °С
			истирание	адгезия*1					
Твердые сплавы	+		+ +			+		600	1000
Трибалой	+ +		+ +	+ +	+ +	+		1000	540
Карбид вольфрама / кобальт			+ +	+ + +	+ +	+	-↓	800	1000
Карбид хрома / никель-хром			+ + +	+ + +	+ +	+	↓	2000	*6
Оксид алюминия		+ + +	+ +	+ + +	+	+			
Оксид хрома		+ + +	+ +	+ + +	+ +	+	-↓	2300	*6
Оксид циркония стабильный		+ + +	+ +	+ + +		+		1500	
Оксид хрома + кобальтовый сплав		+ + +	+ + +	+ + +		+		600	1000
Никель + графит					*9	+		*8	500
Покрытия погружения									
Алюминий	+ + + +					+ + +			
Цинк	+ + +					+ +			
Олово	+ + +					+ +			
Свинец	+ + +					+ +			
Диффузионные покрытия									
Цементованные слои	+			+ +		+ + +	↑	600-900	*6
Азотированные слои	+		+ + +	+ + +	+	+ + +	↑	1200	*6
Углеродоазотированные слои	+		+ + +	+ + +		+ + +	↑	1200	*6

Продолжение табл. 1

Покрытие	Сопротивление коррозии	Сопротивление окислению	Сопротивление износу		Антифрикционность	Прочность сцепления*2	Влияние на прочность основы	Твердость, HV	Максимальная температура работы, °С
			истирание	адгезия*1					
Борированные слои	+		+ + +	+		+ + +	-	1500-2000	*6
Силицированные слои			+ + +			+ + +			*6
Алитированные слои	+ + +	+ + +				+ + +	↑	400-1000	1000
Слои диффузионного хромирования						+ + +		1400-2000	800
Слои диффузионного цинкования	+ +							340-400	<600
Покрытия газофазного осаждения									
Карбид титана	+ +	+ –	+ + +	+ + +	+ + +	+ + +	-↓	3500	
Нитрид титана	+		+ + +	+ + +	+ +	+ + +	-	2200	500
Карбонитрид титана	+		+ +	+ + +	+ +	+ + +	-	2500	
Карбид хрома	+		+ +	+ +	+	+ + +	-↓	2000	700
Дисульфид молибдена				+ + +	+ + +				350
ПТФЭ				+ + +	+ + +				260
Фторид кальция				+ + +	+ + +				800

Продолжение табл. 1

Покрытие	Сопротивление коррозии	Сопротивление окислению	Сопротивление износу		Антифрикционность	Прочность сцепления*2	Влияние на прочность основы	Твердость, HV	Максимальная температура работы, °С
			истирание	адгезия*1					
Лаки									
Органические низкотемпературные	+ +			+		+	-		200
Термостойкие	+ + +			+		+	-		500
Неорганические термостойкие	+ + +*3	+		+		+	-		600
Твердые смазки									
Дисульфид молибдена				+ + +	+ + +	+	-		450
Графит				+ + +	+ +	+	-		600
ПТФЭ				+ + +	+ + +	+	-		260

*1 Относительно стали. *2 Со сталью. *3 Катодная защита. *4 Анодированный.

*5 Зависит от строения покрытия (Ni/Cr). *6 Зависит от материала основы. *7 С маслом.

*8 Зависит от пористости металлизационного покрытия на стали.

*9 Для приработки. *10 После 400 °С, 16 ч, отсутствует влияние на прочность основы.

Примечание: "+"-низкие значения, "++"-средние значения, "+++"-высокие значения, "-"-отсутствие влияния, ↓-уменьшение, ↑-увеличение. ПТФЭ – политетрафторэтилен (фторпласт).

Технологические способы нанесения отдельных покрытий приведены на рис. 1, назначение и основные свойства покрытий – в табл. 1.

В ряде случаев наиболее эффективны комплексные покрытия, позволяющие управлять в процессе их формирования гораздо большим числом факторов, определяющих работоспособность поверхностей, чем при традиционных способах нанесения покрытий.

НАНЕСЕНИЕ ПРИРАБОТОЧНЫХ И АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Для нанесения антифрикционных и приработочных покрытий используют свинец и его сплавы, медно-оловянные и медно-цинковые сплавы, благородные металлы и их сплавы, редкие металлы (индий и его сплавы, галлий), фосфатированные, а также композиционные покрытия и никелевые сплавы. Условия нанесения их гальваническими методами приводятся в табл. 2 – 8.

2. Составы (кг/м³) электролитов и режим нанесения

Состав и режим	Электролит			
	Фторборатный	Кремнефторидный	Фенолсульфоновый	Сульфамитный
Свинец фенолсульфоновый	–	–	140…200	–
Свинца: сульфамат	–	–	–	135…190
фторборат	125…300	–	–	–
кремнефторид	–	80…150	–	–
Кислота свободная:				
борфтористоводородная	40…100	–	–	–
кремнефтористоводородная	–	20…35	–	–
парафенолсульфоновая	–	–	20…40	–
серная или аммиак	–	–	–	до pH=1,5
борная	15…25	5…6	–	–
Клей столярный	0,2…0,5	0,5…1,0	0,5…1,0	–
Режим:				
температура, °С	15…25	15…25	18…60	25…50
плотность тока катодная, А/дм²	1,0…3,0	1,0…1,5	0,5…4,0	0,5…1,0

3. Составы (кг/м³) электролитов и режимы осаждения сплавов свинец-олово

Состав и режим	Электролиты				
	Фторборатный	Кремнефторидный	Фенолсульфоновый	Пирофосфатный	Сульфамитный
Свинца: фторборат	100…200	–	–	–	–
кремнефторид	–	100…125	–	–	–
сульфамат	–	–	–	–	40
нитрат	–	–	–	15…18	–
Свинец фенолсульфоновый	–	–	100…130	–	–
Олова: фторборат	25…75	–	–	–	–
кремнефторид	–	15…40	–	–	–
пирофосфат	–	–	–	20…22	–
сульфамат	–	–	–	–	105
Олово фенолсульфоновое	–	–	25	–	

Продолжение табл. 3

Состав и режим	Электролиты				
	Фторборатный	Кремнефторидный	Фенолсульфоновый	Пирофосфатный	Сульфамитный
Кислота свободная:					
борфтористоводородная	40…100	–	–	–	–
кремнефтористоводородная	–	60…100	–	–	–
парафенолсульфоновая	–	–	60…95	–	–
сульфаминовая	–	–	–	–	40
Натрия пирофосфат	–	–	–	120	–
Клей столярный	1…3	1	–	–	–
Пептон	–	–	–	–	2
Желатин	–	–	2	–	–
Режим осаждения:					
температура, °С	18…25	18…25	20…40	60	18…25
плотность тока, А/дм²:					
катодная	до 2	4…5	1…2	0,5…4 (с перемеш)	1…2
анодная	2…5	2…3	1…2		–
Аноды из сплавов, %	88…91, свинца, 9…12 олова	свинец и олово раздельно	90 свинца 10 олова	0,1…1 –	40 свинца, 60 олова

4. Условия получения трехкомпонентных сплавов на основе цинка

Состав (кг/м³) растворов и режимы электролиза	Третий компонент в сплаве		
	Цинк	Медь	Сурьма
Фторборат: свинца	100…180	100…120	100
олова	12…15	25…75	30
сурьмы	–	–	5…6
меди	–	18…20	–
Цинка оксид	0,3…0,6	–	–
Кислота свободная:			
борфтористоводородная	45…180	40…60	80
борная	–	–	25
Клей столярный	1…2	1…3	–
Гидрохинон	–	–	0,5
Пептон	–	15	15
Режимы:			
температура, °С	18…25	18…25	18…25
плотность тока катодная, А/дм²	1,0…1,5	0,5	4
Аноды из сплавов, %	свинец-83,25 олово-5 цинк-0,75	свинец-90 олово-10	свинец-88 олово-12

5. Условия осаждения приработочных и антифрикционных медно-цинковых сплавов

Состав (кг/м³) и режимы	Электролиты						
	цианидный	арар цианидный	пирофосфатный	пирофосфатно-сульфосалицилатный	этилендиамиловый	тортратный	сульфатный
Меди цианид	26…40	75…105	–	–	–	–	–
Цинка цианид	9…12	4,4…14	–	–	–	–	–
Цинка монофосфат	–	–	–	–	–	–	35…45
Меди сульфат	–	–	1…2	1	20…25	40…55	25…35
Цинка сульфат	–	–	0,8…1,5	60	40…45	35…55	–
Калия-натрия тартрат	–	–	–	–	–	380…420	–
Натрия цианид общий	–	90…135	–	–	–	–	–
Калия цианид общий	45…120	–	–	–	–	–	–
Калия карбонат	0…30	–	–	–	–	–	–
Аммиак (25 %),мл/л	1…3	–	–	–	–	–	–
Натр едкий	–	45…75	–	–	–	80…100	–
Натрия пирофосфат	–	–	50…60	–	–	–	–
Натрия карбонат	–	–	10…30	–	–	–	–
Фосфорная кислота	–	–	–	–	–	–	100…200
Щавелевая кислота	–	–	0…10	–	–	–	–
Борная кислота	–	–	0…8	–	–	–	–
Калия пирофосфат	–	–	–	300	–	–	–
Натрия сульфосалицилат	–	–	–	0,5	–	–	–
калия гидрофосфат	–	–	–	20	–	–	–
аммония сульфат	–	–	–	–	40…45	–	–
этилендиамилин (в расчете на 100%)	–	–	–	–	30	–	–
желатин	–	–	–	–	0,5	–	–
аммония гидрофосфат	–	–	–	–	–	–	25…50
трилон Б	–	–	–	–	–	–	20…60
Режимы:							
температура, °С	25…45	75…95	18…25	18…25	20…25	45…50	18…25
катодная плотность тока, А/дм²	0,3…1,0	2,5…5,5	0,3…1,0	0,5…0,9	0,5…1,4	1,0…1,5	1,0…2,5
pH	10…11,5	–	8,0…9,4	–	8,0…8,3	–	1,1…2,0
Содержание меди в сплаве, %	70	75…80	65…70	67…72	65…75	70	90…95

6. Составы электролитов и режимы нанесения антифрикционных покрытий никелем и сплавами никель-фосфор и никель-индий

Состав (кг/м³) и режимы	Электролиты					
	хлористый	сульфатно-хлористый	сульфатный	никель-фосфор	никель-индий	никель-индий
Никеля: хлорид	200..220	120..150	–	40…50	–	–
сульфат	–	180..200	200	–	475…525	–
Ацетат (по никелю)	–	–	–	–	–	10
Индий (металлический)	–	–	–	–	0,8…1,0	–
Индия хлорид (в пересчете на металл)	–	–	–	–	–	1…5
Кислота: соляная						
(ρ = 1190 кг/м³)	140..180	–	–	–	–	–
борная	–	30	30	–	–	–
сульфаминовая	–	–	–	–	50…55	–
Натрий хлористый	–	–	20	–	–	–
Натрия: цитрат	–	–	–	40…50	–	–
ацетат	–	–	–	–	–	100..120
гипофосфит	–	–	–	10…20	–	–
Аммоний хлористый	–	–	–	45…55	–	–
Паратолуол сульфамид	–	–	1…2	–	–	–
Кумарин	–	–	1	–	–	–
Препарат "Прогресс"	–	–	0,5	–	–	–
Сахарин	–	–	–	–	–	1,0
Режимы:						
температура, °С	18…25	18…25	40…50	80…90	18…25	20…40
катодная плотность тока, А/дм²	6…10	3	4	–	5…8	4…10
pH	–	4,5–5	4,5–5	8–9	–	4,0–4,5
Содержание легирующего элемента в сплаве, %				3…7	4…10	до 44

7. Условия осаждения индия и его сплавов

Состав (кг/м³) и режимы	Электролиты						
	Индирования				Осаждение сплавов индия с		
	сульфатный	трилонатный	сульфаминовый	ацетатный	никелем	кадмием	оловом
Индия:							
сульфат	50	34	–	40…50	4 (по метал.)	5…45	–
сульфамат	–	–	105	–	–	–	–
фторборат (по металлу)	–	–	–	–	–	–	43…45
Алюминия сульфат	12	–	–	–	–	–	–
Кадмия: сульфат	–	–	–	–	–	8…75	–
оксид	–	–	–	–	–	–	–
Никеля сульфат	–	–	–	–	40	–	–
Олова хлорид (по металлу)	–	–	–	–	–	–	4,5
Натрия: сульфамат	–	–	150	–	–	–	–
сульфат	10	–	–	–	50	–	–
тартрат	–	–	–	–	60	–	–
хлорид	–	–	45	15…25	40	–	–
ацетат	–	–	–	190…210	–	–	–
Аммония: фторид	–	–	–	–	–	–	5,5…6
сульфат	–	100	–	–	20	100…300	–
фторбонат	–	–	–	–	–	–	20
Кислота: сульфаминовая	–	–	26	–	–	–	–
борфтористоводородная	–	–	–	–	–	–	10…15
соляная	–	–	–	до pH = 3,5…4,0	–	–	–
борная	–	–	–	–	–	–	10…15
Трилон Б	–	80	–	–	–	–	–
Желатин	10	–	–	–	–	–	–
Декстроза	–	–	8	–	–	–	–
Полиэтиленкалиамин	–	–	–	–	–	140…180	–
Триэтаноломин	–	–	2,3	–	–	–	–
Аммиак (25%-ный), мл/л	–	–	–	–	200	–	–
Режимы:							
температура, °С	18…25	18…25	18…25	20…30	18…25	20…25	18…25
катодная плотность тока, А/дм²	0,5…3	1…10	1…11	0,5…1,5	0,05…0,2	0,5…1,5	0,25…0,5
pH	2,0…2,7	3…10	3,5	3,5…4,0	–	9,3…9,7	1,0…1,1
Количество элемента в сплаве, %	–	–	–	–	18…35	4…75	3…16

8. Составы электролитов и режимы осаждения покрытий галлия

Состав (кг/м³) и режимы	Электролиты	
	1	2
Галлия: хлорид	30…50	–
сульфат	–	20…50
Кислота сульфаминовая	100…150	80…100
Аммиак (25 %-ный), мл/л	до pH = 2,0–2,5	60…80
Режимы:		
температура, °С	25	25…28
катодная плотность тока, А/дм²	20…120	20…120
аноды – платиновые пластины		
скорость осаждения, мкм/ч		6…8

Прочно сцепленные с основой покрытия галлия получают при его нанесении на медь, ее сплавы и малолегированные стали. Для получения хорошего сцепления покрытий с высоколегированными сталями необходимо предварительно наносить подслой никеля толщиной 0,5 мкм из хлористого или сульфатно-хлористого электролитов.

Фрикционное латунирование (финишная антифрикционная безабразивная обработка – ФАБО) позволяет резко сократить время приработки, устранить задиры и повысить износостойкость деталей в 1,5…2 раза [9]. Условия его проведения представлены в табл. 9.

9. Условия фрикционного латунирования и бронзирования деталей из черных металлов

Режим	Материал детали						
	Конструкционные и легированные стали						Чугун перлитный
	углеродистые	40Х	40Х10С2М	12Х18Н9Т	38Х2МЮА	30ХГСА 12ХМ, ХВГ 12Х18Н9Т	
Окружная скорость, м/с	0,15…0,20	0,1…0,2	0,22	0,1	0,5…0,6	0,1…0,2	0,1…0,2
Продольная подача, мм/об	0,1…0,2	0,1…0,2	0,15	0,08	0,2…0,22	0,1…0,2	0,1…0,2
Давление прутка на деталь, МПа	102…105	60…80	70	70	80…120	50…70	До 80
Число проходов	1–2	1–2	1–2	2	2	2–3	2–3
Восстановительная среда	Глицерин технический	Глицерин – 2 ч., цинк хлористый (водн. р-р) – 1 ч.	Глицерин – 2 ч., цинк хлористый – 1 ч.	Кислота ортофосфорная – 10 мл, анилин – 10 мл, глицерин – 5 мл.	Глицерин – 1 ч., соляная кислота (10 % р-р) – 1 ч.	Глицерин – 1 ч., соляная кислота (10 % р-р) – 3 ч.	1 % р-р соляной кислоты в глицерине
Толщина получаемого покрытия, мкм:							
латунь	2…3	1…2	2…3	1…2	1,5…2	3…5	1…2
бронза	1…2	–	–	–	–	–	–

НАНЕСЕНИЕ ТВЕРДОСМАЗОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ (ТСП)

Наиболее простыми являются механические методы нанесения покрытий из суспензий и паст с "транспортирующей" дисперсионной средой (окунание, распыление пульверизатором, нанесение кистью или валиком, галтовка и виброгалтовка). Обязательным условием получения качественных ТСП является тщательная предварительная подготовка поверхности под покрытие (табл. 10), после которой наносится собственно покрытие (табл. 11).

10. Способы подготовки деталей и инструментов к нанесению ТСП

Операции	Способы обработки, составы	Режимы, примечания
1. Механическая обработка	Шлифование, полирование, гидропескоочистка, струйная очистка абразивным зернистым материалом (наждачный порошок, карборунд и др.)	Обработка до шероховатости поверхности: Ra = 0,63...1,25 мкм; Rz = 1,6...3,2 мкм
2. Обезжиривание с последующей промывкой теплой (60 °С) и холодной проточной водой	1. Ультрозвуковая обработка и очистка в горячей воде 2. В растворителях (бензин Б-70, ацетон, трихлорэтилен, венская известь и др.) 3. Химическое а) Ванна состава, кг/м^3: сода кальцинированная – 100; натр едкий – 40; моющее средство ОП–7 – 3 (ОП–10)–3 б) Ванна состава, кг/м^3: сода кальцинированная – 30...50; натр едкий – 100; натрия силикат – 2...10. 4. Электрохимическое Ванна состава, кг/м^3: сода кальцинированная – 25; натр едкий – 10; тринатрийфосфат – 12; натрия силикат – 3	Для сталей, сплавов меди, сплавов алюминия, твердых сплавов Режимы: температура, 60...80 °С; время, 30 мин. температура, 70...90 °С; время, 10...20 мин. температура, 70...80 °С; плотность тока, 5...10 А/дм^2 время, 1...2 мин.
Декапирование с последующей промывкой в холодной проточной воде	Для углеродистых сталей состав – 10 % соляная кислота Для легированных сталей; состав –10 % серная кислота	До полного удаления оксидов и шероховатости Rz = 1,6...3,2 мкм. Температура, 18...35 °С; время, 3...10 с. Температура, 18...25 °С; время, 2...10 мин.

11. Механические способы нанесения ТСП

Способ	Состав, кг/м^3	Особенности
1. Нанесение ТСП из суспензий	Вода, 100 °С Дисульфид молибдена – 50	Погрузить детали на навесках в кипящую суспензию на 0,5...1 ч; вынуть и просушить при 90...100 °С в течение 1 ч. Выдержать изделие при комнатной температуре 10...12 ч.
2. Нанесение кистью или валиком	Спирт этиловый – 2 части. Дисульфид молибдена – 1 часть	Нанести на деталь равномерный слой пасты кистью; просушить деталь (120...150 °С) в течение 2 ч; выдержать при комнатной температуре 10...12 ч.
3. Обработка в галтовочных аппаратах	Дисульфид молибдена – 20 г на 1 кг деталей. Рабочие тела (шары, пластины) – 3 кг на 4 кг обрабатываемых деталей. Через каждые 2 – 3 загрузки добавлять в барабан 20...30 г/кг дисульфида молибдена	Загрузить в барабан детали, рабочие тела и расчетное количество дисульфида молибдена (сухой порошок, 1...7 мкм); обрабатывать в течение 0,5...1 ч; извлечь детали и просушить их (80...110 °С) в течение 1 ч; стабилизировать детали при комнатной температуре в течение 10...12 ч.

Для повышения долговечности ТСП, защиты их от атмосферной коррозии, увеличения прочности пленок поверхности деталей перед нанесением покрытия подвергают фосфатированию (углеродистые стали, чугун) или наносят на них подслой никеля или молибдена (титановые сплавы).

Электрохимическое осаждение композиционных электрохимических твердосмазочных покрытий (КЭТСП) имеет ряд существенных преимуществ. В качестве матрицы КЭТСП используют никель, кобальт, железо, медь и серебро. Дисперсной фазой служат волокна, которые не должны растворяться в электролите, хорошо смачиваться им, образовывать стабильные агрегативно-устойчивые соединения. Описание способов получения и свойств КЭТСП приведено в работах [2, 5, 13 и др.].

Диффузионно-пористые антифрикционные покрытия, получаемые различными методами силицирования перспективны для применения в узлах трения с затруднённой подачей смазывающего материала. В табл. 12 обобщены основные характеристики технологии их нанесения [14].

Улучшение эксплуатационных свойств пористых силицированных покрытий достигается заполнением пор методами гальванического осаждения, катодного напыления, осаждения из расплава, шаржирования. Заполнение пор антифрикционными или материалами повышенной твёрдости существенно изменяет триботехнические и антикоррозионные характеристики.

12. Составы смесей и режимы получения диффузионно-пористых покрытий

Метод диффузионного насыщения	Способ насыщения	Материал	Состав смеси	Режим насыщения		Толщина покрытия H, мкм	Пористость ρ, %
				τ, ч	t, °C		
Парогазовое силицирование	Неконтактный	Стали Ст3, 45, У8	Ферросилиций, хлористый аммоний, оксид алюминия	1...6	950	100...600	14...80
То же		То же	Ферросилиций, феррохром, хлористый аммоний, оксид алюминия	1...6	950	80...550	18...75
– // –	Неконтактный экранизованный	– // –	То же	1...4	950	360...420	34...37
– // –	Неконтактный из жидкой фазы	– // –	Ферросилиций, хлористый аммоний, шамот	1...4	1150 - 1200	600...2000	Беспористый
– // –	С наложением ультразвуковых колебаний	– // –	Ферросилиций, хлористый аммоний, оксид алюминия	4	680 –720	150...350	30
Силицирование в порошках	Контактный	Сталь 5ХНМ	Ферросилиций, хлорное железо, кварцевый песок	3	920	800...900	20...62
Силицирование в порошках	Контактный	Серый чугун	То же	2...4	950	600...800	20...50
Парогазовое силицирование	Неконтактный	Стали Ст3, 45, У8	Ферросилиций, хлористый аммоний, оксид алюминия	1...6	700 – 950	100...800	30...40
Силицирование с последующим азотированием	Неконтактный	Сталь 45	То же, азотирующая атмосфера	2...6 5	900 600	200...600 200...300	20...80 22...70
Силицирование с последующей газовой цементацией	Неконтактный	Стали Ст3, 45	Ферросилиций, хлористый аммоний, оксид алюминия, науглероживающая атмосфера	3 4	950 910	350 250	30...50 20...30
Хромосилицирование в порошках	Неконтактный	Стали 45, У8, чугун	"Сормайт 1", ферросилиций, хлористый аммоний, шамот	5...15	900 – 1100	50...70	15...30

Продолжение табл. 12

Метод диффузионного насыщения	Способ насыщения	Материал	Состав смеси	Режим насыщения		Толщина покрытия H, мкм	Пористость ρ, %
				τ, ч	t, °C		
Алюмохромосилицирование в порошках	Контактный	Стали У8, У12	"Сормайт 1", ферросилиций, хлористый аммоний, алюминиевый порошок, шамот	10	1000	50...75	10...15
Боросилицирование в порошках	Контактный	Стали Ст3, 45, У8	Оксид бора, ферросилиций, хлористый аммоний, порошок железа, шамот	3...5	950 – 1000	80...250	Беспористый
Силицирование с припеканием порошка железа	Неконтактный	Стали Ст3, 45, У8	Ферросилиций, хлористый аммоний, оксид алюминия	3...4	950	600...800	45...50
Алюмохромосилицирование из обмазок	Контактный	Сплавы Fe-C	Ферросилиций, феррохром, алюминиевый порошок, хлористый аммоний, фтористый натрий, связующие – пластичный смазочный материал	1...2	950	30...60	10...15
Хромосилицирование из обмазок	Контактный	То же	"Сормайт 1", хлористый аммоний, хлористое железо, связующие цементы	1...2	950	50...80	12...16
Хромосилицирование в порошках	Контактный	Стали Ст3, 45, У8	Ферросилинкохром, хлороксид меди, оксид железа, песок	2...4	950	800...1200	20...30
Силицирование изотермическое	Неконтактный	Стали Ст3, 45, серый чугун	Ферросилиций, хлористый аммоний, оксид алюминия, песок	2...5	950	200...600	20...35
Силицирование с последующим заполнением пор антифрикционным материалом	Неконтактный центробежный	Стали Ст3, 45	Ферросилиций, хлористый аммоний, оксид алюминия	3...4	950	300...400	35...45

НАНЕСЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

Существенное повышение износостойкости поверхностей достигается посредством нанесения газотермических покрытий. В табл. 13 – 20 представлены основные типы порошковых материалов для получения газотермических покрытий.

13. Порошки металлов для газотермического напыления

Металл	Состав по массе (массовая доля), %	Технологическое покрытие, твердость	Назначение
Алюминий	99 Al	Газопламенное Детонационное Плазменное	Коррозионно-стойкое покрытие общего назначения; теплозащитное покрытие общего назначения; корковое покрытие – восстановление изношенных деталей из алюминиевых и магниевых сплавов
Вольфрам	99 – 99,5 W	Плазменное 45 – 50 HRA	Жаростойкие покрытия – защита от коррозии, вызываемой воздействием расплавов меди и цинка; коррозионно-стойкое покрытие – защита от искровой эрозии; корковое покрытие – изготовление изделий из вольфрама
Медь	99,7 Cu	Газопламенное Плазменное 31 – 65 HRB	Теплозащитное покрытие, имеющее свойства электропроводности; термостойкое покрытие общего назначения; корковое покрытие – восстановление изношенных деталей из меди и медных сплавов
Кобальт	99,2 Co	Плазменное (1480 – 2950 МПа)	Жаростойкое покрытие общего назначения; антиадгезионно-жаростойкое покрытие – защита от расплавов чугуна, стали и меди; подслой газотермического покрытия; корковое покрытие – восстановление изношенных деталей
Никель	99,5 Ni	Газопламенное Детонационное Плазменное 35 – 70 HRB	Коррозионно-стойкое покрытие общего назначения; износостойкие покрытия – защита от изнашивания деталей из алюминиевых сплавов; подслой газотермического покрытия; корковое покрытие – восстановление изношенных деталей из никеля и никелевых сплавов
Тантал	99 – 99,5 Ta	Плазменное 65 – 70 HRB	Коррозионно-стойкое покрытие общего назначения.
Титан	99,8 – 99,9 Ti	Плазменное (1510 – 1850 МПа)	Коррозионно-стойкое покрытие – специальное, для противодействия коррозии в электролитических средах
Хром	98,5 – 99,2 Cr	Газопламенное Плазменное (4900 МПа)	Жаростойкое покрытие – защита от высокотемпературного окисления; износостойкое покрытие – предупреждение высокотемпературного изнашивания
Цинк	99,7 – 99,8 Zn	Газопламенное 46 HRB	Коррозионно-стойкое покрытие – защита от атмосферной или морской коррозии

14. Порошки сплавов для газотермического напыления

Металл	Состав по массе (массовая доля), %	Технологическое покрытие, твердость	Назначение
Никель – хромовый	20 C	Плазменное 90 HRB	Жаростойкое покрытие общего назначения
Никель – бор – кремниевые	1,3-2,4 B 2,3-3,5 Si	Газопламенное 13 – 40 HRB	Износостойкое покрытие общего назначения
Никель – хром – бор – кремниевые	2,7-20 Cr 1,4-4,5 B 1,25-5,5 Si 0,8-5,5 Fe 0,45-0,85 C	Газопламенное Плазменное 15 – 65 HRB	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах контакта пар трения твёрдыми поверхностями или абразивными частицами; коррозионно-стойкое покрытие – защита от фретинг-коррозии; эрозионно-стойкое покрытие – защита от кавитации при обычных или повышенных температурах среды
Никель – алюминиевые	5-31 Al	Плазменное	Жаростойкое покрытие общего назначения; подслой газотермического покрытия; коррозионно-стойкое покрытие – защита от воздействия щелочных и солевых растворов
Никель – хром – алюминиевые	19 Cr 5 Al	Плазменное	Корковое покрытие – восстановление изношенных деталей из никелевых сплавов; жаростойкое покрытие общего назначения; подслой газотермического покрытия
Никель – хром – алюминий – иттрий – молибденовый	20 Cr 11 Al 0,5 Y 0,5 Mo	Плазменное	Жаростойкое покрытие общего назначения; подслой газотермического покрытия; корковое покрытие – восстановление изношенных деталей из никелевых сплавов
Никель – хром – железные	14-17 Cr 6-10 Fe	Плазменное 80 HRB	Жаростойкое покрытие общего назначения; корковое покрытие – восстановление изношенных деталей из коррозионно-стойких сталей и никелевых сплавов
Никель – хром – молибден – вольфрамовый	16-17 Cr 16,5-17 Mo 4,5 W 5,5 Fe	Плазменное	Износостойкое покрытие общего назначения; коррозионно-стойкое покрытие общего назначения
Никель – хром – молибден – ниобиевый	22 Cr 9 Mo 4 Nb 3 Fe	Плазменное	Износостойкое покрытие общего назначения; коррозионно-стойкое покрытие общего назначения
Никель – хром – молибден – кремниевый	15-15,5 Cr 32-32,5 Mo 3-3,4 Si	62 HRC	Износостойкое покрытие общего назначения; коррозионно-стойкое покрытие общего назначения
Никель – хром – бор – кремний – молибден – медные	14-16 Sr 3-4 B 3,75-4,0 Si 1,75-3,0 Mo 1,75-3,0 Cu	58 – 63 HRC	Износостойкое покрытие общего назначения; коррозионно-стойкое покрытие общего назначения

Продолжение табл. 14

Металл	Состав по массе (массовая доля), %	Технологическое покрытие, твердость	Назначение
Никель – хром – бор – кремний – вольфрамовые	11,5–13 Cr 2,5–2,7 B 3,25–3,6 Si 12–16 W 3,5–3,75 Fe 0,55–0,75 C	52 – 63 HRC	Износостойкое покрытие общего назначения; коррозионно-стойкое покрытие общего назначения
Кобальт – никель – хром – вольфрамовый	10–15 Ni 25 Cr 7–7,5 W	70 HRC	Износостойкое покрытие общего назначения; коррозионно-стойкое покрытие общего назначения
Кобальт – хром – вольфрам – кремниевый	28 Cr 4–4,5 W 1,0 Si	42 HRC	Износостойкое покрытие общего назначения; коррозионно-стойкое покрытие общего назначения
Кобальт – молибден – хром – кремниевые	28–28,5 Mo 8–17,5 Cr 2–3,4 Si	62 HRC	Износостойкое покрытие общего назначения
Кобальт – хром – вольфрам – бор – кремниевый	22 Cr 4,5 W 2,4 B 1,6 Si	54 HRC	Износостойкое покрытие общего назначения
Кобальт – никель – хром – молибден – бор – кремниевый	26,8–27 N 18–18,5 B 5,5–6 Mo 3–3,2 B 3,3–3,5 Si	Газопламенное 47 – 53 HRC	Износостойкое покрытие общего назначения
Кобальт – никель – хром – вольфрам – бор – кремниевый	13–30 Ni 19–23 Cr 4–13 W 1,5–2,5 B 1,0–3,0 Si	35 – 40 HRC	Износостойкое покрытие общего назначения
Кобальт – хром – алюминий – иттревые	18–29 Cr 6–13 Al 0,5–1,0 V	35 – 40 HRC	Жаростойкое покрытие общего назначения
Кобальт – никель – хром – алюминий – иттревые	23–49 Ni 13–17 Cr 3–12 Al 0,3–0,5 V	35 – 40 HRC	Жаростойкое покрытие общего назначения
Медь – никелевый	38 Ni	65 – 72 HRB	Коррозионно-стойкое покрытие – защита от фретинг-коррозии; эрозионно-стойкое покрытие – защита от кавитации
Медь – никель – индиевый	36,5 Ni 5,0 In	Плазменное 65 – 72 HRB	Коррозионно-стойкое покрытие – защита от фретинг-коррозии
Алюминий – кремниевый	12 Si	Газопламенное Детонационное	Корковое покрытие – восстановление изношенных деталей из алюминиевых и магниевых сплавов
Титан – алюминий – ванадиевый	6 Al 4 V	Плазменное 35 HRC	Корковое покрытие – восстановление изношенных деталей из титановых сплавов

Продолжение табл. 14

Металл	Состав по массе (массовая доля), %	Технологическое покрытие, твердость	Назначение
Малоуглеродистая сталь	0,1–0,15 C	27 HRC	Износостойкое покрытие общего назначения; корковое покрытие – восстановление изношенных деталей из углеродистых сталей
Чугун	2,8–3,5 C	47 HRC	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах; антифрикционное покрытие – твёрдое подшипниковое покрытие
Хромоникелевая сталь	16–18 Cr 10–14 Ni 2,5–3,0 Mo 0,8–1,0 Si 0,1 C	80 – 92 HRB	Эрозионно-стойкое покрытие – защита от кавитации при невысоких температурах
Хромистая сталь	13 Cr 0,02 C	Плазменное	Износостойкое покрытие общего назначения; коррозионно-стойкое покрытие общего назначения
Хром – кремниевая сталь	16,5 Cr 0,6 Si 0,14 C	Плазменное	Износостойкое покрытие общего назначения; коррозионно-стойкое покрытие общего назначения
Хром – никель – кремниевая сталь	16–19 Cr 2–11 Ni 0,6–0,8 Si 0,2 C	Плазменное	Износостойкое покрытие общего назначения; коррозионно-стойкое покрытие общего назначения
Хром – молибден – кремниевые стали	9,5–16,5 Cr 1–28 Mo 0,6–2,6 Si 0,02 C	Плазменное	Износостойкое покрытие общего назначения; коррозионно-стойкое покрытие общего назначения
Ферро – хром – углеродистые стали	12,9 Cr 2,8 C	Плазменное	Износостойкое покрытие общего назначения; коррозионно-стойкое покрытие общего назначения
Бронза – алюминиевая сталь	9,5–10 Al 1,0 Fe	Газопламенное 50 – 85 HRB	Коррозионно-стойкое покрытие – защита от фретинг-коррозии; эрозионно-стойкое покрытие – защита от кавитации; антифрикционное покрытие – мягкое подшипниковое покрытие; корковое покрытие – восстановление изношенных деталей из меди и медных сплавов

15. Порошки оксидов газотермического напыления

Оксиды	Состав по массе (массовая доля), %	Технологическое покрытие, твердость	Назначение
Оксид алюминия	99 – 99,7Al_2O_3	Плазменное Детонационное Плазменное 40 – 65 HRC	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при невысоких температурах контакта пар трения; коррозионно-стойкое покрытие – защита от кислот и щелочей; эрозионно-стойкое покрытие – защита от кавитации при невысоких или повышенных температурах турбулентной среды; теплозащитное покрытие общего назначения, имеющее электроизоляционные свойства
Оксиды алюминия	2,5 – 40TiO_2	50 – 70 HRC	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при невысоких температурах контакта пар трения (твердые поверхности, нити или волокна) с воздействием абразивных частиц; эрозионно-стойкое покрытие – защита от кавитации при невысоких или повышенных температурах турбулентной среды; антифрикционное покрытие – твердые подшипниковые покрытия; жаростойкое антиадгезионное покрытие – защита от расплавов цинка, алюминия, меди; уплотнительное покрытие – приработка контактных поверхностей в саморегулирующихся уплотнениях; электроизолирующее покрытие
Алюмомагнезиальная шпинель	24 – 31MgO	Газопламенное Плазменное (5880 МПа)	Жаростойкое антиадгезионное покрытие – защита от расплавов металлов
Оксид хрома	99 – 99,6Cr_2O_3	Детонационное Плазменное 65 – 72 HRC	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при невысоких температурах контакта пар трения (твердые поверхности, нити или волокна) с воздействием абразивных частиц; коррозионно-стойкое покрытие – защита от кислот и щелочей; эрозионно-стойкое покрытие – защита от кавитации при невысоких или повышенных температурах турбулентной среды
Алюмохромистая шпинель	30Al_2O_3	68 HRC	Износостойкие покрытия общего назначения
Оксиды хрома – титана	38 – 42TiO_2	68 HRC	Износостойкие покрытия общего назначения

Продолжение табл. 15

Оксиды	Состав по массе (массовая доля), %	Технологическое покрытие, твердость	Назначение
Оксид хрома – кремния – титана	5 Si_2 2–3,5 TiO_2	68 HRC	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при невысоких температурах контакта пар трения (твёрдые поверхности, нити или волокна) с воздействием абразивных частиц
Диоксид титана	99–99,5TiO_2	53 HRC	То же
Диоксид циркония, стабилизированный оксидом кальция	5–7 и 28–31CaO	Газопламенное Плазменное 30–45 HRC	Теплозащитное покрытие общего назначения; жаростойко-эрозионное покрытие – защита от высокотемпературной эрозии при кавитации в газовых средах
Диоксид циркония, стабилизированный оксидом иттрия	6–8 и 11–13V_2O_3	Плазменное 35–45 HRC	Термостойкое покрытие общего назначения; жаростойко-эрозионное покрытие – защита от высокотемпературной эрозии при кавитации в газовых средах

16. Порошки бескислородных тугоплавких соединений и твёрдых сплавов для газотермического напыления

Тип порошка	Состав по массе (массовая доля), %	Технологическое покрытие, твердость	Назначение
Карбид вольфрам	3,8–4,2 C	Плазменное HV 1000-1800	Коррозионно-стойкое покрытие общего назначения; износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах контакта пар трения (твёрдые поверхности, нити или волокна) с воздействием абразивных частиц
Вольфрам – кобальтовые твердые сплавы	5–20 Co 3,6–5,7 C	Плазменное 1000–1800 HV	Коррозионно-стойкое покрытие – защита от фретинг-коррозии; износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах контакта пар трения (твёрдые поверхности, нити или волокна) с воздействием абразивных частиц; антифрикционное покрытие – твёрдые подшипниковые покрытия
Вольфрам – титан – тантал – кобальтовые твердые сплавы	7–9Co 1–6 TiC 1–6 TaC	Плазменное 1000–1800 HV	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах контакта пар трения (твёрдые поверхности, нити или волокна) с воздействием абразивных частиц; антифрикционное покрытие – твёрдые подшипниковые покрытия; эррозионно-стойкое покрытие общего назначения

Продолжение табл. 16

Тип порошка	Состав по массе (массовая доля), %	Технологическое покрытие, твердость	Назначение
Карбиды хрома	Cr_3O_2 $Cr_{23}C_6$	Детонационное Плазменное 37–40 HRC (1800 МПа)	Износо-жаростойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при повышенных температурах контакта пар трения; эрозионно-стойкое покрытие – защита от кавитации высоконапорного газового потока
Карбид титана	19,35–19,7 С	Плазменное (2000–2700 МПа)	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах контакта пар трения (твёрдые поверхности, нити или волокна) с воздействием абразивных частиц

17. Композиционные порошки (плакированные) для газотермического напыления

Тип порошка	Состав по массе (массовая доля), %	Технологическое покрытие, твердость	Назначение
Карбид вольфрама – кобальт	11–21 Co* 2,4–5,6 С	Детонационное Плазменное 40 – 60 HRC	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах контакта пар трения твердыми поверхностями или абразивными частицами; коррозионно-стойкое покрытие – защита от фретинг-коррозии; эрозионно-стойкое покрытие общего назначения; антифрикционное покрытие – твердые подшипниковые покрытия
Карбид вольфрама – никель	6–11 Ni* 3,2–5,5 С	Детонационное Плазменное	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах контакта пар трения твердыми поверхностями или абразивными частицами; коррозионно-стойкое покрытие – защита от фретинг-коррозии; эрозионно-стойкое покрытие общего назначения; антифрикционное покрытие – твердые подшипниковые покрытия
Алюминий – никель	80 Ni*	Газопламенное Плазменное 75 HRC	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах контакта пар трения твердыми поверхностями или абразивными частицами; эрозионно-стойкое покрытие общего назначения; корковое покрытие – восстановление изношенных деталей из низкосортных и легированных сталей, никелевых, кобальтовых, алюминиевых и магниевых сплавов; подслой газотермического покрытия

Продолжение табл. 17

Тип порошка	Состав по массе (массовая доля), %	Технологическое покрытие, твердость	Назначение
Титан – никель	40 Ni*	Газопламенное Плазменное 40 – 55 HRC (8000-14 000 МПа)	Износостойкое покрытие общего назначения; подслой газотермического покрытия; коррозионно-стойкое покрытие общего назначения
Графит – никель	75–85 Ni*	Газопламенное Плазменное	Термостойкое покрытие общего назначения; эрозионно-стойкое покрытие – защита от кавитации высоконапорного газового потока; уплотнительное покрытие – образование саморегулирующихся зазоров в конструкции сопрягаемых деталей
Оксид алюминия – никель	20 Ni*	Плазменное 75 – 80 HRC	Износостойкое покрытие общего назначения; жаростойкое покрытие – защита от расплавов металлов

Примечание: * Указано содержание материала оболочки.

18. Композиционные порошки (конгломерированные) для газотермического напыления

Тип порошка	Состав по массе (массовая доля), %	Технологическое покрытие, твердость	Назначение
Никель – алюминий	5 Al	60 – 80 HRC	Коррозионно-стойкое покрытие – защита от фретинг-коррозии; эрозионно-стойкое покрытие – защита от эрозии при кавитации в прокачиваемой агрессивной среде с низкими или повышенными температурами; корковое покрытие – восстановление изношенных деталей из всех марок сталей, никелевых, кобальтовых, алюминиевых и магниевых сплавов; подслой газотермического покрытия
Никель – алюминий – молибден	5 Al	60 – 80 HRC	Коррозионно-стойкое покрытие – защита от фретинг-коррозии; корковое покрытие – восстановление изношенных деталей из всех марок сталей, никелевых, кобальтовых, алюминиевых и магниевых сплавов; подслой газотермического покрытия
Нихром – алюминий	5–6 Al	HRC 85 – 90	Жаростойкое покрытие – защита от высокотемпературной коррозии в газовых средах; корковое покрытие – восстановление изношенных деталей из легированных сталей и никелевых сплавов; подслой газотермического покрытия
Никель – хром – бор – кремниевый сплав – алюминий	5 Al	85 – 90 HRC	Износостойкое покрытие общего назначения; корковое покрытие – восстановление изношенных деталей из конструкционных сталей, никелевых сплавов

Продолжение табл. 18

Тип порошка	Состав по массе (массовая доля), %	Технологическое покрытие, твердость	Назначение
Медь – алюминий	10 Al	50 – 55 HRC	Коррозионно-стойкое покрытие – защита от фретинг-коррозии; эрозионно-стойкое покрытие – защита от кавитации; антифрикционное покрытие – мягкие подшипниковые покрытия; корковое покрытие – восстановление изношенных деталей из меди и медных сплавов
Чугун – молибден – алюминий	5 Mo 5 Al	30 HRC	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах контакта пар трения твердыми поверхностями или абразивными частицами; коррозионно-стойкое покрытие – защита от фретинг-коррозии; корковое покрытие – восстановление изношенных деталей из малоуглеродистых сталей; антифрикционное покрытие – твердые подшипниковые покрытия
Малоуглеродистая сталь – молибден – алюминий	5 Mo 5 Al	85 HRC	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах контакта пар трения; коррозионно-стойкое покрытие – защита от фретинг-коррозии; корковое покрытие – восстановление изношенных деталей из малоуглеродистых сталей; антифрикционное покрытие – твердые подшипниковые покрытия
Нихром – молибден – алюминий	5 Mo 5 Al	80 – 90 HRC	Жаростойкое антиадгезионное покрытие – защита от абразивного изнашивания при температурах 760 – 870 °С; коррозионно-стойкое покрытие – защита от фретинг-коррозии; корковое покрытие – восстановление изношенных деталей из конструкционных сталей; антифрикционное покрытие – твердые подшипниковые покрытия
Оксид алюминия – диоксид титана	13–42 TiO_2	60 – 70 HRC	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах контакта пар трения (твердые поверхности, нити или волокна) с воздействием абразивных частиц; коррозионно-стойкое покрытие – защита от фретинг-коррозии; эрозионно-стойкое покрытие – защита от кавитации; антифрикционное покрытие – твердые подшипниковые покрытия;

Продолжение табл. 18

Тип порошка	Состав по массе (массовая доля), %	Технологическое покрытие, твердость	Назначение
Оксид хрома–диоксид кремния	13–42 TiO_2	70 – 72 HRC	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах контакта пар трения (твердые поверхности, нити или волокна) с воздействием абразивных частиц; эрозионно-стойкое покрытие – защита от кавитации
Диоксид циркония – оксид иттрия	13 V_2O_3	35 – 45 HRC	Теплозащитное покрытие, имеющее высокие теплоизоляционные свойства; жаростойкое покрытие – защита от эрозионного воздействия при повышенных температурах

19. Механические смеси порошков для газотермического напыления

Тип порошка	Состав по массе (массовая доля), %	Технологическое покрытие, твердость	Назначение
Никель – хром – бор – кремниевые сплавы с карбидом вольфрама	30–60 WC	Матрица 54 – 62 HRC Карбид HRC 75	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах контакта пар трения твердыми поверхностями или абразивными частицами; коррозионно-стойкое покрытие – защита от фретинг-коррозии; эрозионно-стойкое покрытие общего назначения
Никель – хром – бор – кремниевые сплавы с вольфрам – кобальтовым сплавом	35–80 (WC – 12 Co)	Матрица 54 – 62 HRC Карбид HRC 75	То же
Никель – хром – бор – кремниевый сплав с карбидом вольфрама, плакированный никелем	35 (WC – 8 Ni)	Матрица 58 – 60 HRC	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах контакта пар трения твердыми поверхностями или абразивными частицами; коррозионно-стойкое покрытие – защита от фретинг-коррозии; эрозионно-стойкое покрытие общего назначения
Никель – хром – бор – кремниевый сплав с молибденом *	30Mo	40 – 54 HRC	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах контакта пар трения твердыми поверхностями или абразивными частицами; антифрикционное покрытие – твердые подшипниковые покрытия

Продолжение табл. 19

Тип порошка	Состав по массе (массовая доля), %	Технологическое покрытие, твердость	Назначение
Никель – хром – бор – кремниевый сплав с композиционным порошком "никель-алюминий" (95/5) *	30 (Ni – Al)	23 – 33 HRC	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах контакта пар трения твердыми поверхностями или абразивными частицами; коррозионно-стойкое покрытие – защита от фретинг-коррозии; эрозионно-стойкое покрытие общего назначения; антифрикционное покрытие – твердые подшипниковые покрытия; корковое покрытие – восстановление изношенных деталей из материала конструкционных сталей
Никель – хром – бор – кремниевый сплав с композиционным порошком "никель-алюминий" (95/5) и вольфрам – кобальтовым сплавом *	50–75 (WC – 12 Co) 15–7,5 КП (Ni – Al) 35–17,5 NiCrBSi	36 – 53 HRC	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах контакта пар трения твердыми поверхностями или абразивными частицами; коррозионно-стойкое покрытие – защита от фретинг-коррозии
Никель – хром – бор – кремниевый сплав с вольфрам – кобальтовым твердым сплавом	30 (WC – 12 Co)	Матрица 50 HRC Карбид 75 HRC	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах контакта пар трения твердыми поверхностями или абразивными частицами; коррозионно-стойкое покрытие – защита от фретинг-коррозии
Никель – хром – бор – кремниевый сплав с композиционным порошком "никель-алюминий" (95/5) и карбидом хрома *	40 NiCrBSi	45 – 47 HRC	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах контакта пар трения твердыми поверхностями или абразивными частицами; коррозионно-стойкое покрытие – защита от фретинг-коррозии; эрозионно-стойкое покрытие общего назначения
Карбид хрома с нихромом	7–35 NiCr	32 – 54 HRC	То же
Двойной карбид вольфрама – титана с никелем	17 Ni	71 HRC	Износостойкое покрытие общего назначения
Карбид титана с кобальтом	45 Co	71 HRC	То же
Алюминиевая бронза с нитридом бора	7 BN	71 HRC	Уплотнительное покрытие – производство саморегулирующихся уплотнений конструкционных зазоров

Продолжение табл. 19

Тип порошка	Состав по массе (массовая доля), %	Технологическое покрытие, твердость	Назначение
Композиционный порошок "нихром алюминий с нитридом бора"	15–25 BN	71 HRC	То же
Нихром с алюминием и нитридом бора	3–5 Al 5,5 BN	71 HRC	То же
Никель с графитом	15–25 графита	71 HRC	Уплотнительное покрытие – производство саморегулирующихся уплотнений конструкционных зазоров
Алюминиевая бронза с полиэстером	45 полиэстера	71 HRC	То же
Силумин с полиэстером	28–48 полиэстера	71 HRC	То же
Нихром с цирконием	35 NiCr	71 HRC	Термостойкое покрытие общего назначения
Оксид алюминия с композиционным порошком "никель-алюминий"	30–70 Al_2O_3	71 HRC	Износостойкое покрытие общего назначения; жаростойкое покрытие - защита от окисления при повышенных температурах; термостойкое покрытие общего назначения
Оксид алюминия с диоксидом титана	30–70 Al_2O_3	53 HRC	Износостойкое покрытие – защита от абразивного изнашивания при обычных или повышенных температурах контакта пар трения твердыми поверхностями или абразивными частицами
Оксид хрома с диоксидом титана	55 TiO_2	53 HRC	То же

Примечание: * – не требует операции оплавления

20. Полимерные порошковые материалы для газотермического напыления

Полимер	Метод напыления	Материал основы	Назначение
Фторопласт 1	Плазменный	Сталь 20	Коррозионно-стойкое покрытие – защита от атмосферных осадков, от воздействия химических реагентов (кислот, органических растворителей, расплавов едких щелочей)
Фторопласт 4	Плазменный	Сталь 20	Коррозионно-стойкое покрытие – защита от карбонильной коррозии
Полиэтилен	Газоплазменный	Сталь 20	Защита от минеральных кислот
Пентапласт	Газоплазменный		Корковое покрытие
Эпоксид ЕФН 22	Газоплазменный		Корковое покрытие; уплотнительное покрытие

В табл. 21 даны технологические условия нанесения плазменных газотермических покрытий из порошков простых металлов.

Для создания качественных износостойких покрытий, а также с целью повышения коррозионной стойкости, жаропрочности и др. целесообразно использовать вакуумные методы их нанесения.

В табл. 22 приведены основные параметры вакуумных процессов нанесения покрытий.

21. Технологические параметры процесса плазменного газотермического напыления с использованием порошковых материалов простых металлов

Напыляемый порошок		Дистанция напыления, мм	Плазматрон	Энергетические параметры			Плазмообразующий газ		Транспортирующий газ	
Металл	Расход, кг/ч			Мощность, кВт	Сила тока, А	Напряжение, В	Состав	Расход, $м^3/ч$	Состав	Расход, $м^3/ч$
Бериллий	–	25 – 76	Лабораторная горелка	21	700	29	$Ar + H_2$	2,5–3,4	Ar	0,45
Бор	–	–	"Плазмадайн" SG – 1	25	750	29	Ar	1,8	Ar	0,78
Алюминий	–	–	УПУ – 2М	25	250–350	65–75	N_2	–	N_2	–
	3,0	–	Анод 901356 катод 901066	15	500	30	Ar	2,0	Ar	0,17
	2,88	100–150	"Метко" 3 МВ с соплом G	30	400	65–70	Ar H_2	4,3 0,13	– –	– –
	1,5	–	"Плазмадайн" SG – 1	25	175	25	Ar	1,5	Ar	0,42
	–	300	"Плазмадайн" SG – 100	35	600	56	Ar H_e	4,2 1,2	Ar	–
	–	80	"Плазмаркос" PJ – 106	25	280	80	N_2	1,2	N_2	0,48
	–	120–220	То же	30	290–450	62–68	N_2	3,0	–	–
Титан	3,0	300	"СНЕКМА"	90	500	–	$Ar + H_2$	–	–	–
Хром	2,4	120	УМП – 5	6–13	–	–	Ar + NH_3; NH_3<15 %	2,4	–	–
	1,56	90	УПУ – 3	15	500	30	Ar	–	–	–
		100	УМП – 5 – 68	11–12	–	–	–	–	–	–
	0,9–1,5	100	"Плазмаркос" PJ – 106	20	300	55–60	Ar; N_2	0,9 1,5	N_2	0,6
	–	–	"Плазмадайн" SG – 1	25	500	30	Ar	2,25	Ar	0,54
	–	70–80	PLA – 700	20	500	40	Ar	–	–	–

Продолжение табл. 21

Напыляемый порошок		Дистанция напыления, мм	Плазматрон	Энергетические параметры			Плазмообразующий газ		Транспортирующий газ	
Металл	Расход, кг/ч			Мощность, кВт	Сила тока, А	Напряжение, В	Состав	Расход, $м^3/ч$	Состав	Расход, $м^3/ч$
Кобальт	–	–	"Плазмадайн" SG – 1	25	400	29	Ar	1,8	Ar	0,6
Никель	–	–	"Метко" 2М, 3М	30	–	–	Ar	–	Ar	–
	3,9	–	То же	30	700	35	Ar	2,0	Ar	0,17
	–	–	"Плазмаркос" PJ – 106	25	200	80–90	N_2	1,5–1,7	N_2	0,6
Медь	6,0	330	"Метко" 2М, 3М	30	1300	50	Ar H_e	12,7 5,1	–	–
	3,72	–	То же	30	550	28	Ar	2,42	Ar	0,2
	5,0	–	То же	30	600	30	Ar	2,42	Ar	0,2
	–	350	"Плазмадайн" SG – 100	35	650	46	Ar H_e	4,2 1,2	Ar	–
	–	130	"Плазмаркос" PJ – 106	25	220	80	N_2	1,56	N_2	0,6
	–	–	"Плазмадайн" SG – 1	25	500	32	Ar	3,0	Ar	0,6
Цинк	–	–	То же	25	200	32	Ar	3,3	Ar	0,54
Молибден	–	50–300	УПУ – 3М	40	400–600	30	Ar	1,5	–	–
	1,8	140	То же	40	500	75	Ar H_2	2,58 0,3	Ar	0,36
	1,8	140	То же	40	500	75	Ar H_2	2,18 0,72	Ar	0,36
	3,0	140–500	PLA	20	500	40	$Ar + H_2$	3,23	Ar	0,11
	3,5	140	"СНЕКМА"	90	500	–	Ar H_2	2,16 0,72	Ar	0,106
	7,44	100–150	Анод 901356, катод 901066	15	500	28	Ar	1,99	Ar	0,2

Продолжение табл. 21

Напыляемый порошок		Дистанция напыления, мм	Плазматрон	Энергетические параметры			Плазмообразующий газ		Транспортирующий газ	
Металл	Расход, кг/ч			Мощность, кВт	Сила тока, А	Напряжение, В	Состав	Расход, $м^3/ч$	Состав	Расход, $м^3/ч$
Молибден	3,4	100	Пистолет PG – 100, анод 901065	–	500	–	Ar	2,0	Ar	0,16
	3,3	100	"Плазмадайн" Пистолет SG – 18	–	600	36	Ar H_2	1,7 0,014	Ar	0,27–0,30
	–	–	"Метко", горелка М 8 – 42	–	200–500	–	Ar	–	–	–
Тантал	–	300	Установка плазменного напыления в динамическом вакууме	90	–	–	Ar + H_e	–	–	–
	1,26	135	Горелка ПN – 110, вакуумная камера	–	350	–	Ar N_2	2,39 1,03	Ar + N_2	0,17
Вольфрам	4,0	120	"СНЕКМА"	–	600	–	Ar H_2	2,52 0,72	Ar	0,08
	–	80–90	УМП – 3 – 63У	25	310–320	60–75	N_2	3	–	–
	2,6	120	УМП – 5	4–8	–	–	Ar + NH_3 NH_3<15%	2,4	–	–
	–	80	"Плазмаркос" PJ – 106	25	300	75	N_2	1,62	N_2	0,36
	0,5–5,0	50–150	"Мессер–Грисхайм" MG – 4	11–21	–	–	Ar	1,0–3,5	Ar	0,25
	1,98	76	"Плазмаркос", модель 1000	12	–	–	N_2 H_2	0,43 0,14	H_2	0,28

22. Характерные параметры вакуумных процессов нанесения покрытий

Характерные параметры процесса	Методы нанесения покрытий							
	термическое нанесение	при помощи ионного (катодного) распыления	ионно-термическое нанесение	из плазмы разряда с горячим катодом	из плазмы разряда с холодным катодом	ионное легирование (имплантация)		при помощи плазменных ускорителей
						ионное насыщение	ионное внедрение	
Скорость нанесения покрытий, мкм/мин	0,5 – 2,0	0,03 – 2,5	0,5 – 1,0	0,5 – 1,0	0,1 – 0,5	0,1 – 0,2	0,5 – 1,0	0,2 – 2,0
Толщина покрытия или глубина легированного слоя, мкм	2 – 50	1 – 10	2 – 20	2 – 20	2 – 20	10 – 20	0,3 – 2	2 – 20
Минимальная температура подложки, °С	250 – 500	250 – 400	250 – 500	250 – 500	150 – 400		50 – 600	250 – 400
Площадь обрабатываемой поверхности, $см^2$	500 – 1000	50 – 400	50 – 400	50 – 400	50 – 400		10 – 400	50 – 400
Мощность установки, кВт	5 – 75	5 – 75	5 – 75	5 – 70	5 – 50		5 – 100	5 – 40
Напряжение, кВ	0,1	1 – 5	1	1	1	0,4 – 2	50 – 100	1
Процент ионизации, %	0,1	25	1 – 20	2 – 30	80		100	20 – 95
Энергия прибывающих на подложку частиц, эВ	0,3	10 – 50	20	20	20 – 50		$5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^5$

23. Режимы электроискрового легирования деталей технологической оснастки и инструмента

Упрочняемые изделия	Марка инструментальной стали	Электрод			Режим обработки		Упрочняемая поверхность		
		материал	марка	диаметр, мм	ток короткого замыкания $I_{к.з.}$, А	рабочий ток $I_р$, А	толщина нанесения слоя, мм	сплошность покрытия, % площади	параметр шероховатости Ra, мкм
Резцы, сверла, зенкеры, фрезы, развертки, протяжки	Р18, Р9, Р6М5	Угли спектральные	В – 3	4	3,6 – 4,4	1,2 – 1,5	0,001	80	2,5
		Графит	ЭГ – 2 ЭГ – 4						
		Твердый сплав	ВК – 2 ВК – 3	3					
Штампы для холодной и горячей штамповки, гибочные, вытяжные	У8, У8А, У10, У10А, У12, ХВГ, 5ХНМ	Феррохром	ФХ100Н	4	3,9 – 4,7	2,0 – 2,5	0,1	80	2,5
		Твердый сплав	ВК – 8 Т15К6						
Подающие и зажимные цанги, вкладыши, кондукторные втулки, втулки направляющих колодок	65Г, 60Г, 60С2А	Феррохром	ФХ100Н	4	3,6 – 4,4	1,2 – 1,5	0,01	70	2,5
		Твердый сплав	Т15К6						

Эффективным для создания износостойких покрытий является электроискровое легирование (ЭИЛ).

Режимы ЭИЛ приведены в табл. 23. Скорость перемещения электрода при ручной обработке не должна превышать 0,07 – 0,09 м/мин. Для механизации процесса можно использовать механизмы перемещения рабочих столов и суппортов металлорежущих станков.

Значительное повышение износостойкости поверхностей достигается электромагнитным нанесением покрытий.

НАНЕСЕНИЕ ЗАЩИТНЫХ И ЖАРОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

К наиболее широко применяемым методам защиты сталей и титановых сплавов от различных видов коррозии относятся поверхностное легирование с помощью ХТО, лазерной обработки, ионной имплантации и другие и нанесение электрохимических, химических, полимерных и лакокрасочных покрытий.

Марки электродных материалов, рекомендуемых для повышения коррозионной стойкости и жаростойкости, приведены в табл. 24.

24. Электродные материалы, используемые для повышения коррозионной стойкости и жаростойкости металлических поверхностей

Марка легирующего электрода	Материал обрабатываемой детали
Al	Al, Cu, стали 08, Ст.3, У10А, ХВГ, ВТО, ВТ2
Cu	Al, Cu, W, стали Ст.3, Х18, Н10Т
Ag	Cu, Д16Т, 35ХН3Ф, 60ХВГ8Н8В, ВТ6А
Ni	Fe, У10А, 40Х, Al, Cu, Ti
Pt	Х18Н9Т, Ст.3
Cr	Стали 30, 45, 40Х, У10, ХВГ, Х18Н10Т, 50ХФА, ВТ2, Cu
Графит	Стали У8А, Р18, 65Г, Р6Н5, Т15К6
Mo,W	Стали 30, У10А, ХВГ, 45, 50ХФА, У8А, ВЖЛ-1, ВНСЛ-2
FeCr	Стали 35, 45, 4ХВ2С, У8А, Х12М, Fe, 40Х, 4ХВ2С
TiC, TiB_2	Fe, стали 65Г, У8А, Р18, Р6М5
Cr_3C_2, CrB_2	Р18, Т15К6
NiAl, NiCr, TiAl	Ti, титановые сплавы
Бронзы Бр.Б2, АЖНц-9	Чугун, стали 45, 2Х13, Х12Ф1, Р18
ВК2	Стали 45, 5ХНТ, Р6М5
ВК3	Стали 45, У7, 1Х13, 65Г, Р18, Р6М5, 2Х18Н9Т, Т15К6
ВК4	Сталь 08
ВК6	Стали Ст2, 45, У7
ВК6М	Р6М5, Р6М3
ВК8	Стали 45, У7, 9ХС, У8, 40Х, 4Х2С, 1Х18Н9Т, Р6М5, Р6М3
ВК15	Стали У8, Р6М5
ВК520	9ХС
Т5К10	Стали 45, Р6М5, Р6М3
Т14К8	2Х13
Т15К6	Стали 45, У7, У8, Р6М5, Р6М3, Р18, 2Х13, 9ХС, ХВГ, 3Х288Ф, 1Х18Н9Т, 4ХВ2С, 65Г, ВЖЛ-2. Чугун С424
Т30К4	Стали 15, У8, 40Х, Р18, Р6М5, Т15К6, 4ХВ2С
Т60К6	Стали 45, У7, Р6М5, Р18, Х18Н9Т, Т15К6
Т17К12	50ХФА, ВЖЛ-2, ШХ15СГ

Возможности плазменного нанесения жаростойких и коррозионно-стойких покрытий приведены выше в табл. 13 – 20.

Весьма эффективно для повышения коррозионной стойкости металлов нанесение гальванических и химических покрытий.

Основные гальванические и химические методы защиты с указанием необходимой толщины покрытий в зависимости от условий эксплуатации деталей машин приведены в табл. 25.

25. Минимальная толщина подслоя и основного покрытия в зависимости от условий эксплуатации

Вид покрытия	Толщина покрытия, мкм, при условиях эксплуатации			
	легких	средних	жестких	особо жестких
Сталь углеродистая низко- и среднелегированная				
Цинковое с любым наполнением	6	15	15	15
Кадмиевое с любым наполнением	6	15	24	30
Химическое никелирование	15	25	24	24
Никелевое по подслою меди	9; 6	24/9	30/12	36/15
Хромовое по подслою никеля	15/1	27/1	–	–
Хромовое молочное	12	36	48	60
Хромовое по медно-никелевому подслою	9/6	24/9	30/12	36/15
Олово-висмутовое по никелевому подслою	9/6	18/9	–	–
Олово-висмутовое по подслою меди	9/6	24/9	30/12	–
Оловянное по никелевому подслою	9/3	18/3	–	–
Олово-свинцовое по никелевому подслою	9/6	18/6	–	–
Олово-свинцовое по медному подслою	9/6	24/9	30/9	36/9
Олово-никелевое по медному подслою	9/6	24/9	30/12	36/15
Медь и ее сплавы				
Серебряное	3	6	9	12
Серебряное по никелевому подслою	3/3	3/6	3/9	3/9
Серебро-сурьмянистое	3	6	9	9
Серебро-палладиевое	3	6	6	9
Палладиевое по никелевому подслою	6/2	9/2	12/2	12/2
Серебро-палладиевое по серебряному подслою	3/2	6/2	6/3	9/3
Золото по серебряному подслою	6/3	6/3	9/3	9/3

Продолжение табл. 25

Вид покрытия	Толщина покрытия, мкм, при условиях эксплуатации			
	легких	средних	жестких	особо жестких
Золотое по никелевому подслою	3/3	3/3	6/3	6/3
Алюминий и его сплавы				
Хромовое по подслою меди и никеля	18/1	–	–	–
Кадмиевое хроматированное по подслою никеля	12/6	18/18	–	–
Цинковые сплавы				
Хромовое по подслою никеля	6/1	9/1	12/1	15/1
Молибден и его сплавы				
Никелевое	6	9	15	18
Хромовое	6	9	12	18

Примечание: В числители дана толщина подслоя, в знаменателе – толщина условного покрытия.

Для резьбовых крепежных деталей вид и толщину покрытия выбирают согласно табл. 26, а для деталей с тугой резьбой толщина покрытия должна быть 3 – 6 мкм независимо от натяга и диаметра резьбы. Калибровка резьбы после нанесения покрытия не допускается.

Для деталей, выполненных по 8-му и 9-му квалитетам точности, толщина покрытий выбирается в соответствии с табл. 27.

26. Вид и толщина покрытия для резьбовых деталей

Шаг резьбы, мм	Покрытие	
	вид	толщина, мкм
Сталь углеродистая, низко- и среднелегированная		
До 0,45	Цинковое:	
	Хроматированное	3 – 6
	Фосфатированное	3 – 6
0,5 – 0,75	Кадмированное, хроматированное или фосфатированное	3 – 6
	Хромовое по подслою никеля	1 (3)
0,8 и более	Кадмиевое хроматированное по никелевому подслою	6 (1)
	Цинковое (кадмиевое) хроматированное или фосфатированное	9

Примечание: В скобках указана толщина, мкм, подслоя.

27. Вид и толщина покрытия для деталей, выполненных по 8-му и 9-му квалитетам точности

Диаметр или размер детали, мм	Покрытие	
	вид	толщина, мкм
До 5,0	Цинковое (кадмиевое) хроматированное или фосфатированное	6
≥ 5,0	Цинковое (кадмиевое) хроматированное или фосфатированное	9
	Кадмиевое хроматированное по никелевому подслою	6 (1)

Примечание: В скобках указана толщина, мкм, подслоя.

Для нанесения защитных металлопокрытий методом натирания отрицательный полюс источника постоянного тока соединяется с обрабатываемой деталью, а положительный – с контактной щеткой (материал щетки выбирают в зависимости от вида наносимого покрытия). Для нанесения покрытия на мелкие детали применяют заостренные наконечники, а на крупные детали - наконечники чашеобразной формы. Медь и ее сплавы активируют 10 %-ным (по объему) раствором HBF_4 (перед покрытием во фтоборатных электролитах) или 3 %-ным (по объему) раствором H_2SO_4 (перед покрытием в щелочных или цианистых электролитах). Углеродистые и низколегированные стали активируют протиранием 5 %-ным раствором соляной кислоты с последующей промывкой в воде и повторным протиранием 10 %-ным раствором NaOH. Хромистые и никелевые стали активируют путем натирания тонкого слоя (покрытия) в электролите, содержащем хлорид никеля и соляную кислоту (по 30 ... 60 г/л каждого) при напряжении 6 В, с помощью угольного анода. Составы электролитов приведены в табл. 28.

28. Составы электролитов для нанесения покрытий натиранием

Покрытие	Компоненты	Содержание, г/л	Плотность катодного тока, $А/дм^2$	Материал анода	Коэффициент покрытия, К
Cd	CdO	22 – 37	1,5 – 2,5;	Cd,	1,25;
	NaCH	90 – 150	2,0 – 2,5	12Х18Н9Т,	0,63
	NaOH	7,5 – 22		уголь	
	Na_2CO_3	70 – 25			
Zn	$Zn(CH)_2$	60 – 75	1,5 – 2,5;	Zn,	1,25;
	NaCH	38 – 45	2,0 – 2,5	12Х18Н9Т,	0,63
	NaOH	75 – 110		уголь	
	$Zn(BF_4)_2$	48 – 50	2,0 – 2,5	Уголь	0,63
	HBF_4	30 – 45			
	NH_4Cl	15 – 37			
Sn	$Sn(BF_4)_2$	48 – 50	0,2 – 0,25	Sn и уголь	0,63
	HBF_4	105 – 135			
	Желатин	3,0 – 4,5			
	β-нафтол	0,6 – 0,75			
	H_3BO_3	До насыщения			
Cu	$NaCu(CN)_2$	22 – 60	0,2 – 0,25	Cu,	0,9
	NaCN	30 – 75		12Х18Н9Т,	
	Na_2CO_3	30 – 75		уголь	
	Сегнетова соль	45 – 75			

Продолжение табл. 28

Покрытие	Компоненты	Содержание, г/л	Плотность катодного тока, А/дм^2	Материал анода	Коэффициент покрытия, К
Cu	$K_4P_2O_7$ CuP_2O_7 NH_4OH (до pH = 8,6-8,9)	337 – 375 90 – 105 –	1,5 – 2,5	Cu и уголь	2,1
Ni	Сульфамат никеля Кислота борная Блескообразователь	525 – 600 До насыщения Произвольно	2,0 – 2,5	Ni и уголь	0,75
	$Ni(BH_4)_2$ H_3BO_3	48 – 50 До насыщения	0,1 – 0,3	Ni и уголь	1,0
Au	KCN $KAu(CN)_2$ K_2HPO_4 K_2CO_3	15 – 22 15 – 22 15 – 22 30 – 37	0,1 – 0,3	Au, 12Х18Н9Т, уголь	1,0

НАНЕСЕНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ПОКРЫТИЙ

Многофункциональные комплексные покрытия создаются для одновременного обеспечения эксплуатационных требований по совокупности параметров. При этом достигается более высокая эффективность покрытия по сравнению с использованием только одного из традиционных способов. В основном такие покрытия создаются для повышения износостойкости с одновременным достижением попутных результатов, например, снижением вредного влияния водорода, снижением коэффициента трения, улучшения прирабатываемости и т.д.

Для эффективного повышения износостойкости деталей машин и инструментов в условиях действия активных сред, эксплуатация в которых приводит к насыщению поверхностных слоев водородом, эффективна обработка по схеме, приведенной на рис. 2.

Наибольшая износостойкость покрытия достигается в результате ЭИЛ совокупностью электродов из хрома, молибдена и вольфрама или твердым сплавом ВК6–ОМ при числе разрядов на 1 см^2 упрочняемой поверхности, равном 290-320. Дополнительный эффект защиты от действия водорода обеспечивается применением медных или кадмиевых покрытий. При этом соотношение площадей медного покрытия и упрочняемой подложки должно составлять от 2:1 до 1:5 в зависимости от условий эксплуатации.

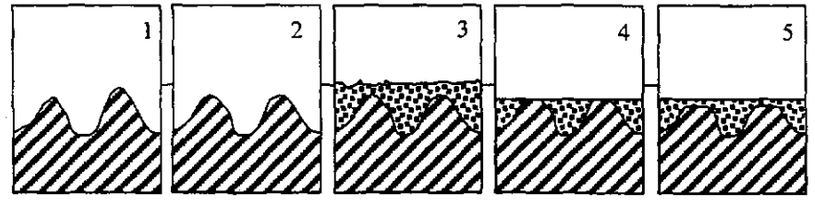


Рис. 2. Схема создания защитно-антифрикционного покрытия:
1 – ЭИЛ и формирование исходного микрорельефа; *2* – удаление дефектного слоя эластичным шлифованием; *3* – электрохимическое нанесение покрытия; *4* – снятие поверхностного слоя с обнажением упрочненной подложки; *5* – формирование антифрикционных пленок при эксплуатации

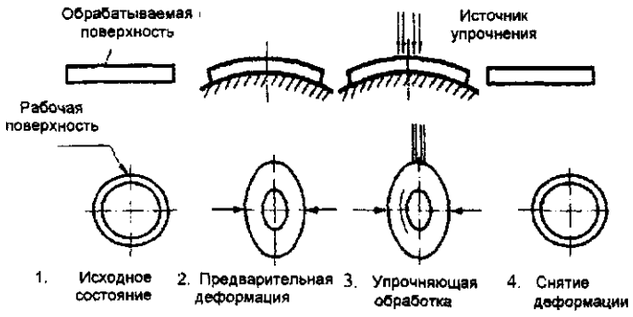


Рис. 3. Схемы упрочняющей обработки деталей пластинчатой (вверху) и кольцевой (внизу) формы с созданием регламентированного уровня остаточных напряжений

Для одновременного управления уровнем остаточных напряжений и защиты поверхностей от износа и коррозионного воздействия покрытие наносится по схеме, приведенной на рис. 3. Поверхность упрочняют ЭИЛ или лучом лазера; при этом упрочняемую деталь деформируют для создания в зоне действия электрических разрядов растягивающих напряжений. После завершения обработки деформирующую нагрузку снимают, образцы приобретают исходную форму, а в их поверхностных слоях образуются благоприятные по величине остаточные напряжения сжатия и достигается повышенная глубина проникновения легирующих элементов.

Наиболее благоприятное сочетание параметров микротвердости, шероховатости, остаточных напряжений сжатия обеспечивается при следующих режимах: предварительная деформация 0,15 – 0,20 %; сила тока короткого замыкания 0,8 – 1,5 А; число разрядов 290 – 310 на 1 см^2.

ЭИЛ позволяет осуществлять многокомпонентное легирование поверхностного слоя и получать многослойные покрытия. В табл. 29 приведен состав и характеристики упрочняемых слоев некоторых многокомпонентных покрытий.

29. Назначение и характеристики многокомпонентных и многослойных покрытий, получаемых ЭИЛ

Легирующие элементы (в скобках) и состав легированного слоя	Назначение обработки	Характеристики поверхностного слоя
Многокомпонентные покрытия на титановом сплаве ВТ20		
(Cr, W, Mo) 47 % Ti, 34 % Cr, 3 % W, 16 % Mo	Повышение износостойкости	*Ra* 0,82; H_μ = 7340 МПа; H_y = 7,5 мкм
(Cu, Zr) 76 % Cu, 19 % Zr	Повышение антифрикционных свойств	*Ra* 1,67; H_μ = 3210 МПа; H_y = 17,2 мкм
(Cr, Al) 7 % Ti, 24 % Cr, 43 % Al	Повышение жаростойкости	*Ra* 0,61; H_μ = 6450 МПа; H_y = 10,4 мкм
Многослойные покрытия на титановом сплаве ВТ20		
(Co, БрОС10-10)	Повышение сопротивления изнашиванию при фреттинг-коррозии	*Ra* 1,96; H_μ = 3520 МПа; H_y = 12,5 мкм
(ВК 6-М), Sn	Повышение антифрикционных свойств	*Ra* 2,7; H_μ = 1560 МПа; H_y = 21,5 мкм
Многокомпонентное покрытия на сплаве ХН77ТЮР		
(Ta, Ti, Al)	Повышение сопротивления изнашиванию при высоких температурах	*Ra* 1,06; H_μ = 6050 МПа; H_y = 9,5 мкм

Комбинированные способы упрочнения, реализуемые на базе ЭИЛ, направлены, в первую очередь, на снижение шероховатости поверхности, дополнительное упрочнение и повышение сопротивлению усталости. Это достигается, в частности, использованием алмазного выглаживания упрочняемых слоев. Некоторые характеристики поверхностных слоев приведены в табл. 30.

30. Состояние поверхностного слоя после ЭИЛ и обработки выглаживанием

Материал		$Ra_н$	$Ra_л$	$Ra_в$	$H_{μл}$, МПа	$H_{μв}$, МПа
подложки	легирующего электрода					
Х12М ($H_{μ\,и}$ = 7200 МПа)	ВК6-м	0,63	1,48	0,15	9200	9350
	Ta		1,63	0,10	7900	7900
	Mo		1,32	0,10	7450	7550
	ВК6-м, БрО10С10		1,72	0,10	5250	6350
ВТ20 ($H_{μ\,и}$ = 3860 МПа)	ВК6-м	0,52	1,60	0,25	6650	6850
	Ta		1,93	0,40	10350	6950
	Mo		2,03	0,35	8850	7050
	Al		1,26	0,25	8850	6300
	Nb		1,94	0,34	6650	6350
	NbC		1,93	0,30	5850	4600
ХН77ТЮР ($H_{μ\,и}$ = 4170 МПа)	Mo	0,59	1,33	0,25	3900	4950
	W		1,35	0,20	5850	5200
	Ti		1,63	0,20	3100	4200
	Ta, Ti, Al		1,09	0,10	3970	4450

Примечание: $Ra_н$, $Ra_л$, $Ra_в$ – параметры шероховатости исходной, легированной и выглаженной поверхностей соответственно; $H_{μл}$, $H_{μв}$, $H_{μ\,и}$ – микротвердость исходной, легированной и выглаженной поверхностей соответственно.

Выглаживание целесообразно выполнять без смазочного материала, поскольку попадание его в микротрещины, образующиеся в процессе ЭИЛ, и последующая пластическая деформация в этих условиях могут снизить эффект, достигаемый выглаживанием.

Перспективным способом комбинированного упрочнения является сочетание ЭИЛ с фрикционным нанесением различных материалов (алюминия, титана, бронз, латуней, циркония, тантала, железа и др.). Схема такой обработки (рис. 4) включает фрикционное нанесение покрытия, осуществляемое колодкой *3*, вибрирующей параллельно оси детали *2* с амплитудой *a*. Колодка поджимается к обрабатываемой поверхности силой P = 20...200 Н и перемещается в направлении подачи S одновременно с легирующим электродом *1*. Для обеспечения требуемой шероховатости в эту схему может быть включено алмазное выглаживание.

Весьма эффективен способ электродеформационного упрочнения, представляющий термомеханическую обработку, сочетающуюся с поверхностным ЭИЛ. Это позволяет одновременно с достижением высокой степени упрочнения снизить шероховатость обрабатываемых поверхностей, создать в поверхностных слоях благоприятные остаточные напряжения сжатия и повышенную коррозионную стойкость обрабатываемых изделий. Такая обработка может выполняться по двум схемам – эксцентрично установленным вращающимся электродом или диском – электродом с токоизолированными роликами.

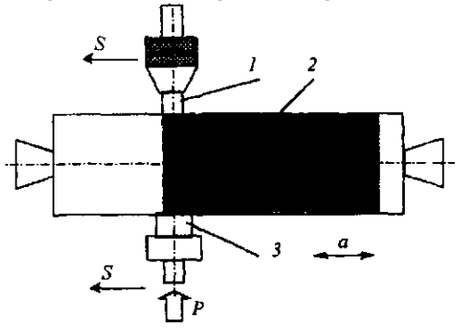


Рис. 4. Схема комбинированного упрочнения совмещением фрикционного действия и ЭИЛ

31. Режимы выполнения электродеформационной обработки

Виды обработки	Режимы выполнения электроискровой обработки					Необходимость назначения финишных операций
	$I_{к.з}$, А	$n_р$, 1/см^2	$n_э$, 1/с	окружная скорость электрода, м/с	e, мм	вылет деформируемых роликов	
Эксцентрично установленным электродом	3,8 – 4,0	290 – 300	1200 – 1500	–	0,4 – 0,5	–	Эластичное шлифование на глубину 30 – 40 мкм, алмазное выглаживание
Электродом с деформирующими роликами	3,8 – 4,0	290 – 300	–	4 – 5	–	3 – 5	Эластичное шлифование на глубину 10 – 15 мкм

Примечание: $I_{к.з}$ – ток короткого замыкания; $n_р$ – число разрядов на 1 см^2 упрочняемой поверхности; $n_э$ – частота вращения электрода; e – эксцентриситет установки электрода.

32. Изменение напряжений второго рода, дисперсности микроструктуры и глубина диффузии легирующих элементов в результате упрочняющей обработки

Вид упрочняющей обработки	Микротвердость, HV	Глубина упрочненной зоны, мм	Ra	Относительная износостойкость, $\frac{l_{исх}}{l_{упр}}$	Микродеформация кристаллической решетки, $\frac{\Delta a}{a} \times 10^{-3}$, рад	Размеры блоков мозаики, $D_{hkl} \times 10^{-6}$, см	Глубина диффузии легирующих элементов, мкм	
							W	Co
Исходная поверхность	400 – 420	–	0,8 – 1,25	–	1,2	4,1	–	–
Электроискровое легирование сплавом ВК6-ОМ (ЭИЛ)	790 – 820	0,15 – 0,30	3,2 – 3,3	1,3 – 1,5	1,4	4,1	100 – 120	120 – 150

Продолжение табл. 32

Вид упрочняющей обработки	Микротвердость, HV	Глубина зоны упрочнения, мм	Ra	Относительная износостойкость, $\frac{l_{исх}}{l_{упр}}$	Микродеформация кристаллической решетки, $\frac{\Delta a}{a} \times 10^{-3}$, рад	Размеры блоков мозаики, $D_{ИКЛ} \times 10^{-6}$, см	Глубина диффузии легирующих элементов, мкм	
							W	Co
Плазменное упрочнение:								
однократное – Q_n = 0,23 кДж/см	780 – 810	0,25 – 0,30	Не изменяется	1,5 – 1,6	1,5	3,0	–	–
Q_n = 0,27 кДж/см	810 – 830	0,40 – 0,45					–	–
трехкратное – Q_n =0,23 кДж/см	870 – 900	0,40 – 0,45	Не изменяется	1,8 – 1,9	3,1	2,1	–	–
Q_n =0,27 кДж/см	900 – 920	0,50 – 0,55					–	–
Комплексное упрочнение:								
ЭИЛ+ однократное плазменное								
воздействие – Q_n =0,23 кДж/см	830 – 850	0,20 – 0,25	2,8 – 2,9	2,0 – 2,1	2,6	3,8	170 – 180	180 – 200
Q_n =0,27 кДж/см	850 – 880	0,40 – 0,45	2,5 – 2,6				200 – 220	220 – 240
ЭИЛ+ трехкратное плазменное								
воздействие – Q_n =0,23 кДж/см	950 – 980	0,40 – 0,45	2,7 – 2,8	2,2 – 2,3	2,0	1,6	230 – 250	260 – 280
Q_n =0,27 кДж/см	960 – 980	0,55 – 0,60	2,5 – 2,6				260 – 280	300 – 320

Рекомендуемые режимы нанесения покрытия приведены в табл. 31.

Эффективной является комбинированная обработка, сочетающая лазерное воздействие с последующим поверхностным пластическим деформированием для снижения влияния на износостойкость отпускных зон пониженной твердости на границах лазерных треков, выполненных без перекрытия, а также устранения в этих зонах неблагоприятных остаточных напряжений растяжения.

Дополнительное накатывание зон отпуска позволяет повысить износостойкость до 20 % без ухудшения антифрикционных свойств лазерно-упрочняемых слоев. В условиях же граничной смазки такая обработка позволяет в ряде случаев повысить износостойкость на порядок.

Перспективным является применение комплексного упрочнения, включающего в себя ЭИЛ и последующую многократную плазменную обработку. В результате достигается благоприятное сочетание физико-механических свойств поверхностных слоев и наблюдается повышение уровня микротвердости, остаточных напряжений, дисперсности микроструктуры. Кроме того, возрастает толщина поверхностного слоя, насыщенного легирующими элементами.

Наибольший эффект достигается при числе разрядов на 1 см^2 упрочняемой поверхности, равном 320 – 340, силе тока короткого замыкания 3,8 – 4,0 А и трехкратной плазменной обработке с погонной мощностью плазменной струи 0,23 – 0,27 кДж/см. В качестве легирующих электродов рекомендуется использовать твердые сплавы или комплекс карбидообразующих металлов.

Свойства упрочненных указанным способом поверхностных слоев характеризуются данными, приведенными в табл. 32.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Барвинок В. А.** Управление напряженным состоянием и свойствами плазменных покрытий. М.: Машиностроение, 1990. 384 с.

2. **Бородин И. Н.** Порошковая гальванотехника. М.: Машиностроение, 1990. 240 с.

3. **Верещака А. С. , Третьяков И. П.** Режущие инструменты с износостойкими покрытиями. М. : Машиностроение, 1986. 192 с.

4. **Власов В. М.** Работоспособность упрочненных трущихся поверхностей. М.: Машиностроение, 1987. С. 304. ил.

5. **Гурьянов Г. В.** Электроосаждение износостойких композиций. Кишинев: Штиинца, 1985. 237 с.

6. **Качество** машин: Справочник в 2 т. Т. 2/ А. Г. Суслов, Ю. В. Гуляев, А. М. Дальский и др. М.: Машиностроение, 1995. 430 с.

7. **Мельников П. С.** Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении. М.: Машиностроение, 1991. 384 с.

8. **Молчанов В. Ф.** Восстановление и упрочнение деталей автомобилей хромированием. М.: Транспорт, 1981. 175 с.

9. **Повышение** износостойкости на основе избирательного переноса / Под ред. Д. Н. Гаркунова. М.: Машиностроение, 1977. 215 с.

10. **Повышение** качества поверхностей и плакирование металлов. М.: Металлургия, 1984. 386 с.

11. **Полевой С. Н., Евдокимов В. Д.** Упрочнение машиностроительных материалов: Справочник. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1994. 496 с.: ил.

12. **Поляк М. С.** Технология упрочнения. В 2 т. М.: Машиностроение, 1995.

13. **Сайфуллин Р. С.** Неорганические композиционные материалы. М.: Химия, 1983. 300 с.

14. **Удовицкий В. И.** Пористые композиционные покрытия. М.: Машиностроение, 1991. 140 с.: ил.

15. **Упрочнение** поверхностей деталей комбинированными способами / А. Г. Бойцов, В. Н. Машков, В. А. Смоленцев, Л. А. Хворостихин. М.: Машиностроение, 1991. 144 с.

16. **Электродные** материалы для электроискрового легирования / А. Д. Верхотуров, И. А. Подчерняева, Л. Ф. Прядко, Ф. Ф. Егоров. М.: Наука, 1988. 224 с.

17. **Электроосаждение** металлических покрытий: Справочное издание. М. А. Беленький, А. Ф. Иванов. М.: Металлургия, 1985. 288 с.

Глава 9 ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Термическая обработка металлов и сплавов представляет собой технологические операции, реализующие разнообразные способы теплового воздействия на металл, находящийся в твердом состоянии. В том случае, когда тепловая обработка сочетается с химическим или механическим воздействием, операции называются *химико-термической* и *термомеханической обработками*.

Цель термической обработки – изменение структуры материала для придания ему необходимых механических, физико-химических или технологических свойств.

Термической обработкой достигается изменение прочности и пластичности материалов, обеспечивается высокая надежность и долговечность деталей и конструкций, стабилизация их размеров, придаются особые свойства: жаропрочность, жаростойкость, коррозионная стойкость, износостойкость и др. Термическая обработка специально используется для улучшения технологических свойств материалов: ковкости, штампуемости, обрабатываемости резанием, шлифуемости, свариваемости, прокаливаемости и др.

По характеру фазовых и структурных изменений и условиям теплового воздействия различаются следующие *виды термической обработки*: отжиг первого и второго рода, закалка, отпуск и старение.

По характеру обрабатываемых участков изделий: объемные, поверхностные, местные и последовательные термические операции.

По месту термической операции в общезаводском процессе изготовления: предварительные, промежуточные и окончательные.

По связям со смежными процессами: преемственные и совмещаемые.

Выбор вида термической обработки определяется тем комплексом свойств, которые необходимо получить от металла и изделия.

При разработке рациональной технологии термической обработки изделий необходимо иметь в виду, что приводимые в справочной литературе сведения о режимах термической обработки и получаемых свойств являются до некоторой степени ориентировочными.

Это обусловлено тем, что они не могут в должной мере учитывать многообразие форм и размеров изделий.

В технологии необходимо также регламентировать продолжительность нагрева и выдержки изделий. Время должно быть достаточным для завершения структурных изменений материала. Оно зависит от множества факторов: конфигурации изделий, величины садки, способов укладки изделий и др.

Виды термической обработки

Отжиг – термическая операция, заключающаяся в нагреве материала до определенной температуры, выдержке при ней и последующим медленным, обычно с печью, охлаждением со скоростью 30 ... 200 °С/ч.

Различают отжиги первого и второго рода.

Отжиг первого рода. Отжиг не связан с фазовыми превращениями материала в твердом состоянии. Как правило, фазовые превращения (перекристаллизация) отсутствуют при этом виде термической обработки. Отжиг проводится с целью уменьшения остаточных напряжений в изделиях, рекристаллизации пластически деформированных материалов, выравнивания химического состава по объему в слитках или отливках. В зависимости от целевого назначения существует несколько видов отжига:

1. *Отжиг для снятия остаточных напряжений.*

Отжигу подвергаются полуфабрикаты изделий, находящиеся в напряженном состоянии, вызванном технологическими особенностями их получения. Отжигают отливки, поковки, прокат, неравномерно охлажденные при этих операциях, холодно деформированные заготовки, сварные соединения и т.д. *Цель отжига* – уменьшение остаточных напряжений. Температура отжига обычно невелика и составляет для стальных и чугунных изделий до 600 °С, для изделий из сплавов на основе меди и алюминия 250 ... 300 °С.

2. *Отжиг рекристаллизационный.*

Отжигу подвергаются изделия или полуфабрикаты после пластической деформации. *Цель отжига* – снижение твердости и восстановление пластичности деформированного материала, получение заданного размера зерна. Отжиг часто применяют в качестве межоперационной смягчающей обработки при холодной прокатке, волочении и других операциях холодного деформирования. Температура отжига обычно берется на 100 ... 200 °С выше температуры рекристаллизации материала.

3. *Отжиг диффузионный (гомогенизация).*

Отжиг применяется для крупных стальных отливок, слитков легированных сталей, а также слитков многих алюминиевых сплавов. В результате отжига выравнивается химическая неоднородность и уменьшается ликвация. Отжиг проводится при высоких температурах с длительной выдержкой. Для остальных слитков температура отжига составляет 1100 ... 1300 °С с выдержкой 20 ... 50 ч. Отжиг слитков алюминиевых сплавов проводят при 420 ... 520 °С в течение 20 - 30 ч.

Отжиг второго рода. Отжиг проводится в условиях фазовых превращений (перекристаллизация). В сталях в процессе охлаждения при отжиге происходит распад аустенита с образованием равновесных структур. Отжигом достигается снижение твердости и повышение пластичности и вязкости материала. Отжиг применяется для слитков, проката, поковок с целью снижения внутренних напряжений, улучшения обрабатываемости резанием, устранение дефектов структуры (полосчатость, крупно и разнозернистость, Видмаштетовая структура) и подготовке их к последующей термической обработке.

Отжиг может быть: полный, неполный, изотермический, сфероидизирующий и нормализационный (нормализация).

1. *Отжиг полный* проводится для доэвтектоидных сталей при температуре выше Ac_3 на 30 … 50 °С с целью получения равновесной перлитной структуры после полной перекристаллизации. Исправляется структура, снижается твердость.

2. *Отжиг неполный.* Температура отжига лежит в интервале превращений между Ac_1 и Ac_3 (Ac_m), используется для заэвтектоидной стали (сортовой прокат, поковки) с целью снятия внутренних напряжений и улучшения обрабатываемости резанием.

3. *Отжиг изотермический* осуществляется нагревом деталей до температуры Ac_3, Ac_1 и Ac_m (соответственно для сталей доэвтектоидных, эвтектоидных и заэвтектоидных), выдержкой при температуре ускоренного охлаждения до температуры минимальной устойчивости аустенита с выдержкой при этой температуре до окончательного распада аустенита и последующего охлаждения на воздухе. По результатам изменения физико-механических свойств изотермический отжиг аналогичен полному отжигу, но продолжительность его существенно меньшее. Экономически выгодно подвергать такому отжигу высоколегированные стали.

4. *Отжиг сфероидизирующий* проводится при циклическом изменении температуры около точки Ac_1 или несколько ниже ее. Отжиг обеспечивает получение зернистого цементита (перлита) и уничтожение цементитной сетки у заэвтектоидных сталей. Он приводит к снижению твердости, повышению пластичности и вязкости материала. Применяется главным образом для улучшения обрабатываемости резанием высокоуглеродистых сталей.

5. *Нормализация* является разновидностью полного отжига и отличается от него более ускоренным (на воздухе) охлаждением. Соответственно получается более мелкозернистая структура с повышенной твердостью. Нормализации подвергают поковки, штамповки и некоторые виды фасонного литья из углеродистых и легированных конструкционных сталей с малым и средним содержанием углерода.

Закалка – термическая операция, включающая нагрев материала до определенной температуры, выдержку и последующее быстрое охлаждение, обеспечивающее получение неравновесной структуры. Закалке могут подвергаться только сплавы, имеющие переменную растворимость в твердом состоянии, полиморфное превращение или претерпевающие распад высокотемпературного твердого раствора по эвтектоидной реакции.

Закалке подвергают конструкционные и инструментальные сплавы с целью их упрочнения. Сильно упрочняются непосредственно после закалки сплавы, имеющие в равновесных условиях эвтектоидное превращение. Упрочнение достигается вследствие образования при

закалке мартенсита или получения мелкодисперсного эвтектоида. В случае фиксации после закалки пересыщенного твердого раствора максимальное упрочнение сплава достигается лишь при последующем старении. В соответствии с этим принято рассматривать два типа закалок.

1. ***Закалке с полиморфным превращением*** подвергают большинство сталей, а также двухфазные алюминиевые бронзы и многие сплавы на основе титана. Эти материалы в равновесных условиях имеют эвтектоидное превращение. После закалки они получают *преимущественно структуру мартенсита*. Закалку доэвтектоидных сталей проводят при температуре Ac_3 + (30 ... 50 °С), а заэвтектоидных – при температуре Ac_1 + (30 ... 50 °С). Скорость охлаждения должна быть выше критической.

2. ***Закалка без полиморфного превращения*** состоит в нагреве сплава до температуры растворения избыточных фаз, выдержке и быстром охлаждении с целью предотвращения распада твердого раствора и сохранения его в пересыщенном состоянии при комнатной температуре. После закалки сплавов проводят их старение.

Разновидности закалок. По условиям нагрева и охлаждения при закалке, а также изменению структуры по объему и поверхности изделий различают несколько видов закалок:

1. *Закалка полная.* Закалка стали из области аустенитного состояния, т.е. температура закалки выше Ac_3 и Ac_m. Полной закалке подвергают доэвтектоидные и заэвтектоидные стали.

2. *Закалка неполная* проводится с температур выше Ac_3 и Ac_m. В этом случае после закалки кроме мартенсита в структуре доэвтектоидной стали содержится феррит, а в заэвтектоидной стали – карбиды. Неполная закалка применяется для заэвтектоидных сталей.

3. *Закалка объемная.* Нагрев и охлаждение под закалку осуществляют всего изделия.

4. *Закалка местная.* Закалке подвергают только части детали.

5. *Закалка поверхностная.* Обычно в этом случае используют нагрев токами высокой частоты поверхностного слоя детали.

6. *Закалка ступенчатая.* Охлаждение проводится в среде, обеспечивающей скорость охлаждения в области минимальной устойчивости аустенита выше $v_{кр}$. Затем в этой среде при температуре выше M_H на 20 ... 30 °С делается выдержка (ступень) до начала изотермического распада аустенита с целью выравнивания температуры по сечению изделия и уменьшения остаточных напряжений. Далее следует быстрое охлаждение стали с образованием мартенсита.

7. *Закалка изотермическая на троостит* проводится по режиму, аналогичному ступенчатой закалке, однако выдержка при температуре M_H на 20 ... 100 °С должна обеспечить полный распад аустенита с образованием игольчатого троостита. После такой закалки не требуется проведение последующего отпуска. Закалка обеспечивает высокие механические свойства при минимальном короблении изделия.

8. *Закалка изотермическая на сорбит.* Условия охлаждения аналогичны изотермической закалке на троостит. Однако температура изотермической выдержки лежит на 50 ... 100 °С ниже температуры наименьшей устойчивости аустенита. Процесс обеспечивает получение требуемых механических свойств при минимальной деформации деталей. Применительно к термической обработке проволоки этот процесс называется *патентированием*.

9. *Закалка прерывистая.* Охлаждение проводится сначала в среде с высокой, а затем с низкой охлаждающей способностью. Например, закалка с переносом деталей из воды в масло. Закалка используется для крупных и сплошных деталей с целью уменьшения их коробления.

10. *Закалка с подсуживанием.* Операцию осуществляют путем медленного охлаждения (подсуживания) с температуры нагрева детали до температуры близкой к Ac_3 и последующей закалки. Закалке с подсуживанием подвергают стали с природно-мелким зерном, а также детали после цементации с целью снижения в закаленном слое остаточного аустенита и уменьшения остаточных напряжений.

11. *Закалка с самоотпуском* проводится путем прерывания процесса охлаждения с тем, чтобы за счет остаточного внутреннего тепла происходил отпуск закаленного поверхностного слоя деталей. Закалка с самоотпуском применяется для изделий простой формы.

12. *Закалка с обработкой холодом.* Охлаждение при закалке ниже комнатной температуры. Цель – уменьшение остаточного аустенита после закалки. Обработке подвергают легированные стали с высокой устойчивостью аустенита.

13. *Закалка светлая* проводится с использованием защитной атмосферы в процессе нагрева, выдержки и светлокалящего масла при охлаждении с целью предохранения поверхности изделия от окисления и обезуглероживания.

14. *Закалка чистая* аналогична светлой закалке, но используются любые закалочные среды. На поверхности деталей в этом случае имеются цвета побежалости или пригар масла.

15. *Закалка под давлением* чаще всего осуществляется в штампах. Основное назначение - уменьшение коробления "тонких" деталей.

Отпуск закаленных деталей. Отпуск является обязательной операцией после закалки с полиморфным превращением. Он состоит в нагреве закаленной стали до температуры Ac_1, выдержке и последующем охлаждении, как правило, на воздухе. Цель отпуска заключается в переводе неравновесной структуры закаленного состояния в более равновесное. При отпуске происходит последовательный переход мартенсита в мартенсит отпуска, затем в троостит, сорбит и перлит. Если в структуре после закалки кроме мартенсита присутствует остаточный аустенит, то при отпуске он будет переходить в мартенсит, а далее превращения идут по выше приведенной схеме.

Отпуск используется для снятия высоких остаточных напряжений, возникающих при закалке и получении структуры, обеспечивающей требуемый комплекс механических свойств.

По условиям нагрева и характеру превращений отпуск подразделяется на низкий, средний и высокий.

1. *Низкий отпуск* проводится при температуре 120 ... 250 °С. Продолжительность выдержки при отпуске устанавливается из условий обеспечения стабильности свойств стали и объемных изменений деталей при эксплуатации. Обычно выдержка тем длиннее, чем ниже температура отпуска. Она может длиться от 0,5 до 15 ч. Цель низкого отпуска состоит в сохранении высокой твердости и уменьшении остаточных напряжений, возникших при закалке. При отпуске получают структуру - мартенсит отпуска. Низкому отпуску подвергают инструментальные, углеродистые и легированные стали, а также детали, прошедшие перед закалкой цементацию, нитроцементацию, или детали, подвергнутые поверхностной закалке.

2. *Средний отпуск* проводится при температуре 350 ... 450 °С. Выдержка при отпуске обычно составляет 1 ... 2 ч для деталей небольшого сечения и 3 ... 8 ч для крупных деталей массой 200 ... 1000 кг. Среднему отпуску обычно подвергают изделия, работающие при значительных динамических нагрузках: рессоры, пружины и другие упругие элементы. При среднем отпуске получают трооститную структуру, обладающую высокими упругими характеристиками. Отпуск в районе температур выше 250 и ниже 350 °С не проводят, так как все стали независимо от степени их легирования при таком отпуске имеют пониженное значение ударной вязкости (*отпускная хрупкость первого рода*).

3. *Высокий отпуск* проводят при температуре 500 ... 680 °С. Продолжительность его составляет от одного до нескольких часов. У легированных конструкционных сталей (хромистых, марганцевых, хромоникелевых и др.) при охлаждении деталей на воздухе наблюдается снижение ударной вязкости (*отпускная хрупкость второго рода*). Для устранения этого явления используют быстрое охлаждение (в воде или масле) деталей от температуры отпуска или применяют стали, дополнительно легированные в малых количествах молибденом либо вольфрамом.

Сочетание закалки с высоким отпуском называют *улучшением*. После высокого отпуска, в зависимости от состава стали, образуется структура либо сорбита, либо мартенсита отпуска. На сорбит обрабатывают изделия, работающие главным образом на растяжение и сжатие при относительном равномерном распределении нагрузок по всему сечению изделия. Улучшению подвергают изделия типа валов, полуосей, шатунов, крепежные детали и др.

4. *Отпуск многократный* осуществляется путем проведения последовательно нескольких отпусков. Применяют главным образом при термической обработке инструментальных сталей. Цель – обеспечение наиболее полного превращения остаточного аустенита и повышения твердости материалов.

Старение проводят после закалки (без полиморфного превращения). Структура после закалки представляет собой пересыщенный твердый раствор. *Естественное старение* осуществляют путем вылеживания деталей при комнатной температуре; *искусственное старение* технологически аналогично отпуску. *Основная цель старения* – повышение твердости и прочности материалов.

В случае использования цветных сплавов, например, дуралюминов, естественное старе-

ние проводят в течение нескольких суток. При искусственном старении детали нагревают до температуры 200 °С, выдерживают несколько часов и охлаждают на воздухе. Упрочнение достигается в основном вследствие образования *зон Гинье-Престона.*

Старение коррозионно-стойких и жаропрочных сталей проводят после аустенизации. Температура старения для сталей большинства марок находится в интервале 650 ... 850 °С. Продолжительность старения составляет 4 ... 100 ч. Эффект упрочнения этих материалов достигается выделением из твердого раствора избыточных фаз в мелкодисперсном состоянии (*дисперсионное твердение*). Подобный эффект упрочнения проявляется и у специальных мартенсито-стареющих сталей. Они подвергаются закалке на мартенсит и при последующем старении при 480 ... 520 °С из него выделяются мелкодисперсные частицы вторичных фаз, обеспечивающие основное упрочнение материала.

Химико-термическая и термомеханическая обработки

Химико-термическая обработка – это процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя деталей различными элементами; применяют для повышения твердости, износостойкости трущихся поверхностей деталей, сопротивления усталости и контактной выносливости, а также для защиты от электрохимической и газовой коррозии и эрозии.

Процесс насыщения поверхностных слоев деталей химическим элементом или группой элементов осуществляют в основном из газовой или жидкой среды при высокой температуре. Для его реализации необходимо обеспечить протекание определенных химических реакций в насыщающей среде и получение элемента покрытия в активном, ионизированном состоянии, абсорбцию элемента и последующую его диффузию в атомарном состоянии вглубь насыщаемого металла.

Виды химико-термической обработки:

1. **Цементация (науглероживание).** Это технологический процесс диффузионного насыщения поверхности стальных деталей углеродом на определенную глубину. Его осуществляют путем нагрева детали в науглероживающей среде до аустенитного состояния стали, выдерживают при этой температуре до получения требуемой глубины слоя и затем охлаждают. После цементации проводят закалку и низкий отпуск. Этот комбинированный процесс обеспечивает высокую твердость и износостойкость поверхности деталей в сочетании с высоким сопротивлением ударным нагрузкам.

Концентрация углерода на поверхности цементованных деталей выдерживается в пределах 0,7 – 0,9 %. Глубина цементованного слоя зависит от условий работы деталей. Детали, работающие с малыми давлениями, цементуют на глубину до 0,5 мм. По мере роста нагрузки увеличивают глубину слоя до 1 ... 2 мм и более. Для зубчатых колес среднего размера цементованный слой составляет примерно 15 % толщины зуба.

Цементованные изделия должны иметь после закалки и отпуска твердость 50 ... 62 HRC, а в середине 29 ... 43 HRC.

Цементуемые стали должны обладать высокой прокаливаемостью и закаливаемостью, быть наследственно мелкозернистыми, что обеспечивает возможность непосредственной закалки деталей с подстуживанием их от температуры цементации до 830 ... 860 °С. Применяют главным образом низкоуглеродистые низколегированные стали, отвечающие вышеперечисленным требованиям. К ним относятся стали 20Х, 25Н, 20ХГ и др. Для ответственных деталей используют хромомарганцевые стали: 18ХГТ, 25ХГМ, хромоникельмолибденовые 20ХНМ, 20ХН2М и др. Высоколегированные хромоникелевые стали с 3 ... 4 % Ni (типа 12ХН3А, 12Х2Н4А) используют редко, главным образом для особо ответственных деталей. Рекомендуемое содержание углерода в цементуемых легированных сталях не превышает 0,24 %, но в ряде случаев допускается его увеличение до 0,3 %.

Цементация может осуществляться в широком температурном диапазоне 850 ... 1100 °С, но в основном она проводится при 920 ... 960 °С.

Насыщение поверхности углеродом ранее повсеместно проводилось в *твердом карбюризаторе*, основными компонентами которого являются древесный уголь, углекислый барий и кальций. Деталь и карбюризатор помещают в ящик. Для нагрева используют обычные камерные печи.

Основное достоинство процесса – его универсальность и простота. Не требуется специального оборудования. Поэтому процесс продолжают использовать при мелкосерийном и единичном производстве несмотря на недостатки процесса. К недостаткам процесса относятся: нетехнологичность процесса (исключает регулирование газовый состав среды), отсутствие возможности непосредственной закалки изделий после цементации; загрязнение помещений и др.

В ряде случаев в качестве карбюризатора используют жидкости: бензол, синтин и др. Процесс в этом случае обычно осуществляют в шахтных печах. Основной недостаток процесса – невозможность оперативно регулировать углеродный потенциал.

Для обработки ответственных деталей и в массовом производстве процесс проводят с использованием *газовых карбюризаторов*. Основные преимущества способа состоят в возможности точного регулирования процесса насыщения и осуществления его контроля. Основными составляющими газового карбюризатора являются оксид углерода и метан. Чаще всего в качестве карбюризатора используют комбинированные атмосферы, состоящие из эндогаза и метана (природного газа). Газовую цементацию осуществляют в агрегатах, имеющих специальный генератор для получения эндогаза, систему закалки и отпуска детали.

При всех видах цементации в качестве активной среды выступает газовая среда. Ведущими процесс цементации реакциями, приводящими к появлению активного углерода, являются реакции диспропорционирования

$$2CO \leftrightarrow CO_2 + C,$$

а при наличии метана – дополнительная реакция разложения

$$CH_4 \rightarrow 2H_2 + C.$$

2. Нитроцементация (азотонауглероживание). Процесс одновременного насыщения поверхностного слоя изделия азотом и углеродом. Нитроцементацию используют для повышения износостойкости, сопротивления усталости и контактной прочности изделий. Нитроцементации подвергают изделия из тех же марок сталей, что и при цементации: 15Х, 18ХГТ, 25ХГМ и др. Нитроцементацию осуществляют в газе для цементации с добавкой к нему 2 ... 5 % аммиака. Азот способствует диффузии углерода, и поэтому можно понизить температуру диффузионного насыщения в сравнении с цементацией почти на 100 °С. Это позволяет проводить закалку изделий непосредственно с температуры нитроцементации без подстуживания.

Глубина упрочненного слоя при нитроцементации составляет 0,2 ... 1 мм. Для ее достижения затрачивается такое же время, как и при цементации, но при более низкой температуре. Насыщение на толщину более 1 мм не проводят, так как это приведет к возрастанию хрупкости слоя. Поэтому для получения толстых упрочненных слоев (для тяжело нагруженных деталей) используют цементацию.

Нитроцементованный слой содержит 0,30 ... 5 % азота и 0,5 ... 0,8 % углерода. Состав зависит от режима нитроцементации, и обычно чем толще слой, тем меньше он содержит азота. Основным объектом упрочнения при нитроцементации являются зубчатые колеса. Температура процесса в этом случае составляет 830 ... 860 °С. Для этих целей нитроцементация является более эффективным процессом в сравнении с газовой цементацией.

3. Цианирование. Насыщение поверхностных слоев изделий углеродом и азотом осуществляют в расплаве солей. В качестве основного компонента ванны используют цианид натрия NaCN или калия KCN, а также цианид кальция $Ca(CN)_2$. Различают *высокотемпературное* и *низкотемпературное цианирование*.

Первое обычно проводится при температуре 750 ... 850 °С. При ведении этого процесса необходимо освежение ванны, так как с течением времени происходит ее истощение, т.е. снижение концентрации цианистых солей. При проведении цианирования в течение одного часа можно получить диффузионный слой толщиной примерно 0,3 мм. Из ванны непосредственно после цианирования проводят закалку деталей в масле и затем низкотемпературный отпуск на твердость 57 ... 62 HRC. Цианированию подвергают детали из конструкционных сталей 35Х, 40Х и др. Существенный недостаток цианирования связан с ядовитостью цианистых солей, что требует принятия особых мер предосторожности и препятствует широкому применению процесса в промышленности.

Низкотемпературное цианирование, проводимое при 540 ... 560 °С не имеет этого недостатка. Для ванн используют нетоксичные соли карбонатов и цианатов. Кроме того через жидкую ванну продувают кислород, охлаждение деталей проводят в растворах специальных солей и, таким образом, исключают появление ионов $[CN^-]$.

Данный процесс называется *карбонитрацией*. За рубежом он известен под другими

названиями: *тениферпроцесс, нитрок* и т.д. Карбонитрацию обычно проводят после закалки и высокого отпуска. Продолжительность карбонитрации составляет 5 … 30 мин. Карбонитрированный слой обладает высокой твердостью, износостойкостью и повышенной коррозионной стойкостью. У некоторых сталей диффузионный слой обладает достаточно высокой теплостойкостью до 500 °С. Карбонитрированию подвергают инструменты и различные детали.

4. **Азотирование** – это процесс насыщения поверхностных слоев изделий азотом. Наиболее широко применяют азотирование из газовой среды. Оно осуществляется в герметически закрытых муфелях с аммиаком. Атомарный азот, участвующий в образовании диффузионного слоя, получается при диссоциации аммиака по реакции

$$2NH_3 \rightarrow 2N + 3H_2.$$

Температура азотирования 500 … 600 °С. Продолжительность может составлять несколько десятков часов. Азотированию подвергают окончательно изготовленные детали, что практически не приводит к изменению их размеров либо короблению. Перед азотированием проводится упрочняющая термическая обработка – *закалка с последующим высоким отпуском.* Обязательное условие – температура отпуска должна быть на 30 … 50 °С выше температуры последующего азотирования.

Технология азотирования предусматривает проведение процесса при постоянной температуре (*изотермический процесс*) и ступенчатой выдержкой при различной температуре. Такое многоступенчатое азотирование проводится с целью ускорения процесса насыщения.

Азотирование обеспечивает максимальную твердость поверхности (до 1200 HV) в сравнении с цементацией и нитроцементацией. Наибольший эффект возрастания твердости получают при азотировании сталей, содержащих алюминий, молибден, ванадий и титан.

Азотированию подвергают легированные стали, причем наиболее широко сталь 38Х2МЮА. Азотируют коррозионно-стойкие *жаропрочные стали* типа *1Х18Н9Т*, 4Х14Н14В2М и др.; инструментальные стали типа Х12М, 5ХГМ и др.; конструкционные стали типа 37ХНЗА, 18Х2Н4ВА и др.; а также конструкционные низколегированные стали.

Азотирование проводят с целью повышения износостойкости, предела выносливости, в ряде случаев и коррозионной стойкости различных деталей машин.

Азотированные слои имеют более высокую твердость и износостойкость чем цементованные или нитроцементованные. Однако азотирование используют реже этих процессов из-за большой длительности процесса и малой толщины слоя, не выдерживающего высокие контактные нагрузки на поверхность детали.

5. Ионное азотирование и цементация – это процесс нанесения диффузионных покрытий в плазме тлеющего разряда. Достигается активизация процессов в газовой среде и соответственно сокращается в 2 – 3 раза продолжительность азотирования и цементации при повышении качества покрытия.

6. **Сульфидирование** – это процесс насыщения поверхностных слоев изделий серой; проводится в расплаве солей, содержащих сернистые соединения, при низких температурах 170 … 200 °С или при более высокой температуре порядка 56О°С. Продолжительность процесса 2 … 3 ч для получения слоя порядка 0,3 мм. Сульфидирование проводят с целью улучшения износостойкости и предотвращения задира трущихся пар.

7. Диффузионное насыщение поверхности изделий металлами.

Химико-термической обработке подвергают сплавы на железной, никелевой и других основах.

Алитирование – насыщение поверхностного слоя материала изделия алюминием в интервале 700 … 1000 °С с целью повышения жаростойкости.

Хромирование – насыщение поверхностного слоя материала хромом в интервале 900 … 1200 °С с целью повышения твердости и износостойкости слоя, а также жаростойкости.

Силицирование – насыщение поверхностного слоя материала кремнием при 800 … 1100 °С с целью обеспечения высокой жаростойкости.

На поверхности изделия создают также комбинированные диффузионные слои, содержащие несколько элементов, соответственно процессы называют: *хромосилицирование, хромотитаноалитирование* и т.д.

Наиболее распространен способ насыщения покрытий из газовой среды, содержащей хлориды элемента покрытия. На поверхности изделия имеют место либо реакция обмена, либо диспропорционирования, приводящие к появлению элемента покрытия с последующей его диффузией и образованием защитного слоя. Рабочая температура изделия не должна превышать температуру, при которой проводилась химико-термическая обработка.

Термомеханическая обработка. *Высокотемпературная термомеханическая обработка* (*ВТМО*) – пластическая деформация стали в аустенитном состояние при температуре выше Ac_3 с последующей закалкой с этой температуры.

Низкотемпературная термомеханическая обработка (*НТМО*) – нагрев стали выше температуры Ac_3, охлаждение ее в области устойчивости аустенита ниже температуры рекристаллизации, пластическая деформация и закалка.

Цель термомеханической обработки – существенное повышение прочности при сохранении достаточной пластичности.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ

Термическая обработка сталей конструкционных углеродистых качественных

В соответствии с ГОСТ 1050-88 качественные стали поставляют без термической обработки и термически обработанными. Механические свойства гарантируются только после нормализации.

1. Температура нормализации и свойства сталей конструкционных углеродистых качественных

Сталь	Температура нормализации, °С	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	*KCU*, Дж/см²	НВ
		МПа		%			
10	920	340	210	31	55	-	131
15	900	380	230	27	55	-	149
20	900	420	250	25	55	-	163
25	890	460	280	23	50	90	170
30	880	500	300	21	50	80	179
35	880	540	320	20	45	70	207
40	870	580	340	19	45	60	218
45	860	610	360	16	40	50	229
50	850	640	380	14	40	40	241
55	850	660	390	13	35	-	255
60	840	690	410	12	35	-	255

Низкоуглеродистые стали могут подвергаться химико-термической обработке, а среднеуглеродистые в основном – объемной закалке и последующему отпуску.

2. Химико-термическая обработка и свойства сталей конструкционных углеродистых качественных

Сталь	Химико-термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	*KCU*, Дж/см²	Твердость
		МПа		%			
10	Цементация 900 – 920 °С; закалка 780 – 800 °С, вода; отпуск 180 – 200 °С, воздух	400	320	18	45	-	Поверхности 56-62 HRC

Продолжение табл. 2

Сталь	Химико-термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2	Твердость
		МПа		%			
15	Цементация 900 – 920 °С; закалка 760 – 780 °С, вода; отпуск 160 - 200°С, воздух	395	220	–	–	–	Поверхности 57-63 HRC
20	Цементация 920 – 950 °С; закалка 800 – 820 °С, вода; отпуск 180 – 200 °С, воздух.	490-590	290-340	18	45	54	Поверхности 55-63 HRC Сердцевины 156 НВ
25		550	345	25	45	-	Поверхности 55-63 HRC Сердцевины 170 НВ

3. Термическая обработка и свойства сталей конструкционных углеродистых качественных

Сталь	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2	НВ
		МПа		%			
30	Закалка 860 °С, вода.						
	Отпуск: 400 °С	690 – 860	550 – 660	21 – 12	66 – 58	220 – 100	190 – 239
	500 °С,	640 – 760	490 – 590	23 – 16	71 – 65	240 – 160	175 – 208
	600 °С.	590 – 660	400 – 460	25 – 19	78 – 71	270 – 200	165 – 184
35	Закалка 860 °С, вода						
	. Отпуск: 400 °С,	780 – 940	630 – 760	15 – 10	61 – 55	150 – 80	215 – 260
	500 °С,	700 – 820	540 – 640	19 – 14	67 – 62	190 – 140	193 – 226
	600 °С.	630 – 690	420 – 480	22 – 17	74 – 68	230 – 180	173 – 191
40	Закалка 850 °С, вода.						
	Отпуск: 400 °С,	860 – 1010	700 – 830	12 – 8	58 – 54	100 – 70	239 – 280
	500 °С,	760 – 870	590 – 680	16 – 13	65 – 61	160 – 120	208 – 239
	600 °С.	660 – 720	450 – 500	19 – 16	71 – 67	200 – 160	184 – 200
45	Закалка 850 °С, вода.						
	Отпуск: 400 °С,	940 – 1080	760 – 890	10 – 8	55 – 52	80 – 70	260 – 302
	500 °С,	820 – 920	640 – 730	14 – 12	62 – 52	140 – 100	255 – 227
	600 °С.	690 – 750	480 – 520	17 – 16	68 – 65	180 – 140	191 – 209
50	Закалка 840 °С, вода.						
	Отпуск: 400 °С,	1010 – 1160	830 – 950	8 – 7	54 – 49	70 – 50	280 – 325
	500 °С,	870 – 970	680 – 780	13 – 11	61 – 67	120 – 80	239 – 268
	600 °С.	720 – 780	500 – 540	16 – 15	67 – 62	160 – 120	200 – 217

Продолжение табл. 3

Сталь	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2	НВ
		МПа		%			
55	Закалка 840 °С, вода.						
	Отпуск: 400 °С	1080 – 124	890 – 1010	8 – 7	52 – 43	70 – 50	302 – 341
	500 °С,	920 – 1030	730 – 820	12 – 10	59 – 53	100 – 60	255 – 285
	600 °С.	750 – 810	520 – 570	15	65 – 58	140 – 110	209 – 225
60	Закалка 830 °С, вода.						
	Отпуск: 560 °С,	900	530 – 600	15	42	30	–
	620 °С.	820	460 – 50	22	55 – 50	45	–

Назначение сталей:

1. Сталь 10, 15 – после нормализации – болты, винты, крюки и другие детали, к которым предъявляют требования высокой пластичности.

Рабочая температура до 450 °С. После ХТО – рычаги, кулачки и другие детали, у которых поверхность должна иметь высокую твердость.

2. Сталь 20 после нормализации – крюки кранов, муфты и другие детали, работающие при температурах от 40 до 450 °С. После ХТО – шестерни, червяки и другие изделия, у которых должна быть высокая твердость поверхности.

3. Сталь 25 после нормализации – оси, валы, соединительные муфты, шайбы, валики и другие неответственные детали. После ХТО – винты, втулки, собачки и другие детали, к которым предъявляют требования высокой износостойкости.

4. Сталь 30, 35 – тяги, серьги, траверсы, рычаги, валы, звездочки, цилиндры прессов и другие детали.

5. Сталь 40, 45 – коленчатые валы, шатуны, зубчатые венцы, колеса. После поверхностного упрочнения ТВЧ – детали с повышенной поверхностной твердостью, износостойкостью.

6. Сталь 50, 55 – тяжелонагруженные валы, прокатные валки, штоки, оси и другие детали.

7. Сталь 60 – валки для горячей прокатки, колеса вагонов, шпиндели и другие детали, к которым предъявляют требования высокой прочности и износостойкости.

Термическая обработка сталей конструкционных легированных

Стали хромистые (табл. 4, 5)

4. Термическая обработка и свойства сталей хромистых

Сталь	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2
		МПа		%		
15Х	Закалка 880 °С, вода или масло; закалка 770 – 820°С, вода или масло; отпуск 180 °С, воздух или масло	490	690	12	45	64
20Х	Закалка 880 °С, вода или масло; закалка 770 – 820 °С, вода или масло; отпуск 180 °С, воздух или масло	780	640	11	40	59
30Х	Закалка 860 °С, масло; отпуск 500 °С, вода или масло.	880	690	12	45	69

Продолжение табл. 4

Сталь	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2
		МПа		%		
35Х	Закалка 860 °С, масло; отпуск 500 °С, вода или масло	910	730	11	45	69
38ХА	Закалка 860 °С, масло; отпуск 550 °С, вода или масло	930	780	12	50	88
40Х	Закалка 860 °С, масло; отпуск 500 °С, вода или масло	980	780	10	45	59
45Х	Закалка 840 °С, масло; отпуск 520 °С, вода или масло	1030	830	9	45	49
50Х	Закалка 830°С, масло; отпуск 520 °С, вода или масло	1080	880	9	40	39

5. Химико-термическая обработка и свойства сталей хромистых

Сталь	Химико-термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2	Твердость
		МПа		%			
15Х	Цементация 910 °С, воздух; закалка 790 °С, вода; отпуск 190 °С, воздух	610	370	15	45	59	Поверхности 58-64 HRC Сердцевина 179 НВ
20Х	Цементация 920 – 950 °С, воздух; закалка 800 °С, масло; отпуск 190 °С, воздух	640	390	13	40	49	Поверхности 55-63 HRC Сердцевина 250 НВ

Назначение сталей:

1. Стали 15Х, 20Х – втулки, шестерни, обоймы, диски, рычаги и другие цементуемые детали, к которым предъявляют требования высокой поверхностной твердости при невысокой прочности сердцевины – детали, работающие в условиях износа при трении.

2. Стали 30Х, 35Х – оси, валики, рычаги, шестерни и другие улучшаемые некрупные детали.

3. Сталь 38ХА – червяки, зубчатые колеса, шестерни, валы, оси, ответственные болты и другие улучшаемые детали.

4. Стали 40Х, 45Х, 50Х – валы, шестерни, зубчатые колеса, валки горячей прокатки, шпиндели, шатуны и другие улучшаемые детали, к которым предъявляют требования повышенной твердости, износостойкости, прочности и работающие при незначительных ударных нагрузках.

Стали марганцовистые (табл. 6, 7)

6. Термическая обработка и свойства сталей марганцовистых

Сталь	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2
		МПа		%		
15Г	Нормализация 880 °С, воздух	410	245	26	55	–
20Г		450	275	24	50	–
25Г	Закалка 880 °С, вода или воздух; отпуск 560 °С, воздух	500	300	22	50	90
30Г	Закалка 860 °С, вода; отпуск 600 °С, воздух	540	315	20	45	78
35Г		570	340	18	45	70
40Г		590	350	17	45	59
45Г	Закалка 850 °С, масло; отпуск 600 °С, воздух	620	370	15	40	49
50Г	То же	650	390	13	40	40
10Г2	Нормализация 920 °С, воздух	420	245	22	50	-
35Г2	Закалка 870 °С, масло; отпуск 650 °С, воздух	620	365	10	40	-
40Г2	Закалка 860 °С, масло; отпуск 650 °С, воздух	660	380	12	40	-
45Г2	Закалка 850 °С, масло; отпуск 650 °С, воздух	680	400	11	40	-
50Г2	Закалка 840 °С, масло; отпуск 650 °С, воздух	730	420	11	35	-

7. Химико-термическая обработка и свойства сталей марганцовистых

Сталь	Химико-термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	Твердость
		МПа		%		
15Г	Цианирование 840 – 860 °С; закалка 820 – 840 °С, вода или масло; отпуск 180 – 200 °С, воздух	–	–	–	–	Поверхности 57-63 $HRC_э$
	Цементация 880 – 900 °С; закалка 780 – 800 °С, масло; отпуск 180 – 200 °С, воздух	550	300	15	40	Поверхности 57-63 $HRC_э$
20Г	Цементация 900 – 920 °С, воздух; закалка 780 – 800 °С, масло; отпуск 180 – 200 °С, воздух	540 – 590	325 – 370	16	40	Поверхности 57-63 HRC, Сердцевины 146-163 НВ

Назначение сталей:

1. Стали 15Г, 20Г, 25Г после улучшения – заклепки ответственного назначения; после цементации или цианирования – поршневые кольца, фрикционные диски, пальцы рессор, кулачковые валики, болты, гайки, винты, шестерни, червяки и другие детали с высокой твердостью и износостойкостью поверхности; без термообработки – сварные подмоторные рамы, башмаки, втулки, штуцера.

2. Стали 30Г, 35Г – детали, от которых не требуется высокой прочности: тяги, оси, рычаги, муфты, валы, звездочки, цилиндры, диски, шпиндели, гайки, винты и другие детали. Термическая обработка деталей – улучшение.

3. Стали 40Г, 45Г, 50Г – детали, к которым предъявляют требования повышенной прочности, а к стали 50Г – и высокой износостойкости. Стали подвергают улучшению. Стали идут на изготовление деталей: осей, коленчатых валов, шестерен, штоков, бандажей, шатунов, распределительных валов, кривошипов, шпинделей и других деталей.

4. Сталь 10Г2 – патрубки, штуцера, змеевики, фланцы, крепежные детали, работающие при температурах от –70 °С под давлением в нефтеперерабатывающем машиностроении. Сварные подмоторные рамы. Сталь используют в нормализованном состоянии.

5. Сталь 35Г2 – валы, полуоси, рычаги сцепления, вилки, коленчатые валы, шатуны, кольца, шестерни, болты и другие детали машиностроения, к которым предъявляют требования повышенной износостойкости. Термическая обработка – улучшение.

6. Сталь 40Г2 – оси, коленчатые валы, поршневые штоки, рычаги, распределительные валики, карданные валы, полуоси и другие детали. Термическая обработка – улучшение.

7. Стали 45Г2, 50 Г2 – крупногабаритные средненагруженные детали: валы-шестерни, коленчатые и карданные валы, полуоси, червяки, крышки шатунов.

Стали хромомарганцовые (табл. 8, 9)

8. Термическая обработка и свойства сталей хромомарганцевых

Сталь	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, $Дж/см^2$
		МПа		%		
18ХГТ	Нормализация 880 – 950 °С; закалка 870 °С, масло; отпуск 200 °С, воздух или вода	980	880	9	50	78
25ХГТ	Нормализация 880 – 950 °С; закалка 850 °С, масло; отпуск 200 °С, воздух или масло	1270	980	10	50	69
20ХГР	Закалка 880 °С, масло; отпуск 200 °С, воздух или масло	980	780	9	50	78
30ХГТ	Нормализация 880 – 950 °С; закалка 870 °С, масло; отпуск 200 °С, вода или масло	1470	1270	9	40	59
25ХГТ	Закалка 860 °С, масло; отпуск 200 °С, воздух	1200	1100	10	45	80
40ХГТР	Закалка 840 °С, масло; отпуск 550 °С, вода или масло	1000	800	11	45	80

9. Химико-термическая обработка и свойства сталей хромомарганцевых

Сталь	Химико-термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, $Дж/см^2$	Твердость
		МПа		%			
18ХГТ	Цементация 920 – 950 °С, воздух; закалка 820 – 860 °С, масло; отпуск 180 -200°С, воздух	1180	930	10	50	78	Поверхности 53-63 $HRC_э$ Сердцевины 341 НВ
25ХГТ	Цементация 920 – 950 °С, воздух; закалка 840 – 860 °С, масло; отпуск 190-210 °С, воздух	1500	1100	9	–	60	–
20ХГР	Цементация 920-950°С, охлаждение замедленное; закалка 820-840 °С, масло; отпуск 180 – 200 °С, воздух или масло	–	–	–	–	–	Поверхности 57-63 $HRC_э$ Сердцевины 321 НВ
30ХГТ	Цементация 920 – 950 °С; закалка 840-860°С, масло; отпуск 180 – 200 °С, воздух.	1080	780	12	35	59	Поверхности 57-63 $HRC_э$ Сердцевины 300 НВ
25ХГМ	Нитроцементация 810 –860 °С; закалка 810 °С, масло; отпуск 160-180 °С, масло	–	–	–	–	–	Поверхности 63 $HRC_э$ Сердцевины 45 НВ

Назначение сталей:

1. Стали 18ХГТ, 20ХГР, 25ХГТ, 25ХГМ – тяжелонагруженные зубчатые колеса, валшестерни, червяки, кулачковые муфты, валики, пальцы, втулки и другие улучшаемые или цементуемые детали ответственного назначения, работающие в условиях ударных нагрузок, от которых требуется повышенная прочность и вязкость сердцевины, а также высокая поверхностная твердость.

2. Сталь 30ХГТ – улучшаемые и цементуемые детали, обладающие высокой прочностью и вязкостью сердцевины, а также твердостью поверхности и работающие при повышенных удельных давлениях и действии ударных нагрузок. В основном сталь используют для изготовления шестерен, цилиндрических и конических колес редукторов и т.д. Сталь может подвергаться азотированию, тогда она используется для ходовых винтов станков, червячных валов и других деталей с минимальной деформацией.

3. Сталь 40ХГТР – валы, кулачки звездочки, оси, рычаги, подвергаемые улучшению и предназначенные для работы в условиях трения и повышенных нагрузок.

Стали хромокремнистые (табл. 10)

10. Термическая обработка и свойства сталей хромокремнистых

Сталь	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2
		МПа		%		
33ХС	Закалка 920 °С, вода или масло; отпуск 630 °С, вода или масло	900	700	13	50	80
38ХС	Закалка 900 °С, масло; отпуск 630 °С, масло	950	750	12	50	70
40ХС	Закалка изотермическая 900 – 910 °С, селитра, 300 – 350 °С, воздух	1250	1100	12	40	50

Назначение сталей:

1. Стали 33ХС, 38ХС, 40ХС – улучшаемые детали пружинного типа небольших сечений, от которых требуется высокая прочность, износостойкость и упругость: диски трения, торсионные валы, муфты сцепления и другие детали.

Стали хромомолибденовые и хромомолибденованадиевые (табл. 11)

11. Термическая обработка и свойства сталей хромомолибденовые и хромомолибденованадиевые

Сталь	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2
		МПа		%		
15ХМ	Закалка 880 °С, воздух; отпуск 650 °С, воздух	450	280	21	55	120
20ХМ	Закалка 880 °С, вода или масло; отпуск 500 °С, воздух	800	600	12	50	90
30ХМ	Закалка 880 °С, масло; отпуск 540 °С, вода или масло	930	735	11	45	78
35ХМ	Закалка 850 °С, масло; отпуск 560 °С, вода или масло	930	835	12	45	78

Продолжение табл. 11

Сталь	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2
		МПа		%		
38ХМ	Закалка 850 °С, масло; отпуск 580 °С, вода	1000	900	11	45	70
40ХМФА	Закалка 860 °С, масло; отпуск 580 °С, вода или масло	1050	950	13	50	90

Назначение сталей:

1. Сталь 15ХМ – детали, работающие при температуре от – 40 до 560 °С под давлением.

2. Сталь 30ХМ – детали, работающие до 400 °С: крепежные детали, диски турбин, фланцы паропроводов и другие.

3. Стали 35ХМ, 38ХМ, 40ХМФА – ответственные детали турбин, турбокомпрессоров (валы, роторы, диски, зубчатые колеса и т.д.). Рабочая температура до 400 °С.

Стали хромованадиевые (табл. 12)

12. Термическая и химико-термическая обработка и свойства сталей хромованадиевых

Сталь	Термическая и химико-термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2
		МПа		%		
15ХФ	Цементация 930 °С, 12 ч.; закалка 875 °С, масло; закалка 840 °С, масло; отпуск 200 °С	960 – 980	720 – 760	9 – 12	50 – 58	70 – 98
40ХФ	Закалка 880 °С, масло; отпуск 650 °С, вода или масло	880	730	10	50	88

Примечание. Твердость цементованной стали 15ХФ на поверхности 59-63 HRC.

Назначение сталей:

1. Сталь 15ХФ – некрупные цементованные с последующей закалкой и низким отпуском детали типа: зубчатые колеса, поршневые пальцы, копиры и т.д.

2. Сталь 40ХФА – шлицевые валы, штоки, траверсы и другие детали, работающие при температуре до 400 °С. Термическая обработка – улучшение.

Стали хромоникелевые и хромоникелевые с бором (табл. 13, 14)

13. Термическая обработка и свойства сталей хромоникелевых и хромоникелевых с бором

Сталь	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2
		МПа		%		
20ХН	Закалка 860 °С, вода или масло; закалка 760 – 810 °С, вода или масло; отпуск 190 °С	780	590	14	50	78
40ХН	Закалка 820 °С, вода или масло; отпуск 500 °С, вода или масло	980	785	11	45	69

Продолжение табл. 13

Сталь	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2
		МПа		%		
45ХН	Закалка 820 °С, вода или масло; отпуск 530 °С, вода или масло	1030	835	10	45	69
50ХН		1080	885	9	40	49
20ХНР	Нормализация 930 – 950 °С, воздух; закалка 780 – 830 °С, масло; отпуск 200 °С, воздух или масло	1180	980	10	50	88
12ХН2	Закалка 860 °С, вода или масло; закалка 760 – 810 °С; вода или масло; отпуск 180 °С, воздух или масло	780	590	12	50	88
12ХН3А		930	685	11	55	88
12Х2Н4А	Закалка 860 °С, масло; закалка 760 – 800 °С, масло; отпуск 180 °С, воздух или масло	1130	930	10	50	88
30ХН3А	Закалка 820 °С, масло; отпуск 530 °С, вода или масло	980	785	10	50	78
20ХН3А	Закалка 820 °С, масло; отпуск 500 °С, вода или масло	930	735	12	55	108
20Х2Н4А	Закалка 860 °С, масло; закалка 780 °С, масло; отпуск 180 °С, воздух или масло	1270	1080	9	45	78

14. Химико-термическая обработка и свойства сталей хромоникелевых и хромоникелевых с бором

Сталь	Химико-термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2	Твердость
		МПа		%			
20ХН	Нормализация 860 °С; цементация 910 °С, 16 ч на глубину 1,6 – 1,8 мм; подстуживание на воздухе до 860 °С; закалка 770 – 780 °С, масло; отпуск 190 °С	–	–	–	–	–	Поверхности 59-62 HRC Сердцевины 262-290 НВ
45ХН	Цианирование 810 – 830 °С; закалка, масло; отпуск 200 °С, воздух	–	–	–	–	–	Поверхности 59 HRC Сердцевины 450 НВ
	Закалка ТВЧ 850 – 870 °С; отпуск 180 – 200 °С	–	–	–	–	–	Поверхности 53-57 HRC Сердцевины 300 НВ

Продолжение табл. 14

Сталь	Химико-термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2	Твердость
		МПа		%			
20ХНР	Цементация 930 °С, охлаждение замедленное; закалка 820 – 840 °С, масло; отпуск 180 – 200 °С, воздух	–	–	–	–	–	Поверхности 57-63 HRC Сердцевины 37-47 HRC
12ХН2	Цементация 920 – 950 °С; закалка 790 – 810 °С, масло; отпуск 180 – 200 °С, воздух	780	590	12	50	88	Поверхности 57 HRC Сердцевины 229 НВ
12ХН3А	Цементация 920 – 950 °С; закалка 800 – 820 °С, масло; отпуск 160 – 200 °С, воздух	980	830	12	55	118	Поверхности 59-64 HRC Сердцевины 303 НВ
12Х2Н4	Цементация 920 – 950 °С; закалка 780 – 800 °С, масло; отпуск 180 – 200 °С	1200	950	10	50	80	Поверхности 59-63 HRC Сердцевины 255-302 НВ
20ХН3А	Цементация 920 – 950 °С; нормализация 870 – 890 °С, воздух; отпуск 630 – 660 °С, воздух; закалка 790 – 810 °С, масло; отпуск 180 – 200 °С, воздух	830	690	11	50	69	Поверхности 59-63 HRC Сердцевины 240 НВ
20Х2Н4	Цементация 900 – 920 °С; воздух; закалка 780 – 810 °С, масло; отпуск 180 – 200 °С, воздух	1220	1050	12	45	118	Поверхности 57-64 HRC Сердцевины 321-420 НВ

Назначение сталей:

1. Стали 20ХН и 20ХНР – шестерни, зубчатые колеса, валики, пальцы и другие детали, от которых требуется повышенная вязкость. Подвергают химико-термической обработке.

2. Стали 40ХН, 45ХН, 50ХН – оси, валы, шатуны, зубчатые колеса, валы экскаваторов, шпиндели, штоки и другие ответственные тяжелонагруженные детали, подвергающиеся вибрационным и динамическим нагрузкам. Валки для горячей прокатки. Сталь 45ХН может подвергаться цианированию и закалке ТВЧ.

3. Стали 12ХН2, 12ХН3А – шестерни, валы, червяки, поршневые пальцы и другие цементуемые детали, работающие под давлением ударных нагрузок и при отрицательных температурах.

4. Стали 12Х2Н4А, 20Х2Н4А – шестерни, зубчатые колеса, валы, ролики и другие крупные, особо ответственные цементованные детали, работающие в условиях ударных нагрузок или при отрицательных температурах.

5. Сталь 20ХН3А – шестерни, валы, втулки, муфты и другие детали, работающие в условиях ударных нагрузок и при отрицательных температурах.

Стали хромокремнемарганцовые и хромокремнемарганцовоникелевые (табл. 15)

15. Термическая обработка и свойства сталей хромокремнемарганцовых и хромокремнемарганцовоникелевых

Сталь	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2
		МПа		%		
20ХГСА	Закалка 880 °С, масло; отпуск 500 °С, вода или масло	780	640	12	45	69
25ХГСА	Закалка 880 °С, масло; отпуск 480 °С, вода или масло	1080	830	10	40	59
30ХГС	Закалка 880 °С, масло; отпуск 540 °С, вода или масло	1080	830	10	45	44
30ХГСА	То же	1080	830	10	45	49
	Изотермическая закалка 880 °С; выдержка 280 – 310 °С, смесь калиевой и натриевой селитры; охлаждение, воздух	1620	1270	9	40	39
30ХГСН2А	Закалка 900 °С, отпуск 260 °С, воздух или масло	1620	1375	9	45	59

Назначение сталей:

1. Стали 20ХГСА и 25ХГСА – ответственные сварные и штампованные детали, применяемые в улучшенном состоянии, ходовые винты, оси, валы, червяки, шатуны, коленчатые валы, штоки.

2. Стали 30ХГС, 30ХГСА и 35ХГСА – различные улучшаемые детали: валы, зубчатые колеса, рычаги, толкатели, лопатки компрессоров, ответственные сварные конструкции, работающие при знакопеременных нагрузках.

3. Сталь 30ХГСН2А – шестерни, фланцы, кулачки, пальцы, валики, оси и другие ответственные тяжелонагруженные детали.

Стали хромомарганцовоникелевые и хромомарганцовоникелевые с титаном и бором (табл. 16)

16. Термическая обработка и свойства сталей хромомарганцевоникелевых и хромомарганцевоникелевых с титаном и бором

Сталь	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2
		МПа		%		
15ХГН2ТА	Нормализация 960 °С, воздух; закалка 860 °С, масло; отпуск 180 °С, воздух или масло	960	750	11	55	100
20ХГНР	Нормализация 930 – 950 °С, воздух; закалка 780 – 830 °С, масло; отпуск 200 °С, воздух или масло	1270	1080	10	50	88
20ХГНТР	Закалка 850 °С, масло; отпуск 200 °С, масло	1200	1000	9	50	80
38ХГН	Закалка 850 °С, масло; отпуск 570 °С, вода или масло	780	685	12	45	98

Назначение сталей:

1. Сталь 15ХГН2ТА – зубчатые венцы, шатуны, зубчатые колеса и другие детали станков, автомобилей, горнорудного оборудования и другие детали.

2. Сталь 20ХГНР и 20ХГНТР – ответственные детали, работающие в условиях ударных нагрузок: зубчатые колеса, кулачковые муфты, валики и другие детали.

3. Сталь 38ХГН – детали экскаваторов, крепеж, валы, оси, зубчатые колеса и другие ответственные детали.

Стали хромоникельмолибденовые (табл. 17, 18)

17. Термическая обработка и свойства сталей хромоникельмолибденовых

Сталь	Химико-термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2
		МПа		%		
20ХН2М	Закалка 860 °С, масло; Закалка 780 °С, масло; отпуск 200 °С, воздух или масло	880	685	11	50	78
30ХН2МА	Закалка 860 °С, масло; отпуск 530 °С, воздух	980	785	10	45	78
40ХН2МА	Закалка 850 °С, масло; отпуск 620 °С, вода	1080	930	12	50	78
38ХН3МА	Закалка 850 °С, масло; отпуск 590 °С, воздух	1100	1000	12	50	80
38Х2Н2МА	Закалка 870 °С, масло; отпуск 580 °С, воздух или масло	1100	950	12	50	80
34ХН3М	Закалка 850 – 870 °С, масло; отпуск 550 – 650 °С, воздух	950	800	11	35	50

18. Химико-термическая и термомеханическая обработка и свойства сталей хромоникельмолибденовых

Сталь	Химико-термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2	Твердость
		МПа		%			
20ХН2М	Цементация 930 – 950 °С; воздух; закалка 810 – 830 °С, масло; отпуск 180 – 200 °С, воздух	1180	930	11	50	78	Поверхности 57-63 HRC$_э$ Сердцевины 341 НВ
30ХН2МА	НТМО: деформация при 500 °С, 50 %, масло; отпуск 200 °С, 4 ч	2050	1760	7	20	36	540 НВ

Примечание: НТМО – низкотемпературная термомеханическая обработка.

Назначение сталей:

1. Сталь 20ХН2М – шестерни, полуоси, сателлиты, кулачки и другие детали, как закаленные, так и цементованные.

2. Сталь 30ХН2МА – коленчатые валы, шатуны, болты, диски и другие ответственные детали, работающие в сложных условиях нагружения в диапазоне от низких до повышенных температур. Изделия могут упрочняться термо-механической обработкой.

3. Сталь 40ХН2МА – коленчатые валы, клапаны, шатуны и другие тяжелонагруженные детали, валки для холодной прокатки металлов.

4. Сталь 38ХН3МА – валы, оси, зубчатые колеса и другие крупные особо ответственные детали.

5. Сталь 38Х2Н2МА – валы, шатуны, болты и другие крупные тяжелонагруженные изделия сложной конфигурации.

6. Сталь 34ХН3М – крупные, особо ответственные детали.

Стали хромоникельмолибденованадиевые и хромоникельванадиевые (табл. 19)

19. Термическая обработка и свойства сталей хромоникельмолибденованадиевых и хромоникельванадиевых

Сталь	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2
		МПа		%		
30ХН2МФА	Закалка 860 °С, масло; отпуск 680 °С, воздух	880	785	10	40	88
36Х2Н2МФА	Закалка 860 °С, масло; отпуск 600 °С, воздух	1180	1080	12	50	78
38ХН3МФА	Закалка 850 °С, масло; отпуск 600 °С, воздух	1200	1100	12	50	80
45ХН2МФА	Закалка 860 °С, масло; отпуск 450 °С, масло	1275	1420	7	35	39
20ХН4ФА	Закалка 850 °С, масло; отпуск 630 °С, вода	880	685	12	50	98

Назначение сталей:

1. Сталь 30ХН2МФА и 38ХН3МФА – валы, цельнокованые роторы паровых турбин, диски и другие особо ответственные детали турбин и компрессорных машин, работающих при температуре до 450 °С.

2. Сталь 36Х2Н2МФА – торсионные валы, зубчатые колеса, гребные винты, роторные турбины.

3. Сталь 45ХН2МФА – торсионные валы и другие сильно нагруженные детали, работающие при резких скручивающих нагрузках.

4. Сталь 20ХН4ФА – клапаны впуска, болты, шпильки и другие ответственные детали, работающие в коррозионной среде при повышенных температурах (до 400 °С).

Стали хромоалюминиевые и хромоалюминиевые с молибденом (табл. 20, 21)

20. Термическая обработка и свойства сталей хромоалюминиевых и хромоалюминиевых с молибденом

Сталь	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2
		МПа		%		
38Х2Ю	Закалка 930 °С, вода или масло; отпуск 630 °С, вода или масло	900	750	10	45	80
38Х2МЮА	Закалка 940 °С, вода или масло; отпуск 640 °С, вода или масло	1000	850	14	50	90

21. Химико-термическая обработка и свойства сталей 38Х2Ю и 38Х2МЮА. [2]

Сталь	Термическая и химико-термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ,	KCU,	Твердость
		МПа		%	Дж/см^2	
38Х2Ю	Закалка 930 – 950 °С; масло; отпуск 600 – 650 °С вода или масло; азотирование 480 – 520 °С, охлаждение с печью	950	800	12	80	Поверхности 800-1000 HV Сердцевины 260 НВ
30Х2МЮА	Режим как у стали 38Х2Ю, за исключением – отпуск 650 – 670 °С	1050	900	18	90	Поверхности 850-1050 HV Сердцевины 270 НВ

Назначение сталей:

1. Сталь 38Х2Ю – трущиеся детали приборов, копиры, плунжеры. Сталь подвергают азотированию.

2. Сталь 38Х2МЮА – ответственные детали турбино- и моторостроения, упрочняемые азотированием с целью повышения поверхностной твердости, износостойкости, предела выносливости и жаростойкости при минимальной деформации в процессе термической обработки. Детали: штоки клапанов паровых турбин с рабочей температурой до 450 °С; гильзы цилиндров внутреннего сгорания, распылители и другие детали.

Термическая обработка сталей конструкционных теплоустойчивых (табл. 22)

22. Термическая обработка и свойства сталей конструкционных теплоустойчивых

Сталь	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2
		МПа		%		
12МХ	Нормализация 910 – 930 °С, воздух; отпуск 670 – 690 °С, воздух	410	235	21	45	59
25Х1МФ	Закалка 880 – 900 °С, масло; отпуск 640 – 660 °С, воздух	880	735	14	50	59
20Х3МВФ	Закалка 1030 – 1060 °С, масло; отпуск 660 – 700 °С, воздух	880	735	12	40	59
15Х5М	Отжиг 840 – 860 °С, охлаждение с печью	390	215	22	50	118

Назначение сталей:

1. Стали 12МХ, 20Х3МФ, 15Х5М – крепежи и другие детали, работающие соответственно при температурах до 530 °С, 560 °С и 650 °С.

2. Сталь 25Х1МФ – детали, работающие при температурах до 540 °С и крепежные детали для работы при температурах от -40 до +500 °С.

Термическая обработка сталей конструкционных подшипниковых (табл. 23)

23. Термическая обработка и свойства сталей конструкционных подшипниковых

Сталь	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2	Твердость
		МПа		%			
ШХ15	Отжиг 800 °С, печь до 730 °С, далее до 650 °С с V = 10 – 20 °С/ч, воздух	590 – 730	370 – 410	15 – 25	35 - 55	44	179-207 НВ
	Закалка 810 °С, вода до 200 °С и масло; отпуск 150 °С, воздух	2160	1670	–	–	5	62-65 HRC$_э$
ШХ15СГ	Отжиг как у стали ШХ15	590 – 730	370 – 410	15 – 25	35 – 55	44	179-207 НВ
	Закалка 810 – 840 °С, масло; отпуск 150 °С, воздух	1960 – 2350	–	–	–	3 – 7	61-65 HRC$_э$

Назначение сталей:

1. Сталь ШХ15 – шарики, ролики, кольца подшипников, а также втулки плунжеров, клапаны и другие детали, которые должны иметь высокие твердость, износостойкость и контактную прочность.

2. Сталь ШХ15СГ – для крупногабаритных элементов подшипников.

Термическая обработка сталей конструкционных рессорно-пружинных (табл. 24)

24. Термическая обработка и свойства сталей конструкционных рессорно-пружинных

Сталь	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ
		МПа		%	
65	Закалка 830 °С, масло; отпуск 470 °С	900	785	10	35
85	Закалка 820 °С, масло; отпуск 470 °С	1130	980	8	30
65Г	То же	980	785	8	30
60С2	Закалка 870 °С, масло; отпуск 470 °С	1270	1175	6	25
50ХФА	Закалка 850 °С, масло; отпуск 470 °С	1270	1080	8	35
65С2ВА	Закалка 820 °С, масло; отпуск 420 °С	1860	1665	5	20

Назначение сталей:

1. Стали 65, 75 – рессоры, пружины, а также детали, работающие в условиях трения при наличии высоких статических и вибрационных нагрузок.

2. Сталь 65Г – пружины, рессоры, фрикционные диски, шестерни, цанги и другие детали, работающие без ударных нагрузок.

3. Стали 60С2, 50ХФА, 65С2ВА – тяжелонагруженные пружины и рессоры, торсионные валы, фрикционные диски и другие детали.

Термическая обработка сталей коррозионно-стойких, жаростойких и жаропрочных (табл. 25)

25. Термическая обработка и свойства сталей коррозионно-стойких, жаростойких и жаропрочных

Сталь	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU, Дж/см^2
		МПа		%		
40Х10С2М	Закалка 1100 – 1050 °С, воздух или масло; отпуск 720 – 780 °С, масло	930	735	10	35	20
08Х13	Закалка 1000 – 1050 °С, масло; отпуск 700 – 800 °С, масло	590	410	20	60	98
20Х13	Закалка 1000 – 1050 °С, масло или воздух; отпуск 600 – 700 °С, масло или воздух	830	635	10	50	59
40Х13	Закалка 1000 – 1050 °С, масло; отпуск 200 – 300 °С, масло или воздух	1840	1620	1	2	19
10Х14АГ15	Закалка 950 – 1000 °С, вода	740	–	45	–	–
12Х17	Отжиг 760 – 780 °С, воздух или вода	390	245	20	50	–
20Х23Н13	Закалка 1100 – 1150 °С, воздух, масло или вода	490	295	35	50	–
20Х25Н20С2	Закалка 1100 – 1150 °С, воздух или вода	590	295	35	50	–
15Х12ВНМФ	Закалка 1000 – 1020 °С, масло, отпуск 680 – 700 °С, воздух	740	590	15	45	59
10Х17Н1М2Т	Закалка 1050 – 1100 °С, воздух, масло или вода	510	215	40	55	–
12Х18Н9Т	Закалка 1020 – 1100 °С, воздух, масло или вода	540	196	40	55	–
08Х18Н10Т	То же	490	196	40	55	–
08Х22Н6Т	Закалка 950 – 1050 °С, воздух, масло или вода	590	345	20	45	–

Назначение сталей:

1. Сталь 40Х10С2М – клапаны авиадвигателей, автомобильных и тракторных дизельных двигателей. Сталь жаропрочная и жаростойкая до 600 °С.

2. Сталь 08Х13 – клапаны гидравлических прессов, лопатки паровых турбин. Сталь коррозионно- и жаростойкая.

3. Сталь 20Х13 – детали, подвергающиеся ударным нагрузкам и работающие при температурах до 500 °С, коррозионно-стойкая в слабых агрессивных средах.

4. Сталь 40Х13 – режущий и мерительный инструмент, пружины и другие детали, работающие при температурах до 450 °С. Сталь коррозионно-стойкая.

5. Сталь 10Х14АГ15 – немагнитные изделия, работающие в слабоагрессивных средах.

6. Сталь 12Х17 – крепежные детали, валики, втулки, детали аппаратов, работающих в разбавленных растворах азотной, уксусной кислот и растворах солей, обладающих окислительными свойствами. Сталь коррозионностойкая и жаропрочная до 650 °С.

7. Сталь 20Х23Н18 и 20Х25Н20С2 – детали камер сгорания, хомуты, подвески и другие детали крепления котлов, муфелей и др. для работы при температуре до 1100 °С. Сталь жаростойкая и жаропрочная.

8. Сталь 15Х12ВНМФ – роторы, диски, лопатки, крепежные и другие детали, работающие при температурах до 780 °С. Сталь жаропрочная.

9. Сталь 10Х17Н1М2Т – разнообразное оборудование химического производства, работающее в слабоагрессивных средах, а также в криогенной технике при температурах до –253 °С. Сталь может использоваться и в качестве жаростойкого и жаропрочного материала до 700 °С.

10. Сталь 12Х18Н9Т – трубы, теплообменники, детали выхлопных систем и печной арматуры, листовые детали. Аппараты и сосуды, работающие при температуре от -196 до +600 °С под давлением, а при наличии агрессивных сред до 350 °С. Сталь коррозионно- и жаростойкая.

11. Сталь 08Х18Н10Т – изделия, работающие в средах повышенной агрессивности (растворы азотной, уксусной кислот, а также растворы щелочей и солей).

12. Сталь 08Х22Н6Т – камеры горения, элементы газовых турбин, трубные диски и другие детали, работающие при температурах 0 – 10 до +300 °С под давлением и соприкасающиеся с агрессивными средами. Сталь коррозионно-стойкая.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

Термическая обработка сплавов алюминия

Термическая обработка сплавов алюминиевых деформируемых (табл. 26)

Сплавы подвергают термической обработке – закалке и старению естественному (20 °С) или искусственному с целью улучшения их механических и коррозионных свойств.

26. Термическая обработка и свойства сплавов алюминиевых деформируемых

Сплавы	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	НВ
		МПа		%		
Д1	Закалка 495 – 510 °С; старение 20 °С, ≥ 96 ч	360 - 420	220 – 260	10 – 18	35	1000
Д16	Закалка 485 – 505 °С; старение 20 °С, ≥ 96 ч	460 – 450	320 – 360	10 – 19	30	1050
	Закалка 485 – 505 °С; старение 185 – 195 °С, 11 – 13 ч	480	350	12	–	–
Д18	Закалка 495 – 505 °С; старение 20 °С, ≥ 96 ч	300	170	24	50	700
Д19	Закалка 500 – 510 °С; старение 20 °С, 120 – 240 ч	440	310	16	–	–
	Закалка 500 – 510 °С; старение 185 – 195°С, 8 – 14 ч	450	400	6,5	–	–
АД31	Закалка 520 – 530 °С; старение 160 – 170 °С, 10 – 12 ч	250	210	13	–	–

Продолжение табл. 26

Сплав	Термическая обработка	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	НВ
		МПа		%		
АД33	Закалка 520 – 530 °С; старение 160 – 170 °С, 10 – 12 ч	230	120	19	–	–
АВ	То же	330	280	16	20	950
АК6	Закалка 495 – 505 °С; старение 150 – 165 °С, 6 – 15 ч	390	280	10	40	1000
АК8	То же	480	380	10	25	1350
АК4-1	Закалка 525 – 535 °С; старение 185 – 195 °С, 8 – 12 ч	380	280	6	–	–
1420	Закалка 450 °С; старение 170 °С, 8 – 24 ч	450	270	10	–	–
В96Ц1	Закалка 465 – 475 °С, старение 135 – 145 °С, 15 – 17 ч	660	630	8	14	–

Назначение сплавов:

1. Сплав Д1 – лопасти воздушных винтов, узлы крепления, строительные конструкции и др.

2. Сплав Д16 – силовые элементы конструкций самолетов: шпангоуты, тяги управления, ланжероны, а также кузова грузовых автомобилей, буровые трубы и др.

3. Сплав Д19 – как и сплав Д16, но для рабочих температур 200 … 250 °С.

4. Сплав Д18 – заклепки.

5. Сплав АД31 – детали невысокой прочности, но с хорошей коррозионной стойкостью. Рабочий диапазон -70 … 50 °С. Используют для дверных рам, оконных переплетов и т.д.

6. Сплав АД33 – детали средней прочности: лопасти вертолетов, а также детали, работающие в морской воде.

7. Сплав АВ – штампованные и кованые детали сложной конфигурации.

8. Сплавы АК6 и АК8 – ковочные сплавы. АК6 – сложные штамповки: крыльчатки вентиляторов, корпусные детали и др. АК8 – высоконагруженные детали самолетов, получаемые ковкой и штамповкой: рамы, фитинги, пояса ланжеронов и др.

9. Сплав АК4-1 – детали реактивных двигателей: колеса, компрессоры, заборники, диски, лопатки.

10. Сплав 1420 – легче сплава Д16 и используется для изготовления деталей транспортного машиностроения и авиации.

11. Сплав В96Ц1 – высоконагруженные детали: шпангоуты, ланжероны и др.

Для устранения нагартовки при получении полуфабриката из листа, алюминиевые сплавы подвергают промежуточному отжигу. Отжиг сплавов Д1, Д16 и АВ проводится при температурах 350 .. 370 °С с последующим охлаждением на воздухе. Сплавы АК6 и АК8 отжигают при температурах 380 .. 420 °С с охлаждением на воздухе.

Отжиг сплавов АД31 и АД33 проводят при температурах 380 … 420 °С. Охлаждение до температуры 250 °С проводят со скоростью 30 град./ч, далее на воздухе.

Термическая обработка сплавов алюминиевых литейных

27. Термическая обработка сплавов алюминиевых литейных

Сплав	Вид ТО	Закалка			Старение	
		Температура, °С	Время выдержки, ч	Охлаждающая среда, температура, °С	Температура, °С	Время выдержки, ч
АК12 (АЛ2)	Т2	–	–	–	300	2 – 4
АК9ч (АЛ4)	Т1	–	–	–	175	5 – 17
	Т6	535	2 – 6	Вода, 20 – 100	175	10 – 15
АК7ч (АЛ9)	Т2	–	–	–	300	2 – 4
	Т4	535	2 – 6	Вода, 20 – 100	–	–
	Т5	535	2 – 6	Вода, 20 – 100	150	1 – 3
	Т6	535	2 – 6	Вода, 20 – 100	200	2 – 5
	Т7	535	2 – 6	Вода, 80 – 100	225	3 – 5
	Т8	535	2 – 6	Вода, 80 – 100	250	3 – 5
АК5М (АЛ5)	Т1	–	–	–	180	5 – 10
	Т5	525	3 – 5	–	175	5 – 10
	Т6	525	3 – 5	–	200	3 – 5
	Т7	Ступенчатый нагрев: 515 525	 3 – 5 1 – 3	Вода, 20 – 100	230	3 – 5
АК8М (АЛ32)	Т1	–	–	–	200	5 – 8
	Т2	–	–	–	280	5 – 8
	Т5	Ступенчатый нагрев: 505 515	 4 – 6 4 – 8	Вода, 20 – 100	150	10 – 15
	Т6	515	2 – 8	Вода, 20 – 50	170	8 – 16
АК8М (АЛ32)	Т7	Ступенчатый нагрев: 505 515	 4 – 6 4 – 8	Вода, 80 – 100	230	3 – 5
АК8М3ч (ВАЛ8)	Т4	Ступенчатый нагрев: 490 500 510	 4 – 6 4 – 6 4 – 6	Вода, 20 – 100	–	–
	Т5	510	4 – 6		160	6 – 12
АМ5 (АЛ19)	Т4	545	10 – 12	Вода, 20 – 100	–	–
	Т5	545	10 – 12	Вода, 20 – 100	175	3 – 6
	Т7	545	10 – 12	Вода, 20 – 100	250	3 – 10
АЦчМг (АЛ24)	Т5	580	4 – 6	Вода 100	120	8 – 10

Примечание: ТО – термическая обработка; Т1 – старение; Т2 – отжиг; Т4 – закалка; Т5 – закалка и частичное старение; Т6 – то же и полное старение; Т7 – то же и стабилизирующий отпуск

28. Механические свойства сплавов алюминиевых литейных

Сплав	Способ литья	Вид ТО	$\sigma_в$, МПа	δ, %	НВ
АК12(АЛ2)	ЗМ, ВМ, КМ	Т2	140	4	500
	К	Т2	150	3	500
	Д	Т2	150	2	500
АК9ч(АЛ4)	К, Д, ПД	Т1	200	1,5	700
	К, КМ	Т6	240	3,5	700
АК7ч(АЛ9)	З, В, К, Д	Т2	140	2	450
	З, В	Т4	180	4	500
	К, КМ	Т5	210	2	600
	З, В, ЗМ	Т5	200	2	600
	ЗМ, ВМ	Т6	230	1	700
	ЗМ, ВМ	Т7	200	2	600
АК5М(АЛ5)	З, В, К	Т1	160	0,5	650
	З, В	Т5	200	1	700
	З, В	Т6	230	1	700
	З, В, К	Т7	180	1	650
АК8М (АЛ32)	З	Т6	250	1,5	600
	К	Т1	200	1,5	700
	З	Т5	240	2	600
	З	Т7	230	2	600
АК8М3ч (ВАЛ8)	К, ПД	Т4	350	5	900
	К, ПД	Т5	400	4	1100
АМ5 (АЛ19)	З, В, К	Т4	300	8	700
	З, В, К	Т5	340	4	900
	З	Т7	320	2	800
АцчМг (АЛ24)	З, В	Т5	270	2	700

Примечание: ТО – термическая обработка. Литье: З – в песчаную форму; В – по выплавляемым моделям; К– в кокиль; Д – под давлением; ПД – жидкая штамповка; М – модифицирование при литье.

Назначение сплавов:

1. Сплав АК12 – герметичные изделия простой формы.

2. Сплав АК9ч, АК9ч – корпуса компрессоров, картер двигателя внутреннего сгорания, турбинные колеса и другие изделия ответственного назначения.

3. Сплав АК5М – головки цилиндров двигателей внутреннего сгорания, детали агрегатов и приборов, работающих при температуре не выше 250 °С.

4. Сплав АК8М – блоки цилиндров и других деталей автомобиля.

5. Сплав АК8М3ч – силовые и герметичные детали, работающие при температурах до 250 °С и изготавливаемых методами точного литья.

6. Сплав АМ5 – крупногабаритные отливки, а также детали, работающие в условиях повышенных статических и ударных нагрузок при низких и повышенных до 300 °С температурах.

7. Сплав АЦчМг – детали, подвергаемые сварке и обладающие высокой коррозионной стойкостью.

Термическая обработка сплавов меди

Термическая обработка бронз

Деформируемые оловянные бронзы (табл. 29), подвергают гомогенизации при температуре 700 – 750 °С в течение 2 – 5 ч. При холодной пластической деформации используют промежуточные отжиги при температуре 550 – 700 °С в течение 2 – 5 ч, а также отжиг для снятия напряжений при температуре 300 – 350 °С.

Однофазные алюминиевые бронзы (БрА7) относят к группе деформируемых. Для повышения пластичности их подвергают отжигу при температуре 650 – 750 °С в течение 1 ч. Для повышения упругих свойств после холодной деформации проводят низкотемпературный отжиг при 275 °С в течение 0,5 ч.

Двухфазные алюминиевожелезные бронзы (БрАЖ9-4) для повышения пластичности подвергают закалке с температуры 950 °С. Для повышения твердости осуществляют последующий отпуск при 250 – 300 °С. Двухфазные алюминиевожелезные бронзы, легированные никелем (БрАЖН10-4-4), для повышения пластичности отжигают при температуре 700 – 750 °С. С целью упрочнения их подвергают закалке с температуры 980 °С с последующим старением при 400 °С в течение 2 ч.

Кремнистые бронзы (БрКН1-3) с целью упрочнения закаливают с температуры 850 °С и отпускают при 450 °С.

Бериллиевые бронзы (БрБ2) закаливают с температуры 760 – 780 °С и подвергают старению при 320 °С в течение 2 ч.

29. Механические свойства бронз

Бронзы	$\sigma_в$,	$\sigma_{0,2}$	δ,	ψ,	НВ
	МПа		%		
БрОФ4-0,25	340 (600)	(540)	52(8)	–	550 – 700 (1600 – 1700)
БрОФ6,5-0,15	400	250	65	–	700
Бр0Ф6,5-0,4	350 – 450 (700 – 800)	200 – 250 (590 – 650)	60 – 70 (7,5 – 12)	–	700 – 900 (1600 – 2000)
БрОЦ4-3	350 (550)	650	40(4)	–	600 (1600)
БрОЦ4-4-25	300 – 350 (550 – 650)	130 (280)	35 – 45 (2 – 4)	34	600 (1600 – 1800)
БрА7	420 (1000)	250	70 (3-10)	75 (40)	700 (1540)
БрАЖ9-4	(550)	(350)	40(5)	–	1100 (1600 – 2000)
БрАЖН10-4-4	600 (770)	–	35(9)	45 (11)	1400 – 1600 (2250)
БрКН1-3*	350 (700)	150 (550)	30(8)	70 (20)	750 (1800)
БрБ2*	500 (1300 – 1400)	25 – 35 (1280)	30 – 35 (1 – 2)	–	(3500 – 4000)

* В скобках приведены свойства после закалки и старения.

Примечание: без скобок – свойства в отожженном состоянии, в скобках – холоднодеформированном.

Назначение бронз:

1. Бр0Ф4-0,25, БрОФ6,5-0,15 – трубки для монометрических пружин.

2. Бр0Ф6,5-0,4 – трубы, металлические сетки в целлюлознобумажной промышленности.

3. БрОЦ4-3 – плоские и круглые пружины в точной механике, электротехнике, а также для арматуры в бумажной промышленности.

4. БрОЦ4-4-25 – прокладки в подшипниках и втулках.

5. БрА7 – пружинные детали.

6. БрАЖ9-4, БрАЖН10-4-4 – ответственные детали авиапромышленности: шестерни, втулки, седла клапанов и другие детали.

7. БрКН1-3 – ответственные детали в моторостроении.

8. БрБ2 – плоские пружины, мембраны, детали часовых механизмов и др.

Термическая обработка латуней

Однофазные и двухфазные деформируемые латуни (табл. 30) подвергают рекристаллизационному отжигу при температуре 600 – 700 °С. Двухфазные латуни выпускают в виде горячекатаного полуфабриката. Легированные латуни (ЛАНКМц75-2-2,5-0,5-0,5) закаливают с температуры 780 °С и подвергают дисперсионному твердению при 500 °С в течение 2 ч.

30. Механические свойства латуней

Латуни	$\sigma_в$,	$\sigma_{0,2}$,	δ,	ψ,	НВ
	МПа		%		
Л96	240 (400)	(390)	52(2)	82	520-630 (950 – 1000)
ЛАН59-3-2	500 (700)	–	42 (10)	–	1170 (1820)
ЛАНКМц75-2-2,5-0,5-0,5*	(700)	(466)	(25)	(41)	–
ЛО62-1	380 (440)	150 (380)	37	–	850 (1460)

* Свойства после закалки и дисперсионного твердения.

Примечание: без скобок – свойства в отожженном состоянии, в скобках – холоднодеформированном.

Назначение латуней:

1. Л96 – радиаторные и конденсаторные трубки.

2. ЛАН59-3-2 – высокопрочные и химически стойкие детали.

3. ЛАНКМц75-2-2,5-0,5-0,5 – манометрические пружины приборов повышенного класса точности.

4. ЛО62-1 - детали, используемые в морском кораблестроении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алюминиевые сплавы** / Под ред. В. И. Елагина, В. А. Ливанова. М.: Металлургия, 1984. 407 с.

2. **Журавлев В. Н., Николаева О. И.** Машиностроительные стали: Справочник. 4-е изд., переработ. и доп. М.: Машиностроение, 1992, 391с.

3. **Конструкционные** материалы: Справочник / Под ред. Б. Н. Арзамасова. М.: Машиностроение, 1990. 688 с.

4. **Марочник** сталей и сплавов / Под ред. В. Г. Сорокина. М.: Машиностроение, 1989. 640 с.

5. **Марочник** стали и сплавов / Д. И. Бережковский, Л. Г. Голеньшина, Л. В. Голуб и др. М.: ЦНИИТмаш, 1977. 483 с.

6. **Марочник** стали и сплавов / Под ред. И. Р. Крянина и др. 3-е изд., испр. и доп. М.: ЦНИИТмаш, 1977. 480 с.

7. **Материаловедение** / Под ред. Б.Н. Арзамасова. М.: Машиностроение, 1986. 384 с.

8. **Промышленные** алюминиевые сплавы: Справочник / Под ред. Ф. И. Квасова,

И. Н. Фридляндера. М.: Металлургия, 1984. 527 с.

9. **Строганов Г. Б.** Конструкционные материалы: Справочник. / Под ред. Б. Н. Арзамасова. М.: Машиностроение, 1990. 688 с.

10. **Термическая** обработка в машиностроении: Справочник / Под ред. Ю. М. Лахтина, А. Г. Рахштадта. М.: Машиностроение, 1980. 783 с.

11. **Тылкин М. А.** Повышение долговечности деталей металлургического оборудования. М.: Металлургия, 1971. 608 с.

12. **Филинов С. А., Фиргер И. В.** Справочник термиста. Ленинград: Машиностроение, 1975.352 с.

13. **Башнин Ю. А., Ушаков Б. К., Секей А. Г.** Технологии термической обработки стали. М.: Металлургия, 1986. 424 с.

Глава **10**

ДОПУСКИ И ПОСАДКИ

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ

Нормирование и оценка точности реальных деталей основаны на разделении погрешности изготовления: на погрешность размера; отклонение формы (включая волнистость или выделяя ее как отдельную составляющую погрешности изготовления в необходимых случаях); отклонение расположения; шероховатость поверхности. При этом поверхности, профили, оси и их взаимные расположения, представленные чертежом или другой технической документацией, называют **номинальными**.

Номинальный размер – размер, относительно которого определяются предельные размеры (предельные отклонения) и который служит началом отсчета отклонений (отклонений положения поверхностей номинальных по форме и расположению относительно номинальной базы). Экономически целесообразные значения в общем случае размеров выбирают из стандартных рядов: *Ra*5, *Ra*10, *Ra*20, *Ra*40, *Ra*80 (дополнительный), которые образованы как геометрические прогрессии с обязательным членом 1 и со знаменателями прогрессии соответственно: 1,6; 1,25; 1,12; 1,06; 1,03. При этом, чем больше знаменатель прогрессии, тем предпочтительнее ряд.

Профиль – линия пересечения поверхности плоскостью или заданной поверхностью.

Реальная поверхность – поверхность, ограничивающая деталь и отделяющая ее от окружающей среды.

Реальная ось – геометрическое место центров сечений поверхности вращения, перпендикулярных оси прилегающей поверхности. За центр сечения принимается центр прилегающей окружности.

При нормировании и оценке отклонений расположения за **базу** принимают элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), определяющий одну из плоскостей или осей системы координат.

Комплект баз – совокупность двух или трех баз, образующих систему координат, по отношению к которой задается допуск расположения или определяется отклонение расположения рассматриваемого элемента.

Под **отклонением** понимается алгебраическая разность между любым значением величины (размера или другого параметра) и значением этой величины, принятым за начало отсчета.

За начало отсчета отклонений формы при нормировании предпочтительно принимают прилегающие поверхности и профили. В обоснованных случаях за начало отсчета могут приниматься средние элементы или номинальные поверхности и профили. **Прилегающей** поверхностью (профилем) называют такую, которая удовлетворяет следующим условиям:

имеет форму номинальной поверхности (профиля);

касательна к реальной поверхности и лежит вне материала детали;

расположена так, что отклонение от нее наиболее удаленной точки реальной поверхности в пределах нормируемого участка имеет минимальное значение.

Средний элемент – поверхность (профиль), имеющая номинальную форму и такие размеры и (или) расположение, чтобы сумма квадратов расстояний между реальным и средним элементом в пределах нормируемого участка имела минимальное значение.

Отклонение формы количественно оценивается наибольшим расстоянием от точек реальной поверхности (профиля) до прилегающей поверхности (профиля) по нормали к прилегающей поверхности (профилю). Так как шероховатость поверхности не должна включаться в отклонение формы, то отклонение формы по существу относится к отклонению огибающей (шероховатость) поверхности от прилегающей. В обоснованных случаях допускается нормировать отклонение формы, включая шероховатость поверхности. При определении отклонения формы от среднего за оценку ее величины принимают сумму абсолютных значений наибольших отклонений точек реаль-

ной поверхности (профиля), лежащих по обе стороны реального профиля. Оценка от среднего в общем случае не равна оценке от прилегающей.

Отклонение расположения – это отклонение реального расположения рассматриваемого элемента от его номинального расположения. При этом реальные поверхности (профили) заменяются прилегающими, а за оси, плоскости симметрии и центры реальных поверхностей или профилей принимаются оси, плоскости симметрии и центры прилегающих элементов.

На рис. 1 представлен пример связи четырех составляющих погрешности изготовления с соответствующими началами отсчета. Для реальных выпуклых незамкнутых поверхностей и профилей (а именно такой реальный профиль показан на рис. 1) необходимо учитывать, что отклонение размера определяется не однозначно. В стандартах на допуски и посадки указывается, что стандарт распространяется и на гладкие элементы, ограниченные параллельными плоскостями, однако, интерпретация предельных размеров дана только в отношении элементов цилиндрической формы.

В ГОСТ 25346–89 (п. 1.4) за **предельный размер, соответствующий максимуму материала** (наибольший предельный размер вала и наименьший предельный размер отверстия), должен приниматься размер правильного воображаемого цилиндра, который должен быть наибольшим вписанным для отверстия и наименьшим описанным для вала. **Предельные размеры, соответствующие минимуму материала** (наибольший размер отверстия и наименьший размер вала) должны соответствовать размерам, определяемым при двухточечной схеме измерения, т.е. по результатам измерения расстояний между двумя точками. ГОСТ 25346–89 для элементов детали, не образующих посадки, допускает толкование обоих предельных размеров, как размеров, соответствующих результатам измерения по двухточечной схеме в любом месте.

По стандарту ИСО 8015 разработчик чертежа должен у поля допуска указать знак *E*, если считает необходимым определять размер прилегающего цилиндра при контроле соответствия размеру, определяющему максимум материала. Если знак отсутствует, то соответствие обоим предельным размерам должно выясняться по результатам двухточечных измерений независимо от того, участвует этот элемент в сопряжении или нет. Для элементов деталей, ограниченных плоскостями, (в общем случае любыми разомкнутыми поверхностями) максимальный размер элемента, ограниченного

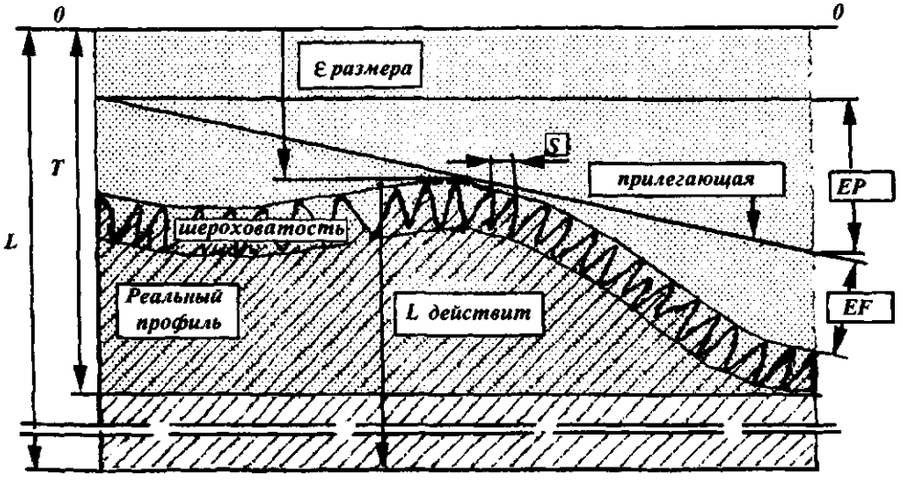


Рис. 1. Нормируемые составляющие погрешности изготовления (пример составлен для значений: L = 50 мм; T = 25 мкм; EP = 10 мкм; EF = 6 мкм; $Ra \approx 0{,}8$ мкм; S = 0,1 мм)

прилегающими, в общем случае не совпадает с размером, соответствующему максимуму материала. Учитывая изложенное, при контроле размеров элементов деталей, ограниченных параллельными плоскостями, с заданными предельными размерами необходимо сравнивать наибольший и наименьший действительные размеры, определяемые по двухточечной схеме измерения.

Предел максимума материала (проходной предел) – термин, относящийся к тому из предельных размеров, которому соответствует наибольший объем материала, т.е. наибольшему предельному размеру вала и наименьшему предельному размеру отверстия.

Предел минимума материала (непроходной предел) – термин, относящийся к тому из предельных размеров, которому соответствует наименьший объем материала, т.е. наименьшему предельному размеру вала и наибольшему предельному размеру отверстия.

Действительный размер – размер элементов детали, установленный измерением с допускаемой погрешностью.

Действительное отклонение – алгебраическая разность между действительным и соответствующим номинальным размером.

Верхнее отклонение (es) – алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размером.

Нижнее отклонение (ei) – алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размером.

Допуск (T) – разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями. Допуск, как характеристика требования к точности, является нормативным ограничением совокупности диапазона рассеивания случайных отклонений и не исключенного систематического отклонения.

Посадка – это нормативный характер соединения, определяемый допускаемыми значениями зазоров или (и) натягов. При этом имеется в виду, что **зазор** – это разность между размерами отверстия (D) и вала (d), а **натяг** – разность между размерами вала (d) и отверстия (D) до сборки. Здесь и далее, если необходимо разделить характеристики отверстия и вала, *отверстия обозначаются прописными (заглавными) буквами, а валы – строчными*. Посадки образуют сочетанием полей допусков отверстий и валов.

Поле допуска – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами или верхним (ES или es) и нижним (EI или ei) отклонениями.

Системы нормирования точности в общем случае состоят из *двух подсистем*: подсистемы допусков с классификацией (разделением на классы, степени, квалитеты) и подсистемы нормируемых отклонений, координирующих положение поля допуска относительно начала отсчета отклонений. В основу построения *различных подсистем допусков положена* классификация зависимостей оценки рассеивания (δ) величины от значения этой величины (L). Для машиностроительных технологий характерно $\delta / L \ll 1$ и, тогда в общем случае можно принять следующую зависимость $\delta = \delta(L)$:

$$\begin{cases} L = \exp\left\{ q \int \left[u^{q-1} / (a + bu - u^q) \right] du + c \right\} \\ \delta = \dfrac{(u^q - a)}{b \exp\left\{ q \int \left[u^{q-1} / (a + bu - u^q) \right] du + c \right\}}, \end{cases}$$

где u – параметр; a и b – постоянные параметры процесса; c – постоянная интегрирования; q – число, выбранное для обеспечения малости $(d\delta / dL)^q$. Для большинства процессов формообразования $d\delta / dL \ll 1$, т.е. можно принять $q = 1$. Тогда

$$\delta = \left[1 / k(b-1) \right] L^b + \left[a / (1-b) \right] L,$$

где k – общая постоянная интегрирования.

В некоторых системах нормативное значение координирующего отклонения всегда равно 0 и совпадает с наименьшим (нормирование шероховатости, отклонений формы и расположения, кинематической точности зубчатых колес и т.д.) или со средним (нормирование погрешности измерения, точности ряда электрических величин и т.д.). В этом случае система нормирования точности состоит только из подсистемы допусков или предельных отклонений.

ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ГЛАДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТАЛЕЙ И СОЕДИНЕНИЙ

Для гладких элементов деталей действующая система допусков и посадок регламентирована ГОСТ 25346–89 "Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды

допусков и основных отклонений" и ГОСТ 25347–82 "Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки". Эти стандарты распространяются на размеры до 3150 мм. ГОСТ 25348–82 распространяется на размеры от 3150 мм до 10 000 мм. Значения допусков по ГОСТ 25346–89 нормированы 20 квалитетами (рядами допусков): 01; 0; 1; 2; ...; 18. **Квалитеты** перечислены в порядке убывания точности. В технической документации квалитеты обозначают соответственно: IT01; IT0; IT1; IT2; ...; IT17; IT18. Эти ряды допусков построены в соответствии с зависимостью:

$$T = ki = k\left(0{,}45\sqrt{D_m} + 0{,}001D_m\right),$$

k – коэффициент, установленный для каждого квалитета и определяющий отношение допусков разных квалитетов (например, для шестого квалитета $k = 10$, а для каждого следующего в 1,6 раза больше); i – единица допуска; $D_m = \sqrt{D_{min} D_{max}}$; D_{max}, D_{min} – крайние значения размеров для каждого интервала номинальных размеров.

Значения допусков представлены в табл. 1. Для определения положения поля допуска относительно начала отсчета отклонений регламентируются значения основных отклонений (табл. 2). **Основным отклонением** называют то из предельных, которое меньше по абсолютной величине. В табл. 3 даны рекомендуемые (и предпочтительные) поля допусков отверстий и валов.

Образование посадок возможно сочетанием любых полей допусков отверстия и вала, но в ГОСТ 25347–82 подчеркивается предпочтительность применения системы отверстия. **Система отверстия** – это система образования посадок, в которой основное отклонение отверстия всегда H(EI = 0). Если при образовании посадки основное отклонение вала h(es = 0), то такую систему образования посадок называют **системой вала**, кроме случаев, когда основное отклонение отверстия H.

Примеры обозначения полей допусков и посадок на чертежах и в другой технической документации. ГОСТ 25346–82 предусматривает три варианта:

1) 40H7, 40g6; 2) $40^{+0,025}$, $40_{-0,025}^{-0,009}$;

3) $40H7^{(+0,025)}$, $40g6\left(^{-0,009}_{-0,025}\right)$.

Отклонение 0 не указывается. Основные отклонения JS и js являются исключением из правил. В этих случаях предельные отклонения по модулю равны половине допуска, среднее отклонение 0 и указанные варианты обозначений имеют вид: 40js6; 40±0,008; 40js6(±0,008). При обозначении посадок можно использовать любой из трех вариантов по одной из следующих схем:

40H7/g6 или 40H7-g6.

Предельные отклонения размеров с неуказанными допусками. Поле допуска может не указываться непосредственно у размера. В этом случае предельные отклонения регламентируются ГОСТ 25670–83. В соответствии с этим стандартом точность размеров нормируется 12 ... 17 квалитетами. Кроме того, в этом стандарте введены классы точности. Между классами и квалитетами установлены следующие соотношения:

Точный класс (t_1) – IT12;

Средний класс (t_2) – IT13, IT14;

Грубый класс (t_3) – IT15, IT16;

Очень грубый класс (t_4) – IT17.

Неуказанные предельные отклонения на чертеже регламентируются записью в технических условиях (в общей записи на чертеже) предпочтительно в следующих вариантах:

H14, hH, ±IT14/2 или +IT14;

-IT14; ±IT14/2; $+t_2$, $-t_2$, $\pm t_2 / 2$.

Допуски и посадки деталей из пластмасс. Поля допусков регламентированы ГОСТ 25349–82 для деталей, размеры которых определены при температуре 20 °С и относительной влажности воздуха 65 %. До начала контроля детали должны выдерживаться в этих условиях в течение 6 ... 12 ч.

ГОСТ 25349–82 устанавливает ограничительный отбор полей допусков из ГОСТ 25347–82:

H8 ... H17, A11, B11, B12, C11, D8 ... D11, E8, E9, F8, F9, JS8 ... JS17, N8 ... N11, U8, X10, Y10, Z10, ZA10, ZB10, ZC10, ZC11;

h8 ... h17, a11, b11, b12, c8, c11, d8 ... d11, e8, e9, f8, f9, js8 ... jsl7, k8 ... k11, u8, x8, x10, y10, z8, z10, za10, zb10, zc10, zc11.

Кроме указанных ГОСТ устанавливает и специальные поля допусков.

1. Допуски для размеров до 500 мм

Интервалы номинальных размеров, мм	Квалитеты																	
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Значение допусков, мм																		
До 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000
Св. 3 до 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200
» 6 » 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500
» 10 » 18	0,5	0,8	1	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800
» 18 » 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100
» 30 » 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500
» 50 » 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000
» 80 » 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500
» 120 » 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000
» 180 » 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600
» 250 » 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200
» 315 » 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700
» 400 » 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300

Примечание. Для размеров до 1 мм квалитеты свыше 14 не применяются.

2. Значения основных отклонений и поправки к основным отклонениям K, M, N (до 8-го квалитета для размеров св. 6 мм) и от P до Z (до 7-го квалитета), мкм

Размер, мм	es со знаком "-"							ei со знаком "+"										Поправка Δ					
	a	b	c	d	e	f	g	k	m	n	p	r	s	t	u	x	z	Квалитет					
	EI со знаком "+"							ES со знаком "-"										3	4	5	6	7	8
	A	B	C	D	E	F	G	K	M	N	P	R	S	T	U	X	Z						
До 3	270	140	60	20	14	6	2		2	4	6	10	14	–	18	20	26	0	0	0	0	0	0
Св. 3 до 6	270	140	70	30	20	10	4	1	4	8	12	15	19		23	28	35	1	1,5	1	3	4	6
» 6 » 10	280	150	80	40	25	13	5	1	6	10	15	19	23		28	34	42	1	1,5	2	3	6	7
» 10 » 14	290	150	95	50	32	16	6	1	7	12	18	23	28	–	33	40	50	1	2	3	3	7	9
» 14 » 18																45	60						
» 18 » 24	300	160	110	65	40	20	7	2	8	15	22	28	35	41	41	54	73	1,5	2	3	4	8	12
» 24 » 30															48	64	88						
» 30 » 40	310	170	120	80	50	25	9	2	9	17	26	34	43	48	60	80	112	1,5	3	4	5	9	14
» 40 » 50	320	180	130											54	70	97	136						
» 50 » 65	340	190	140	100	60	30	10	2	11	20	32	41	53	66	87	122	178	2	3	5	6	11	16
» 65 » 80	360	200	150									43	59	75	102	146	210						
» 80 » 100	380	220	170	120	72	36	12	3	13	23	37	51	71	91	124	170	258	2	4	5	7	13	19
» 100 » 120	410	240	180									54	79	104	144	210	310						
» 120 » 140	460	260	200									63	92	122	170	280	365	3	4	6	7	15	23
» 140 » 160	520	280	210	145	85	43	14	3	15	27	43	65	100	134	199		415						
» 160 » 180	580	310	230									68	108	146	210	310	465						

Продолжение табл. 2

Размер, мм	es со знаком "-"							ei со знаком "+"										Поправка Δ					
	a	b	c	d	e	f	g	k	m	n	p	r	s	t	u	x	z	Квалитет					
	EI со знаком "+"							ES со знаком "-"										3	4	5	6	7	8
	A	B	C	D	E	F	G	K	M	N	P	R	S	T	U	X	Z						
» 180 » 200	660	340	240	170	100	50	15	4	17	31	50	77	122	166	236	350	520	3	4	6	9	17	26
» 200 » 225	740	380	260									80	130	180	258	385	575						
» 225 » 250	820	420	280									84	140	196	284	425	640						
» 250 » 280	920	480	300	190	110	56	17	4	20	34	56	94	158	218	315	475	710	4	4	7	9	20	29
» 280 » 315	1050	540	330									98	170	240	350	525	790						
» 315 » 355	1200	600	360	210	125	62	18	4	21	37	62	108	190	268	390	590	900	4	5	7	11	21	32
» 355 » 400	1350	680	400									114	208	294	435	660	1000						
» 400 » 450	1500	760	440	230	135	68	20	5	23	40	68	126	232	330	490	740	1100	5	5	7	13	23	34
» 450 » 500	1650	840	480									132	252	360	540	820	1250						

Примечания:

1. Отклонения a, b, A и B во всех квалитетах и N в квалитетах св. 8-го не предусмотрены для размеров до 1 мм.
2. Отклонение k в квалитетах до 3-го и св. 7-го, K и N св. 8-го квалитета равны 0 (кроме N в интервале до 3 мм, где оно равно 4 мкм).
3. Частный случай: основное отклонение поля допуска M6 для размеров св. 250 до 315 мм ES = -9 мкм (но не 11).
4. Основные отклонения k: es = 0 и H: EI = 0.
5. Обозначения *js* и *Js* означают, что предельные отклонения симметричны, равны ±IT/2, а в квалитетах от 7 до 11-го округляются до ближайшего меньшего целого.
6. Пример определения основного отклонения, предусматривающего учет поправки: для P7 в интервале размеров св. 30 до 50 мм Δ = 9 мкм, следовательно ES = -26 + 9 = -17 мкм.

3. Рекомендуемые поля допусков для номинальных размеров от 1 до 500 мм

Для отверстий	Для валов
A11, B11, B12, C11, D8 … D11, E8, **E9**, F7, **F8**, F9, G5 … G7, H01 … H6, **H7 … H9**, H10, **H11**, H12 … H17, JS01 … JS6, **JS7**, JS8 … JS17, K5, K6, **K7**, K8, M5 … M8, N5 … N6, **N7**, N8, P6, **P7**, R7, S7, T7, U8	a11, b11, **b12**, c8, **c11**, d8, **d9**, d10, **d11**, e7, **e8**, e9, f6, **f7**, f8, f9, g4, g5, **g6**, h01 … h5, **h6 … h9**, h10, **h11**, h12 … h17, js01 … js5, **js6**, js7 … js17, k4, k5, **k6**, k7, m4 … m7, n4, n5, **n6**, n7, p5, **p6**, r5, **r6**, s5, **s6**, s7, t6, u7, u8, x8, z8

Предпочтительные поля допусков выделены.

НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Система нормирования точности формы и расположения поверхностей включает **три группы параметров**: точности формы, точности расположения и суммарные параметры формы и расположения. Определения основных параметров и другие необходимые термины установлены ГОСТ 24642-81, а допускаемые значения параметров нормированы ГОСТ 24643-81.

На основе понятия прилегающей поверхности, служащей началом отсчета отклонений формы (см. выше) определены следующие параметры:

отклонений формы – отклонение от цилиндричности (***EFZ***), отклонение от круглости (***EFK***), отклонение формы продольного сечения (***EFP***), отклонение от плоскостности (***EFE***), отклонение от прямолинейности (***EFL***);

отклонений расположения – отклонение от параллельности (***EPA***), отклонение от перпендикулярности (***EPR***), отклонение наклона (***EPN***), отклонение от соосности (***EPC***), отклонение от симметричности (***EPS***), позиционное отклонение (***EPP***), отклонение от пересечения осей (***EPX***);

суммарных отклонений формы и расположения – радиальное биение (***ECR***), торцевое биение (***ECA***), биение в заданном направлении (***ECD***), полное радиальное биение (***ECTR***), полное торцевое биение (***ECTA***), отклонение формы заданного профиля (***ECL***), отклонение формы заданной поверхности (***ECE***).

Обозначения видов допусков на эти параметры представлены в табл. 4, а в табл. 5 даны примеры указания требований к точности параметров на чертежах.

Определения параметров отклонений формы (*EF*) отличается от общего определения отклонений формы лишь указанием вида прилегающей поверхности. Например, **отклонением от круглости** называется наибольшее расстояние от точек реального профиля до прилегающей окружности. Частными видами отклонений формы являются **овальность** и **огранка**. Значение овальности при контроле определяется как максимальная полуразность двух взаимно перпендикулярных диаметров.

Отклонением профиля продольного сечения называется наибольшее расстояние от точек образующих реальной поверхности, лежащих в плоскости, проходящей через ее ось, до соответствующей стороны прилегающего профиля в пределах нормируемого участка. **Прилегающим профилем продольного сечения** называют две параллельные прямые, соприкасающиеся с реальным профилем продольного сечения цилиндрической поверхности и расположенные вне материала элемента детали так, что наибольшее отклонение точек реального профиля от соответствующей стороны прилегающего профиля продольного сечения в пределах нормируемого участка имеет минимальное значение. Частными видами отклонения профиля продольного сечения являются **конусообразность, бочкообразность и седлообразность**. При контроле их значения определяются как максимальные полуразности двух диаметров:

для конусообразности – диаметров крайних сечений;

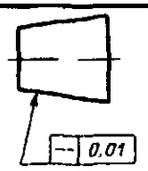
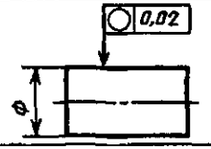
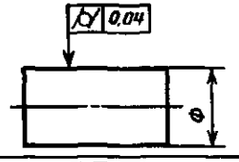
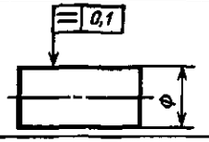
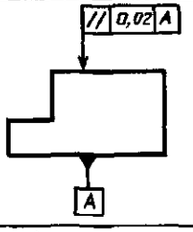
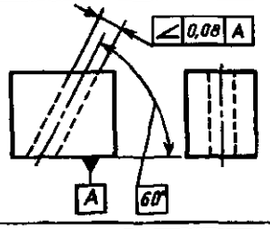
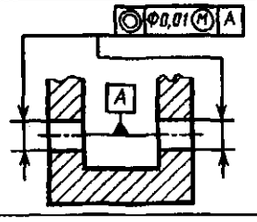
для бочкообразности – диаметров среднего и крайнего сечений;

для седлообразности – диаметров крайнего и среднего сечений.

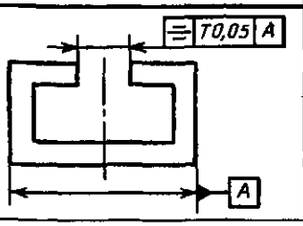
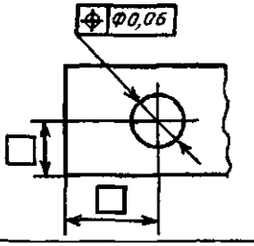
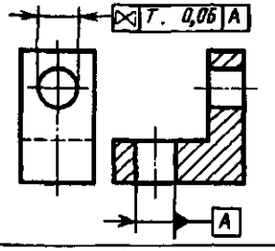
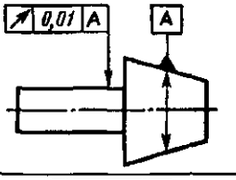
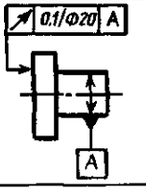
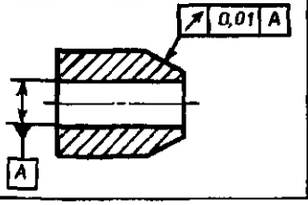
4. Знаки (графические символы) видов допусков формы и расположения поверхностей

Группа допусков	Вид допуска	Знак	Группа допусков	Вид допуска	Знак
Допуски формы	Допуск прямолинейности		Суммарные допуски формы и расположения	Допуск радиального биения	
	Допуск плоскостности			Допуск торцового биения	
	Допуск круглости			Допуск биения в заданном направлении	
	Допуск цилиндричности				
	Допуск профиля продольного сечения				
Допуски расположения	Допуск параллельности			Допуск полного радиального биения	
	Допуск перпендикулярности			Допуск полного торцового биения	
	Допуск наклона				
	Допуск соосности				
	Допуск симметричности			Допуск формы заданного профиля	
	Позиционный допуск			Допуск формы заданной поверхности	
	Допуск пересечения осей				

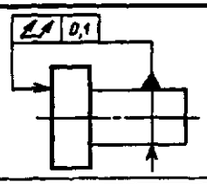
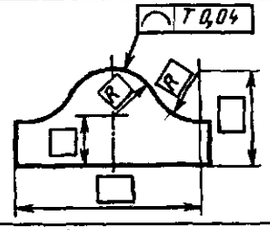
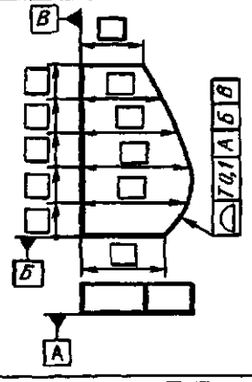
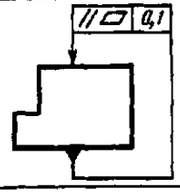
5. Примеры указания на чертежах допусков формы и расположения поверхностей

Вид допуска	Условным обозначение	Текстом
Допуск прямолинейности		Допуск прямолинейности образующей конуса 0,01 мм
Допуск круглости		Допуск круглости вала 0,02 мм
Допуск цилиндричности		Допуск цилиндричности вала 0,04 мм
Допуск профиля продольного сечения		Допуск профиля продольного сечения вала 0,1 мм
Допуск параллельности		Допуск параллельности поверхности относительно поверхности *А* 0,02 мм
Допуск наклона		Допуск наклона оси отверстия относительно поверхности *А* 0,08 мм
Допуск соосности		Зависимый допуск соосности двух отверстий относительно их общей оси ∅ 0,01 мм (допуск зависимый)

Продолжение табл. 5

Вид допуска	Условным обозначение	Текстом
Допуск симметричности		Допуск симметричности паза *Т* 0,05 мм База – плоскость симметрии поверхностей *А*
Позиционный допуск		Позиционный допуск оси отверстия ∅0,06 мм
Допуск пересечения осей		Допуск пересечения осей отверстий: *Т* 0,06 мм
Допуск радиального биения		Допуск радиального биения вала относительно оси конуса 0,01 мм
Допуск торцевого биения		Допуск торцевого биения поверхности на диаметре 20 мм относительно оси поверхности *А* 0,1мм
Допуск биения в заданном направлении		Допуск биения конуса относительно оси отверстия *А* перпендикулярно образующей конуса 0,01 мм

Продолжение табл. 5

Вид допуска	Условным обозначение	Текстом
Допуск полного торцевого биения		Допуск полного торцевого биения поверхности относительно поверхности вала 0,1 мм
Допуск формы заданного профиля		Допуск формы заданного профиля *T* 0,04 мм
Допуск формы заданной поверхности		Допуск формы заданной поверхности *Г* относительно поверхностей *А, Б, В*: *T* 0,1 мм
Суммарный допуск параллельности и плоскостности		Суммарный допуск параллельности и плоскостности поверхности относительно основания 0,1 мм

Примечание. Под осью поверхности понимается ось прилегающей поверхности.

Отклонение от прямолинейности может относится не только к прямолинейному профилю, но и к оси в пространстве. **Отклонением от прямолинейности оси в пространстве** называется наименьшее значение диаметра цилиндра, внутри которого располагается реальная ось поверхности вращения в пределах нормируемого участка. **Реальная ось** – это геометрическое место центров прилежащих окружностей в сечениях, перпендикулярных оси прилегающего цилиндра.

В справочном приложении ГОСТ 24642–81 были введены следующие дополнительные параметры отклонений формы.

Среднее арифметическое отклонений формы профиля EF_a – это среднее арифметическое из абсолютных значений расстояний $h(s)$ или h_i между реальным профилем и средним профилем по нормали к среднему профилю в пределах нормируемого участка:

$$EF_a = (1/L)\int_0^L |h(s)|\,ds \cong (1/n)\sum_1^n |h_i|.$$

Этот параметр может использоваться для оценки отклонений от прямолинейности, отклонений от круглости и отклонений профиля продольного сечения.

Среднее квадратическое отклонение формы профиля EF_q – это среднее квадратическое расстояний $h(s)$ или h_i между реальным профилем и средним профилем по нормали к среднему профилю в пределах нормируемого участка:

$$EF_q = \sqrt{(1/L)\int_0^L |h^2(s)|\,ds} \cong \sqrt{(1/n)\sum_1^n |h_i^2|}.$$

Введены аналогичные параметры отклонений формы поверхностей.

Это среднее арифметическое отклонение формы поверхности и среднее квадратическое отклонение формы поверхности. Эти параметры могут использоваться для оценки отклонений от плоскостности и цилиндричности.

Количество проходов через нуль – количество точек пересечения реального профиля со средним профилем в пределах нормируемого участка.

Количество волн – количество волн на периметре сечения поверхности вращения. Волна определяется как участок профиля, заключенный между тремя соседними точками пересечения реального профиля со средней окружностью.

Параметры, установленные для оценки **отклонений расположения (*EP*)** относятся к одной детали или могут относиться к нескольким деталям, если они соединены неподвижно. При этом вместо реальных поверхностей (профилей) рассматриваются расположения прилегающих относительно выбранных баз или взаимное расположение без выделения базы.

Отклонение от параллельности может относиться к различным элементам.

Отклонение от параллельности плоскостей – разность наибольшего и наименьшего расстояний между плоскостями в пределах нормируемого участка.

Отклонение от параллельности оси и плоскости – разность наибольшего и наименьшего расстояний между осью и плоскостью на длине нормируемого участка.

Отклонение от параллельности прямых в плоскости – разность наибольшего и наименьшего расстояний между прямыми в пределах нормируемого участка.

Отклонение от параллельности осей в пространстве – геометрическая сумма отклонений от параллельности проекций осей в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, одна из которых является общей плоскостью осей. В этом случае допуск задается в виде параллелепипеда или цилиндра, диаметр которого равен допуску параллельности. Перед значением допуска в последнем случае должен стоять знак диаметра ∅ (допуск в диаметральном выражении см. табл. 5).

Отклонение от параллельности осей в общей плоскости – отклонение от параллельности проекций осей на их общую плоскость.

Перекос осей – отклонение от параллельности проекций осей на плоскость, перпендикулярную к общей плоскости и проходящую через одну из осей.

Отклонение от перпендикулярности, также как и отклонение от параллельности, может относиться к различным элементам.

Отклонение от перпендикулярности плоскостей – отклонение от прямого угла между прилегающими плоскостями, выраженное в линейных единицах на длине нормируемого участка.

Отклонение от перпендикулярности плоскости оси или оси относительно оси – отклонение угла между плоскостью оси или осью и базовой осью от прямого угла, выраженное в линейных единицах на длине нормируемого участка.

Отклонение от перпендикулярности оси относительно плоскости в заданном направлении – отклонение угла между проекцией оси поверхности вращения на плоскость заданного направления (перпендикулярную базовой плоскости) и базовой плоскостью от прямого угла, выраженное в линейных единицах на длине нормируемого участка.

Отклонение от перпендикулярности оси относительно плоскости – отклонение угла между осью поверхности вращения и базовой плоскостью от прямого угла, выраженное в линейных единицах на длине нормируемого участка.

Отклонение наклона может нормироваться с помощью одного из двух параметров, отличающихся от аналогичных отклонений от перпендикулярности только тем, что определяется не от прямого угла. Это **отклонение наклона плоскости относительно плоскости или оси и отклонение наклона оси относительно оси или плоскости**.

Для оценки **отклонения от соосности**, в зависимости от используемой базы, можно использовать один из двух следующих параметров.

Отклонение от соосности относительно базовой поверхности – наибольшее расстояние между осью рассматриваемой поверхности вращения и осью базовой поверхности на длине нормируемого участка.

Отклонение от соосности относительно общей оси – наибольшее расстояние между осью рассматриваемой поверхности и общей осью двух и более поверхностей вращения на длине нормируемого участка. За общую ось принимают прямую, проходящую через оси рассматриваемых поверхностей в среднем сечении.

Аналогично отклонению от соосности отклонение от симметричности может быть представлено двумя параметрами: **отклонением от симметричности относительно базового элемента и отклонение от симметричности относительно общей плоскости**. В первом случае это наибольшее расстояние между плоскостью симметрии рассматриваемого элемента и плоскостью симметрии базового элемента в пределах нормируемого участка, а во втором вместо плоскости симметрии базового элемента используется общая плоскость симметрии двух и более элементов.

Позиционное отклонение – наибольшее расстояние между реальным расположением элемента детали (его оси, центра или плоскости симметрии) и его номинальным расположением в пределах нормируемого участка.

Отклонение от пересечения осей – наименьшее расстояние между пересекающимися осями.

Допуск соосности и позиционный допуск могут быть заданы в диаметральном и радиусном выражении, что указывается знаками ∅ и *R*. Допуск в диаметральном выражении – это диаметр цилиндра, внутри которого должен находится нормируемый элемент. Допуск в радиусном выражении ограничивает отклонение элемента от номинального положения в любом направлении. Аналогично может назначаться и **допуск симметричности и допуск пересечения** осей, но для обозначения применяют соответственно Т и Т/2 (см. табл. 5).

Допуски формы и расположения могут назначаться как независимыми, так и зависимыми от действительного размера рассматриваемого и (или) базового элемента.

Зависимый допуск расположения или формы – допуск, указываемый на чертеже или в другой технической документации в виде значения, которое допускается превышать на значение, зависящее от отклонения действительного размера рассматриваемого элемента и (или) базы от предела максимума материала. Из определения следует:

зависимый допуск может быть отнесен только к охватываемым (валам) или охватывающим (отверстиям) поверхностям;

на чертеже указывается только минимальное значение и, следовательно, при определенных действительных значениях размеров действительные значения отклонений формы или расположения могут быть больше указанного допуском;

минимальное (указанное на чертеже) значение допуска регламентирует отклонения, соответствующие случаю, когда действительный размер элемента (или нескольких) детали равен пределу максимума материала (наибольшему предельному размеру вала или наименьшему предельному размеру отверстия);

указанный на чертеже допуск разрешается превышать на величину абсолютной разности предела максимума материала и действительного размера;

если отклонение формы или расположение допускается только в пределах абсолютной разности действительного размера и предела максимума материала, то зависимый допуск равен 0.

Рациональная область применения зависимых допусков ограничивается обеспечением требований к собираемости. Независимые допуски целесообразно назначать тогда, когда отклонение формы или расположения влияют на функционирование изделия и необходимо это влияние ограничить, обеспечив собираемость. Кроме того, не на все параметры могут назначаться зависимые допуски. Отклонение наклона и отклонение от параллельности всегда нормируются независимыми допусками. Из параметров отклонений формы зависимый допуск может использоваться для ограничения

прямолинейности оси. Зависимые допуски выделяются на чертеже специальным знаком Ⓜ (см. табл. 5).

Суммарные отклонения формы и расположения ограничиваются единым допуском и при контроле определяются по точкам реальной (а не прилегающей или средней) поверхности относительно прилегающих базовых поверхностей элементов деталей (в том числе и осей). Суммарные отклонения могут регламентироваться или указанием на чертеже в одном поле сразу двух знаков допуска (см. табл. 5) или применением специальных параметров суммарных отклонений.

Радиальное биение – разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения до базовой оси в сечении плоскостью, перпендикулярной базовой оси.

Полное радиальное биение – разность наибольшего и наименьшего расстояний от всех точек реальной поверхности в пределах нормируемого участка до базовой оси. Этот параметр относится только к номинальным цилиндрическим поверхностям.

Торцевое биение – разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси.

Полное торцевое биение – разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек всей торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси.

Биение в заданном направлении – разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения в сечении рассматриваемой поверхности конусом, ось которого совпадает с базовой осью, а образующая имеет заданное направление до вершины этого конуса.

Отклонение формы заданного профиля – отклонение точек реального профиля от номинального профиля, определяемое по нормали к номинальному профилю в пределах нормируемого участка.

Отклонение формы заданной поверхности – отклонение точек реальной поверхности от номинальной поверхности, определяемое по нормали к номинальной поверхности в пределах нормируемого участка.

Значения допусков на указанные выше параметры ГОСТ 24643–81 определяет в зависимости от степени точности и значения интервала нормируемого участка. Следовательно, стандарт построен так, что все допуски формы, расположения и суммарные допуски образуют матрицы значения допусков T_{ij}, где i – номер степени точности, а j – номер интервала размеров.

Ряды интервалов размеров представлены в табл. 6. В первой строке таблицы представлен ряд интервалов, используемый для построения рядов допусков плоскостности, прямолинейности, перпендикулярности, а во второй – для построения рядов допусков формы цилиндрических поверхностей, радиального и полного радиального биения, соосности, симметричности и пересечения осей. При этом ряды допусков в каждой степени (по интервалам, т.е. по j) построены по округленному ряду *Ra*10:

1; 1,2; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8 (основная часть).

Остальные члены ряда получают умножением членов основной части ряда на: 0,1; 10; 100; 1000.

Всего ГОСТ 24643–81 устанавливает 16 степеней точности, т.е. 16 рядов допусков (следовательно, i = 1, 2, ..., 16). Степени точности не указываются на чертеже и служат лишь ориентиром для выбора требований к точности формы и расположения поверхностей. Начальные значения этих рядов (т.е. допуски по степеням точности для первого интервала размеров нормируемых элементов) даны в табл. 7.

6. Ряды интервалов размеров нормируемых элементов

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Св.		10	16	25	40	63	100	160	250	400	630
до	10	16	25	40	63	100	160	250	400	630	1000
Св.	3	10	18	30	50	120	250	400	630	1000	
до	10	18	30	50	120	250	400	630	1000	1600	

7. Значения допусков формы, расположения и суммарных допусков для 1-го интервала нормируемых участков (1-е члены ряда в каждой степени точности) в мкм

Виды отклонений	Степени точности															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
EFZ, EFK, EFP	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300
EFE, EFL	0,25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250
EPA, EPR, EPN, ECA, ECTA	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400
ECR, ECTR, EPC, EPX, EPS	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800

Примечание. Допуски соосности (TPC), симметричности (TPS) и пересечения осей (TPX) даны в диаметральном выражении.

Для определения значения допуска *i*-ой степени точности для размера нормируемого участка, попадающего в *j*-ый интервал, необходимо найти начальный член ряда по табл. 7, а затем определить номер *j* члена этого ряда, выбрав по табл. 6 номер интервала, в который попадает размер нормируемого участка. Значение этого члена ряда и есть искомое значение допуска.

Пример. Найти значение допуска полного торцевого биения 6-ой степени точности, если номинальный диаметр рассматриваемой торцевой поверхности 50 мм. По табл. 7 находим (3-я строка сверху и 6-й столбец) – первый член ряда 4. Диаметр 50 мм попадает в 5-й интервал размеров (1-я строка табл. 6), т.е. искомый допуск является 5-м членом ряда с начальным членом 4. Это ряд: 4; 5; 6; 8; 10 и т.д. Допуск полного торцевого биения 6-ой степени точности для торцевой поверхности диаметром 50 мм равен 10 мкм.

Для сравнения отметим, допуск полного радиального биения той же степени точности и для того же диаметра равен 20 мкм.

НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ УГЛОВ, КОНУСОВ И КОНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Для нормирования точности углов ГОСТ 8908-81 устанавливает 17 степеней (рядов) точности с зависимостью допуска угла между степенями по ряду *Ra*5 в угловых единицах. Зависимость допуска внутри ряда, т.е. от длины конуса L (при конусности не более 1/3) или длины образующей конуса L_1 (при конусности более 1/3) соответствует ряду *Ra*10. В связи с тем, что значения угла выражаются разными способами, ГОСТ 8908–81 предусматривает возможность выбирать значения допусков, установленных также разными способами и с использованием следующих обозначений:

AT_α – допуск, выраженный в радианной мере, и соответствующее ему точное значение в градусной мере;

AT'_α – допуск, выраженный в градусной мере, но с округлением по отношению к значению в радианной мере;

AT_h – допуск, выраженный в линейной мере длиной отрезка на перпендикуляре к концу меньшей стороны угла;

AT_D – допуск, относящийся только к углу конуса и выраженный в линейной мере как разность диаметров на заданном расстоянии в сечении конуса плоскостями, перпендикулярными оси конуса.

Значения допусков AT'_α даны в табл. 8.

Связь между допусками в угловых и линейных единицах выражается зависимостью:

$$AT_h = AT_h \cdot L_1 10^{-3},$$

где AT_h в мкм; AT_α в микрорадианах и L_1 в мм.

При назначении полей допусков конусов за номинальный диаметр конуса принимается диаметр окружности в плоскости поперечного сечения, называемой основной. **Основная плоскость** задается на некотором расстоянии (базорасстоянии) от базовой плоскости перпендикулярно оси конуса. В качестве базовой может выбираться плоскость торца или другого элемента. Базовая и основная плоскости могут совпадать.

Точность и характер конических соединений нормируется выбором посадки, образуемой сочетанием полей допусков. ГОСТ 25307–82 "ОНВ. Система допусков и посадок для конических соединений" предлагает ограничительный отбор полей допусков и соответствующих значений допусков и основных отклонений из ГОСТ 25346–82 (следовательно и из ГОСТ 25346–89) и ГОСТ 25347–82 (см. выше).

В табл. 9 даны поля допусков, которые могут назначаться как на диаметр в любом сечении (D), так и на диаметр в заданном сечении (Ds). В первом случае при контроле предельные значения диаметра определяются как алгебраическая сумма номинального диаметра в любом сечении и предельных отклонений, устанавливаемых по ГОСТ 25346–82 (ГОСТ 25347–89) независимо от сечения.

Применение указанных полей допусков предполагает два способа нормирования точности конусов:

способ совместного нормирования всех видов погрешностей (погрешности диаметра, угла конуса и отклонения формы) одним полем допуска диаметра конуса в любом сечении;

способ раздельного нормирования каждого вида погрешности.

В последнем случае нормируются: погрешность размера – полем допуска на диаметр в заданном сечении ***Ds***; погрешность угла конуса – допуском угла конуса AT по ГОСТ 8908–81; отклонение формы в поперечном сечении – допуском круглости **TFR**, а отклонения формы в продольном сечении – допуском прямолинейности образующей **TFL** по ГОСТ

8. Допуски углов по ГОСТ 8908-81. Округленное значение AT'_α

Степень точности	Интервалы длины L и L_1, мм													
	До 10	Св. 10 до 16	Св. 16 до 25	Св. 25 до 40	Св. 40 до 63	Св. 63 до 100	Св. 100 до 160	Св. 160 до 250	Св. 250 до 400	Св. 400 до 630	Св. 630 до 1000	Св. 1000 до 1600
3	26″	20″	16″	12″	10″	8″	6″	5″	4″	3″	–	–
4	40″	32″	26″	20″	16″	12″	10″	8″	6″	5″	4″	3″
5	1′	50″	40″	32″	26″	20″	16″	12″	10″	8″	6″	5″
6	1′ 40″	1′ 20″	1′	50″	40″	32″	26″	20″	16″	12″	10″	8″
7	2′ 30″	2′	1′ 40″	1′ 20″	1′	50″	40″	32″	26″	20″	16″	12″
8	4′	3′	2′ 30″	2′	1′ 40″	1′ 20″	1′	50″	40″	32″	26″	20″
9	6′	5′	4′	3′	2′ 30″	2′	1′ 40″	1′ 20″	1′	50″	40″	32″
10	10′	8′	6′	5′	4′	3′	2′ 30″	2′	1′ 40″	1′ 20″	1′	50″
11	16′	12′	10′	8′	6′	5′	4′	3′	2′ 30″	2′	1′ 40″	1′ 20″
12	26′	20′	16′	12′	10′	8′	6′	5′	4′	3′	2′ 30″	2′
13	40′	32′	26′	20′	16′	12′	10′	8′	6′	5′	4′	3′
14	1°	50′	40′	32′	26′	20′	16′	12′	10′	8′	6′	5′
15	1° 40′	1° 20′	1°	50′	40′	32′	26′	20′	16′	12′	10′	8′
16	2°		1°			40′			26′		10′	
17	4°		2°			1° 20′			40′		20′	

9. Поля допусков D и Ds наружных и внутренних конусов

Квалитет	Наружные конусы	Внутренние конусы
5	g5, h5, js5, k5, m5, n5, p5, r5, s5	H5, JS5*1
6	f6, g6, h6, js6, k6, m6, n6, p6, r6, s6, t6	H6, JS6*1
7	e7, f7, h7, js7, k7, m7, n7, s7, u7	H7, JS7*1
8	d8, e8, f8, h8, js8*2, k8*2, u8, z8, x8	H8, JS8*1
9	d9, e9, f9, h9, js9*2, k9*2	H9, JS9*2, N9*2
10	h10*2, js10*2, k10*2	H10*2, JS10*2, N10*2
11	h11*2, js11*2, k11*2	H11*2, JS11*2, N11*2
12	h12*2, js12*2, k12*2	H12*2, JS12*2, N12*2

*1 Поля допусков, как правило, не предназначены для посадок.

*2 Поля допусков для посадок с фиксацией по осевому смещению сопрягаемых конусов от их начального положения или по заданному усилию запрессовки.

Примечание. Для внутренних конусов до 3 мм вместо полей допусков N9 – N12 следует применять поля допусков K9 – K12.

24643-81 (см. табл. 6 и 7). Второй способ используется тогда, когда погрешности угла конуса ограничены более узкой областью, чем это возможно при полном использовании допуска на диаметр в любом сечении.

Использование всего поля допуска для оценки погрешности угла (способ совместного нормирования) предполагает, что предельные значения угла определяются через соответствующие разности предельных значений диаметров, ограниченных полем допуска:

$$\alpha_{max} - \text{через } (D_{max} - d_{min}) \text{ и}$$

$$\alpha_{min} - \text{через } (D_{min} - d_{max}),$$

где D – наибольший номинальный диаметр конуса на нормируемом участке; d – наименьший номинальный диаметр на нормируемом участке. В частности, это могут быть диаметры двух оснований конуса.

Коническая посадка определяет характер соединения, оцениваемый возможной разностью до сборки диаметров внутреннего и наружного конусов в их поперечных сечениях, совмещаемых после фиксации их взаимного осевого положения. В зависимости от способа фиксации взаимного осевого положения сопрягаемых конусов определены четыре способа получения конических соединений для различных посадок.

1 . Способ с фиксацией путем совмещения конструктивных элементов сопрягаемых конусов, например базовых плоскостей. Так могут быть получены соединения, соответствующие назначенным посадкам с зазором, с натягом, а также переходным.

2. Способ с фиксацией по заданному осевому расстоянию между базовыми плоскостями сопрягаемых конусов, т.е. с фиксацией базорасстояния соединения. В этом случае также могут быть получены соединения, соответствующие всем трем типам посадок.

3. Способ с фиксацией по заданному осевому смещению E_a сопрягаемых конусов от их начального положения, которое определяется моментом касания при сборке соединения. Один из конусов вводится в другой до касания конических поверхностей, а затем один из конусов сдвигается вдоль оси на расстояние E_{as} для получения соединения с зазором или на E_{aN} для получения соединения с натягом с допуском T_{E_a} и фиксируется в новом положении.

E_{as} и E_{aN} определяются как минимальный осе-

вой зазор и минимальный осевой натяг на основе предельных осевых отклонений отверстия и вала (для E_{as}: ESz и eiz, для E_{aN}: EIz и esz; см. рис. 2). Допуск сдвига T_{E_a} определяется через осевые допуски конусов (Tze и Tzi см. рис. 2). Этим способом могут выполняться соединения по посадкам с зазором и с натягом.

4. Способ с фиксацией по заданной силе запрессовки. Этим способом получают только соединения с натягом.

Правила указания на чертежах размеров, предельных отклонений, допусков формы конусов и посадок конических соединений регламентирует ГОСТ 2.320–82. Примеры указаний посадок на чертежах приведены на рис. 3.

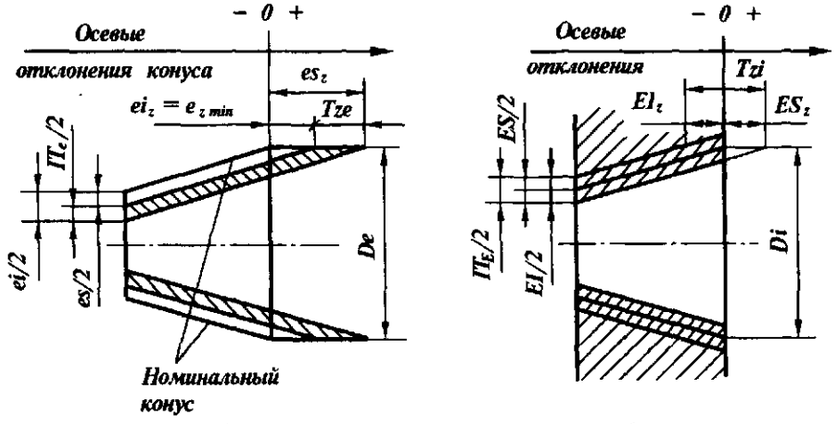


Рис. 2. Осевые отклонения и осевые допуски наружного (*а*) и внутреннего (*б*) конусов при фиксации по заданному осевому смещению

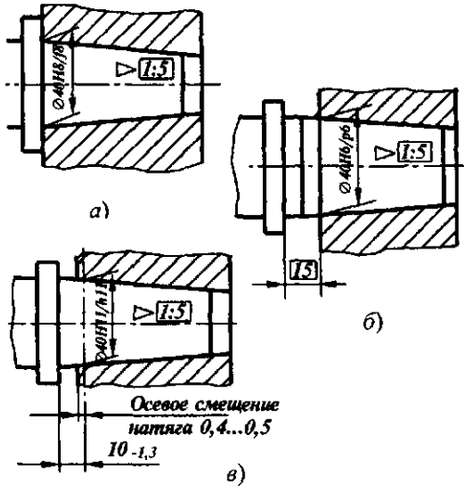


Рис. 3. Примеры указания посадок конических соединений: *а* – с фиксацией путем совмещения конструктивных элементов; *б* – с фиксацией по заданному осевому расстоянию; *в* – с фиксацией по заданному осевому смещению; * – для справки

При выборе посадок необходимо также иметь в виду, что при определенных углах конуса неподвижные конические соединения образуются и без применения указанных способов. Это относится к коническим соединениям центров, инструментов и т.п. При применении ГОСТ 25307–82 для нормирования соединений в этих и аналогичных случаях качество соединения планируется выбором степеней точности и основных отклонений. В частности, возможно использование 4 ... 8 степеней точности (рекомендуемая 6-я) и сочетания основных отклонений H / h. В то же время из некоторых исследований можно сделать вывод, что сочетание отклонений H / js может обеспечить передачу большего крутящего момента за счет лучшей разности углов наружного и внутреннего конусов.

ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Для метрической **резьбы с зазором** ГОСТ 16093–81 устанавливает основные отклонения для d и d_2 наружной резьбы: h, g, f, e, d и для D_1 и D_2 внутренней резьбы: H, G, F и E. При сочетании отклонений H/h создается посадка с наименьшим зазором, равным нулю. При остальных сочетаниях основных отклонений наименьший зазор больше нуля. Отклонения E и F применяются только при значительных толщинах слоя защитного покрытия.

Установлены следующие степени точности:

для d – 4, 6, 8;

для d_2 – 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10*;

для D_2 – 4, 5, 6, 7, 8, 9*;

для D_1 – 4, 5, 6, 7, 8.

Степени точности, отмеченные звездочкой, рекомендуются только для резьб на деталях из пластмасс.

ГОСТ **выделяет три типа длин свинчивания**: короткие S, нормальные N и длинные L. Значения допусков Td и TD_1 приведены в табл. 10, допусков Td_2 и TD_2 – в табл. 11. Числовые значения основных отклонений приведены в табл. 12. Допуски средних диаметров регламентируют суммарную погрешность собственно среднего диаметра, угла профиля и накопленную погрешность шага на длине свинчивания.

Для ориентации при выборе выделены три класса полей допусков. В точном классе установлены поля допусков: (3h4h), 4H для S; 4g, 4h, 4H5H, 5H для N; (5h4h), 6H для L;

в среднем классе: 5g6g, (5h6h), (5G), 5H для S; 6d, 6e, 6f, (6g), 6h, 6G, (6H) для N; (7e6e), 7g6g, 7h6h, (7G), 7H для L;

в грубом классе: 8g, (8h) (для резьбы с шагом меньше 0,8 мм используются поля допусков 8h6h) для S; 7G, 7H для N; (9g8g), (8G), 8H для L.

10. Допуски наружного диаметра наружной резьбы и внутреннего диаметра внутренней резьбы

Шаг P, мм	Наружная резьба			Внутренняя резьба		
	Степень точности					
	4	6	8	4	5	6
	Допуск, мкм					
	Td			TD_1		
0,2	36	56	–	38	48	60
0,25	42	67		45	56	71
0,3	48	75		53	67	85
0,35	53	85	–	63	80	100
0,4	60	95	–	71	90	112
0,45	63	100	–	80	100	125
0,5	67	106	–	90	112	140
0,6	80	125	–	100	125	160
0,7	90	140	–	112	140	180
0,75	90	140	–	118	150	190
0,8	95	150	236	125	160	200
1	112	180	280	150	190	236
1,25	132	212	335	170	212	265
1,5	150	236	375	190	236	300
1,75	170	265	425	212	265	335
2	180	280	450	236	300	375
2,5	212	335	530	280	355	450
3	236	375	600	315	400	500

11. Допуски среднего диаметра наружной Td_2 и внутренней TD_2 резьб

Номинальный диаметр резьбы d, мм	Шаг P, мм	Td_2, мкм						TD_2, мкм		
		Степень точности								
		3	4	5	6	7	8	4	5	6
От 1 до 1,4	0,2	24	30	38	48	(60)	(75)	40	50	63
	0,25	26	34	42	53	(67)	(85)	45	56	71
	0,3	28	36	45	56	(71)	(90)	48	60	75
Св. 1,4 до 2,8	0,2	25	32	40	50	(63)	(80)	42	53	67
	0,25	28	36	45	56	(71)	(90)	48	60	75
	0,35	32	40	50	63	80	(100)	53	67	85
	0,4	34	42	53	67	85	(106)	56	71	90
	0,45	36	45	56	71	90	(112)	60	75	95
Св. 2,8 до 5,6	0,25	28	36	45	56	(71)		48	60	75
	0,35	34	42	53	67	85	(106)	56	71	90
	0,5	38	48	60	75	95	(118)	63	80	100
	0,6	42	53	67	85	106	(132)	71	90	112
	0,7	45	56	71	90	112	(140)	75	95	118
	0,75	45	56	71	90	112	(140)	75	95	118
	0,8	48	60	75	95	118	150	80	100	125
Св. 5,6 до 11,2	0,25	32	40	50	63	(80)		53	67	85
	0,35	36	45	56	71	90	–	60	75	95
	0,5	42	53	67	85	106	(132)	71	90	112
	0,75	50	63	80	100	125	(160)	85	106	132
	1	56	71	90	112	140	180	95	118	150
	1,25	60	75	95	118	150	190	100	125	160
	1,5	67	85	106	132	170	212	112	140	180
Св. 11,2 до 22,4	0,35	38	48	60	75	95	–	63	80	100
	0,5	45	56	71	90	112	(140)	75	95	118
	0,75	53	67	85	106	132	(170)	90	112	140
	1	60	75	95	118	150	190	100	125	160
	1,25	67	85	106	132	170	212	112	140	180
	1,5	71	90	112	140	180	224	118	150	190
	1,75	75	95	118	150	190	236	125	160	200
	2	80	100	125	160	200	250	132	170	212
	2,5	85	106	132	170	212	265	140	180	224
Св. 22,4 до 45	0,5	48	60	75	95	118		80	100	125
	0,75	56	71	90	112	140	(180)	95	118	150
	1	63	80	100	125	160	200	106	132	170
	1,5	75	95	118	150	190	236	125	160	200
	2	85	106	132	170	212	265	140	180	224
	3	100	125	160	200	250	315	170	212	265
	3,5	106	132	170	212	265	335	180	224	280
	4	112	140	180	224	280	355	190	236	300
	4,5	118	150	190	236	300	375	200	250	315
Св. 45 до 90	0,5	50	63	80	100	125	–	85	106	132
	0,75	60	75	95	118	150	–	100	125	160
	1	71	90	112	140	180	224	118	150	190
	1,5	80	100	125	160	200	250	132	170	212
	2	90	112	140	180	224	280	150	190	236
	3	106	132	170	212	265	335	180	224	280

Примечание. Значения, указанные в скобках, по возможности не применять.

12. Основные отклонения диаметров наружной и внутренней резьб

Шаг P, мм	Наружная резьба				Внутренняя резьба				
	Диаметр резьбы								
	d_1; d_2				D_1; D_2				
	Основное отклонение, мкм								
	es				EI				
	d	e	f	g	h	E	F	G	H
0,2			-32	-17	0		+32	+17	0
0,25	–	–	-33	-18	0	–	+33	+18	0
0,3	–	–	-33	-18	0	–	+33	+18	0
0,35	–		-34	-19	0	–	+34	+19	0
0,4	–	–	-34	-19	0	–	+34	+19	0
0,45	–	–	-35	-20	0	–	+35	+20	0
0,5		-50	-36	-20	0	+50	+36	+20	0
0,6	–	-53	-36	-21	0	+53	+36	+21	0
0,7	–	-56	-38	-22	0	+56	+38	+22	0
0,75	–	-56	-38	-22	0	+56	+38	+22	0
0,8	–	-60	-38	-24	0	+60	+38	+24	0
1	-90	-60	-40	-26	0	+60	+40	+26	0
1,25	-95	-63	-42	-28	0	+63	+42	+28	0
1,5	-95	-67	-45	-32	0	+67	+45	+32	0
1,75	-100	-71	-48	-34	0	+71	+48	+34	0
2	-100	-71	-52	-38	0	+71	+52	+38	0
2,5	-106	-80	-58	-42	0	+80	–	+42	0
3	-112	-85	-63	-48	0	+85	–	+48	0
3,5	-118	-90	–	-53	0	+90		+53	0
4	-125	-95	–	-60	0	+95	–	+60	0
4,5	-132	-100	–	-63	0	+100	–	+63	0
5	-132	-106		-71	0	+106		+71	0
5,5	-140	-112	–	-75	0	+112	–	+75	0
6	-150	-118	–	-80	0	+118	–	+80	0

В скобках указаны поля допусков, применение которых следует ограничить.

При длинах свинчивания S и L допускается применение полей допусков, устанавливаемых для длин свинчивания N. Предельные отклонения можно определять, пользуясь табл. 10, 11, 12.

Например, для поля допуска 6d резьбы М10 × 1,5 по табл. 13 es = -95мкм, по табл. 11 $Td(6)$ = 236 мкм, т.е. ei = -331 мкм; аналогично для d_2 найдем по таблицам es = -95 мкм, $Td_2(6)$ = 132 мкм, т.е. ei = -227 мкм.

Примеры обозначения полей допусков резьбы:

M12-6g; M12-7g6g; M12-6H.

На первом месте указывается поле допуска среднего диаметра резьбы, а на втором – наружного (для вала) или внутреннего (для отверстия), если они не совпадают. Если поле допуска среднего диаметра совпадает с полем допуска наружного (для вала) или внутреннего (для отверстия), то степень точности и основное отклонение указываются один раз. Обозначение посадки:

M12-6H/6g; M12-6H/6g-10.

В последнем примере 10 – длина свинчивания. Нормальные длины свинчивания не указываются.

Резьба метрическая. Посадки с натягом (ГОСТ 4608–81) устанавливаются на резьбы: диаметром 5 ... 45 мм с шагом 0,8 ... 3 мм для наружных резьб деталей из сталей, сопрягаемых с внутренней резьбой деталей из сталей (длина свинчивания 1*d* ... 1,25*d*); из чугуна (длина свинчивания 1,25*d* ... 1,5*d*) и из алюминиевых и магниевых сплавов (длина свинчивания 1,5*d* ... 2*d*). Посадки предусмотрены только в системе отверстия.

Резьба метрическая. Переходные посадки (ГОСТ 24834–81) применяют при дополнительном креплении шпилек по коническому сбегу резьбы, плоскому бурту и цилиндрической цапфе.

ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В шпоночных соединениях стандарт устанавливает поле допуска h9 на ширину шпонок, а на шпоночные пазы для свободного соединения – поле допуска H9 на валу и D10 во втулке; для нормального соединения – поле допуска N9 на валу и JS9 во втулке; для плотного соединения – поле допуска P9 на валу и во втулке. Высота шпонок регламентируется полем допуска h11, длина – полем допуска h14, а длина шпоночного паза – полем допуска H15. Значения допусков и основных отклонений даны в табл. 1 и 2.

Посадки шлицевых соединений с прямобочным профилем выбирают в зависимости от того, по какой поверхности осуществляется центрирование. Для не центрирующего наружного диаметра установлены сочетания полей допусков H12/a11, а для не центрирующего внутреннего – H11/a11.

Для центрирующего внутреннего диаметра рекомендуется следующее сочетание полей допусков: H6/g5, H6/js5, H7/e8, H7/f7, H7/g6, H7/h6, H7/h7, H7/js6, H7/js7, H7/n6, H8/e8; для центрирующего наружного диаметра: H7/f7, 7H/g6, H7/h6, H7/js6, H7/n6, H8/e8, H8/h7. При центрировании по боковым сторонам зубьев посадки по ширине образуются сочетанием полей допусков:

F8 с e8, f8, h7, js7;
D9 с d9, e8, f8, f9, h8, h9, js7, k7;
D10 с d10, d8;
F10 с d9, e8, f8, f9, h8, h9, js7, k7;
JS10 с d9.

При центрировании по внутреннему диаметру посадки по ширине, кроме указанных выше, образуются сочетанием полей допусков:

F8 с d9, f7, h7, h8, h9;
H8 с h7, h8, js7;
D9 с f7;
F10 с f7, h7.

Значения допусков и основных отклонений даны в табл. 1 и 2.

Пример указания на чертеже требований к точности:

d-8×36H7/e8×40H12/a11×7D8/f8,

где 8 – число зубьев; 36, 40 и 7 – значения внутреннего, наружного диаметров и ширины шлица в мм; центрирование по внутреннему диаметру регламентируется сочетанием полей допусков H7/e8; посадка по ширине – D8/f8.

При центрировании по наружному диаметру (*D*):

D-8×36×40H7/h7×7F10/h7.

При центрировании по боковым сторонам шлицев (b):

b-8×36×40H12/a11x7D8/f8.

Посадки шлицевых соединений с эвольвентным профилем зубьев при центрировании по боковым поверхностям образуются сочетанием полей допусков впадин и толщин.

Для ширины впадин втулки установлено основное отклонение H и 7, 9, 10 и 11 степени точности, а для толщин зубьев вала – основные отклонения a, c, d, f, g, h, k, n, p, r и степени точности 7, ..., 11.

Для ширины впадины втулки и толщины зуба вала установлены: T – суммарный допуск, регламентирующий одновременно погрешности собственно ширины впадины (толщины зуба), формы и расположения элементов профиля; Te(Ts) – допуск собственно ширины впадины втулки (толщины зуба вала). T используют при контроле комплексными калибрами.

На рабочих чертежах указывают Te(Ts), значения которых даны в табл. 13. В табл. 14 даны значения основных (верхних) суммарных отклонений толщины зуба вала (es). Для толщины зуба вала:

нижнее отклонение $ei = es - T$;

верхнее отклонение $es_s = ei + Ts$ или $es_s = es - (T - T8)$.

Для ширины впадины втулки: верхнее отклонение ES = T, а нижнее EI_e = T – Te. При центрировании по боковым поверхностям нормируется дополнительно радиальное биение зубчатого венца (табл. 15).

При центрировании по наружному диаметру установлены два ряда посадок с полями допусков для диаметров поверхности впадин втулки D_f и поверхности вершин зубьев вала d_a. Первый ряд:

H7 для D_f;
n6, js6, h6, g6, f7 для d_a.

Второй ряд:
H8 для D_f;
n6, h6, g6, f7 для d_a.

Первый ряд предпочтительнее. Значения основных отклонений и допусков выбирают по табл. 1 и 2. При таком центрировании поля допусков ширины впадины втулки – 9H, 11H (см. табл. 13), а поля допусков зуба вала 9h, 9g (см. табл. 13 и 14), 9d, 11c и 11a.

Примеры указания на чертеже требований к точности:

50×2×9H/9g ГОСТ 6033–80 – шлицевое соединение с наружным диаметром 50 мм, модулем 2 мм и с центрированием по боковым поверхностям зубьев по посадке 9H/9g;

50×H7/g6×2×9H/9h ГОСТ 6033–80 – шлицевое соединение с наружным диаметром 50 мм, модулем 2 мм, с центрированием по наружному диаметру по посадке 50H7/g6 и с посадкой 9H/9h по нецентрируемым боковым поверхностям зубьев;

i50×2×H7/g6×9H/9h ГОСТ 6033–80 – шлицевое соединение с наружным диаметром 50 мм, модулем 2 мм, с центрированием по внутреннему диаметру по посадке 50H7/g6 и с посадкой 9H/9h по нецентрируемым боковым поверхностям зубьев.

НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ПЕРЕДАЧ

Особенность нормирования точности зубчатых колес и передач определяется необходимостью регламентировать не только точность сопряжений, но и точность передачи движения. Нормы точности на зубчатые колеса и передачи – это требования к точности комплекса геометрических и кинематических параметров. В соответствии с функциональными целями зубчатых передач они разделяются на четыре группы: нормы кинематической точности, нормы плавности, нормы контакта; нормы бокового зазора. **Нормы кинематической точности** регламентируют требования к точности таких геометрических и кинематических параметров колес и передач, погрешность которых определяет погрешность передаточного отношения за цикл для передачи или за оборот для колеса.

Нормы плавности регламентируют требования к точности таких геометрических и кинематических параметров колес и передач, погрешность которых определяет ту составляющую погрешности передаточного отношения, которая многократно повторяется за цикл для передачи или за оборот для колеса. В частности, это циклическая погрешность зубцовой частоты.

Нормы контакта регламентируют требования к параметрам, определяющим реальную поверхность касания зубьев при вращении колес.

Нормы бокового зазора регламентируют требования к параметрам колес и передач, определяющим зазор по нерабочим боковым поверхностям при рабочем вращении зубчатой передачи, т.е. при соприкосновении по рабочим боковым поверхностям под эксплуатационной нагрузкой.

13. Значения допусков ширины впадины втулки и толщины зуба вала, мкм

D, мм	*m*, мм	Степень точности													
		5		6		7		8		9		10		11	
		T	Te	T	Te	T	Te	T	Te	T	Te	T	Te	T	Te
До 12	От 0,5 до 1,5	12	8	18	11	25	16	36	22	50	32	71	45	100	63
Св. 12 до 25	От 0,5 до 1,5	14	9	20	12	28	18	40	25	56	36	80	50	112	71
	» 2 » 4	16	10	22	14	32	20	45	28	63	40	90	56	125	80
Св. 25 до 50	От 0,5 до 1,5	16	10	22	14	32	20	45	28	63	40	90	56	125	80
	» 2 » 4	18	11	25	16	36	22	50	32	71	45	100	63	140	90
	» 5 » 10	20	12	28	18	40	25	56	36	80	50	112	71	160	100
Св. 50 до 100	От 0,5 до 1,5	18	11	25	16	36	22	45	32	71	45	100	63	140	90
	» 2 » 4	20	12	28	18	40	25	56	36	80	50	112	71	160	100
	» 5 » 10	22	14	32	20	45	28	63	40	90	56	125	80	180	112
Св. 100 до 200	От 0,5 до 1,5	20	12	28	18	40	25	56	36	80	50	112	71	160	100
	» 2 » 4	22	14	32	20	45	28	63	40	90	56	125	80	180	112
	» 5 » 10	25	16	36	22	50	32	71	45	100	63	140	90	200	125

14. Основные отклонения es толщины S зубьев валов, мкм

D, мм	Модуль *m*, мм	f	g	k	n	p	r
До 12	От 0,5 до 1,5	-16	-8	+16	+32	+48	+64
Св. 12 до 25	От 0,5 до 1,5	-18	-9	+18	+36	+54	+72
	» 2 » 4	-20	-10	+20	+40	+60	+80
Св. 25 до 50	От 0,5 до 1,5	-20	-10	+20	+40	+60	+80
	» 2 » 4	-22	-11	+22	+44	+66	+88
	» 5 » 10	-25	-12	+25	+50	+75	+100
Св. 50 до 100	От 0,5 до 1,5	-22	-11	+22	+44	+66	+88
	» 2 » 4	-25	-12	+25	+50	+75	+100
	» 5 » 10	-28	-14	+28	+56	+85	+112
Св. 100 до 200	От 0,5 до 1,5	-25	-12	+25	+50	+75	+100
	» 2 » 4	-28	-14	+28	+56	+84	+112
	» 5 » 10	-32	-16	+32	+64	+90	+128

15. Рекомендуемые предельные значения радиального биения Fr, мкм

Степень точности	Диаметр делительной окружности, мм											
	До 12	Св. 12 до 25		Св. 25 до 50			Св. 50 до 100			Св. 100 до 200		
	Модуль, мм											
	От 0,5 до 1,5	От 0,5 до 1,5	От 2 до 4	От 0,5 до 1,5	От 2 до 4	От 5 до 10	От 0,5 до 1,5	От 2 до 4	От 5 до 10	От 0,5 до 1,5	От 2 до 4	От 5 до 10
5	6	7	8	8	9	10	9	10	11	10	11	12
6	9	10	11	11	12	14	12	14	16	14	16	18
7	12	14	16	16	18	20	18	20	22	20	22	25
8	18	20	22	22	25	28	25	28	32	28	32	36
9	25	28	32	32	36	40	36	40	45	40	45	50
10	36	40	45	45	50	56	50	56	63	56	63	71

ГОСТ 1643–81 устанавливает 12 степеней (рядов) точности для эвольвентных зубчатых колес и передач с диаметром колес до 6300 мм и модулем от 1 до 55 мм. При этом самые высокие 1-я и 2-я степени пока не содержат значений допусков. Каждая степень точности содержит ряды допусков всех параметров трех групп норм: кинематической, плавности; контакта.

Нормы бокового зазора содержат требования к гарантированному (наименьшему) боковому зазору и значения допусков на боковой зазор. Гарантированный боковой зазор определяется видом сопряжения: H, E, D, C, B, A или классом межосевого расстояния с I по VI в порядке убывания точности.

Между видами сопряжений и классами точности межосевого расстояния установлены следующие соотношения:

H и E поставлен в соответствие класс II; C, D, B и A – III, IV, V и VI.

Рекомендуемые допуски на боковой зазор в необходимых случаях обозначаются буквами: h, d, c, b, a, z, y, x, расположенными в порядке возрастания допуска. При этом стандарт устанавливает, что видам сопряжений H и E соответствует вид допуска h, а видам сопряжения D, C, B и A – виды допусков d, c, b и a соответственно. Стандарт разрешает назначать требования к точности бокового зазора не соответствующие рекомендуемым.

Примеры указания на чертеже требований к точности:

8-C ГОСТ 1643–81 – 8-й степенью точности регламентированы параметры кинематической точности, плавности и контакта, вид сопряжения C с соответствующим ему видом допуска c;

8-7-6-Ba ГОСТ 1643–81 – 8-й степенью точности регламентированы параметры кинематической точности, 7-й – плавности, 6-й – контакта, вид сопряжения C с видом допуска a;

8-N-6-B ГОСТ 1643–81 – буква N указывает на то, что конструктор не устанавливает требований к точности по показателям плавности;

8-7-6-Ca/V-128 ГОСТ 1643–81 – боковой зазор не должен превышать 128 мкм, вид сопряжения C, вид допуска на боковой зазор a и класс отклонений межосевого расстояния V.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Марков Н. Н.** Нормирование точности в машиностроении. М.: Издательство "Станкин", 1992. 320 с.

2. **Белкин И. М.** Допуски и посадки (Основные нормы взаимозаменяемости). М.: Машиностроение, 1992. 528 с.

3. **Ганевский Г. М., Гольдин И. И.** Допуски, посадки и технические измерения в машиностроении. 2-е изд. М.: Высшая школа, 1993. 288 с.

4. **ГОСТы**: 25346–89; 25347–82; 25670–83; 8908–81; 24642–81; 24643–81; 25069–81; 2.308–79; 25142–81; 2789–73; 16093–81; 1643–81; 1139–80; 6033–80.

Глава 11 МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

ВИДЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Под измерением понимают опыт, в результате которого получают количественную характеристику свойств объекта, явления или процесса с погрешностью, не превышающей допустимую. Поэтому выбор видов, методов, средств измерений, условий их выполнения и методики обработки результатов наблюдений всегда ограничен требованием обеспечения установленной точности.

Измерения, при которых искомую величину находят непосредственно из опытных данных, называют ***прямыми***. Если искомую величину находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, полученными прямыми измерениями, то измерения называют ***косвенными***. Точность косвенных измерений зависит от точности прямых измерений и точности используемой зависимости.

Метод измерений называют ***методом непосредственной оценки,*** если величину определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора, и ***методом сравнения,*** если измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. При этом мера выступает не в виде неотъемлемой части конструкции измерительного прибора, а как самостоятельное средство измерения, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера.

Особенности и ограничения области применения метода непосредственной оценки: измерение в широком диапазоне без перенастройки; измерения в условиях гибкого производства; использование средств измерений с относительно простыми элементами базирования; существенная зависимость погрешности средства измерения от значения измеряемой величины; ограниченная возможность измерения размеров и других параметров в сложных по конструкции деталях; высокая доля стоимости прибора в стоимости измерений.

Особенности и ограничения области применения метода сравнения: малый диапазон показаний; возможность обеспечения высокой чувствительности средства измерения; эффективность в массовом и серийном производстве (в том числе и за счёт создания многомерных приспособлений); относительно небольшая инструментальная составляющая погрешности измерения; возможность компенсации ряда возмущающих факторов при настройке; возможность уменьшения методической составляющей погрешности измерения за счет применение в качестве меры высоко точной аттестованной образцовой детали.

Погрешность измерения – отклонение результата измерения от действительного значения. При этом за действительное значение принимают значение измеряемой величины, полученное (или воспроизведённое) с погрешностью пренебрежимо малой, чем определяемая погрешность измерения.

При составлении методик измерения (в соответствии с ГОСТ Р 8.563 "ГСИ. Методики выполнения измерений"), выборе методов и средств измерений погрешность измерения необходимо рассматривать как сложную величину, используя одну из следующих структур:

$$1)\ \varepsilon \Rightarrow \{\varepsilon_м ; \varepsilon_{си} ; \varepsilon_{суб}\};\ 2)\ \varepsilon \Rightarrow \{\varepsilon_{сл} ; \varepsilon_{сист}\},$$

где $\varepsilon_м$ – методическая составляющая погрешности измерения – методическая погрешность;

$\varepsilon_{си}$ – инструментальная составляющая погрешности измерения – инструментальная погрешность;

$\varepsilon_{суб}$ – погрешность, вносимая оператором, – субъективная погрешность;

$\varepsilon_{сл}$ и $\varepsilon_{сист}$ – случайная и систематическая составляющие погрешности измерения.

Методическая погрешность – это разность между значением величины по определению и тем значением, которое могло бы быть получено по выбранной методике (технологии) измерения при отсутствии инструментальной и субъективной погрешностей измерения.

В большинстве случаев для линейных и угловых величин методическая погрешность –

это результат несоответствия схемы и условий измерения содержанию определения измеряемой величины. Она обусловлена погрешностью базирования, погрешностью от измерительной силы, изменением размеров контролируемого изделия из-за отклонений от нормальной температуры, эффектом квантования, отличием алгоритма вычислений от функции, строго связывающей результаты наблюдений с измеряемой величиной, и др.

Погрешность средства измерения (инструментальную), используемого в нормальных условиях, называют *основной*. Составляющую погрешности средства измерений, обусловленную использованием его в условиях, отличающихся от нормальных, называют *дополнительной погрешностью средства измерения*. В паспорте средства измерения указывают значение допускаемой погрешности средства измерения для ограничения основной погрешности средства, если не указаны условия эксплуатации.

Субъективная погрешность включает погрешность считывания значений измеряемой величины со шкал и диаграмм и некоторые погрешности обработки диаграмм.

Результаты измерения признаются достоверными, если погрешность измерения не превышает установленной величины допускаемой погрешности измерения. При выборе средства измерения необходимо, чтобы допускаемая погрешность средства измерения не превышала разности между допускаемой погрешностью измерения и суммой методической и субъективной составляющих.

ВИДЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Контроль – это установление соответствия действительного значения D_r контролируемой величины её допускаемым предельным значениям D_{max} и D_{min}. Поэтому качество контроля оценивается вероятностью ошибок 1-го и 2- го рода. Применительно к контролю *ошибка 1-го рода* – это признание годного изделия браком. *Ошибка 2-го рода* – это признание годным изделия (детали), у которого контролируемая характеристика качества выходит за допускаемые пределы, т.е. признание правильным соотношения $D_{max} \geq D_r \geq D_{min}$, в то время как $D_r < D_{min}$ или $D_r > D_{max}$.

Для определения вероятности ошибок контроля необходимо классифицировать контрольные операции по типу моделей предельных (допускаемых) значений контролируемой характеристики качества, принятому при создании средства контроля. **Физическая модель** (1-й тип) – это специальные устройства (например, калибры, электроконтактные датчики, компараторные блоки вторичных преобразователей средств измерения и т.п.), с которыми сравниваются реальные поверхности или их характеристики (размеры, отклонения расположения и т.д.). **Математическая модель** (2-й тип) – это, указанное в технической документации, значение допускаемого предела (D_{max} или D_{min}) контролируемых характеристик.

В зависимости от типа реализуемых моделей различают **два вида контроля**: сравнением объекта контроля с физическими моделями предельных значений (допускаемых пределов) контролируемой величины ("*допусковый*" *контроль*); сравнением измеренного значения контролируемой величины с математическими моделями ("*измерительный*" *контроль*).

При контроле сравнением с физическими моделями ошибки обусловлены погрешностями реализации моделей и погрешностями процесса сравнения (то есть суммарными погрешностями воспроизведения предельного значения величины при контроле), а при контроле сравнением с математическими моделями – только погрешностью измерения. При этом погрешность реализации моделей содержит в себя конструктивное и технологическое несоответствия физических моделей с объектом контроля, содержащим контролируемую величину.

Ошибки 1-го и 2-го рода относятся к предпроектным оценкам выбираемых методов и средств контроля. Поэтому для определения вероятности появления ошибки 1-го рода (n) и ошибки 2-го рода (m) необходимо принять гипотезу о моделях законов распределения погрешностей контролируемой величины и погрешностей измерения (суммарной погрешности воспроизведения допускаемого предела и сравнения – для физической модели).

Для определения (при симметричных законах распределения погрешности измерения или суммарного закона распределения погрешностей воспроизведения) вероятности ошибок обозначим: x – случайное отклонение контролируемой величины; y – случайная погрешность измерения (воспроизведения и сравнения); $\varphi(x)$ и $\psi(y)$ – плотности распределения; σ_x и σ_y – средние квадратические отклонения; T – допуск на контролируемую величину.

Для физической модели (1-ый тип) вероятность ошибки 1-го рода:

$$n \approx \left[H^2/r^2\right]\sum_{i=0}^{k}\left[\varphi(x_i)\sum_{j=0}^{i}\psi(y_j)\right], \quad (1, а)$$

где H – допуск на y (в частности это может быть увеличенный допуск калибра);

r – число интервалов, на которое разбивается H или $H/2 + z$ (определяет точность вычисления; рекомендуется > 8);

z – смещение середины H относительно контролируемого предела (z принимает знак + при смещении к средине T);

$$x_i = T/2 - z - H/2 + iH/r;$$

$$y_j = -H/2 + jH/r;$$

$k = r(H + 2z)/2H$ (округляется до целого).

Вероятность ошибки 2-го рода:

$$m \approx \left[H^2/r^2\right]\sum_{i=0}^{k}\left[\varphi(x_i)\sum_{j=i}^{k}\psi(y_j)\right], \quad (1, б)$$

где $x_i = T/2 + iH/r$;

$y_j = jH/r$;

$k = r(H - 2z)/2H$ (округляется до целого).

Для математической модели (2-й тип) вероятность ошибки 1-го рода:

$$n \approx \left[4\delta^2/r^2\right]\sum_{i=0}^{r/2}\left[\varphi(x_i)\sum_{j=i}^{r/2}\psi(y_j)\right], \quad (1, в)$$

где δ – допускаемая погрешность измерения;

r – четное число интервалов, на которое разбивается 2δ (определяет точность вычисления; рекомендуется ≥8);

$x_i = (T - 2\delta)/2 + i(2\delta/r)$;

$y_j = -j2\delta/r$.

Вероятность ошибки 2-го рода:

$$m \approx \left[4\delta^2/r^2\right]\sum_{i=0}^{r/2}\left[\varphi(x_i)\sum_{j=i}^{r/2}\psi(y_j)\right], \quad (1, г)$$

где $x_i = T/2 + i2\delta/r$;

$y_j = -j2\delta/r$.

Для нормальных законов распределения x и y:

$$n \approx \left[H^2/\left(r^2 2\pi\sigma_x\sigma_y\right)\right]\left\{\sum_{i=0}^{k}\left[\exp\left(-x_i^2/2\sigma_x^2\right)\sum_{j=0}^{i}\exp\left(-y_j^2/2\sigma_y^2\right)\right]\right\}, \quad (2, а)$$

$$m \approx \left[H^2/\left(r^2 2\pi\sigma_x\sigma_y\right)\right]\left\{\sum_{i=0}^{k}\left[\exp\left(-x_i^2/2\sigma_x^2\right)\sum_{j=i}^{k}\exp\left(-y_j^2/2\sigma_y^2\right)\right]\right\}, \quad (2, б)$$

$$n \approx \left[4\delta^2/\left(r^2 2\pi\sigma_x\sigma_y\right)\right]\left\{\sum_{i=0}^{r/2}\left[\exp\left(-x_i^2/2\sigma_x^2\right)\sum_{j=i}^{r/2}\exp\left(-y_j^2/2\sigma_y^2\right)\right]\right\}, \quad (2, в)$$

$$m \approx \left[4\delta^2/\left(r^2 2\pi\sigma_x\sigma_y\right)\right]\left\{\sum_{i=0}^{r/2}\left[\exp\left(-x_i^2/2\sigma_x^2\right)\sum_{j=i}^{r/2}\exp\left(-y_j^2/2\sigma_y^2\right)\right]\right\}. \quad (2, г)$$

При приемке изделий пределы допускаемых погрешностей δ измерения линейных размеров (до 500 мм) устанавливаются ГОСТ 8.051 – 81 в зависимости от допусков (IT) на изготовление (табл. 1). Указанные в табл. 1 пределы допускаемых погрешностей измерения могут быть увеличены при уменьшении допуска на изготовление изделия на величину, соответствующую увеличению предела допускаемой погрешности, или при сортировке деталей на размерные группы для селективной сборки, если предел допускаемой погрешности выбирают по допуску на группу. Арбитражная перепроверка принятых деталей не должна проводиться с погрешностью измерения, превышающей 30 % погрешности, допускаемой при приемке. Среди принятых допускается наличие деталей с отклонениями, выходящими за приемочные границы на величину не более половины допускаемой погрешности измерения при приемке, до 5 % от перепроверяемой партии для квалитетов со 2-го по 7-й; до 4 % – для 8-го квалитета и 3 % – для квалитетов 10 и грубее.

1. Пределы допускаемых погрешностей измерений, мкм

IT	Номинальные размеры, мм												
	До 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
IT2	0,4	0,6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,2	1,6	2,0	2,8	3,0	3,0	4,0
IT3	0,8	1,0	1,0	1,2	1,4	1,4	1,8	2,0	2,8	4,0	4,0	5,0	5,0
IT4	1,0	1,4	1,4	1,6	2,0	2,4	2,8	3,0	4,0	5,0	5,0	6,0	6,0
IT5	1,4	1,6	2,0	2,8	3,0	4,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	9,0
IT6	1,8	2,0	2,0	3,0	4,0	5,0	5,0	6,0	7,0	8,0	10	10	12
IT7	3,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	9,0	10	12	12	14	16	18
IT8	3,0	4,0	5,0	7,0	8,0	10	12	12	16	18	20	24	26
IT9	6,0	8,0	9,0	10	12	16	18	20	30	30	30	40	40
IT10	8,0	10	12	14	18	20	30	30	40	40	50	50	50
IT11	12	16	18	30	30	40	40	50	50	60	70	80	80
IT12	20	30	30	40	50	50	60	70	80	100	120	120	140
IT13	30	40	50	60	70	80	100	120	140	160	180	180	200
IT14	50	60	80	90	120	140	160	180	200	240	260	280	320
IT15	80	100	120	140	180	200	240	280	320	380	440	460	500
IT16	120	160	200	240	280	320	400	440	500	600	700	800	800
IT17	200	240	300	380	440	500	600	700	800	1000	1100	1200	1400

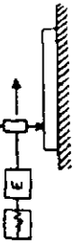
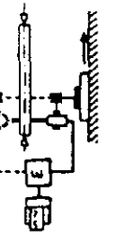
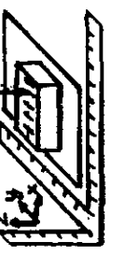
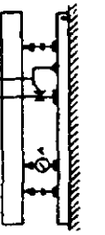
Допускаемая погрешность измерения регламентирует совокупность случайных и неучтенных систематических погрешностей измерения. Предполагается, что случайная погрешность измерения не должна превышать 0,6 допускаемой погрешности измерения. При этом исходят из предположения, что случайная погрешность измерения распределяется по нормальному закону и достаточной является доверительная вероятность 0,954, т.е. диапазон рассеяния погрешности измерения $\pm 2\sigma_y$ (σ_y – среднее квадратическое отклонение случайной погрешности измерения).

ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРОВ, ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

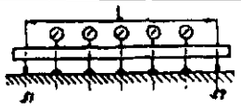
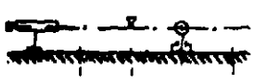
Особенностью измерения размеров является относительно высокая доля методической составляющей погрешности измерения в сравнении с инструментальной составляющей. В числе основных причин появления методической составляющей является не соблюдение принципа Аббе и принципа инверсии. Соблюдение *принципа Аббе* при построении измерений означает совпадение направления передачи первичного измерительного сигнала (в частности, линии перемещения измерительного наконечника) с линией измерения. Согласно принципу инверсии необходимо учитывать изменение функции детали (заготовки) при ее изготовлении, измерении и эксплуатации. В частности, из него вытекают два требования: 1) обеспечение единства баз; 2) обеспечение адекватности относительных перемещений при измерении и эксплуатации или при измерении и формообразовании.

Схемы измерения высот и длин плоских деталей, диаметров во многих случаях совпадают со схемами измерения соответствующих отклонений формы, в том числе, в связи с необходимостью выделения прилегающих поверхностей и профилей. Если прилегающие поверхности не выделяются, то схемы упрощаются.

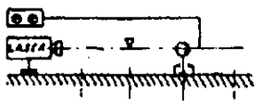
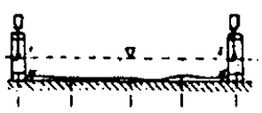
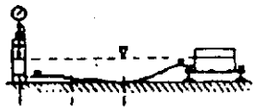
2. Методы измерений отклонений от прямолинейности

Наименование метода	Схема измерения	Область применения	Составляющие погрешности измерения
Непрерывное измерение специальными приборами		Определяется средствами измерения	$2s \approx \pm(0{,}1 \ldots 0{,}3)$ мкм L до 100 мм; $2s \approx \pm(0{,}5 \ldots 2)$ мкм L до 500 мм, где s – стандартное отклонение
Измерение методом исключения погрешности прямолинейного перемещения прибора для измерения длин		Для $L \leq 500$ мм	$2s \approx \pm(1 \ldots 5)$ мкм
Измерения на координатно-измерительной машине		Определяется измерительной машиной	Для L до 500 мм: в цеховых условиях $2s \approx \pm(4 \ldots 15)$ мкм; в лабораторных $2s \approx \pm(0{,}5 \ldots 5)$ мкм
Измерение от поверочной плиты или поверочной линейки прибором для измерения длин (или концевыми мерами)		Для поверочной линейки $L \leq 1600$ мм	Погрешности: отклонения от прямолинейности меры; прибора; графического изображения измеренного профиля и графической оценки отклонений от прямолинейности $2s \approx \pm(5 \ldots 10)$ мкм, $L = 1600$ мм

Продолжение табл. 2

Наименование метода	Схема измерения	Область применения	Составляющие погрешности измерения
Измерение компаратором с несколькими приборами для измерения длин		$L \le 5000$ мм	Погрешности: от встроенных измерительных головок и микрометрических винтов регулируемых опор; поправочных значений мер прямолинейности; графического изображения измеренного профиля и графической оценки отклонений от прямолинейности $2s \approx \pm(5...10)$ мкм, L до 5000 мм
Измерение двухопорным мостиком и прибором для измерения длин, расположенным посередине		Ограничивается расстоянием между опорами мостика $L \le 500$ мм	То же
Измерение микроскопом от натянутой струны		Для вертикальных плоскостей и расстояний до 10000 мм	Погрешность измерения $\approx \pm(0{,}02...0{,}04)$ мм
Измерение зрительной трубой и целевой маркой		Расстояние до метки ≤ 5000 мм	Погрешность измерения $\pm 0{,}02 \pm (0{,}03...0{,}01)$ мм

Продолжение табл. 2

Наименование метода	Схема измерения	Область применения	Составляющие погрешности измерения
Измерение фотоэлектрическим способом от светового луча лазера		Расстояние до метки ≤ 5000 мм	Погрешность измерения $\pm 0{,}02 \pm (0{,}03...0{,}01)$ мм
Измерение оптической линейкой		Диапазон измеряемых длин 500 – 3000 мм, соответствующий диапазон измеряемых отклонений 0,25 – 1 мм	Погрешности измерения на концах диапазона: 500 мм – 0,5 мкм 1500 мм – 1,5 мкм 3000 мм – 3 мкм
Измерение гидростатическими уровнями, подключенными дифференциально		Ограничивается диапазоном измерения прибора для измерения длин, применяемого для контроля уровня жидкости (≈ 10... 25 мм)	Погрешности: от диаметра и длины шланга; измерения изменений положения уровня жидкости; прибора и др. $L = 20$ м; $2s \approx \pm 0{,}02$ мм
Измерение с помощью одного или нескольких гидростатических уровней, подключенных к уравнительному сосуду		То же	То же

Продолжение табл. 2

Наименование метода	Схема измерения	Область применения	Составляющие погрешности измерения
Измерение двухопорным мостиком и уровнем		L до 15 м	Погрешности: от вида прибора для измерения углов; от измерительного мостика; от шага контролируемых точек и длины участка; $L = 10$ м; $2s \approx \pm(1 \ldots 5)$ мкм
Измерение двухопорным мостиком и автоколлиматором		$L = (4 \ldots 30)$ м в зависимости от типа автоколлиматора	То же
Измерение двухопорным измерительным мостиком и лазерным интерферометром для измерения углов положения		$L = (30 \ldots 50)$ м	То же
Измерение лекальной линейкой		Быстрая ориентировочная оценка вида профиля плоских и образующей прямой цилиндрических поверхностей: $L = (250 \ldots 300)$ мм, минимальная неровность 1,5 – 2 мкм	Погрешности: от разрешающей способности глаза и опыта контролера; от лекальной линейки; от способа обработки и шероховатости поверхности и др.

3. Число точек измерения для прямоугольного контура

Длина нормируемого участка L_1, мм	n_1	Длина нормируемого участка L_1, мм	n_1
До 100	5	Св. 2500 до 4000	17
Св. 100 до 160	7	Св. 4000 до 6300	19
Св. 160 до 250	7	Св. 6300 до 10000	21
Св. 250 до 400	9	Св. 10000 до 16000	23
Св. 400 до 630	9	Св. 16000 до 25000	25
Св. 630 до 1000	11	Св. 25000 до 40000	27
Св. 1000 до 1600	13	Св. 40000 до 63000	29
Св. 1600 до 2500	15	Св. 63000 до 100000	31

Технология измерения отклонений от плоскостности и прямолинейности. Основные схемы измерения отклонений от плоскостности создаются из ряда схем измерения отклонений от прямолинейности добавлением перемещения по второй координате. Основные схемы измерения отклонений от прямолинейности приведены в табл. 2.

При дискретных измерениях отклонений формы необходимо определить число и расположения точек и линий измерения в зависимости от контура плоскости и размеров нормируемого участка. Для прямоугольного контура число точек n_1 измерения в продольном направлении (большая длина) в зависимости от длины L_1 нормируемого участка определяются по табл. 3. Число точек на линии измерения в поперечном направлении

$$n_2 = (L_2/L_1)(n_1 - 1) + 1,$$

где L_2 – ширина нормируемого участка.

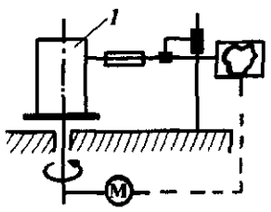
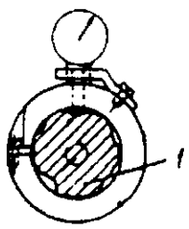
Следовательно, общее наименьшее число точек измерения $n = n_1 n_2$. Точки для измерения на непрямоугольных контурах определяют вписыванием рассматриваемого контура в прямоугольник.

Для механической фильтрации шероховатости поверхности наконечник измерительного прибора выбирают сферической формы с радиусом $r \geq 25$ мм, а при электрической фильтрации $r \leq 25$ мм.

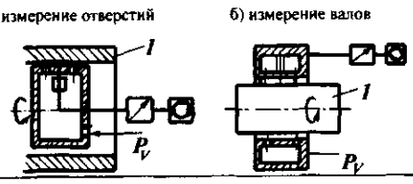
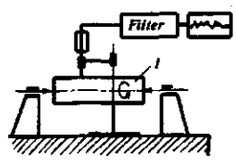
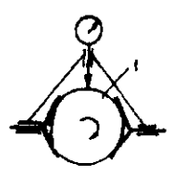
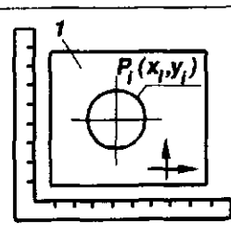
Сложности построения прилегающей плоскости можно обойти, если для определения отклонения от плоскостности использовать измерение отклонения от прямолинейности. Методическая погрешность при такой замене может быть уменьшена, если сетка точек будет выбрана так, чтобы обеспечивалось измерение на диагоналях. Построив сетку реальных профилей, можно оценить максимальное отклонение реальной поверхности от прилегающей плоскости. Программное обеспечение определения прилегающей позволяет исключить составляющую методической погрешности, связанную с ошибками при построении прилегающей. Если в качестве начала отсчета отклонений используется средняя линия, то ее параметры определяются по формулам, приведенным ниже. Особенности схем измерения при контроле соответствия различным пределам указаны в главе 10.

Технология измерения отклонений от круглости. В табл. 4. представлены схемы измерения отклонений от круглости, а также характерные для этих схем основные составляющие погрешности измерения. При измерении отклонений от круглости необходимо выбрать нормальную плоскость измерения и, если она не задана, то измерения производят в нескольких плоскостях. Для задачи контроля число плоскостей может определяться в соответствии с табл. 5. При этом первое и последнее сечение должны располагаться от края на расстоянии $l/2N$, а расстояние между сечениями принимается равным l/N. При использовании круглограмм для определения отклонений от круглости следует учитывать различие в увеличении по радиальному и тангенциальному направлениям, из-за чего форма профилограммы не совпадает с формой реального профиля. Особенности построения измерений при контроле соответствия различным пределам указаны в главе 10. Схемы измерения с базированием в центрах, с базированием в двух соосных призмах (ось базирования перпендикулярна линии измерения) и с использованием седлообразной призмы могут использоваться при контроле в процессе обработки.

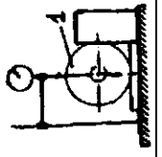
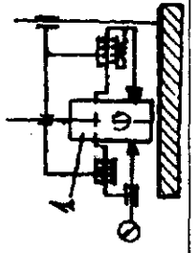
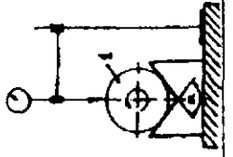
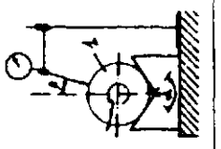
4. Методы измерений отклонений от круглости

Наименование метода	Схема измерения	Область применения	Составляющие погрешности измерения
Измерение с применением прецизионного вращения		Валы и отверстия с отклонением от круглости от 0,1 до 300 мкм в зависимости от конструкции прибора, диаметры от 13 до (100 ... 1000) мм, высота от 200 до 700 мм. (1 – деталь)	Радиальная погрешность шпинделя (от 0,05 до 0,3 мкм). Погрешность: передаточной характеристики (от 3 до 8 % верхнего предела диапазона измерения); центрирования; вызванная отклонением от параллельности оси детали оси шпинделя; обработки результатов измерений
Измерение с применением образца круглости		Валы и отверстия с допуском на диаметр от 4 до 8 квалитетов	Погрешность: измерительной головки; отклонения от круглости у применяемых образцов; остаточного зазора в случае применения нерегулируемых образцов круглости

Продолжение табл. 4

Наименование метода	Схема измерения	Область применения	Составляющие погрешности измерения
Измерение с применением аэростатически центрированного опорного элемента		Ограничение определяется жесткостью опор и возможностью их использования для различных диаметров, длин	Погрешность: измерительного прибора; расположения оси опорного элемента относительно центра средней окружности в плоскости измерения
Измерение прибором для измерения радиального биения		Крупные детали, установленные в центрах (патронах или других приспособлениях). Допуск круглости не менее 5 мкм. Доля отклонения от круглости в радиальном биении не менее 20 %	Погрешность: измерительного прибора; базирования измеряемых деталей; от остаточного эксцентриситета, не исключенного фильтром
Измерение скобой с базированием в двух соосных призмах		Диаметр ≥ 20 мм; длина ≥ 20 мм. Допуск круглости не менее 2 мкм	Погрешность: от отклонения соосности призм базирования; прибора; от влияния динамических факторов
Измерение поточечным ощупыванием на координатно-измерительных машинах (приборах)		Одновременно с измерением размеров и отклонений расположения. Детали сложной конструкции. Допускаемая погрешность измерения 2 – 5 мкм в зависимости от машины	Погрешность: координатно-измерительной машины; обусловленная ограниченным числом точек измерения

Продолжение табл. 4

Наименование метода	Схема измерения	Область применения	Составляющие погрешности измерения
Измерение средствами для измерения диаметра: – непрерывное измерение		Только для отклонений формы, имеющей четное количество неровностей	Погрешность: измерительного прибора; от изменения прогиба измерительной стойки (при непрерывном измерении); вызванная невыявленными нечетными составляющими отклонения от круглости; вызванная ограниченным числом измерительных диаметров (при дискретных измерениях)
– измерение по отдельным сечениям			
Измерение с применением призмы (трехточечное измерение): – симметричная схема		Валы и отверстия деталей небольшого размера, имеющие определенное число колебаний отклонений от круглости	Погрешность: средства измерения; от изменения прогиба измерительной стойки; вызванная невыявленными составляющими отклонения от круглости;
– несимметричная схема			

5. Выбор числа плоскостей измерений

l, мм	До 50			Св. 50 до 200			Св. 200		
l/d	До 1	Св. 1 до 3	Св. 3	До 1	Св. 1 до 3	Св. 3	До 1	Св. 1 до 3	Св. 3
N	1	2	3	2	3	4	3	4	5

Обозначения: *l* – длина измеряемой цилиндрической поверхности; *l/d* – соотношение длины и диаметра измеряемой поверхности; *N* – число плоскостей измерения.

Измерение отклонений взаимного расположения поверхностей предполагает, что одна из поверхностей или ее геометрическая ось принимаются за базу. Отсчет отклонений расположения производится относительно базы. Аналогично определяются значения суммарных отклонений формы и расположения. При определении значений отклонений расположения отклонения формы базовой и исследуемой поверхностей должны исключаться. Это делается заменой реальных поверхностей прилегающими. Прилегающие поверхности при измерении могут имитироваться элементами приспособлений или приборов. Однако в этом случае высокая точность измерения не обеспечивается. Большинство используемых схем измерения или совпадает с представленными выше, или построено на их основе.

ГОСТ Р 8.563 устанавливает общие положения и требования к разработке методик измерения, аттестации, стандартизации и метрологическому надзору за ними. ***Методика выполнения измерений*** – совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с известной погрешностью. В документах, регламентирующих методику выполнения измерений, должны указываться: назначение методики; условия измерений; требования к погрешности измерения или (и) приписанные характеристики погрешности измерения; метод(ы) измерения; требования к средствам измерения, вспомогательным устройствам и материалам; операции: при подготовке к выполнению измерений; при выполнении измерений; обработки и вычислений результатов измерений; нормативы, процедуру и периодичность контроля погрешности результатов выполняемых измерений; требования к оформлению результатов измерений; требования к квалификации операторов; требования к обеспечению безопасности выполняемых работ; требования к экологической безопасности.

Нормальные условия выполнения линейных измерений в пределах от 1 до 500 мм и измерений углов с длиной меньшей стороны до 500 мм по стандарту характеризуются следующими значениями *основных влияющих величин:*

температура окружающей среды 20 °С;

атмосферное давление 101 324, 72 Па (760 мм рт. ст.);

относительная влажность окружающего воздуха 58 % (нормальное парциальное давление водяных паров 1333,22 Па);

ускорение свободного падения 9,8 м/с^2;

направление линии измерения линейных размеров до 160 мм у наружных поверхностей – вертикальное, в остальных случаях – горизонтальное;

положение плоскости измерения углов – горизонтальное;

относительная скорость движения внешней среды равна нулю;

значения внешних сил равны нулю.

Ряд указанных условий относится к *рабочему пространству*, т.е. к той части пространства, окружающего средство измерений и объект контроля, влиянием величин вне которой на результат измерения можно пренебречь.

Стандарт определяет нормальную область значений влияющих величин при линейных и угловых измерениях, при обеспечении которой погрешность средства измерений может превышать допускаемую основную погрешность средства примерно на 0,1 допуска на изготовление. Эта область определяется следующими пределами значений влияющих величин.

Пределы допускаемых отклонений от нормального направления линии измерения и нормированных параметров ориентации средств и объектов измерений **при линейных измерениях** составляют: ±1° при контроле деталей с нормированной точностью по квалитетам 01 и 0; +2° – по квалитетам 1 – 5; +5° – по квалитетам 6 – 10, **при измерениях углов**: ±0,5° – по 1, 2-й степеням точности; ± 1,5° по 3 – 5-й степеням точности.

Отклонение температуры объекта и рабо-

чего пространства от нормальной при линейных измерениях не должно превышать ±4 °С при измерении размеров до 18 мм соответствующих по точности 9-10 квалитету и ± 0,3 °С для размеров свыше 50 до 500 мм, соответствующих по точности 1 ... 5 квалитетам. При измерениях углов пределы допускаемого отклонения температуры от нормального значения составляют ± 3,5 °С. Средства измерений должны находится в этих условиях не менее 24 ч. Если в рабочее пространство помещается деталь с отклонением от нормальной температуры большим, чем указано, то деталь должна выдерживаться в рабочем пространстве необходимое время. В рабочем пространстве допускаются только плавные изменения температуры со скоростью не более 0,1 °С/мин.

Стандарт устанавливает ограничения и на отклонения других влияющих величин (вибраций, уровня шума, влажности и т.д.).

КОНТРОЛЬ ШЕРОХОВАТОСТИ И ВОЛНИСТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Контроль параметров шероховатости поверхностей. Стандартизованные параметры шероховатости поверхностей описаны во 2-й главе 1 тома справочника.

Шероховатость поверхности контролируют: измерением параметров приборами; определением параметров из профилограмм, обработанных вручную; определением параметров из профилограмм с использованием ЭВМ; с использованием электронной цифровой приставки к профилометрам; с использованием автоматизированных систем на базе ЭВМ; сравнением с образцами.

Современные средства измерения шероховатости делят в основном на две группы: *бесконтактные* и *контактные*. Из бесконтактных средств измерения параметров шероховатости наиболее распространены приборы, действие которых основано на принципах светового сечения, теневого сечения, интерференции света и применения растров; оптические приборы для измерения шероховатости, основанные на перечисленных принципах, соответственно условно называют **ППС, ПТС, МИИ и ОРИМ.**

Из числа контактных наиболее распространены средства измерения, получившие название щуповых, принцип действия которых основан на ощупывании исследуемой поверхности иглой с весьма малым радиусом закругления. Щуповые приборы для измерения шероховатости делят на профилометры, непосредственно показывающие значения измеренных параметров, и профилографы, записывающие профиль микронеровностей поверхности. В табл. 6 и 7 приведены основные средства измерения и контроля параметров шероховатости с краткими техническими характеристиками.

6. Приборы для измерения параметров шероховатости

Прибор	Параметр	Диапазон измерения, мкм	Базовая длина, мм
Профилограф-профилометр 201 и 202	*Ra*	0,2 – 8,0	0,08; 0,25; 0,8; 2,5
Профилометр 253	*Ra*	0,04 – 2,5	0,25; 0,8; 2,5
Профилограф-профилометр 252	*Ra* *Rp* *Rm* *Sm* *tp*	0,12 – 100 0,1 – 200 0,1 – 200 0,3 – 12500 10 – 90 %	0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 0,8
Профилометр 240	*Ra*	0,02 – 3,2	0,8
Профилометр 283	*Ra*	0,02 – 10	0,25; 0,8

Продолжение табл. 6

Прибор	Параметр	Диапазон измерения, мкм	Базовая длина, мм
Профилометр 296	*Ra*	0,02 – 10	0,25; 2,5
Приставка к профилометру 201	*Ra* *Rn* *tp*	0,02 – 8,0 0,1 – 50 10 – 90 %	0,08; 0,25; 0,8
Приставка к профилометру 201, 202, 253	*Ra* Rp *Rmax* Sm *tm*	0,02 – 8,0 0,10 – 50 0,10 – 50 0,3 – 2500 10 – 90 %	0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 0,8
Микроскоп МИС-11	Rz, *Rmax* *S, Sm*	0,8 – 80 0,2 – 2500	0,25; 0,8; 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5
Микроскоп ОРИМ-1	Rz, *Rmax* *S, Sm*	0,4 – 40 0,2 – 2500	0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5
Микроскоп ПТС-1	Rz, *Rmax* *S, Sm*	40 – 320 20 – 6300	0,25; 0,8; 2,5; 8
Профилометр 170622	Ra *Rz* Rp *Rv* *Rmax*	0,02 – 25 0,2 – 100 0,1 – 50 0,1 – 50 0,2 – 100	0,25; 0,8; 2,5
Профилограф-профилометр 171311	Ra *Rz* *Rmax* *Rp* *Sm* *tp*	0,02 – 100 0,2 – 500 0,2 – 500 0,1 – 250 3 – 16 0 – 99 %	0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8

7. Средства измерения и контроля параметров шероховатости, выпускаемые зарубежными фирмами

Прибор	Параметр	Диапазон измерения, мкм	Базовая длина, мм
Профилограф-профилометр "Talysurf-1"	*Ra*	0,1 – 5,0	0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8,0
Профилограф-профилометр "Talysurf-10"	*Ra, Rq* *Rt, Rtm* *Rp*	0,025 – 50 0,25 – 500	0,8 – 8,0

Продолжение табл. 7

Прибор	Параметр	Диапазон измерения, мкм	Базовая длина, мм
Профилограф-профилометр "Talysurf-4"	*Ra* *H*max *H*min *R*max *tp*	0,05 – 10 0,2 – 40 0,2 – 40 0,4 – 80 100 %	0,25 – 2,5
Мини-компьютер "Talynova"	*Ra, Rq* *R*max, *Rt* *Rz, Rtm* *Sm* *tp*	0,05 – 100 10 – 5000 100 %	0,25 – 2,5
Цеховой профилограф Профилометр "Surtronik-3"	*Ra* *Rp, Rt, Rtm* *tp*	0 – 10 0 – 200 0 – 100 %	0,25 – 2,5
Профилограф "Talysfer"	*Ra*	до 10	0,25 – 0,8
Rotary Talysurf Наибольший радиус измеряемой поверхности 38 мм, минимальный – 0,25 мм	*Ra*	Как у Talysurf-10 или Talysurf-4	0,8 – 2,5
Профилограф-профилометр /"Сурфтест-3"	*Ra, Rt*	0,02 – 100	0,8 – 2,5
Профилометр РМ-01	*Ra*	0,1 – 10	0,8 – 2,5
Основные части	*Rt*, Rmax *Rz, Ra* *Wt*	Для параметров 0,1 – 100 для волнистости 1 – 500	0,025 – 2,5
Дополнительные блоки H, Rmc, Rs Rp, tp	Дополнительные параметры кривая опорной поверхности	Для параметров шероховатости 0,1 – 100; для волнистости 1 – 500	–
Профилометр П5 П3	*Ra* *Rt* *R*max	0,3 – 10 1 – 30 1 – 30	0,8; 2,5;
"Homel-Tester" профилометр-профилограф	*Ra* *Rz* *Rt*	0,3 – 10 1 – 30 0,1 – 100	0,025 – 2,5
Перт-О-метр DWR-LP	*Rt, Wt*	2,5 – 100	0,8 – 8

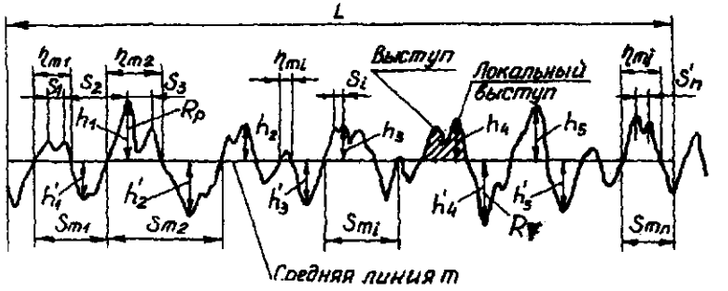


Рис. 1. Профилограмма поверхности с обозначением элементов параметров шероховатости

Параметры шероховатости из профилограммы определяют по следующей методике.

1. Снятую профилограмму разделяют по длине на базовые участки. Длина базовой линии, используемой для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхностей, указана конструктором на чертеже, а если такого указания нет, то выбирают в соответствии с Приложением 1 ГОСТ 2789–73.

Базовую длину, мм, которую откладывают на профилограмме, определяют из зависимости:

$$L = l_6\gamma_г,$$

где l_6 – базовая длина, указанная на чертеже или назначенная по ГОСТ 2789–73;

$\gamma_г$ – горизонтальное увеличение профилограммы.

2. Для каждого базового участка проводят среднюю линию по методу наименьших квадратов. Допускается проводить среднюю линию так, чтобы сумма площадей выступов, расположенных выше средней линии, была приблизительно равна площади впадин, расположенных ниже средней линии.

Для определения положения средней линии иногда используют натянутую нить. Считают, что погрешность такого способа проведения средней линии около 3%.

3. Определяют значение параметра *Rz*. Для этого в пределах базовой длины на профилограмме (рис. 1) измеряют расстояние, мм, по нормали от пяти наибольших выступов до средней линии h_i; и от пяти наибольших впадин до средней линии h_i'. Значение параметра

$$Rz = \left(\sum_{i=1}^{5} h_i + \sum_{i=1}^{5} h_i'\right) 1000 \Big/ 5\gamma_в,$$

где $\gamma_в$ – вертикальное увеличение профилограммы.

4. Определяют значение параметра *Ra* (рис. 2). Его обычно получают по показаниям приборов со стрелочной или цифровой индикацией. Однако, параметр *Ra* можно определить по профилограмме. Для этого в пределах базовой длины через интервал $\Delta x = 1 \ldots 2$ мм измеряют в мм по нормали от средней линии расстояния до профилограммы ($y_1, y_2, \ldots, y_i, \ldots, y_n$) без учета их знака. Значение параметра

$$Ra = \sum_{i=1}^{n} |y_1| 1000/n\gamma_в,$$

где n – число измерений ординат y_i (значения $y_i = 0$ также учитываются); число ординат всегда нечетное, $n = (l_6\gamma_г/\Delta x) + 1$.

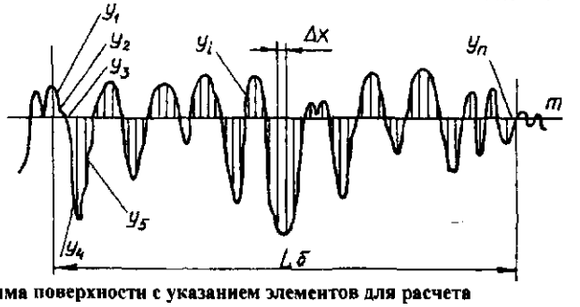


Рис. 2. Профилограмма поверхности с указанием элементов для расчета положения средней линии

5. Определяют значение параметра Rmax. Для этого на базовой длине через наибольший выступ параллельно средней линии проводят линию выступов, а через наименьшую впадину – линию впадин. Затем измеряют расстояние R'max, мм, по нормали между линией выступов и линией впадин и определяют параметр Rmax = 1000R'max/$\gamma_в$. Наибольшая высота неровностей

$$Rmax = Rp + Rv,$$

где Rp – максимальная высота выступа;

Rv – максимальная глубина впадин.

6. Определяют значение параметра S. Для этого в пределах базовой длины измеряют все шаги неровностей по вершинам локальных выступов (S_1, S_2, …,S_N) или подсчитывают число локальных выступов n', и средний шаг неровностей по вершинам находят по формуле

$$S = \sum_{i=1}^{N} S_i / N\gamma_г \approx L/n'\gamma_г ,$$

где N – число шагов по вершинам на базовой длине L.

7. Определяют параметр Sm. Для этого измеряют все шаги неровностей по средней линии (Sm_1, Sm_2, …, Sm_N) и их число пересечений профиля шероховатости со средней линией

$$Sm_N = \sum_{j=1}^{N} Sm_i / N\gamma_г \approx 2L/n\gamma_г .$$

где N – число шагов по средней линии;

n – число пересечений профиля шероховатости со средней линией на базовом участке L.

8. Определяют относительную опорную длину профиля на заданных уровнях tp (рис. 3). Для этого выбирают уровень из ряда (5; 10; 15; 20; 25;30; 40; 50; 60; 70; 80; 90) в % от Rmax.

На профилограмме измеряют величину R'max и определяют абсолютное значение уровня $p'_i = p_i R'$max/100, где p_i – заданный уровень, % от Rmax (5; 10; 15; 20 и т.д.).

От линии выступов откладывают абсолютное значение p_1 первого уровня и на этом уровне проводят линию сечения, параллельную средней линии. Затем от линии выступов откладывают абсолютное значение p_2 второго уровня и аналогично проводят вторую линию сечения и т.д.

В пределах базовой длины в каждом сечении определяют опорную длину профиля η_p, равную сумме длин отрезков b_{ij}, отсекаемых в материале линией сечения, т.е.

$$\eta_p = \sum_{i=1}^{j} b_{ij} .$$

Например, $\eta_1 = b_{11} + b_{12} + b_{13} + \ldots + b_{1j}$; $\eta_2 = b_{21} + b_{22} + b_{23} + \ldots + b_{2j}$.

В пределах базовой длины в каждом сечении определяют соответствующее значение относительной опорной длины профиля tp, равное отношению опорной длины профиля ηp к базовой длине, т.е.

$$tp_j = \left(\eta_{pj} / L\right)100\% .$$

Чаще задают на чертеже относительную длину опорной линии профиля шероховатости на уровне средней линии

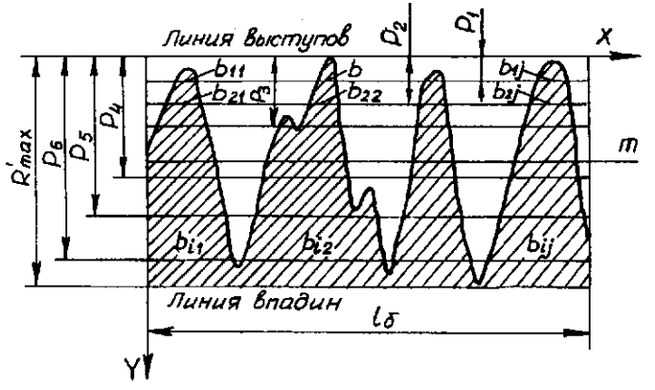


Рис. 3. Профидлограмма поверхности с указанием элементов для расчета

$$tm = \left(\sum_{i=1}^{j} b_{mi} \Big/ L\right)100\% .$$

Определив tm, можно, не прибегая к графическим построениям и расчетам, по приведенной выше методике найти tm на любом уровне:

выше средней линии

$$tp = tm\left(pR\max/100Rp\right)^{(tmRp/50Ra-1)};$$

ниже средней линии

$$tp = 100 - tm\left[(100-p)R\max/100 \times \right.$$

$$\left. \times \left(R\max - Rp\right)\right]^{(50Rz-tmRp)/50Ra} .$$

Для непосредственного измерения стандартизованных параметров шероховатости с использованием старых профилометров созданы различные электронные приставки. Одна из таких электронных цифровых приставок к широко распространенным профилографам-профилометрам мод. 201, 202 и 253 работает в режиме профилометрирования и измеряет: высоту сглаживания Rp, мкм, глубину сглаживания (расстояние от средней линии до линии впадин) Rv, мкм, относительную длину опорной линии на уровне средней линии tm, %; число выступов n; параметр Ra определяют по показывающему прибору профилометра.

Для контроля параметров шероховатости поверхностей сложной формы в труднодоступных местах, а также при отсутствии цеховых средств измерения применяют так называемый **метод слепков**. Сущность метода заключается в снятии слепков с поверхностей для последующего измерения неровностей этих слепков.

Для снятия слепков используют различные материалы: наилучшим является масляно-гуттаперчевая масса, состоящая из 47 % гуттаперчи, 40 % масла и 13 % песка. Массу варят в масле при температуре ниже точки кипения масла, сначала варится пек в масле, затем осаждаются имеющиеся в песке песчинки, массу сливают и варят с гуттаперчей. Затем ее нарезают кусочками примерно по 10 г., нагревают в водяной ванне при температуре 85 – 100 °С. Испытываемую поверхность счищают бензином. Толщина слепка должна быть не менее 4 мм.

Применяют также восковые сплавы, например, смесь из 40 г пчелиного воска, 6 г терпентина и 1 г графита. Испытываемую поверхность предварительно смачивают мыльной водой, накладывают готовую смесь, через 10 – 20 мин она затвердевает и довольно хорошо отделяется, воспроизводя шероховатость измеряемой поверхности.

Для снятия слепков с криволинейных поверхностей может быть использована кинопленка, растворенная в ацетоне. Шероховатость поверхности слепка можно измерять с помощью оптических или ощупываемых приборов, приведенных в табл. 6 и 7.

Для относительной качественной оценки шероховатости обработанной поверхности на рабочем месте могут быть использованы **образцы шероховатости**. Сравнение контролируемой поверхности с поверхностью рабочего образца или образцовой детали является наиболее простым и экономичным методом контроля шероховатости.

Поверхности сравнивают: невооруженным глазом, с помощью увеличительной лупы, сравнительным микроскопом, специальными средствами осмотра внутренних поверхностей, комбинацией перечисленных способов с ощупыванием поверхностей пальцем, ногтем, тонкой металлической пластиной и т.п.

При нормальной остроте зрения возможно сравнение невооруженным глазом поверхностей с Ra от 80 до 2,5 мкм или Rz от 320 до 10 мкм.

В случае невозможности непосредственного или с помощью слепков измерения шероховатости допускается разрушение детали. Если разрушение детали экономически не целесообразно, то параметры шероховатости измеряют на *упрощенных образцах-свидетелях*, полученных путем имитирования контролируемой технологической операции.

Для повышения достоверности данных при контроле шероховатости методом сравнения с образцами (рабочими) или образцовыми деталями необходимо выполнять следующие условия: образец должен быть изготовлен из того же материала, что и контролируемая деталь; способы обработки поверхностей образца и контролируемой детали, а также их геометрические формы должны быть одинаковы; контрольные поверхности образцов, изготовленные самими предприятиями, должны удовлетворять требованиям ГОСТ 9378–93 на образцы шероховатости.

Образцовые детали целесообразно применять в следующих случаях: проверяемые детали имеют сложную форму (криволинейные очертания, закругления, переходные кривые); размеры контролируемой детали резко отли-

чаются от размеров стандартных образцов; цех или производственный участок имеет небольшую номенклатуру выпускаемых деталей ответственного назначения; отсутствуют стандартные образцы из материала и видов обработки, соответствующих контролируемой детали (неметаллические материалы, литье, штамповка, электрообработка и т.п.); контролируемые детали малых размеров и т.п.

При контроле параметров шероховатости поверхностей крупногабаритных деталей пользоваться образцовой деталью практически невозможно. В этом случае образцовая деталь может представлять собой отдельные элементы, вырезанные из целой детали.

Контроль параметров волнистости поверхностей. Параметры волнистости поверхности могут быть определены теми же методами и средствами, что и параметры шероховатости. Причем профилометры "Talysurf", "Homel-Tester" и "Pert-Metr" имеют соответствующие электрические фильтры, позволяющие при переключении переходить с измерения параметров шероховатости на измерение параметров волнистости или записывать волнограммы на тех же трассах.

Отечественные профилометры также могут быть использованы для измерения параметров волнистости, но с применением механического фильтра. В качестве такого фильтра рекомендуется применять щуп радиусом 15 мм, увеличивая отсечку шага, как минимум, в 4 раза по сравнению с измерением параметров шероховатости. Параметры волнистости с успехом могут быть определены и из волнограмм, записанных на профилографах и кругломерах мод. 218 и 255. Схемы и виды специальных опор для записи волнограмм на профилографах и используемые при этом приспособления приведены на рис. 4.

Кругломеры мод. 218 и 255 имеют электрические фильтры. Размеры проверяемых на кругломерах деталей ограничены (табл. 8). Эти кругломеры имеют приспособления для автоматического центрирования последующих измеряемых деталей. Менее точными являются кругломеры мод. ВЕ-20А и ВЕ-37.

Наиболее известен кругломер "Talyrond", выпущенный фирмой Rank Taylor Hobson (Великобритания) в нескольких модификациях (2,51 и др.). К прибору изготовляют вычислительную приставку, позволяющую наносить на диаграммный диск базовую окружность или эллипс, размеры которых вычислены по методу наименьших квадратов, и некоторые устройства, расширяющие область применения кругломера. К ним относятся следующие: механизм подъема шпинделя, облегчающий выверку контактируемой детали относительно вертикального перемещения шпинделя и позволяющий фиксировать осевые координаты повторяющих поперечных сечений с погрешностью не более 1,25 мкм; регулируемый предварительный усилитель для изменения радиального увеличения от 0,5 до 2^x, что расширяет диапазон увеличении до 20000^x; переключатель, позволяющий записывать отклонение от круглости в прямоугольных координатах с помощью самописца профилографа-профилометра "Talysorf". Размеры контролируемых деталей: наружный и внутренний диаметр до 350 мм, высота до 700 мм.

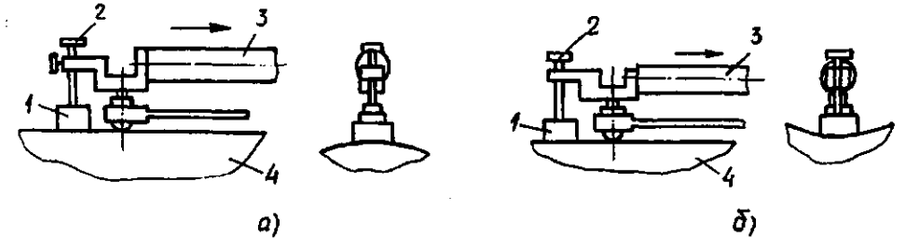


Рис. 4. Специальные опоры для записи волнограмм в осевом направлении с наружной (*а*) и внутренней (*б*) цилиндрической поверхности:
1 – опора; *2* – регулировочный винт; *3* – корпус датчика; *4* – деталь

8. Параметры деталей, измеряемых на кругломерах

Параметры детали	Мод. 218	Мод. 255
Диаметр поверхности, мм:		
наружный	0,5 – 300	0,5 – 300
внутренний	3 – 300	1,5 – 350
Высота, мм	350	400
Масса, кг	50	80

Кругломеры "Formtester" фирмы "Perter" с прибором для записи позволяют записывать круглограммы с шириной поля 40 мм. Их особенность в том, что при записи круглограммы не требуется точно центрировать деталь на предметном столе, так как эксцентриситет исключается из записи самим прибором.

Американская фирма "Bendyks" выпускает кругломеры: "Indyron", "Rondy-gang" и "Prodakt-o-ron". Кругломер "Indyron" позволяет записывать круглограммы в полярных координатах с увеличением от 400 до 50000^x на диаграммных дисках с шириной поля 50 мм. Прибор имеет две ощупывающие головки, которые могут работать одновременно или последовательно.

Кругломер "Prodakt-o-ron" представляет собой модификацию "Indyron", предназначенную для использования в цехе.

Кругломер "Randy-gang" позволяет записывать круглограммы с увеличением от 400 до 20000^x без снятия контролируемой детали со станка.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Задачи обработки результатов наблюдений возникают в первую очередь тогда, когда случайная составляющая погрешности измерения существенна, т.е. может повлиять на выводы, основанные на результатах измерения. Аналогичные задачи возникают и тогда, когда сама измеряемая величина (параметр) или процесс ее изменения содержат существенную случайную составляющую.

Требования стандартов к представлению результатов измерений при многократных наблюдениях определяют необходимость вычисления ряда статистических оценок. Кроме того, использование измерений для определения зависимостей, моделей и характеристик процессов привело к постановке ряда типовых задач, непосредственно основанных на обработке результатов измерений.

Обработка результатов наблюдений при прямых измерениях. Предположим, что произведено n наблюдений $x_1, \ldots, x_n, \ldots, x_n$ и точность получения x_i для любого i одинакова, то есть имеют место равноточные измерения. Тогда, при отсутствии систематической составляющей и симметричном законе распределения погрешностей, в качестве результата измерения принимаем **среднее арифметическое значение:**

$$\bar{x} = (1/n)\sum_{i=1}^{n} x_i . \qquad (1)$$

Для достаточно больших n можно ограничиться полученным результатом. Но часто при измерениях по разным соображениям n ограничено. Тогда необходимо указать доверительный интервал для $\bar{x}$. Одним из приемов определения величины систематической составляющей погрешности измерения является определение разности между средним значением (при многократных измерениях) результата измерений образца (эталона) и его действительным значением. В качестве образца используют набор *концевых мер*. Систематическая погрешность измерения исключается из результата измерений контролируемой величины.

Для оценки точности измерения или рассеяния значений физической величины используют **среднее квадратическое отклонение σ.** При ограниченном n представительную и несмещенную оценку σ определяют в виде

$$S = \sqrt{[1/(n-1)]\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} . \qquad (2)$$

В качестве относительной характеристики рассеяния может использоваться **коэффициент вариации:**

$$V = (S/\bar{x})100\% .$$

Он показывает, в частности, долю некорректируемой погрешности измерения, если среднее значение характеризует систематическую составляющую погрешности измерения.

Наличие смещенности (несимметричности) формы кривой распределения можно определить по показателю **асимметрии:**

$$S_k = \left[1/\left(nS^3\right)\right]\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^3.$$

В качестве характеристики большего (меньшего) подъема эмпирической кривой распределения в сравнении с кривой нормального распределения используют **эксцесс:**

$$E_k = \left[1/\left(nS^4\right)\right]\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^4 - 3.$$

Отличие от нуля показателя асимметрии и эксцесса указывает на отклонение от нормального распределения. При нормальном распределении для оценки рассеяния может использоваться **размах выборки**

$$R = x_{\max} - x_{\min}.$$

При небольших $n (n < 10)$ эта оценка имеет неплохую эффективность, если исключены грубые погрешности. Но при больших n такая оценка мало эффективна по сравнению с S.

Оценка центра распределения по неравноточным наблюдениям связана с введением "весов" наблюдений g_i, обратно пропорциональных дисперсиям

$$g_1 : g_2 : \ldots : g_n = \left(1/S_1^2\right) : \left(1/S_2^2\right) : \ldots : \left(1/S_n^2\right)$$

и вычисляется по формуле

$$\bar{x} = \left(\sum_{i=1}^{n} g_i x_i\right) \Big/ \sum_{i=1}^{n} g_i .$$

Несмещенная оценка величины дисперсии

$$S^2 = \left[1/(n-1)\right] \Big/ \sum_{i=1}^{n} g_i \left(x_i - \bar{x}\right)^2.$$

Доверительный интервал для $\bar{x}$, отвечающий доверительной вероятности $(1 - \alpha)$, при неизвестном σ:

$$\left(\bar{x} - t_{q,n-1} S/\sqrt{n};\ \bar{x} + t_{q,n-1} S/\sqrt{n}\right),$$

и при известном σ (или при достаточно большом n):

$$\left(\bar{\bar{x}} - t_q \sigma/\sqrt{n};\ \bar{\bar{x}} + t_q \sigma/\sqrt{n}\right),$$

где t_q – квантиль распределения определяется по табл. 9 ($t_q = z$ для $\Phi_0(z) = (1 - \alpha)/2$, $\alpha = q/100$); $t_{q,n-1}$ – квантиль распределения определяется по табл. 10, где $k = n - 1$.

9. Нормированная функция Лапласа $\Phi_0(z)$

z	Сотые доли для z									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
00	0,0 000	040	080	120	160	199	239	279	319	359
0,1	398	438	478	517	557	596	636	675	714	753
0,2	793	832	871	910	948	987				
	0,1 ...	...	...	...	...	...	026	064	103	141
0,3	179	217	255	293	331	368	406	443	480	517
0,4	554	591	628	664	700	736	772	808	844	879
0,5	915	950	985							
	0,2 ...	...	...	019	054	088	123	157	190	224
0,6	257	291	324	357	389	422	454	486	517	549
0,7	580	611	642	673	703	734	764	794	823	852
0,8	881	910	939	967	995					
	0,3 ...	...	...	...	...	023	051	078	106	133
0,9	159	186	212	238	264	289	315	340	365	389
1,0	413	437	461	485	508	531	554	577	599	621
1,1	643	665	686	708	729	749	770	790	810	830
1,2	849	869	888	907	925	944	962	980	997	

Продолжение табл. 9

z	Сотые доли для z									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	0,4 ...	...	...	...	...	...	...	...	...	015
1,3	032	049	066	082	099	115	131	147	162	177
1,4	192	207	222	236	251	265	279	292	306	319
1,5	332	345	357	370	382	394	406	418	429	441
1,6	452	463	474	484	495	505	515	525	535	545
1,7	554	564	573	582	591	599	608	616	625	633
1,8	641	649	656	664	671	678	686	693	699	706
1,9	713	719	726	732	738	744	750	756	761	767
2,0	772	778	783	788	793	798	803	808	812	817
2,1	821	826	830	834	838	842	846	850	854	857
2,2	860	864	867	871	874	877	880	883	886	889
	966	474	906	263	545	755	894	962	962	893
2,3	892	895	898	900	903	906	908	911	913	915
	759	559	296	969	581	133	625	060	437	758
2,4	918	920	922	924	926	928	930	932	934	936
	025	237	397	506	564	572	531	493	309	128
2,5	937	939	941	942	944	946	947	949	950	952
	903	634	323	969	574	139	664	151	600	012
2,6	953	954	956	957	958	959	960	962	963	964
	388	729	035	308	547	754	930	074	169	274
2,7	965	966	967	968	969	970	971	971	972	973
	330	358	359	333	280	202	099	972	621	646
2,8	0,4 974	975	975	976	977	978	978	979	980	980
	449	229	988	726	443	140	818	476	116	738
2,9	981	981	982	983	983	984	984	985	985	986
	342	929	498	052	589	111	618	110	588	051
3,0	986	986	987	987	988	988	988	989	989	989
	501	938	361	772	171	558	933	297	650	992
3,1	990	990	990	991	991	991	992	992	992	992
	324	646	957	260	553	836	112	378	636	886
3,2	993	993	993	993	994	994	994	994	994	994
	129	363	590	810	024	230	429	623	810	991
3,3	995	995	995	995	995	995	996	996	996	996
	166	335	499	658	811	959	103	242	376	505
3,4	996	996	996	996	997	997	997	997	997	997
	631	752	869	982	091	197	299	398	493	585
3,5	997	997	997	997	997	998	998	998	998	998
	674	759	842	922	999	074	146	215	282	347
3,6	998	998	998	998	998	998	998	998	998	998
	409	469	527	583	637	689	739	787	834	879
3,7	998	998	999	999	999	999	999	999	999	999

Продолжение табл. 9

z	Сотые доли для z									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	922	964	004	043	080	116	130	184	216	247
3,8	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
	274	305	333	359	385	409	433	456	478	499
3,9	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
	519	539	557	575	593	609	625	641	655	670
4,0	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
	683	696	709	721	733	744	755	766	775	784
4,1	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
	793	802	811	819	826	834	841	848	854	861
4,2	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
	867	872	878	883	888	893	898	902	907	911
4,3	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
	915	918	922	925	929	932	935	938	941	943
4,4	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
	946	948	951	953	955	957	959	961	963	964
4,5	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
	966	968	969	971	972	973	974	976	977	978
5,0	999									
	997									

Примечание. Если $\Phi_0(z)$ для соответствующего z указаны в двух строках, то вторая строка цифр является продолжением первой.

10. Значения $t_{q,k}$ в зависимости от k степеней свободы и вероятности $\alpha = q/100$ для распределения Стьюдента

k \ q	10,0	5,0	2,5	2,0	1,0	0,5	0,3	0,2	0,1
1	6,314	12,706	25,452	31,821	63,657	127,30	212,20	318,30	636,60
2	2,920	4,303	6,205	6,965	9,925	14,089	18,216	22,327	31,600
3	2,353	3,182	4,177	4,541	5,841	7,453	8,891	10,214	12,922
4	2,132	2,776	3,495	3,747	4,604	5,597	6,435	7,173	8,610
5	2,015	2,571	3,163	3,365	4,032	4,773	5,376	5,893	6,869
6	1,943	2,447	2,969	3,143	3,707	4,317	4,800	5,208	5,959
7	1,895	2,365	2,841	2,998	3,499	4,029	4,442	4,785	5,408
8	1,860	2,306	2,752	2,896	3,355	3,833	4,199	4,501	5,041
9	1,833	2,262	2,685	2,821	3,250	3,690	4,024	4,297	4,781
10	1,812	2,228	2,634	2,764	3,169	3,581	3,892	4,144	4,587
12	1,782	2,179	2,560	2,681	3,055	3,428	3,706	3,930	4,318
14	1,761	2,145	2,510	2,624	2,977	3,326	3,583	3,787	4,140
16	1,746	2,120	2,437	2,583	2,921	3,252	3,494	3,686	4,015
18	1,734	2,101	2,445	2,552	2,878	3,193	3,428	3,610	3,922
20	1,725	2,086	2,423	2,528	2,845	3,153	3,376	3,552	3,849
22	1,717	2,074	2,405	2,508	2,819	3,119	3,335	3,505	3,792
24	1,711	2,064	2,391	2,492	2,797	3,092	3,302	3,467	3,745
26	1,706	2,056	2,379	2,479	2,779	3,067	3,274	3,435	3,704
28	1,701	2,048	2,369	2,467	2,763	3,047	3,250	3,408	3,674
30	1,697	2,042	2,360	2,457	2,750	3,030	3,230	3,386	3,646
∞	1,645	1,960	2,241	2,326	2,567	2,807	2,968	3,090	3,291

Пример. Определить доверительный интервал математического ожидания при доверительной вероятности $1 - \alpha = 0{,}95$, если произведено $n = 10$ наблюдений и получены следующие значения измеряемой величины x:

$$x_1 = -2; x_2 = +1; x_3 = -2; x_4 = +3;$$
$$x_5 = +4; x_6 = +4; x_7 = -2; x_8 = +5;$$
$$x_9 = +3; x_{10} = +4.$$

В соответствии с (1) и (2) получим $x = +2$ и $S = 2{,}4$. Из табл. 10 находим, что $t_{q,n-1} = t_{5,9} = 2{,}262$ $(q = 100\alpha = 100 \cdot 0{,}05 = 5)$. Тогда с вероятностью 0,95 доверительный интервал (0,18; 3,72) накрывает математическое ожидание.

Доверительный интервал σ – в предположении, что величина nS^2/σ^2 распределена по закону χ^2 с $(n-1)$ степенью свободы,

$$\left(\sqrt{nS}/\chi_1;\ \sqrt{nS}/\chi_2\right),$$

где χ_1 и χ_2 соответствуют двум предельным границам доверительного интервала, отвечающего доверительной вероятности $1 - \alpha$ (определяются по табл. 11).

11. Значение предела χ_i^2 в зависимости от вероятности $p(\chi^2 > \chi_i^2)$ и числа k степеней свободы χ^2 - распределения

k	Вероятность p							
	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30
2	0,020	0,040	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386	2,41
3	0,115	0,185	0,352	0,584	1,005	1,424	2,366	3,66
4	0,30	0,43	0,71	1,06	1,65	2,19	3,36	4,9
5	0,55	0,75	1,14	1,61	2,34	3,00	4,35	6,1
6	0,87	1,13	1,63	2,20	3,07	3,83	5,35	7,2
7	1,24	1,56	2,17	2,83	3,82	4,67	6,35	8,4
8	1,65	2,03	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,5
9	2,09	2,53	3,32	4,17	5,38	6,39	8,34	10,7
10	2,56	3,06	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34	11,8
11	3,1	3,6	4,6	5,6	7,0	8,1	10,3	12,9
12	3,6	4,2	5,2	6,3	7,8	9,0	11,3	14,0
13	4,1	4,8	5,9	7,0	8,6	9,9	12,3	15,1
14	4,7	5,4	6,6	7,8	9,5	10,8	13,3	16,2
15	5,2	6,0	7,3	8,5	10,3	11,7	14,3	17,3
16	5,8	6,6	8,0	9,3	11,2	12,6	15,3	18,4
17	6,4	7,3	8,7	10,1	12,0	13,5	16,3	19,5
18	7,0	7,9	9,4	10,9	12,9	14,4	17,3	20,6
19	7,6	8,6	10,1	11,7	13,7	15,4	18,3	21,7
20	8,3	9,2	10,9	12,4	14,6	16,3	19,3	22,8
21	8,9	9,9	11,6	13,2	15,4	17,2	20,3	23,9
22	9,5	10,6	12,3	14,0	16,3	18,1	21,3	24,9
23	10,2	11,3	13,1	14,8	17,2	19,0	22,3	26,0
24	10,9	12,0	13,8	15,7	18,1	19,9	23,3	27,1
25	11,5	12,7	14,6	16,5	18,9	20,9	24,3	28,1
26	12,2	13,4	15,4	17,3	19,8	21,8	25,3	29,3
27	12,9	14,1	16,2	18,1	20,7	22,7	26,3	30,3
28	13,6	14,8	16,9	18,9	21,6	23,6	27,3	31,4
29	14,3	15,6	17,7	19,8	22,5	24,6	28,3	32,5
30	15,0	16,3	18,5	20,6	23,4	25,5	29,3	33,5

Продолжение табл. 11

k	Вероятность p							
	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001
1	1,64	2,7	3,8	5,4	6,6	7,9	9,5	10,83
2	3,22	4,6	6,0	7,8	9,2	11,6	12,4	13,8
3	4,64	6,3	7,8	9,8	11,3	12,8	14,8	16,3
4	6,0	7,8	9,5	11,7	13,3	14,9	16,9	18,5
5	7,3	9,2	11,1	13,4	15,1	16,8	18,9	20,5
6	8,6	10,6	12,6	15,0	16,8	18,6	20,7	22,5
7	9,8	12,0	14,1	16,6	18,5	20,3	22,6	24,3
8	11,0	13,4	15,5	18,2	20,1	21,9	24,3	26,1
9	12,2	14,7	16,9	19,7	21,7	23,6	26,1	27,9
10	13,4	16,0	18,3	21,2	23,2	25,2	27,7	29,6
11	14,6	17,3	19,7	22,6	24,7	26,8	29,4	31,3
12	15,8	18,5	21,0	24,1	26,2	28,3	31	32,9
13	17,0	19,8	22,4	25,5	27,7	29,8	32,5	34,5
14	18,2	21,1	23,7	26,9	29,1	31	34	36,1
15	19,3	22,3	25,0	28,3	30,6	32,5	35,5	37,7
16	20,5	23,5	26,3	29,6	32,0	34	37	39,2
17	21,6	24,8	27,6	31,0	33,4	35,5	38,5	40,8
18	22,8	26,0	28,9	32,3	34,8	37	40	42,3
19	23,9	27,2	30,1	33,7	36,2	38,5	41,5	43,8
20	25,0	28,4	31,4	35,0	37,6	40	43	45,3
21	26,2	29,6	32,7	36,3	38,9	41,5	44,5	46,8
22	27,3	30,8	33,9	37,7	40,3	42,5	46	48,3
23	28,4	32,0	35,2	39,0	41,6	44,0	47,5	49,7
24	29,6	33,2	36,4	40,3	43,0	45,5	48,5	51,2
25	30,7	34,4	37,7	41,6	44,3	47	50	52,6
26	31,8	35,6	38,9	42,9	45,6	48	51,5	54,1
27	32,9	36,7	40,1	44,1	47,0	49,5	53	55,5
28	34,0	37,9	41,3	45,4	48,3	51	54,5	56,9
29	35,1	39,1	42,6	46,7	49,6	52,5	56	58,3
30	36,3	40,3	43,8	48,0	50,9	54	57,5	59,7

Пример. Определить доверительный интервал σ при доверительной вероятности 0,96, если по результатам 10 измерений получено $S = 2{,}3$.

Определяют два значения вероятности p_1 и p_2, соответствующие χ_1 и χ_2, т.е. границам интервала, накрывающего σ с вероятностью 0,96:

$$p_1 = 1 - 0{,}5(1-\alpha) = 1 - 0{,}5(1-0{,}96) = 0{,}98;$$

$$p_2 = 0{,}5(1-\alpha) = 0{,}5(1-0{,}96) = 0{,}02.$$

Из табл. 11 находим, что значениям $p_1 = 0{,}98$ и $p_2 = 0{,}02$ соответствуют $\chi_1^2 = 2{,}53$ и $\chi_2^2 = 19{,}7$ (при числе степеней свободы $k = n - 1 = 9$).

Доверительный интервал:

$$(1{,}64 < \sigma < 4{,}57).$$

Следует иметь в виду, что грубые ошибки при проведении измерений должны исключаться из данных, используемых при вычислении оценок статистических параметров. Если на основании анализа процесса измерения не удается исключить причины или увидеть и отбросить грубые ошибки, то используют один из критериев их определения.

Предположим, что из всех результатов наблюдений подозрительным является значение x_{max}, а распределение следует нормальному закону. Принимается уровень значимости, определяющий вероятность α перехода действительным отклонением некоторой границы. Значение x_{max} считают грубой ошибкой, если

$$x_{max} > \bar{x} + t_{\alpha,n} S,$$

где $t_{\alpha,n}$ определяется по табл. 12; x и S определяются по выборке объема n.

12. Квантили $t_{\alpha,n}$

n \ α	0,10	0,05	0,025	0,01
3	1,406	1,412	1,414	1,414
4	1,645	1,689	1,710	1,723
5	1,791	1,869	1,917	1,955
6	1,894	1,996	2,067	2,130
7	1,974	2,093	2,182	2,265
8	2,041	2,172	2,273	2,374
9	2,097	2,237	2,349	2,464
10	2,146	2,294	2,414	2,540
11	2,190	2,343	2,470	2,606
12	2,229	2,387	2,519	2,663
13	2,264	2,426	2,562	2,714
14	2,297	2,461	2,602	2,759
15	2,326	2,493	2,638	2,800
16	2,354	2,523	2,670	2,837
17	2,380	2,551	2,701	2,871
18	2,404	2,577	2,728	2,903
19	2,426	2,600	2,754	2,932
20	2,447	2,623	2,778	2,959
21	2,467	2,644	2,801	2,984
22	2,486	2,664	2,823	3,008
23	2,504	2,683	2,843	3,030
24	2,520	2,701	2,862	3,051
25	2,537	2,717	2,880	3,071

Значение x_{min} считают грубой ошибкой, если

$$x_{min} < \bar{x} - t_{\alpha,n} S.$$

Если параметры генеральной совокупности (математическое ожидание и σ) известны или n достаточно большое, то вместо $t_{\alpha,n}$ подставляют квантиль нормального распределения, отвечающую вероятности $p = (1-\alpha)/r$. Ее значение можно найти по табл. 9, обозначив $t_{\alpha,n} = z$.

Проверка гипотез о законе распределения. Критерий согласия Пирсона

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{r} (m_i - np_i)/np_i ,$$

где p_i – выравнивающие частоты, n – число измерений в выборке, m_i – число измерений в i-й группе.

Все наблюдения $x_1, \ldots, x_i, \ldots, x_n$ разбиваются на r групп, в каждую из которых попадает какое-то число близких между собой значений x_i. Интервал $\Delta = x_i - x_{i-j}$ значений x для одной группы (разряда) может определяться погрешностью измерения или другими соображениями.

Применение критерия χ^2 требует выделения области значений критериев, вероятность попадания в которую принимается существенной. В табл. 11 приведены значения χ^2 для выбранной вероятности $p(\chi^2)$ события: $\chi^2_0 \geq \chi^2$, где χ^2_0 – вычисленное для данной выборки значение.

Пример. Вычисленное значение $\chi^2_0 = 0{,}75$, число степеней свободы $k = 6$. Тогда из табл. 11 получим $p(\chi^2) > 0{,}99$, что соответствует $\chi^2 = 0{,}87 > 0{,}75$. Если это значение вероятности признается существенным, то гипотеза о законе распределения верна.

Число степеней свободы k определяется как разность между числом r групп (разрядов), на которые разделены все измеренные значения в выборке, и числом независимых условий t, наложенных на статистические частоты $p_i = m_i/n$, то есть

$$k = r - t.$$

При гипотезе о нормальном распределении $k = 3$, если помимо условия о фиксированном объеме выборки n, наложено требование, чтобы значения среднего и среднеквадратического отклонения выборки равнялись соответствующим параметрам генеральной совокупности.

При гипотезе о биноминальном распределении и распределении Пуассона $k = r - 2$.

Критерий согласия χ^2 рекомендуется применять только в том случае, если ни одна из групповых частот не будет очень мала. Для увеличения частоты крайних групп их объединяют между собой так, чтобы частота объединенной группы была не меньше 5, а число групп равно 8 ... 12.

Критерий согласия χ^2 иногда применяют по *следующему правилу:*

если $\left|\chi^2 - k\right| / \sqrt{2k} \geq 3$, то расхождение

можно считать существенным;

если $\left|\chi^2 - k\right| / \sqrt{2k} < 3$, то случайным.

Оценка гипотезы с помощью критерия χ^2 – существенно зависит от того, как разделены по группам результаты измерений Кроме того, для оценки соответствия наблюдаемого распределения предполагаемому используется предельный закон распределения, что при конечных объемах выборки выполняется лишь приближенно.

Обработка результатов наблюдений при косвенных измерениях. Для получения результата измерения величины Y в общем случае используют зависимость вида

$$Y = F(X_1, X_2, ..., X_n),$$

где X_i – непосредственно измеренные величины.

Если Y в окрестности общего центра $\bar{x} = (x_1, ..., x_i, ..., x_n)$, дифференцируемая функция, тогда

$$\bar{y} = \bar{F}(x_1, ..., x_i, ..., x_n).$$

При каждом измерении некоррелированных аргументов погрешность результата может быть представлена в виде

$$\Delta y = \sum_{i=1}^{n} (\partial F / \partial x_i) \Delta x_i .$$

где Δx_i – значение погрешности измерения x_i.

Оценка дисперсии измеренной величины

$$S_y^2 = (\partial F/\partial x_1)_{\bar{x}}^2 S_1^2 + (\partial F/\partial x_2)_{\bar{x}}^2 S_2^2 + ... + 2(\partial F/\partial x_1)_{\bar{x}} (\partial F/\partial x_2)_{\bar{x}} \operatorname{cov}(x_1 x_2) + ...,$$

где $(\partial F/\partial x_i)_{\bar{x}}$ – значение частной производной в точке $\bar{x}$;

S_i – выборочное среднеквадратическое отклонение x_i;

$\operatorname{cov}(x_i x_{i+1})$ – ковариация или момент связи x_i и x_{i+1};

$$\operatorname{cov}(x_i x_{i+1}) = (1/m) \sum_{j=1}^{m} (x_{i,j} - x_i)(x_{i+1,j} - x_{i+1}), \qquad (3)$$

где m – число пар x_i и x_{i+1}.

Аналогично (3) определяется ковариация x_i и x_{i-k}.

При несвязанных (некоррелированных) x оценка дисперсии измеряемой величины:

$$S_y^2 = \sum_{i=1}^{n} (\partial F/\partial x_i)^2 S.$$

Для определения тесноты линейной связи между измеряемыми величинами используют коэффициент корреляции

$$\rho_{xy} = \operatorname{cov}(x, y) / S_x S_y \cong$$

$$\cong \left[\sum_{j=1}^{n} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \right] \Big/ S_x S_y .$$

Для несвязанных величин он равен нулю. При подсчете коэффициента корреляции по выборке, если $|\rho|$ окажется малым, возникает подозрение, что отличие его от нуля определяется малостью выборки. Можно оценивать эту ошибку по вероятности неравенства $|\rho| < \varepsilon$ (где ε зависит от заданной вероятности p и закона распределения ρ).

При больших выборках доверительный интервал с уровнем значимости q для коэффициента корреляции равен

$$\left[\rho - t_\alpha (1 - \rho^2)/\sqrt{n};\ \rho + t_\alpha (1 - \rho^2)/\sqrt{n} \right].$$

Из этого следует, что гипотеза $\rho = 0$ не верна, если

$$\left(|\rho| \sqrt{n} \right) / \left(1 - \rho^2 \right) > t_\alpha ,$$

где t_α – находят по табл. 9, приняв $t_\alpha = z$.

Иногда принимают, что с вероятностью 0,95 коэффициент корреляции между измеренными величинами отличен от нуля, если в результате эксперимента получится, что $|\rho| \geq 2/\sqrt{n-1}$.

Пример. Для выборки $n = 60$ пар расчетное значение $\rho = 0{,}3$. Выяснить, можно ли с вероятностью $p = 0{,}95$ считать, что корреляционная связь имеет место.

Для того, чтобы воспользоваться табл. 9, обозначим $t_\alpha = z$ и определим, что $\Phi(z) = p/2 = 0{,}495$. Из табл. 9 находим, что $t_\alpha = 2{,}58$. Так как $|\rho| \sqrt{n} / (1 - \rho^2) = 0{,}3 \sqrt{60} / (1 - 0{,}3) > 2{,}58$, коэффициент корреляции $\rho = 0{,}3$ с вероятностью $p = 0{,}95$ является значимой величиной.

Следует обратить внимание на то, что рассеяние, а следовательно, доверительный интервал ρ и оценка вероятности гипотезы существенно зависят от n.

Обработка результатов измерения процессов. Значительная часть задач измерения процессов ограничивается восстановлением зависимости по результатам измерения. При этом если вид функции известен с точностью до постоянных, то задача сводится к *косвенным измерениям*. Но существует широкий класс задач, когда вид зависимости трудно предположить. В частности, такие задачи возникают при измерении отклонения текущего размера поверхности как изготовленной детали, так и в процессе обработки. Например, при измерении отклонений формы. При решении этого класса задач часто необходимо представить измеряемую зависимость в форме аналитического выражения. В основу такого подхода положено предположение о каких-либо свойствах функции, описывающей измеряемую зависимость. Например, о ее периодичности или дифференцируемости. Цель, как правило, состоит в том, чтобы представить измеряемую зависимость в виде суммы относительно простых функций, постоянные параметры которых определяют в результате измерений. Для этого широко используется представление измеряемой зависимости в форме степенного или тригонометрического полинома.

Представление процесса в форме тригонометрического полинома используется и для получения информации о спектральном составе процесса по результатам отдельных измерений. Порядок полиномов ограничивается, как правило, погрешностью измерения. При этом отбрасывают те члены полученных полиномов, максимальное значение которых меньше погрешности измерения. Техника представления зависимости тригонометрическим полиномом представлена в томе 1.

Если измеряемая зависимость может быть представлена функцией $f(x)$, имеющей производные до $(n+1)$-го порядка, то для описания такой зависимости по результатам измерения можно использовать ряд Тейлора:

$$f(x) = f(a) + (x - a) f'(a)/1! + (x - a)^2 f''(a)/2! + ... + (x - a)^n f^{(n)}(a)/n! .$$

где a – произвольная точка внутри интервала существования производных.

Измеряя при различных x_i значения $f(x_i)$, составляют систему уравнений, из которой определяют неизвестные $f^{(k)}(a)$.

Метод наименьших квадратов используют, если вид зависимости известен с точностью до постоянных. К таким задачам относятся, в частности, задачи сглаживания экспериментальных кривых. Его используют для выбора одной из заданных (с точностью до постоянных) зависимости, наилучшим образом описывающей измеряемую. При этом оценка качества приближения определяется минимальной суммой квадратов отклонений результатов наблюдений от значений предполагаемой зависимости.

Методом наименьших квадратов вычисляются коэффициенты корреляционных уравнений.

Один из общих случаев представления измеряемой зависимости (функции) – представление ее полиномом m-ой степени (во всех случаях ниже предполагается, что все y_i имеют равные веса):

$$y = A_0 + A_1 x + A_2 x^2 + ... + A_m x^m .$$

Задача заключается в определении таких значений коэффициентов $A_0, A_1, A_2, ..., A_m$, для которых:

$$F(A_0, A_1, A_2, ..., A_m) = \min \sum \delta_i^2,$$

$$i = 1, 2, ..., k > m + 1,$$

где $\delta_i = A_0 + A_1 x_i + A_2 x_i^2 + ... + A_m x_i^m - y_i$,

y_i – измеренное значение y при $x = x_i$ или (x_i, y_i) – пара измеренных значений x и y.

Принимая $\partial F / \partial A_i = 0$ в качестве условия минимума, коэффициенты A_i определяются из системы уравнений:

$$\begin{cases} \sum \left(A_0 + A_1 x_i + A_2 x_i^2 + ... + A_m x_i^m - y_i \right) = 0; \\ \sum \left(A_0 + A_1 x_i + A_2 x_i^2 + ... + A_m x_i^m - y_i \right) x_i = 0; \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \sum \left(A_0 + A_1 x_i + A_2 x_i^2 + ... + A_m x_i^m - y_i \right) x_i^m = 0. \end{cases}$$

Типовые случаи восстанавливаемых зависимостей (или виды искомых корреляционных уравнений):

1) $y = ax$. Вычисляется a по формуле:

$$a = \left(x_1 y_1 + x_2 y_2 + ... + x_n y_n \right) / \left(x_1^2 + x_2^2 + ... + x_n^2 \right),$$

где n – число измеренных пар (x_i, y_i);

2) $y = ax + b$.

Для определения a и b необходимо решить систему уравнений:

$$\begin{cases} \sum x_i y_i - a \sum x_i^2 - b \sum x_i = 0; \\ \sum y_i - a \sum x_i - bn = 0; \ i = 1, 2, ..., n; \end{cases}$$

3) $y = a + b \lg x$;

Коэффициенты a и b определяются из системы уравнений:

$$\begin{cases} an + b\sum \lg x_i = \sum y_i; \\ a\sum \lg x_i + b\sum (\lg x_i)^2 = b\sum y_i \lg x_i;\ i = 1,2...,n. \end{cases}$$

Обработка результатов измерений при восстановлении динамических моделей технологических систем. При восстановлении динамических моделей можно выделить два типа задач в зависимости от того, что известно о виде динамической модели: известно дифференциальное уравнение с точностью до коэффициентов при производных; порядок дифференциального уравнения не известен.

Решение задач первого типа сводится к рассмотренным выше. В то же время достаточно часто встречаются ситуации, когда до опыта трудно предположить вид динамической модели. В частности, задачи определения динамической модели возмущенного движения (или возмущенной составляющей движения). Например, в случае механической обработки, при определении динамической модели возмущенного относительного движения инструмента и заготовки, в результате которого появляются отклонения формы обрабатываемой поверхности. В общем виде задача восстановления по результатам измерения динамической модели в форме дифференциального уравнения не имеет единственного решения. Поэтому применение предлагаемого ниже метода ограничено следующими двумя гипотезами:

1. Динамическая модель системы может быть представлена однородным обыкновенным дифференциальным уравнением n-го порядка:

$$P_0(y)\,d^n z/dy_n + P_1(y)\,d^{n-1} z/dy_{n-1} + \ldots + P_{n-1}(y)\,dz/dy + P_n(y)z = 0, \quad (4)$$

(или системой n уравнений первого порядка) и при этом точность представления определяется только порядком n дифференциального уравнения.

2. Погрешность измерения траектории настолько мала, что не искажает представление о поведении системы, динамическая модель которой восстанавливается.

Тогда процедура восстановления динамической модели в форме уравнения (4) будет состоять в следующем:

А. Результаты измерений представляются в виде суммы n линейно, независимых функций вида $z_i = C_i\varphi(y)$, совокупность которых может быть принята как фундаментальная система решений восстанавливаемого дифференциального уравнения. Для этого можно использовать изложенные выше методы обработки результатов наблюдений и, в частности, разложение в тригонометрический полином.

Б. Составляется следующее уравнение:

$$\begin{vmatrix} z_1(y) & z_2(y) & \ldots & z_n(y) & z(y) \\ dz_1/dy & dz_2/dy & \ldots & dz_n/dy & d\,z/dy \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ d^n z_1/dy_n & d^n z_2/dy_n & \ldots & d^n z_n/dy_n & d^n z/dy_n \end{vmatrix} = 0.$$

Раскрывая определитель по элементам правого столбца, приходим к уравнению (4).

Обработка результатов измерения случайных процессов. Эти задачи связаны с определением зависимостей между значениями результатов измерений при получении статистических характеристик случайных процессов. Полученные характеристики случайных процессов включают и погрешность измерения из-за сложности ее выделения в измеренной случайной величине. А так как обрабатываются дискретные значения результатов измерения, полученные в различные моменты времени (для различных значений аргументов), то характеристики будут зависеть от шага дискретности при измерении.

Для вычисления **эмпирической ковариации** случайного процесса $x(t)$ используют формулу:

$$\operatorname{cov}(t', t'') = \sum_{i=1}^{n} \left[x_i(t') - \overline{x(t')}\right]\left[x_i(t'') - \overline{x(t'')}\right]/n,$$

где n – число реализации; t' и t'' – выбранные значения параметра t, $x_i(t')$ и $x_i(t'')$ – значения процесса в точке t' и t'' по i-ой реализации.

Давая различные значения t' и t'', получают ряд значений $\operatorname{cov}(t', t'')$, и аппроксимируют эти значения какой-либо поверхностью в координатной системе t', t'', $\operatorname{cov}(t', t'')$. Аппроксимирующую поверхность и принимают за статистическую оценку **корреляционной функции.**

Аналогично определяется эмпирическое значение **взаимной корреляционной функции** двух случайных процессов $X(t)$ и $Y(t)$. При этом используется формула:

$$\operatorname{cov}_{xy}(t', t'') = \sum_{i=1}^{n} \left[x_i(t') - \overline{x(t')}\right]\left[y_i(t'') - \overline{y(t'')}\right]/n,$$

где y – измеренные значения $Y(t)$; x – измеренные значения $X(t)$.

Определение статистических оценок стационарного случайного процесса можно производить путем усреднения данных по неслучайному параметру, в том числе и по одной реализации процесса, если она охватывает достаточно большой интервал t.

Статистическую оценку **автокорреляционной функции** находят по формуле:

$$b(\mu) = [1/(n-\mu)] \sum_{i=1}^{n-\mu} (x_i - \bar{x})(x_{i+\mu} - \bar{x}),$$

где $\bar{x}$ – среднее значение x_i, взятых внутри выбранного отрезка случайной функции.

Оценка нормированной автокорреляционной функции:

$$r(\mu) = \frac{\sum_{i=1}^{n-\mu} (x_i - \bar{x})(x_{i+\mu} - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-\mu} (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{n-\mu} (x_{i+\mu} - \bar{x})^2}}.$$

Оценка **взаимной корреляционной функции** двух стационарных случайных процессов:

$$b_{xy}(\mu) = [1/(n-\mu)] \sum_{i=1}^{n-\mu} (x_{i+\mu} - \bar{x})(y_i - \bar{y}).$$

КОНЦЕВЫЕ МЕРЫ ДЛИНЫ. УГЛОВЫЕ МЕРЫ

Концевые меры. Размеры, точность и технические условия для концевых мер длины регламентированы ГОСТ 9038–90. Номинальные размеры концевых мер длины имеют градацию, которая позволяет составлять блоки с номинальными размерами через 0,0005 мм. Размером концевой меры длины является *срединная длина*, т.е. длина перпендикуляра, опущенного из середины верхней рабочей поверхности на противоположную поверхность.

Точность изготовления концевых мер длины регламентирована *классами точности* 00, 01, 0, 1, 2, 3. Концевые меры длины выпускают *наборами*. На каждый набор выдается *свидетельство* (*аттестат*) о государственной поверке с указанием действительного значения длины каждой концевой меры. Свидетельство может быть использовано для введения поправки в результат измерения. При составлении блоков возникают погрешности от притирки концевых мер. Эта погрешность (разброс размера блока) в зависимости от квалификации контролера и состояния притираемых поверхностей составляет от 0,05 до 0,1 мкм на один притирочный слой.

В табл. 13 приведены значения погрешностей блоков концевых мер с учетом класса точности изготовления. Концевые меры, используемые в качестве образцовых, должны быть аттестованы по МИ1604.

Угловые меры (меры плоского угла призматические) предназначены для измерения углов методом сравнения и поверки угломерных приборов, их выпускают по ГОСТ 2875–88 пяти типов и классов точности: 0, 1, 2. В отличие от концевых мер длины угловые меры при составлении их в блок не вносят существенных погрешностей в суммарный размер из-за влияния притирочных слоев.

13. Предельные погрешности блоков концевых мер, мкм

Состав блока мер, мм	Классы концевых мер			
	0	1	2	3
Две меры до 10	0,25	0,35	0,60	1,20
Одна мера 20, две меры до 10	0,25	0,45	0,80	1,50
Одна мера 30 – 50, две меры до 10	0,30	0,45	0,80	1,60
Одна мера 50 – 80, две меры до 10	0,40	0,55	0,85	1,90
Одна мера 100, одна мера 10, две меры до 10	0,45	0,70	1,10	2,40
Одна мера 100, одна мера 50 – 80, две меры до 10	0,50	0,75	1,20	2,80
Одна мера 200, одна мера 30 – 50, две меры до10	0,65	1,15	1,70	3,40
Одна мера 300, одна мера 50, две меры до 10	0,75	1,40	2,20	4,00
Одна мера 400, одна мера 90, две меры до 10	1,00	1,70	2,70	4,60

14. Допускаемые отклонения длины штриховых мер, мкм

Номинальная длина штриховых мер, мм	Класс точности штриховых мер					
	0	1	2	3	4	5
100	0,5	1,0	2,0	6,0	12,0	25,0
160	0,5	1,0	2,0	6,0	12,0	25,0
200	0,6	1,0	2,5	6,0	13,0	25,0
250	0,6	1,0	2,5	6,0	14,0	30,0
300	0,6	1,5	2,5	6,0	14,0	30,0
320	0,7	1,5	2,5	7,0	15,0	30,0
400	0,7	1,5	3,0	7,0	16,0	35,0
500	0,8	1,5	3,0	8,0	18,0	35,0
630	0,8	1,5	3,0	8,0	20,0	40,0
700	0,8	1,5	3,5	8,0	20,0	40,0
800	0,9	2,0	3,5	9,0	22,0	45,0
1000	1,0	2,0	4,0	10,0	25,0	50,0
1400	1,2	2,5	5,0	12,0	31,0	60,0
1600	1,5	2,5	5,0	13,0	34,0	70,0
2000	1,5	3,0	6,0	15,0	40,0	80,0
Отдельные миллиметровые и сантиметровые интервалы	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	20,0

Пределы допускаемых отклонений угловых мер изменяются от ±5″ для класса точности 0 и до ±30″ для класса точности 2.

Штриховые меры длины выпускают в виде брусков из металла и стекла, линеек, ленточных рулеток. Меры, встраиваемые в станки и приборы, изготовляют из материалов с температурными коэффициентами линейного расширения, близкими к температурному коэффициенту линейного расширения конструкционных сталей, т. е. $(10,0 - 11,5)10^{-6}К^{-1}$. Допускаемые отклонения длины штриховых мер приведены в табл. 14.

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Основная область применения универсальных средств измерения – это лабораторные измерения, единичное и мелкосерийное производство. При выборе средств измерения по показателям точности необходимо, чтобы погрешность средства измерения не превышала допускаемой погрешности измерения (см. табл. 1), уменьшенной на величину методической и субъективной составляющих погрешности измерения. Для большинства универсальных средств измерения на основе обобщения опыта их применения даны оценки погрешностей измерения при их использовании для решении типовых задач измерения и контроля.

В табл. 15 и 16 указаны предельные погрешности измерения. Это абсолютные значения погрешностей, на которые могут отличаться результаты измерений от действительных значений. Они получены для средств, отвечающих требованиям к их точности (погрешность средства измерения не превышает предельной допускаемой погрешности средства измерения, установленной для каждого типа средства измерения). При этом операторы, использовавшие средства, имели навыки работы.

Предельные допускаемые погрешности средства для большинства универсальных средств измерений не превышает половины цены деления. И только для немногих средств (измерительных машин, измерительных микроскопов, длиномеров и др.) это соотношение не выполняется. Например, для длиномера ИЗВ-3 предельная допускаемая погрешность равна $(1,2 + L/120)$ мкм (L в мм).

15. Предельные погрешности измерения с универсальными измерительными средствами наружных линейных размеров, биений и глубин

Средства измерения	Варианты использования	Условия измерения: Вид контакта	Условия измерения: Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм: 0 - 50	50 – 200	200 – 500	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм: 0 – 25	25 – 50	50 – 75	75 – 100	100 – 125	125 – 150	150 – 175	175 – 200	200 – 250	250 – 300	300 – 400	400 – 500
Микрометры рычажные с ценой деления 0,002 – 0,01 при настройке на нуль по установочной мере и использовании на полном пределе измерения (25 мм)	*а*	Любой	5	5	5	4	6	10	10	15	15	20	20	25	30	40	50
	б	Плоскостный и линейчатый	5	2	1	3	4	5	6	10	10	10	10	10	10	10	10
То же, при настройке на нуль по концевым мерам длины 2-го класса и использовании отсчета на ±10 делениях шкалы	*б*	То же	5	2	1	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5	6	7

Средства измерения	Варианты использования	Условия измерения: Виды контакта	Условия измерения: Классы применяемых концевых мер	Условия измерения: Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм: 0 – 25	25 – 150	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм: 0 – 25	25 – 50	50 – 75	75 – 100	100 – 125	125 – 150
Скобы рычажные с ценой деления 0,002 – 0,005 с использованием всего предела измерения по шкале	*а*	Любой	3	5	5	4	5	10	10	20	25
	б		3	5	2	4	4	5	5	10	10
С использованием нормированного участка шкалы – 10 делений	*б*	Плоскостный и линейчатый	2	2	1	2	2	3	3	5	5

Продолжение табл. 15

Средства измерения	Варианты использования	Условия измерения: Виды контакта	Используемое перемещение измерительного стержня	Классы концевых мер	Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм: 0 – 100	100 – 200	200 – 500	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм: 0 – 50	50 – 100	100 – 200	200 – 300	300 – 400	400 – 500
Скобы индикаторные с ценой деления 0,01 мм	*а*	Любой	3	5	5	5	5	15	20	20	40	50	60
	б	Плоскостный и линейчатый	0,1	3	5	2	1	10	10	10	10	10	10

а – при работе находится в руках.
б – при работе находится в стойке

Средства измерения	Условия измерения: Установочные узлы	Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Классы концевых мер	Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм: 1 – 30	30 – 120	120 – 500	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм: 1 – 3	3 – 10	10 – 18	18 – 50	50 – 80	80 – 120	120 – 180	180 – 250	250 – 315	315 – 400	400 – 500
Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения от 2 до 10 мм, класс точности 1	До 250 мм – штативы и стойки с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200 мм	10	5	5	5	5	15	15	15	16	18	20	22	25	35	40	45
		5	5	5	5	5	12	13	13	14	15	18	20	25	35	40	45
		2	4	5	5	2	10	10	10	10	12	12	12	14	18	20	22
		1	3	5	2	1	8	8	8	8	8	8	8	9	10	11	12
	Св. 250 мм – штативы с диаметром колонки не менее 50 мм и наибольшим вылетом головки до 500 мм	0,1	3	5	2	1	5	5	5	5	6	6	6	7	9	9	10

Продолжение табл. 15

Средства измерения	Условия измерения: Установочные узлы	Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Классы концевых мер	Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм: 1 – 30	30 – 120	120 – 500	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм: 1 – 3	3 – 10	10 – 18	18 – 50	50 – 80	80 – 120	120 – 180	180 – 250	250 – 315	315 – 400	400 – 500
То же, класс точности 0	До 250 мм – штативы и стойки с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200 мм	10	4	5	5	2	12	12	12	12	13	14	14	15	18	20	22
		5	4	5	5	2	10	10	10	10	12	12	12	14	18	20	22
		2	3	5	5	2	8	8	9	9	10	10	10	10	12	14	16
		1	3	5	2	1	6	6	7	7	7	7	7	8	10	10	12
		0,1	3	5	2	1	4	4	4	4	5	5	6	7	8	9	10
Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения от 2 до 10 мм, класс точности 1 при измерении биений	Св. 250 мм – штативы с диаметром колонки не менее 50 мм и наибольшим вылетом головки до 500 мм	10	–	–	–	–	21										
		5	–	–	–	–	17										
		2	–	–	–	–	13										
		1	–	–	–	–	11										
		0,1	–	–	–	–	8										
		0,02 ... 0,03	–	–	–	–	6										
То же, класс точности 0		10	–	–	–	–	16										
		5	–	–	–	–	14										
		2	–	–	–	–	11										
		1	–	–	–	–	10										
		0,1	–	–	–	–	6										

Продолжение табл. 15

Средства измерений	Условия измерения							Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм						
	Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Установочные узлы	Концевые меры		Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм			До 10	Св. 10 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250
			Класс	Разряд	1 – 30	30 – 120	120 – 250							
Головки рычажно-зубчатые с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения ±0,1 мм, с настройкой по концевым метрам длины на любое деление	±0,10	Штативы*	3	–	5	2	1	3	3,5	3,5	4	4,5	5	6
То же, с настройкой на нулевое деление	±0,06	Стойки**	–	5	2	1	0,5	1,4	1,5	1,6	1,8	2,2	2,2	–
Головки рычажно-зубчатые с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения ±0,1 мм при измерении биений	0,04	Штативы*	–	–	–	–	–	1,4	1,4	1,4	1,4	1,8	1,8	1,8
Головки рычажно-зубчатые с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения ±0,050 мм, с настройкой по концевым мерам длины на любое деление	±0,050	Штативы*	–	5	2	1	0,5	2	2	2	2	2,5	2,5	2,8

Продолжение табл. 15

Средства измерений	Условия измерения							Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм						
	Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Установочные узлы	Концевые меры		Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм			До 10	Св. 10 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250
			Класс	Разряд	1 – 30	30 – 120	120 – 250							
То же, с настройкой на нулевое деление	±0,030	Стойки**	–	4	2	0,5	0,2	0,6	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	–
Головки рычажно-зубчатые с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения ±0,050 мм, при измерении биений	0,020	Штативы*	–	–	–	–	–	0,8	0,8	0,8	0,8	1,1	1,1	1,1

Средства измерений	Условия измерения						Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм								
	Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Установочные узлы	Классы концевых мер	Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм			До 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250
				1 – 30	30 – 120	120 – 250										
Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения 2 мм	2	Штативы*	4	5	5	2	5	5	5	6	6	7	8	10	10	12
	1	Штативы*	3	5	2	2	5	5	5	5	5	5	5	6	7	8*
	0,4	Стойки**	2	5	1	0,5	3	3	3	4	4	4	4	4*	4	

Продолжение табл. 15

Средства измерений	Условия измерения						Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм									
	Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Установочные узлы	Классы концевых мер	Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм			До 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250
				1 – 30	30 – 120	120 – 250										
То же, при измерении биений	2	Штативы*	–	–	–	–	6									6
	1	Штативы*	–	–	–	–	5									5
	0,05	Стойки**	–	–	–	–	2									–
Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения 1 мм	1	Штативы*	2	5	1	0,5	3	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	4
	0,2	Стойки**	2	5	1	0,5	2	2	2,2	2,5	2,5	2,5	2,5	3	3	
То же, при измерении биений	1	Штативы*	–	–	–	–	3									3
	0,05	Стойки**	–	–	–	–	2									

* Штативы с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200 мм.

** Стойки с пределами измерения 0 – 160 и 0 – 100 мм и диаметрами колонки не менее 50 и 30 мм, соответственно.

Продолжение табл. 15

Средства измерений	Условия измерения							Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм							
	Используемые перемещения измерительного стержня, мм	Установочные узлы	Концевые меры		Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм			До 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 160
			Класс	Разряд	1 – 30	30 – 120	120 – 180								
Головки измерительные пружинные (микрокаторы) с ценой деления 0,01 мм и пределом измерений ±0,30 мм	±0,30	С-II**	4	–	5	5	2	6	6	7	7	7	8	10	10
	0,30	То же	3	–	5	2	1	4	4	4	5	5	5	6	6
То же, при измерении биения	±0,30	"	–	–	–	–	–	6	6	6	6	6	6	6	6
	0,30	"	–	–	–	–	–	4	4	4	4	4	4	4	4
Головки измерительные пружинные (микрокаторы) с ценой деления 0,005 мм и пределом измерений ±0,15 мм	±0,15	"	4	–	5	5	2	5	5	5	5	6	7	9	9
	0,15	"	3	–	5	2	1	3	3	3	3	3	4	5	5
То же, при измерении биения	±0,15	"	–	–	–	–	–	4	4	4	4	4	4	4	4
	0,15	"	–	–	–	–	–	3	3	3	3	3	3	3	3
Головки измерительные пружинные (микрокаторы) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерений ±0,060 мм	±0,060	"	2	–	2	1	0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5
	0,060	"	2	–	2	1	0,5	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0
То же, при измерении биения	±0,060	"	–	–	–	–	–	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	0,060	"	–	–	–	–	–	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Головки измерительные пружинные (микрокаторы) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерений ±0,030 мм	±0,030	"	1	–	2	0,5	0,2	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2
	0,030	"	1	–	2	0,5	0,2	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0

Продолжение табл. 15

Средства измерений	Условия измерения							Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм							
	Используемые перемещения измерительного стержня, мм	Установочные узлы	Концевые меры		Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм			До 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 160
			Класс	Разряд	1 – 30	30 – 120	120 – 180								
То же, при измерении биения	±0,030	"	–	–	–	–	–	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	0,030	"	–	–	–	–	–	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Головки измерительные пружинные (микрокаторы) с ценой деления 0,0005 мм и пределом измерений ±0,015 мм	±0,015	С-1**	–	3	1	0,5	0,2	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,70	0,90	0,90
	0,015	То же	–	2	1	0,2	0,2	0,40	0,40	0,50	0,50	0,50	0,50	0,60	0,70
То же, при измерении биения	±0,015	"	–	–	–	–	–	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
	0,015	"	–	–	–	–	–	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Головки измерительные пружинные (микрокаторы) с ценой деления 0,0002 мм и пределом измерений ±0,006 мм	±0,006	"	–	2	0,5	0,1	0,1	0,30	0,30	0,40	0,40	0,40	0,40	0,50	0,60
	0,006	"	–	2	0,5	0,1	0,1	0,30	0,30	0,35	0,35	0,35	0,40	0,50	0,50
То же, при измерении биения	±0,006	"	–	–	–	–	–	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	0,006	"	–	–	–	–	–	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Головки измерительные пружинные (микрокаторы) с ценой деления 0,0001 мм и пределом измерения ±0,004 мм	±0,004	"	–	2	0,5	0,1	0,1	0,30	0,30	0,35	0,35	0,35	0,40	0,50	0,50
	0,003	"	–	2	0,5	0,1	0,1	0,25	0,25	0,35	0,35	0,35	0,40	0,45	0,50
То же, при измерении биения	±0,004	"	–	–	–	–	–	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	0,003	"	–	–	–	–	–	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

*С-11 – стойки с пределом измерений 0 – 160 мм, вылетом головки 75 мм и диаметром колонки 50 мм.

**С-1 – стойки с пределом измерений 0 – 160 мм, вылетом головки 75 мм и диаметром колонки 70 мм

Продолжение табл. 15

Средства измерений	Условия измерения							Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм											
	Установочные узлы	Концевые меры длины		Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм			Используемая цена деления, мкм	До 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
		Класс	Разряд	До 30	30 – 120	Св. 120 до 500													
Приборы, показывающие с индуктивными преобразователями с переменной ценой деления: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 и 2,0 мкм и пределами измерения: ±3; ±6; ±15; ±30 и ±60 мкм при работе с одним преобразователем	Штативы	2		2,0	1,0	0,5	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
							1,0	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	1,8	2,0	2,0	3,0	4,0	4,0	5,0
							0,5	0,8	0,8	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	2,0	2,0	2,5	3,5	4,0	5,0
							0,2	0,6	0,6	0,6	0,9	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–
	Штативы	1		2,0	0,5	0,5	2,0	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,5	2,5	2,5	3,0	–	–	–
							1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,5	1,7	2,0	–	–	–
							0,5	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	1,1	1,4	1,8	–	–	–
							0,2	0,4	0,4	0,45	0,6	0,75	0,75	0,75	1,0	1,25	1,75	–	–	–
	Стойки		3	1,0	0,2	0,2	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	–	–	–	–
							0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	–	–	–	–
							0,2	0,35	0,35	0,35	0,45	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	–	–	–	–
							0,1	0,3	0,3	0,3	0,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Стойки		2	0,5	0,1	0,1	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	–	–	–	–
							0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	–	–	–	–
							0,1	0,25	0,25	0,25	0,35	0,35	0,35	–	–	–	–	–	–	–
То же, при измерении биения	Штативы						2,0	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
							1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,3	1,3
							0,5	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,9	0,9	1,0
							0,2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,30	0,30	0,30	–	–	–
							0,1	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,25	0,25	0,25	–	–	–
	Стойки						0,2	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	–	–	–	–
							0,1	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	–	–	–	–	–	–	–

Продолжение табл. 15

Средства измерений	Условия измерения							Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм						
	Используемое перемещение измерительного стрежня	Тип наконечника и вид контакта	Концевые меры		Температурный режим, °С, для диапазона размеров									
			Класс	Разряд	До 30	Св. 30 до 80	Св. 80 до 500	До 18	Св. 18 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
Оптиметр вертикальный, оптиметр горизонтальный, машина измерительная с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения по шкале ±0,1 мм, при методе сравнения	±0,1	При любом виде контакта. Сферический и ножевидный при любом виде контакта, плоский при плоскостном и линейчатом контакте	0	-	1	0,5	0,2	1	1	1	1,5	1,5	2	2
	±0,6		-	2	1	0,5	0,1	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

Средство измерений	Условия измерения				Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм								
	Класс концевых мер	Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм			До 3	Св. 3 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 315	Св. 315 до 500
		До 30	30 – 120	Св. 120 до 500									
Длиномеры горизонтальный и вертикальные: при методе сравнения	–	5	2	–	1,2	1,3	1,6	2	2,5	3	–	–	–
	1	2	0,5	0,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,5

Продолжение табл. 15

Средство измерений	Условия измерения				Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм											
	Форма детали	Метод измерения	Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм		До 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
			До 30	Св. 30													
Микроскопы измерительные универсальные	Плоская	Проекционный	5	2	3,0	3,0,	3,5	3,5	4,0	4,5	5,5	7,0	9,0	12	16	20	25
	Цилиндрическая (в центрах)	Проекционный	5	2	6,0	6,0	6,0	6,0	6,5	6,5	7,0	8,0	–	–	–	–	–
		Метод осевого сечения	5	2	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,5	4,0	5,0	–	–	–	–	–

Примечание: Пределы измерения универсальных измерительных микроскопов 200 × 100 и 500 × 200 мм.

Средство измерений	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм									
	До 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
Машины измерительные при абсолютных измерениях	1	1,2	1,3	1,5	2	3	3,5	4	5	6

Примечание. Температурный режим при измерении размеров до 100 мм 1 °С, св. 100 мм 0,5 °С.

Продолжение табл. 15

Средство измерений	Температурный режим, °С	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм					
		До 25	Св. 25 До 50	Св. 50 До 75	Св. 75 До 100	Св. 100 До 125	Св. 125 До 150
Глубиномеры микрометрические	5	6	20	20	20	20	25
Глубиномеры микрометрические при методе измерения с настройкой по установочным мерам	5	–	6	7	8	10	11

Средство измерений	Условия измерения				Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм					
	Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Класс концевых мер	Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм		До 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 150
			До 30	Св. 30						
Глубиномеры индикаторные при методе измерения с настройкой по установочной мере	10	–	5	5	15	15	15	15	20	20
То же, с настройкой по блокам концевых мер длины	0,1	4	5	5	6	7	7	9	10	15
	0,02–0,03	3	5	2	4	5	5	5	6	9
Глубиномеры индикаторные при замене отсчетного устройства измерительной головкой с ценой деления 0,001 мм и методе измерения с настройкой по блокам концевых мер	0,02–0,003	2	2	1	1,5	1,5	1,5	2	2	2

16. Предельные погрешности измерения внутренних линейных размеров универсальными измерительными средствами

Средство измерений	Условия измерения					Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм				
	Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Средство установки	Шероховатость поверхности отверстий Ra, мкм	Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм		Св. 3 до 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 250	Св. 250 до 500
				3 - 120	120 - 500					
Линейки измерительные металлические	–	–	–	–	–	500				
Штангенциркули с отсчетом по нониусу 0,05 мм[1]	–	–	5	7		200	200	250	300	300
Штангенциркули с отсчетом по нониусу 0,1 мм[1]	–	–	5	7		150	150	200	200	250
Нутромеры микрометрические с величиной отсчета 0,01 мм	13	Микропара устанавливается по установочной мере	5	5	3	–	–	15	20	30
		Аттестуется размер собранного нутромера				–	–	10	15	20
Нутромеры индикаторные с ценой деления отсчетного устройства 0,01 мм[1]	Весь расход	Концевые меры длины 3-го класса с боковиками или микрометры[2]	5	5	3	15	20	25	25	30
	0,1		1,25			10	10	15	15	20
	0,03	Концевые меры длины 1-го класса с боковиками или установочного кольца (до 160 мм)	0,32	3	2	5	5	10	10[3]	–

Продолжение табл. 16

Средство измерений	Условия измерения: Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Средство установки	Шероховатость поверхности отверстий Ra, мм	Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм: 3 - 120	120 - 500	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм: Св. 3 до 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 250	Св. 250 до 500
Нутромеры индикаторные при замене отсчетного устройства измерительной головкой с ценой деления 0,001 или 0,002 мм[1,4]	0,1	Концевые меры длины 1-го класса или установочные кольца (до 160 мм)	1,25	3	2	4,5	5,5	6,5	7,5[3]	11[4]
	0,03		0,32			2,8	3,5	4,5	6,5	9[4]
Нутромеры повышенной точности с ценой деления отсчетного устройства 0,001 и 0,002 мм	0,1	Концевые меры длины 1-го класса с боковиками или установочные кольца	1,25	3	–	3,5	5	–	–	–
	0,01	Концевые меры длины 1-го класса с боковиками	0,32			2	3,5	–	–	–
	0,01	Установочные кольца	0,32			1,5	2,5	–	–	–

Средство измерений	Условия измерения: Диаметральный зазор между пробкой и отверстием, мм	Шероховатость поверхности отверстий Ra, мкм	Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм: До 18	Св. 18 до 120	Предельная погрешность измерения, мкм, для диапазона размеров, мм: Св. 3 до 6	Св. 6 до 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120
Пневматические пробки с отсчетным прибором с ценой деления 0,5 мкм с настройкой по установочным кольцам[5]	0,04 – 0,06	1,25	2	2	4	4	4,5	5
	0,03 – 0,04				3	3	3,5	4
	0,02 – 0,03				2,5	2,5	2,5	3
	0,02 – 0,03	0,32			2	2	2,5	3
	0,01 – 0,02				1,5	1,5	2	2,5
То же, при цене деления прибора 0,2 мкм	0,01 – 0,02	0,32	0,5	0,2	0,8	0,5	0,5	0,8

Продолжение табл. 16

Средство измерений	Условия измерения: Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Средство установки	Шероховатость поверхности отверстий Ra, мкм	Температурный режим, °С	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм: Св. 13 до 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 250	Св. 250 до 500
Оптиметры и длиномеры горизонтальные, измерительные машины с ценой деления отсчетного устройства 0,001	±0,06	Концевые меры 1-го класса с боковиками	1,25	2	1,5	1,5	2,5	5	9
		Установочные кольца[5]		1	1	1	1,2	2,5	–

Средство измерений	Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм: 1 – 50	50 – 250	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм: До 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 250
Микроскопы инструментальные (большая и малая модели)[6,7]	5	5	7	10	10	10
Микроскопы универсальные измерительные при использовании штриховой головки[6,7]	3	2	5	6	7	7
Приборы с электронным индикатором контакта[8] при настройке по концевым мерам 0-го класса	2	1	0,3	0,3	0,5	0,5

Диаметр установочных колец, мм	Допускаемая погрешность аттестации, мкм, для позиций: 8 и 9	10
От 3 до 6	0,5	0,3
Св. 6 до 18	0,4	0,2
Св. 18 до 50	0,5	0,2
Св. 60 до 120	0,8	0,3
Св. 120 до 250	1,5	–

[1] Штагенциркули имеют нижний предел измерения 10 мм, нутромеры индикаторные – 6 мм.

[2] При использовании для установки на размер концевых мер вместо микрометров предельная погрешность уменьшается на 2 – 3 мкм.

[3] При использовании установочных колец диаметром 120 – 250 мм предельная погрешность уменьшается на 2 – 3 мкм.

[4] Для диапазона 250 – 500 мм предельная погрешность указана только при использовании концевых мер длины.

[5] Предельная погрешность измерения, указанная для позиций 8, 9 и 10, может быть обеспечена только при применении установочных колец, аттестованных с погрешностью, не более указанной в таблице.

[6] Погрешности микроскопов указаны при измерении сквозных отверстий и глухих отверстий с острой торцовой кромкой.

[7] Пределы измерения инструментальных микроскопов большой модели до 150 мм, малой модели до 75 мм, универсальных микроскопов до 200 мм.

[8] Пределы измерения прибора с электронным индикатором контакта от 4 до 200 мм; то же для малых отверстий – от 1 до 4 мм.

Используя данные табл. 15 и (или) 16 можно выбирать средства измерения, не давая оценки методической и субъективной составляющей погрешности измерения. Т.е. при выборе средства измерения необходимо, чтобы значение предела погрешности измерения, указанное в одной из табл. 15 и 16, не превышало предела допускаемой погрешности, указанной в табл. 1.

Предельная погрешность измерения штангенциркулем с ценой деления нониуса 0,1: 150 мкм при измерении длины до 50 мм; 200 мкм при измерении длины до 200 мм; 250 мкм при измерении длины до 500 мм. Предельная погрешность измерения штангенциркулем с ценой деления нониуса 0,05 составляет 100 мкм.

Предельная погрешность измерения микрометрами (при настройке по установочной мере), находящегося при измерении в руках оператора, возрастает от 5 мкм (диапазон измерений до 25 мм) и до 50 мкм (диапазон измерений свыше 400 мм и до 500 мм). Если микрометр установлен в стойке, то может быть обеспечена погрешность измерения 5 мкм в диапазоне измерений до 100 мм и 10 мкм при измерении больших длин.

Углы измеряют:

1) методом сравнения, определяя отклонение измеряемого угла от угла меры и используя для этого вместе с угловыми мерами средства для измерения длин;

2) методом непосредственной оценки приборами для измерения углов (гониометрами, делительными головками и столами, микроскопами, угломерами, уровнями, измерительными машинами и др.);

3) косвенно определяя величину угла по результатам измерения длин и используя синусные и тангенсные линейки, ролики и шарики совместно с универсальными или специальными средствами измерения длин.

Оптические делительные головки (*ОДГ*) предназначены для измерения углов, для разметки и как делительные приспособления при обработке. Детали при этом устанавливают в центрах или кулачковых патронах.

Типы головок: ОДГ-5, ОДГ-10, ОДГ-60, ОДГ-2, ОДГ-5Э, ОДГ-30Э (цифры указывают цену деления в секундах, буква Э – наличие экранного отсчета). Высота центров 130 мм, но может быть увеличена добавлением прокладок высотой: 50, 100, 150 и 200 мм. Наибольший диаметр измеряемого в центрах изделия 250 мм. Наибольшая длина измеряемого в центрах изделия определяется станиной (600 или 1100 мм). В комплект оптической делительной головки входит приспособление для проверки правильности установки центров.

Оптические делительные столы (ОДС и ОДС-2) аналогичны по назначению оптическим делительным головкам.

Гониометры (ГС-1, ГС-2, ГС-5, ГС-10, ГС-30) служат для бесконтактного измерения углов с помощью автоколлиматора или коллиматора и зрительной трубы непосредственно по лимбу или сличением с образцовыми мерами. Цена деления отсчетного устройства указана в обозначении типа гониометра. Допускаемая погрешность измерения равна одному делению отсчетного устройства.

Автоколлиматоры (АК-0,25; АК-0,5; АК-1; АК-30) применяют для измерения малых углов или отклонений углов от номинальных значений. Автоколлиматоры, в частности, применяют при аттестации угловых мер. Погрешности показания автоколлиматора при измерении в двух плоскостях превышают цену деления (указанную в секундах в обозначении типа автоколлиматора) на 1/50φ (φ – измеряемый угол), а при измерении в одной плоскости – на 1/100φ.

Оптические *квадранты* и *уровни* предназначены для измерения углов наклона плоских и цилиндрических поверхностей различных деталей, узлов и машин. При измерении оптическими квадрантами высокой точности (КО-10) наибольшая погрешность между двумя любыми отсчетами составляет ± 10". Оптические и индуктивные уровни могут обеспечить погрешность отсчета ±2".

Синусные линейки предназначены для косвенного измерения углов. Точность их определяется предельной погрешностью установки угла (в пределах 45°). Для линеек I класса установлена допускаемая погрешность средства от 5" (без опорной плиты) до 8" (с опорной плитой и двумя наклонами), а для линеек II класса соответственно от 8" до 13".

СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ

При автоматизации измерений выделяют три основных задачи:

автоматизация преобразования сигнала измерительной информации в вид удобный для автоматизированной обработки;

автоматизация обработки результатов наблюдений;

автоматизация операций съема измерительной информации.

Трехкоординатные измерительные машины являются примером решения этих задач. Наивысший уровень автоматизации характерен тем, что при этом создаются принципиально новые технологические возможности. При автоматизации контроля актуальными являются задачи: транспортирования на измерительную позицию, разделения на группы и формирования команд управления.

Для обеспечения автоматизированной обработки информации используют первичные или вторичные преобразователи, обеспечивающие выходной сигнал по напряжению. К ним относятся индуктивные, трансформаторные, вихретоковые, механотронные, пневмомехонотронный, растровые, фотоэлектрические и некоторые другие типы преобразователей.

В табл. 17 даны некоторые характеристики типовых индуктивных приборов. Они предназначены для использования в приспособлениях или автоматах для измерения и контроля размеров, отклонений формы и расположения. Некоторые модели (212, 213, 217 и 276) для измерения разностей имеют по два преобразователя. Измерения могут проводиться с использованием как одного, так и одновременно двух преобразователей. В последнем случае на шкале прибора указывается алгебраическая сумма или разность перемещений измерительных наконечников обоих преобразователей.

Измерительная система мод. 76500 с цифровым отсчетом имеет выход на ПЭВМ.

Фоторастровые измерительные системы мод.1900 имеют диапазон перемещений от 10 мм до 60 мм с дискретностью отсчета 1мкм. Предел допустимой погрешности на участке 10 мм установлен 2 мкм.

Электроконтактные датчики моделей 228, 248 и 233 с диапазонами контролируемых допусков: 1 мм; 0,2 мм и 0,4 мм имеют цены деления настроечных винтов 2 мкм; 2мкм и 1 мкм соответственно. Нестабильность срабатывания в статических условиях равна половине цены деления. Число срабатываний до потери точности – 2,5 млн. циклов. Присоединительный диаметр 8h7.

Амплитудный датчик (мод. 248) предназначен для контроля разности между наибольшим и наименьшим значениями непрерывно изменяющегося размера. Он имеет один регулируемый контакт. Для облегчения настройки и наблюдения за числовым значением контролируемого параметра датчики мод. 228 и 248 могут оснащаться индикатором 1МИГ или измерительной головкой 1ИГ. Для усиления сигналов от электроконтактных датчиков могут использоваться типовые электронные и сигнальные реле.

Фотоэлектрические сортировочные преобразователи (05ФПС, 1ФПС, 2ФПС и 5ФПС) предназначены для устройств автоматического контроля размеров и сортировки изделий на размерные группы (интервал сортировки и цена деления – 0,5, 1, 2, 5 мкм соответственно). Число рабочих групп сортировки может быть 10, 20, 30, 40 и 50. Присоединительные размеры 28h7. Пневматические первичные преобразователи применяют как бесконтактного, так и контактного типа с диаметрами измерительных сопел: 1; 1,5; 2 мм. Диапазон измерений определяется прямолинейным участком характеристики. Для преобразователей осевого действия он составляет от 50 до 1000 мкм; для бокового – от 80 до 200 мкм с нелинейностью характеристики 2% от диапазона измерений.

Пневматические пробки изготовляют для измерения отверстий диаметром от 6 до 160 мм. К ним выпускают комплекты из двух установочных колец.

Для преобразования сигнала от первичных пневматических преобразователей предназначены *пневмоэлектроконтактные преобразователи*. Модели пневмоэлектроконтактных преобразователей имеют несколько исполнений, различающихся начальным (наименьшим) значением цены деления, диапазоном показаний, числом управляющих команд, настольным или щитовым исполнением. Первые три характеристики для моделей: БВ-6060; 235; 249; 324: 1) 0,5 мкм, 0,02 мкм, 0,02 мкм, 0,01 мкм; 2) 60-240 мкм, 16-160 мкм, 16-160 мкм, 8-160 мкм; 3) до 4, 6, 2, 6. Наибольшая цена деления у всех моделей 2 мкм.

Модель 324 в зависимости от типа может иметь амплитудный контакт или предельные. Модель 236 имеет только амплитудный контакт. Остальные характеристики совпадают с моделями 235 и 249. Точность и надежность пневматических преобразователей зависит от качества подготовки воздуха.

Системы управления по измерительной информации (системы активного контроля) – это системы измерения или (и) контроля параметров, изменяющейся в процессе формо-

17. Основные параметры показывающих приборов с индуктивными и механотронными преобразователями

Модель	Пределы показаний, мкм	Цена* деления, мкм	Δ1	Δ2	*d*, мм	*P*, мм
			в делениях шкалы			
212	+3; +6	0,1; 0,2	1	2	8h7	0,4
214	+15; +30	0,5; 1	1	–		
276	+60	7	1	2		
217	+15; +30 +150; +300; ± 1500	0,5; 1; 5; 10; 50	1	2	28h7	1,2
213	+1; +2; +5	0,02; 0,05; 0,1;	1	2	28h7	1,2
	±10; ±25	0,2; 0,5				
287	Табло +90	10	0,5 мкм	–	8h7	0,4
	Диапазон шкалы 10	0,2	1			
76500	+9,99 ±99,9	0,01 0,1	0,2 мкм 2 мкм	0,3 мкм 3 мкм	8h7	1
БВ-3040	±5; ±25; ±50	0,1; 0,5; 1	1	–	28h7	0,4

образования, поверхности, вырабатывающие на основе измерительной информации команды управления процессом формообразования.

Наиболее распространены системы для измерения отклонений размеров и управления процессами по результатам измерения или контроля. Типовые устройства формируют 2...4 команды управления. Первые (предварительные) команды подаются в систему управления станка для перехода с одного режима на другой (например, с чистового режима на выхаживание) в зависимости от установленного значения припуска. Последняя (окончательная) команда подается на прекращение обработки.

Разработаны системы: с измерением отклонений формы, с малоинерционными регуляторами глубины резания по отклонению формы, с измерением действительной скорости съемы припуска при врезном шлифовании, с управляемым устройством окончания съема припуска, с температурной коррекцией окончательной команды. Применение этих систем обеспечивало повышение точности размеров и формы.

Ряд зарубежных фирм применяют *системы статистического активного контроля.* Они предназначены для обеспечения точности партии изделий путем автоматизированной корректировки настройки станков по результатам измерения выборки. В этом случае измеряют после обработки.

Точность систем активного контроля, соединяющих функции измерения и управления, определяется, с одной стороны, динамической составляющей погрешности измерения, а с другой – методической составляющей погрешности формирования команд управления. Поэтому точность систем должна определяться переходной функцией срабатывания (формирования команды управления), амплитудно-частотной характеристикой срабатывания или совокупностью частных характеристик (погрешность срабатывания, время запаздывания и др.).

Окончательная команда систем настраивается по пробным деталям. Это ограничивает область применения таких систем. Разработаны схемы систем, в которых для уменьшения коррелированной составляющей окончательная команда может корректироваться по результатам измерения размеров обработанных поверхностей.

В системах активного контроля используются, в основном, три типа преобразователей: индуктивные, пневмоэлектроконтактные и емкостные. Типовые системы состоят из отсчетно-командного блока и измерительной скобы. Основные характеристики типовых устройств: контролируемые диаметры от 2,5 до 200 мм и от 25 до 180 мм для внутренних диаметров;

диапазон показаний 400 мкм для грубой шкалы и 80 мкм для точной шкалы;

цена деления в соответствии со шкалой 5 мкм и 1 мкм;

2 или 4 управляющие команды.

Для контроля размерных параметров, в частности параметров ступенчатых деталей с гладкой и прерывистой поверхностью, в процессе обработки на круглошлифовальных станках с ЧПУ может быть использована измерительная система ХШ9М-31. Система не

только контролирует размер, но и позволяет контролировать перемещение шлифовальной бабки и продольное перемещение стола.

Для автоматизации процесса осевой ориентации детали относительно абразивного круга на торцекруглошлифовальных станках используют измерительную систему осевой ориентации БВ-4116, которая контролирует положение торца детали вдоль линии центров в процессе обработки. Система может иметь две или четыре команды с нестабильностью срабатывания окончательной команды 1 мкм в статических условиях.

КОНТРОЛЬ ТИПОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Контроль цилиндрических резьб. *Комплексный контроль резьб* осуществляют по приведенному среднему диаметру с помощью специальных вставок и средств измерения длин или калибров.

При *дифференцированном контроле* измеряют отклонение шага, половины угла профиля и собственно среднего диаметра.

При контроле для измерения собственно среднего диаметра в основном используют либо резьбовые вставки с универсальными измерительными приборами, либо проволочки и ролики, закладываемые во впадины резьбы, а для внутренней резьбы – вставки с шариковыми наконечниками. Измерение в этом случае косвенное, и собственно средний диаметр определяют из уравнения (для метрической резьбы)

$$d_2 = M - 3d_{пр} + 0{,}866P + C,$$

где M – измеренный размер; $d_{пр}$ – диаметр проволочки; P – шаг резьбы; C – суммарная поправка.

Измерительные проволочки для контроля метрических резьб изготовляют с предельными *отклонениями* ± 0,5 мкм и $Ra \le 0{,}04$ мкм.

Отклонение угла профиля и отклонение шага, средний, внутренний и наружный диаметры измеряют также с помощью инструментальных и универсальных микроскопов. Использование при этом проекционного метода связано с двумя основными погрешностями: несовпадением линии измерения с направлением измеряемого размера и несовпадением теневого изображения резьбы с осевым ее сечением.

Для уменьшения первой погрешности за результат измерения принимают среднее арифметическое значение измерений по левой и правой сторонам профиля. Вторую погрешность можно уменьшить, применяя специальные измерительные ножи, входящие в комплект приспособлений к микроскопам. Специальное приспособление ИЗК-59 к универсальному измерительному микроскопу позволяет измерять параметры внутренней резьбы с шагом 0,25 – 2 мм и средним диаметром 18 – 98 мм.

Контроль зубчатых колес. В зависимости от степени точности колес контроль проводится по комплексным или дифференцированным показателям. Для контроля цилиндрических прямозубых и узких косозубых колес рекомендованы следующие показатели и комплексы.

Для контроля кинематической точности:

3 – 6 степеней точности – накопленная кинематическая погрешность и допускается заменять накопленной погрешностью шага;

6 – 9 степеней – комплексом из колебания измерительного межосевого расстояния за оборот зубчатого колеса (для 9-й степени допускается заменять радиальным биением) и колебанием длины общей нормали;

9 – 11 степеней – радиальное биение.

Для контроля плавности:

3 – 5 степеней точности – местная кинематическая погрешность;

4 – 6 степеней – комплекс из отклонения основного шага и отклонения профиля;

6 – 9 – колебание измерительного расстояния на одном зубе;

9 – 11 степеней – отклонение основного шага.

Для контроля контакта зубьев: для 3 – 6 степеней – отклонение направления зуба; для остальных – пятно контакта.

Для контроля бокового зазора:

3 – 5 степеней – смещение исходного контура;

6 – 9 степеней – отклонение измерительного межосевого расстояния;

9 – 11 степеней – отклонение длины общей нормали.

Допускаемые погрешности измерения показателей точности устанавливаются в пределах от 35 % от допуска для высоких степеней точности и до 10 % на некоторые поэлементные показатели грубых степеней точности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Качество** машин: Справочник. В 2-х т. Т. 2 / А. Г. Суслов, А. М. Дальский, Ю. В. Гуляев и др. М.: Машиностроение, 1995. 436 с.

2. **Дунин-Барковский И. В., Карташова А. Н.** Измерение и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности. М.: Машиностроение, 1978. 230 с.

Глава 12 ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ МАШИН

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ МАШИН

Сборка является заключительным этапом производственного процесса в машиностроении. Выполнение сборочных работ связано с большой затратой времени, составляющей значительную долю общей трудоемкости изготовления машины.

В различных отраслях машиностроения доля сборочных работ различна и приблизительно составляет 30 – 45 % (в % от общей трудоемкости изготовления машин и приборов).

Основная часть (50 – 55 %) слесарно-сборочных работ представляет собой ручные работы, требующих больших затрат физического труда и высокой квалификации рабочих.

Условия достижения высоких эксплуатационных качеств машины не ограничивается созданием ее удачной конструкции или применением высококачественных материалов для изготовления ее деталей. Не гарантирует этих качеств и высокоточное изготовление деталей с обеспечением оптимального состояния поверхностных слоев их сопряженных или рабочих поверхностей. *Процесс изготовления машины может гарантировать достижение всех требуемых ее эксплуатационных показателей, а также ее надежность при условии выполнения всех этапов сборки машины* – сборки и регулировки отдельных сборочных единиц, общей сборки и испытаний изготовляемого изделия в целом.

Это связано с тем, что в процессе сборки вполне доброкачественных деталей, сборочных единиц по разным причинам могут возникать погрешности их взаимного расположения, существенно снижающие точность и служебные качества собираемого изделия.

Таким образом, качество готовых машин во многом зависит от технологии их сборки.

Общие правила разработки ТП (см т. 1, главу 5).

Разработка технологических процессов проводится для изготовления или ремонта изделий, конструкции которых отработаны на *технологичность*. Технологический процесс должен соответствовать требованиям техники безопасности и промышленной санитарии.

Для разработки технологических процессов сборки используют также исходную информацию, которая подразделяется на базовую, руководящую и справочную.

Базовая информация включает данные, содержащиеся в конструкторской документации на изделие, объем выпуска изделий, планируемый интервал времени выпуска изделий.

Руководящая информация содержится в отраслевых стандартах, устанавливающих требования к технологическим процессам и методам управления ими, а также стандартах на оборудование и оснастку.

Справочная информация включает:

- технологическую документацию опытного производства;
- описание прогрессивных методов изготовления и ремонта;
- каталоги, паспорта, справочники, альбомы компоновок прогрессивных средств технического оснащения;
- планировки производственных участков;
- методические материалы по управлению технологическими процессами.

Разработке технологического процесса предшествует изучение конструкции изделия, технологический контроль сборочного чертежа и технических условий приемки.

Не ограничиваясь изучением сборочного чертежа, необходимо ознакомиться также с рабочими чертежами входящих в него деталей с целью выяснения характера работ, которые необходимо будет произвести при сборке.

Конструктор изделия при составлении сборочных чертежей должен решать вопрос о методе обеспечения заданной точности замыкающих звеньев размерных цепей изделия.

Под *точностью сборки* следует понимать свойства процесса сборки изделия обеспечивать соответствие значений параметров изделия, заданным в конструкторской документации (ГОСТ 23887).

В результате сборки должно быть такое положение деталей и сборочных единиц, чтобы исполнительные (функциональные) поверхности или сочетание этих поверхностей в своем относительном движении, а также в стабильном состоянии не выходили за пределы установленных допусков, не только в процессе сборки, но и в процессе эксплуатации машины. Одним из средств определения рациональных допусков, обеспечивающих наиболее экономичную обработку деталей и сборку машин, является *расчет и анализ размерных цепей*.

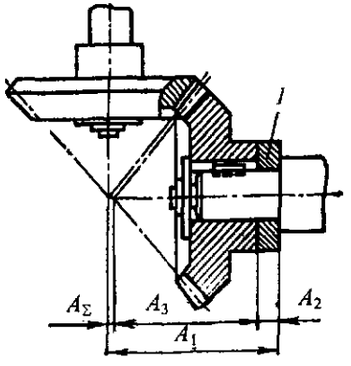
При расчете размерных цепей могут быть использованы различные методы, характеристики которых представлены в табл. 1.

1. Методы достижения точности замыкающего звена, применяемые при сборке

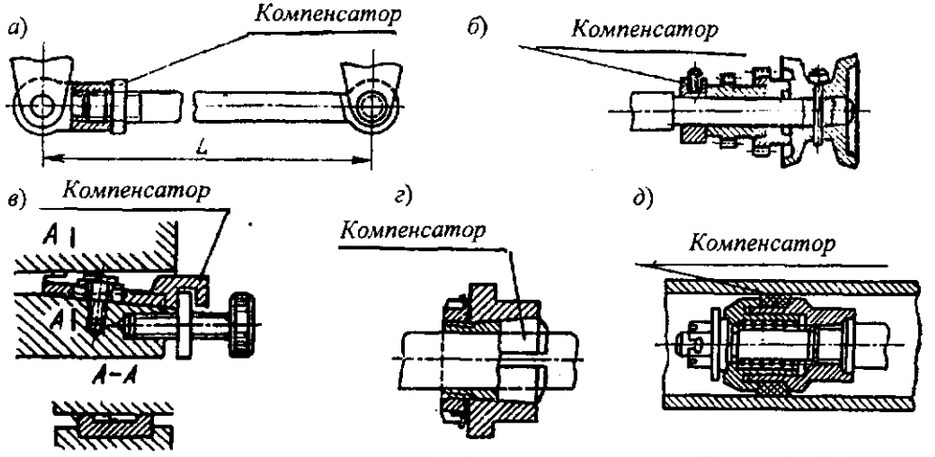
Метод	Область применения
Метод полной взаимозаменяемости. Метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается у всех объектов включением в нее составляющих звеньев без выбора, подбора или изменения их значений. При сборке по этому методу производится *расчет размерных цепей РЦ на максимум и минимум*, учитывающий только предельные отклонения звеньев и самые неблагоприятные их сочетания. *Достоинством метода* расчета на максимум и минимум, обеспечивающего полную взаимозаменяемость деталей и сборочных единиц, являются: - простота, высокая производительность и экономичность сборки изделия; - простота нормирования сборочных операций, их синхронизации во времени и организации поточной сборки; - возможность кооперирования предприятий по выпуску деталей и сборочных единиц; - сокращение простоев машин при их ремонте и упрощение ремонта в связи с возможностью замены изношенных деталей без пригонки и регулирования. *Недостатком метода расчета* на максимум и минимум является необходимость ужесточения допусков составляющих звеньев пропорционально их числу.	Использование экономично в условиях достижения высокой точности при малом числе звеньев размерной цепи и достаточно большом числе изделий, подлежащих сборке. В связи с ужесточением допусков составляющих звеньев (а при большом числе звеньев допуски составляющих размеров получаются чрезвычайно жесткими) расчет на максимум и минимум должен применяться лишь для коротких размерных цепей, имеющих два – три составляющих звена.

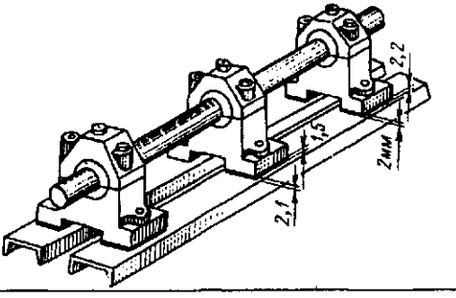
Продолжение табл. 1

Метод	Область применения
Метод неполной взаимозаменяемости. Метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается у заранее обусловленной части объектов включением в нее составляющих звеньев без выбора, подбора или изменения их значений. Этот метод применяют при расчете размерных цепей с числом составляющих звеньев более трех. В основе достижения точности используются вероятностные расчеты. *Расчет вероятностным методом*, осуществляемый в этом случае, производят с учетом фактического распределения истинных размеров внутри их полей допусков и вероятности их различных сочетаний при сборке и механической обработке.	Использование целесообразно для достижения точности в многозвенных размерных цепях; допуски на составляющие звенья при этом больше, чем в предыдущем методе, что повышает экономичность получения сборочных единиц; у части изделий погрешность замыкающего звена может быть за пределами допуска на сборку, то есть возможен определенный риск несобираемости.
Метод групповой взаимозаменяемости. Метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается включением в размерную цепь составляющих звеньев, принадлежащих к одной из групп, на которые они предварительно рассортированы.	Применяется для достижения наиболее высокой точности замыкающих звеньев малозвенных цепей; требует четкой организации сортировки деталей на размерные группы, их маркировки, хранения и транспортировки в специальной таре.
Метод пригонки. Метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением размера компенсирующего звена путем удаления с компенсатора определенного слоя материала. Например, точность совпадения вершин начальных конусов конических шестерен A_Σ (замыкающее звено РЦ) обеспечивается пригонкой компенсатора (шайба *1*): шлифованием или подрезкой толщины A_2 по месту. При этом многозвенная размерная цепь сокращается до 4-х.	Используется при сборке изделий с большим числом звеньев; детали могут быть изготовлены с экономичными допусками, но требуются дополнительные затраты на пригонку компенсатора, разборку и повторную сборку; экономичность в значительной мере зависит от правильного выбора компенсирующего звена, которое не должно принадлежать нескольким связанным размерным цепям.



Продолжение табл. 1

Метод	Область применения
Метод регулирования. Метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением размера или положения компенсирующего звена без удаления материала с компенсатора. Например, сборка с применением подвижных компенсаторов: *а* – компенсатор-тяга; *б* – установочное кольцо со стопорным винтом; *в* – клиновое устройство; *г* – разрезная конусная втулка; *д* – эластичный материал. 	Аналогичен методу пригонки, но имеет большое преимущество в том, что при сборке не требуется выполнять дополнительные работы со снятием слоя материала; обеспечивает высокую точность и дает возможность периодически ее восстанавливать при эксплуатации машины.
Метод сборки с компенсирующими материалами. Метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается применением компенсирующего материала, вводимого в зазор между сопрягаемыми поверхностями деталей после их установки в требуемое положение. Например, сборка корпусов подшипников с применением твердеющей пластмассовой прослойки, компенсирующей колебание положения центров отверстий по высоте.	Использование наиболее целесообразно для соединений и узлов, базирующихся по плоскостям (привалочные поверхности станин, рам, корпусов, подшипников, траверс и т.п.); в ремонтной практике для восстановления работоспособности сборочных единиц, для изготовления оснастки.



Технологические процессы разрабатывают при проектировании новых и реконструируемых заводов, организации выпуска новых объектов на действующих заводах. Кроме того, внедренные технологические процессы периодически корректируют и улучшают на действующих предприятиях.

При разработке технологических процессов *сборки для действующих и реконструируемых заводов* необходимо иметь сведения о сборочном оборудовании, площадях действующих сборочных цехов и других местных условиях производства. Кроме того, надо знать, какие части изделия поступают со стороны от смежных предприятий и условия их поставки.

Сборочный чертеж должен содержать необходимые проекции и разрезы; спецификацию элементов изделия; размеры, выдерживаемые при сборке; посадки в сопряжениях; данные о массе изделия и его составных частей. В технических условиях указывают точность сборки, качество сопряжений, их герметичность, жесткость стыков, моменты затяжки резьбовых соединений, точность балансировки вращающихся частей и другие сведения.

В технических условиях приводят указания о методах выполнения соединений, желательной последовательности сборки, методах промежуточного и окончательного контроля изделий. На основе анализа конструкции изделия составляют возможные предложения по его конструктивным изменениям, упрощающим сборку. Выявляют перспективность производства изделий, так как от этого зависит степень механизации и автоматизации сборки.

Изделие может быть изменено по согласованию с конструктором, если технолог предложит более рациональный метод сборки. Принятый метод сборки должен быть достаточно полно отражен в сборочном чертеже изделия и оговорен в технических условиях на его приемку.

Составление технологических схем сборки. Изучение собираемого изделия завершается составлением технологических схем общей и узловой сборки (рис. 1). Эти схемы, являясь первым этапом разработки технологического процесса, в наглядной форме отражают маршрут сборки изделия и его составных частей. Технологические схемы сборки составляют на основе сборочных чертежей изделия. При наличии образца изделия составление технологических схем облегчается. В этом случае наивыгоднейшая последовательность сборки может

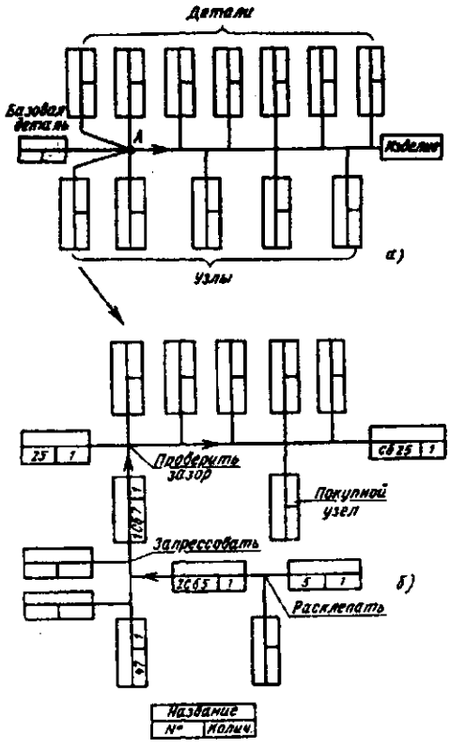


Рис. 1. Технологические схемы сборки:
а – общей; *б* – узловой

быть установлена путем его пробной разборки. Элементы, снимаемые в неразобранном виде, представляют собой части изделия, на которые далее составляют технологические схемы узловой сборки; детали, снимаемые отдельно, являются элементами, непосредственно входящими в общую сборку изделия.

При определении последовательности сборки анализируют и размерные цепи изделия. Если изделие имеет несколько размерных цепей, то сборку следует начинать с наиболее сложной и ответственной цепи. В каждой размерной цепи сборку завершают установкой тех элементов соединения, которые образуют ее замыкающее звено. Эта последовательность сборки должна быть четко отражена в технологических схемах. При наличии размерных цепей с общими звеньями начинают сборку с элементов той цепи, которая в наибольшей степени влияет на точность изделия. Если цепи равноценны по точности получаемых результатов, сборку начинают с более сложной цепи.

На последовательность сборки влияют функциональная взаимосвязь элементов изделия, конструкция базовых элементов, условия монтажа силовых и кинематических передач, постановка легко повреждаемых элементов в конце сборки, размеры и масса присоединяемых элементов, а также степень взаимозаменяемости элементов изделия.

При производстве невзаимозаменяемых изделий на последовательность сборки влияют пригоночные работы, промежуточные разборка и сборка соединений, дополнительная обработка, очистка и контроль деталей.

Технологические схемы сборки являются основой для последующей разработки технологических процессов сборки. Сначала составляют схему общей сборки, а затем схемы узловой сборки. Технологические схемы узловой сборки разрабатывают в этом случае параллельно, что сокращает время на подготовку производства. Вариант схемы сборки выбирают с учетом удобств работы и контроля качества сборки, числа сборщиков, уменьшения необходимой оснастки и оборудования, сокращения времени и себестоимости сборки, а также возможности применения средств ее механизации и автоматизации. Принятый вариант схемы на последующих этапах разработки технологии сборки может быть скорректирован с учетом необходимости догрузки сборщиков на отдельных сборочных постах.

По принятым технологическим схемам узловой и общей сборки выявляют технологические и вспомогательные сборочные операции. Содержание операций сборки устанавливают так, чтобы на каждом рабочем месте выполнялась однородная по своему характеру и технологически законченная работа, что способствует лучшей специализации сборщиков и повышению производительности их труда. Затем определяют такт общей и узловой сборки.

По такту сборки для изделия и его составных частей определяют тип производства. Если такт значительно превышает среднюю предварительно найденную длительность операций, то сборку ведут по принципу серийного производства. На одном рабочем месте периодически (партиями) собирают прикрепленные к нему различные изделия.

Если такт близок к средней длительности операций или меньше ее, то сборку ведут по принципу массового производства, закрепляя за каждым рабочим местом определенную сборочную операцию. В этом случае сборку выполняют поточным методом. При малом такте (2 – 3 мин) процесс сборки дифференцируют, выделяя небольшие по своему содержанию операции. Если это по технологическим соображениям затруднительно или невозможно сделать, то операции выполняют параллельно, дублируя рабочие места.

С дифференциацией сборки повышается специализация и производительность труда сборщиков, сокращаются сроки освоения работы на каждой операции. Однако при большой степени дифференциации работа становится однообразной и утомительной. Поэтому дифференциацию проводят осмотрительно, за исключением случаев автоматизации сборки.

При поточном методе работы штучное время на операцию должно быть равно такту (точнее, несколько меньше такта для создания небольшого резерва в случае непредвиденных задержек сборки) или кратно ему. Коэффициент загрузки рабочих мест должен быть не ниже 0,90; его величину на первых операциях поточной линии следует брать меньше, чем на последних операциях; этим обеспечивается большая надежность работы линии в случае вынужденных задержек сборки.

При серийном производстве намечают производственные партии изделий, исходя из трудоемкости наладки оборудования, длительности процессов сборки, календарных сроков выпуска изделий и других организационных экономических соображений. Производственную партию изделий часто берут по директивным (плановым) срокам их выпуска. Ориентировочно производственную партию частей изделий назначают следующих размеров. При малой программе выпуска и сложных изделиях ее берут равной трехмесячной программе; для изделий средней сложности – месячной программе; для простых изделий с большой программой выпуска – двухнедельной программе. Установленные производственные партии корректируют при последующей детальной разработке технологического процесса.

Организационная форма сборки. Зная исходные данные, установленные методы сборки изделия и принятый тип производства, выбирают организационную форму сборочного процесса. На выбор организационной формы сборки влияют конструкция изделия, его размеры и масса, программа и сроки выпуска. Организационные формы сборки устанавливают отдельно для изделия и его составных частей. В общем случае они могут быть разными.

Тот или иной вариант организационной формы сборки конкретного изделия выбирают на основе расчетов себестоимости выполнения сборки с учетом сроков подготовки и оснащения производства необходимым технологическим и подъемно-транспортным оборудованием. На выбор разновидности поточно-конвейерной сборки влияют удобство сборки и доступность к изделию с разных сторон. Подвесной конвейер, например, удобнее для сборки сложных изделий средних размеров, чем конвейер пластинчатого типа.

Составление маршрутной технологии общей и узловой сборки. Маршрутная технология включает установление последовательности и содержания технологических и вспомогательных операций сборки. Последовательность сборки определяется на основе технологических схем. Содержание операций устанавливают в зависимости от выбранного типа производства и такта сборки. При массовом производстве содержание операции должно быть таким, чтобы ее длительность была равна такту (несколько меньше такта) или кратна ему. Выполняемая работа должна быть по своему характеру однородной и должна отличаться определенной законченностью. Длительность операции определяют укрупненно по нормативам с последующими уточнением и корректировкой. При этих условиях средняя нагрузка всех рабочих мест сборочной линии должна быть достаточно высокой (порядка 0,90).

При серийном производстве содержание операций принимают таким, чтобы на отдельных рабочих местах выполняемая узловая и общая сборка данного и других изделий периодически сменяемыми партиями обеспечивала достаточно высокую загрузку рабочих мест. Для общей сборки

$$\left[(t_{ш1}N_1 + t_{ш2}N_2 + ... + t_{шl}N_l) + \right.$$

$$\left. + (T_{п.з1} + T_{п.з2} + ... + T_{п.зl})k \right] m \le F_д .$$

Здесь $t_{ш1}$, $t_{ш2}$, ... – время общей сборки первого, второго, ..., l-го изделия; $T_{п.з1}$, $T_{п.з2}$, ... – подготовительно-заключительное время для первого, второго, ..., l-го изделия; k – число партий в год; $F_д$ – действительный годовой фонд рабочего времени; N_1, N_2, ... – годовая программа выпуска первого, второго, ..., l-го изделия; m – число стендов общей сборки; l – число изделий, собираемых на данном стенде.

Обеспечивая равномерный (месячный) выпуск изделий (k = 12), получим число стендов общей сборки

$$m = F_д / \left[(t_{ш1}N_1 + t_{ш2}N_2 + ... + t_{шl}N_l) + \right.$$

$$\left. + (T_{п.з1} + T_{п.з2} + ... + T_{п.зl})k \right] .$$

Найденное значение m округляют до ближайшего большего $m_{пр}$, определяющего коэффициент загрузки сборочного стенда $\eta_з = m / m_{пр}$. Если $\eta_з$ мало (0,5 – 0,7 при $m_{пр}$ = 2; 0,65 – 0,75 при $m_{пр}$ = 3...), то $m_{пр}$ следует уменьшить (до значений 1, 2 ... в тех же случаях) путем сокращения $t_ш$. Последнее обеспечивается увеличением числа сборщиков, обслуживающих данный стенд, применением более производительной оснастки и другими мероприятиями, повышающими производительность труда. Если $\eta_з < 0,7$ при $m_{пр} = 1$, то сборочный стенд следует догрузить сборкой других изделий.

При узловой сборке число партий должно быть не меньше принятого значения k, иначе нарушится комплектность подачи составных частей изделий на общую сборку. Число (а следовательно, и размер) партий при узловой сборке можно устанавливать с учетом наименьшей себестоимости выполнения сборки.

График определения оптимального размера партий приведен на рис. 2. Линия *1* характеризует себестоимость сборки изделия, линия *2* – издержки на переналадку сборочного оборудования и его простой при переналадке, линия *3* – затраты в связи с ростом незавершенного производства при увеличении размера партии и затраты на расширение производственных площадей для хранения изделий (существенны при больших габаритах). Суммарная кривая *4* в области своего минимума дает оптимальный размер партии.

При составлении маршрута сборки большое значение имеет назначение местоположения и содержание операций технического контроля и других вспомогательных операций (предварительная очистка деталей, регулирование, пригонка, балансировка и др.). Собранные машины (станки, двигатели, компрессоры и др.) окрашивают после окончательной приемки на специально выделенных участках цеха.

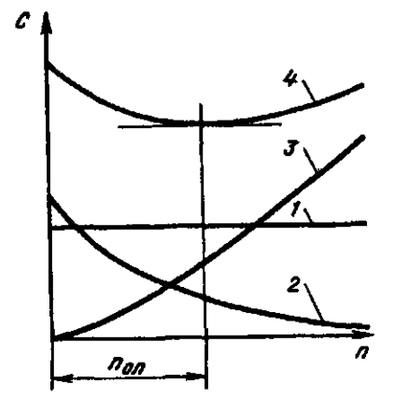


Рис. 2. График для определения оптимального размера партии

Схемы базирования изделий при узловой и общей сборке выбирают с учетом обеспечения заданной точности сборки, удобств ее выполнения сборщиками, упрощения приспособлений, оборудования и транспортных средств, а также надежной собираемости деталей. Последнее важно в условиях механизированной и автоматизированной сборки.

При выборе технологических баз стремятся выдержать принципы совмещения, постоянства и последовательной смены баз. В каждом отдельном случае может быть предложено несколько схем базирования. При их анализе рассчитывают погрешности установки, пересчитывают размеры и допуски (если происходит смена баз), а также определяют допуски на размеры технологических баз. Для уменьшения числа вариантов схем базирования следует по возможности использовать типовые решения. Выбирая базы, необходимо учитывать дополнительные соображения: удобство установки и снятия собираемого изделия, надежность и удобство его закрепления, возможность подвода присоединяемых деталей и сборочных инструментов с разных сторон. По выбранным базам должны быть сформулированы требования к точности и шероховатости поверхностей, используемых в качестве баз. В зависимости от рассмотренных выше условий возможны следующие основные случаи базирования.

1. Базовую деталь изделия базируют на необработанные поверхности и при одной установке производят его полную сборку. Случай характерен для ручной сборки простых изделий в приспособлениях, обеспечивающих их неподвижное положение.

2. Базовую деталь изделия базируют на обработанную поверхность. Схему базирования применяют при ручной сборке в приспособлениях, обеспечивающих точное положение сопрягаемых деталей, а также при механизированной и автоматизированной сборке.

3. Базовую деталь изделия устанавливают на различные последовательно сменяемые базы.

Нормирование времени сборочных операций. Задача нормирования времени возникает на различных этапах разработки технологического процесса сборки. В начале ее приходится решать для установления типа производства. На основе разработанных технологических схем общей и узловой сборки выявляют несколько характерных операций и для них определяют нормы времени по укрупненным нормативам или другими приближенными методами нормирования. Сопоставляя среднеарифметическое из этих норм с тактом работы, устанавливают тип производства.

На этапе разработки маршрутной технологии нормы времени устанавливают на все операции технологического процесса после выявления их структуры и содержания. Для серийного производства при нормировании используют укрупненные нормативы, для массового применяют расчетно-аналитический метод нормирования.

На этапе разработки операционной технологии в массовом производстве установленные ранее нормы времени корректируют после внесения в содержание операций отдельных изменений (уменьшение и перекрытие элементов штучного времени, изменение структуры операций). Откорректированные нормы времени увязывают с тактом работы. Содержание операций и нормы времени подробно прорабатывают при автоматизации сборочных процессов, при многомашинном обслуживании, а также при использовании роботов на основных и вспомогательных операциях.

Определение типа сборочного оборудования, оснастки и подъемно-транспортных средств. Содержание операций определяет тип, основные размеры и техническую характеристику сборочного оборудования, технологической оснастки (приспособлений, рабочего и измерительного инструмента) и подъемно-транспортных средств. Так, для сборки сопряжений с натягом применяют прессы – при малых усилиях запрессовки (1 – 1,5 кН) пневма-

тические, при средних усилиях запрессовки (1,5 – 5 кН) механические приводные и для больших усилий запрессовки гидравлические; для соединения деталей заклепками при малых габаритах изделий – стационарные клепальные машины; при крупных габаритах – переносные клепальные скобы. Эти средства производства назначают с учетом ранее выбранных типа производства и организационных форм сборочного процесса.

При серийном производстве технологическое оборудование и оснастку применяют универсального, переналаживаемого типа. Их размеры принимают по наиболее крупному прикрепленному к данному рабочему месту изделию. В массовом производстве преимущественно применяют специальные оборудование и оснастку. Тип, основные размеры и грузоподъемность подъемно-транспортных средств определяют по установленным организационным формам сборки, размерной характеристике изделий и их массе.

Разработка операционной технологии сборки. Для проектирования операций необходимо знать маршрутную технологию общей и узловой сборки, схему базирования и закрепления изделия, намеченное ранее содержание операций, а также такт работы, если операции проектируют для поточной линии. При проектировании операции уточняют ее содержание, устанавливают последовательность и возможность совмещения переходов во времени, окончательно выбирают оборудование, приспособления и инструменты (или дают задание на их конструирование), назначают режимы работы сборочного оборудования, корректируют нормы времени, устанавливают схемы наладок. Разработка сборочной операции – задача многовариантная. Варианты оценивают по производительности и себестоимости. Разрабатывая сборочную операцию, стремятся к уменьшению штучного времени. Это позволяет сократить потребное количество оборудования и рабочую силу. Штучное время увязывают с тактом работы поточной линии.

Штучное время сокращают уменьшением его составляющих и совмещением времени выполнения нескольких технологических переходов. Основное время снижают повышением скорости рабочих движений, а вспомогательное – уменьшением времени вспомогательных ходов, рациональным построением процесса сборки и использованием быстродействующих приспособлений.

Возможности перекрытия элементов штучного времени зависят от схемы построения сборочной операции. По числу устанавливаемых для сборки изделий схемы операций делят на одно- и многоместные, а по числу инструментов на одно- и многоинструментные. По последовательности работы сборочных инструментов и расположению собираемых изделий операции могут быть последовательного, параллельного и параллельно-последовательного выполнения. При различном сочетании указанных признаков образуется ряд схем, значительно отличающихся друг от друга по производительности и себестоимости.

Переход от одноместной, одноинструментной, последовательной схемы к многоместной, многоинструментной, параллельной схеме часто повышает производительность в несколько раз. Принятая операция позволяет выбрать сборочные оборудование и механизированные инструменты из имеющегося парка или по каталогу. Метод сборки определяет тип оборудования и инструмента (пресс, клепальная машина, резьбозавертывающий автомат), а размеры изделия – основные размеры оборудования. Установленная степень концентрации переходов и схема построения сборочной операции влияют на выбор модели оборудования. Предпочтительна модель с запасом мощности, с большим сроком работы до ремонта и большей степенью автоматизации рабочего цикла. Если принято решение выполнять сборку на специальном оборудовании, то должно быть составлено техническое задание на его проектирование с соответствующими обоснованиями и пояснениями.

При проектировании сборочных операций устанавливают режим работы сборочного оборудования и механизированных инструментов (усилие запрессовки, моменты и порядок затяжки резьбовых соединений, температуру нагрева или охлаждения при использовании сборки с тепловым воздействием, моменты при выполнении вальцовочных соединений) и определяют настроечные размеры для их наладки.

На рис. 3 приведены схемы построения маршрутного и операционного технологического процесса сборки для поточно-массового и серийного производства. Штриховой линией показана параллельно выполняемая узловая сборка. Схемы отражают последовательность этапов разработки, прямые и обратные связи.

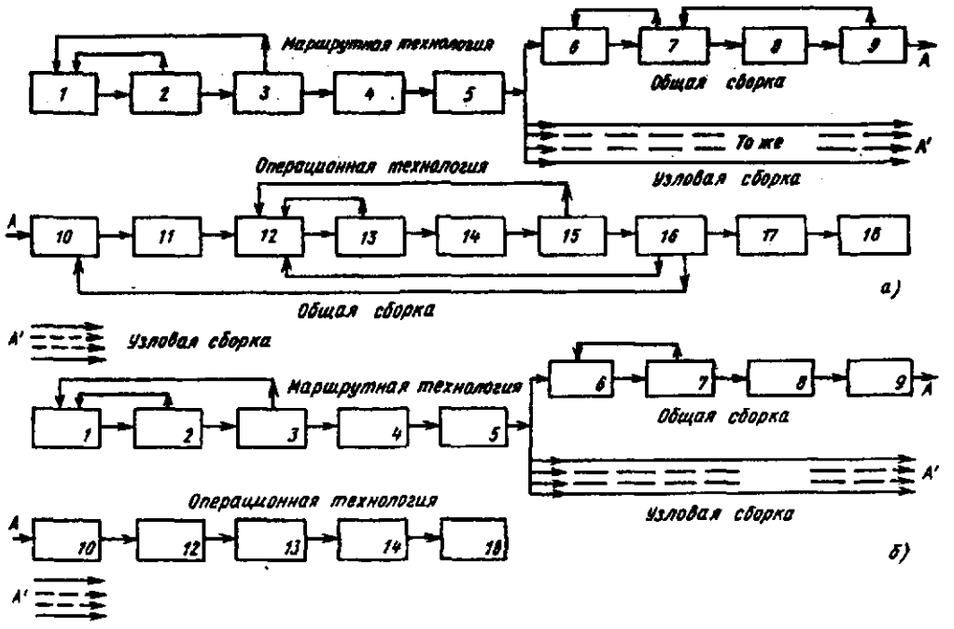


Рис. 3. Схемы построения маршрутной и операционной технологии сборки

Документация, фиксирующая технологические разработки. По единой системе технологической документации предусмотрены ее следующие виды.

Маршрутная карта – документ, содержащий описание технологического процесса изготовления (сборки или ремонта) изделия по всем операциям различных видов в технологической последовательности с указанием данных об оборудовании, оснастке, материальных и трудовых нормативах в соответствии с установленными формами. Маршрутные карты применяют в единичном и серийном производстве.

Операционная карта – технологический документ, содержащий описание технологической операции с указанием переходов, режимов сборки и данных о средствах технологического оснащения. Операционные карты применяют в серийном и массовом производстве. Комплект этих карт на изделие по всем операциям дополняют маршрутной картой.

Карта эскизов – технологический документ, содержащий эскизы, схемы и таблицы, необходимые для выполнения технологического процесса, операции или перехода сборки изделия.

Технологическая инструкция – технологический документ, содержащий описание приемов работы или технологических процессов изготовления или ремонта изделия, правила эксплуатации средств технологического оснащения, описание физических и химических явлений, возникающих при отдельных операциях.

Технологическая документация содержит также сборочные чертежи с техническими условиями приемки и технологические схемы общей и узловой сборки.

Комплектовочная карта – технологический документ, содержащий данные о деталях, сборочных единицах и материалах, входящих в комплект собираемого изделия.

Ведомость оснастки – технологический документ, содержащий перечень технологической оснастки, необходимой для выполнения данного технологического процесса (операции).

Ведомость технологических документов – технологический документ, определяющий состав и комплектность технологических документов, необходимых для изготовления или ремонта изделия. В технологической документации четко излагают содержание и условия

сборки. Точное выполнение всех указаний технологической документации имеет важное значение для обеспечения технологической дисциплины на производстве и выпуска качественных изделий.

Критерии технико-экономической оценки различных вариантов технологических процессов сборки. Критерии для оценки разработанных технологических процессов сборки можно разбить на абсолютные и относительные.

Абсолютные критерии. 1. Трудоемкость технологического процесса сборки как сумма штучного времени по всем n операциям сборки $T = \sum_{1}^{n} t_{ш}$. Этот показатель дают отдельно по узловой и общей сборке изделия. Целесообразно из общей трудоемкости сборки выделять трудоемкость пригоночных работ.

2. Технологическая себестоимость выполнения узловой и общей сборки одного изделия

$$C = \sum_{1}^{n}(t_{ш.у}\, l_у + t_{ш.о}\, l_о + t_{ш.п}\, l_п + t_{ш.р}\, l_р) +$$

$$+ \sum_{1}^{n'} S_м t_{ш} + \sum_{1}^{n''} T_{п.з}\, l_н + \frac{100(k_а - k_э)S_о}{N},$$

где $t_{ш.у}$, $t_{ш.о}$, $t_{ш.п}$, $t_{ш.р}$ – штучное время узловой и общей сборки, пригонки и регулирования; $l_у$, $l_о$, $l_п$, $l_р$ – минутная заработная плата при выполнении узловой и общей сборки, пригонки и регулирования; $S_м$ – стоимость 1 мин работы сборочного оборудования; $T_{п.з}$ – подготовительно-заключительное время, отнесенное к одному изделию на одну операцию; $l_н$ – минутная заработная плата одного наладчика; $k_а$ и $k_э$ – коэффициенты амортизации и эксплуатации сборочной оснастки ($k_а$ = 0,2 … 0,5; $k_э$ = 0,2); $S_о$ – стоимость всей сборочной оснастки, руб.; N – годовой выпуск изделий; n – число сборочных операций; n' – число единиц сборочного оборудования; n'' – число переналаживаемых сборочных операций.

Стоимость работы сборочного оборудования *приближенно определяют* по заводским данным или по формуле

$$S_м = S_а + S_р + S_э + S_{а.з} + S_{в.м},$$

где $S_а$ – расходы по амортизации сборочного оборудования; $S_р$ – расходы на ремонт оборудования; $S_э$ – расходы на электроэнергию (сжатый воздух); $S_{а.з}$ – расходы по амортизации здания, отнесенные к площади, занимаемой сборочной машиной; $S_{в.м}$ – расходы на вспомогательные материалы.

$$S_а = \frac{S_{маш}\, a}{F},$$

где $S_{маш}$ – балансовая стоимость машины, руб.; a – процент амортизационных отчислений; F – годовой фонд времени работы машины;

$$S_р = \sum_{1}^{n'} k_п c_м R_м t_{ш},$$

где $k_п$ – коэффициент, учитывающий тип производства (0,9 – для единичного, 1 – для серийного и 1,2 – для массового); $c_м$ – затраты на малые ремонты, осмотры и межремонтное обслуживание машины первой категории сложности, руб.; $R_м$ – категория сложности ремонта машины;

$$S_э = \sum_{1}^{n'} \frac{N_у \alpha \beta S'_э}{60} t_{ш};$$

$$S_э = \sum_{1}^{n'} \frac{r_в S_в t_{ш}}{60},$$

где $N_у$ – установленная мощность электродвигателей, кВт; α и β – коэффициенты использования установленной мощности по времени и величине $\alpha\beta$ = 0,5 … 0,9; $S'_э$ – стоимость 1 кВт · ч электроэнергии; $r_в$ – среднечасовой расход воздуха, м^3; $S_в$ – стоимость 1 м^3 воздуха, руб.;

$$S_{а.з} = \sum_{1}^{n'} \frac{S_э \alpha_з F_м}{F_з},$$

где $S_э$ – стоимость цехового здания; $\alpha_з$ – процент амортизационных отчислений; $F_м$ – площадь, занимаемая сборочной машиной; $F_з$ – площадь здания цеха;

$$S_{в.м} = \sum_{1}^{n'} \frac{D_{год}}{60F} t_{ш},$$

где $D_{год}$ – расходы на вспомогательные материалы на единицу оборудования в год, руб.

3. Длительность цикла общей (или узловой) сборки партии изделий из n штук в серийном (непоточном) производстве при последовательной их передаче

$$T_ц = \sum_{1}^{i} t_{ш} n + T_{хр} k + T_{тр}(2k+1),$$

здесь $\sum_{1}^{i} t_{ш}$ – сумма штучного времени всех i операций сборки данного объекта; $T_{хр}$ – время хранения партии изделий на промежуточном складе; k – число завозов изделий на промежуточный склад; $T_{тр}$ – время одной перевозки партии изделий от сборочного стенда к складу (и обратно); величина $2k + 1$ дополнительно учитывает транспортирование изделий на склад готовой продукции (значение k в самом невыгодном случае равно числу операций сборки).

При поточной сборке длительность цикла той же партии изделий из n штук при темпе t

$$T_у = tin.$$

4. Число единиц сборочного оборудования $k_{об}$.

5. Число сборщиков $k_{сб}$.

6. Средний разряд сборщиков.

7. Энерговооруженность сборщиков.

Относительные критерии. 1. Коэффициент трудоемкости сборочного процесса $\varphi_{сб} = T_{сб} / T_м$, где $T_{сб}$ – трудоемкость сборки изделия; $T_м$ – трудоемкость обработки деталей изделия. Для различных производств $\varphi_{сб}$ = 0,1 … 0,5.

2. С развитием производственного кооперирования коэффициент $\varphi_{сб}$ не характеризует процесс производства в целом. Вместо $\varphi_{сб}$ в этом случае применяют коэффициент себестоимости сборки $\varphi_с$, равный отношению себестоимости $c_{сб}$ сборки к себестоимости $c_{изд}$ изделия в целом. Коэффициент $\varphi_с$ более полно характеризует долю процесса сборки в общем процессе производства изделия. Он отражает участие не только живого, но и овеществленного труда.

3. Коэффициент загрузки рабочих мест и поточной линии

$$\eta_з = k_{рас} / k_{пр}; \quad \eta_{з.л} = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} \eta_з,$$

где $k_{рас}$ – расчетное число рабочих мест на данной операции; $k_{пр}$ – принятое число рабочих мест ($k_{пр} > k_{рас}$); n – принятое число рабочих мест в линии. Приемлемое значение $\eta_з$ = 0,85 … 0,9, а $\eta_{з.л} \geq 0{,}9$.

4. Коэффициент расчлененности сборочного процесса $k_{расч} = T_{сб.уз} / T_{сб}$, где $T_{сб.уз}$ – суммарная трудоемкость узловой сборки.

Следует стремиться к большему значению $k_{расч}$, что приводит к удешевлению сборки.

5. Коэффициент совершенства сборочного процесса изделия

$$k_{сов.сб} = \frac{T_{сб} - T_{пр}}{T_{сб}},$$

где $T_{пр}$ – трудоемкость пригоночных работ, разборки и повторной сборки изделия. В массовом производстве этот коэффициент равен 0,95 – 1,0; в серийном 0,8 – 0,9; в единичном 0,6 – 0,8.

6. Показатель уровня автоматизации процесса сборки $\alpha = T_{авт} / T_{сб}$, где $T_{авт}$ – длительность сборки изделия на автоматизированных операциях; $T_{сб}$ – длительность сборки на всех операциях технологического процесса.

7. Коэффициент оснащенности технологического процесса сборки

$$k_{осн} = k_{прис} / n,$$

где $k_{прис}$ – число сборочных приспособлений; n – число операций сборки данного изделия.

С ростом $k_{осн}$ снижается трудоемкость и себестоимость сборки.

Типовые и групповые технологические процессы сборки. Типизация технологических процессов сборки способствует снижению затрат на разработку технологических процессов сборки, ускорению этих разработок, а также уменьшению себестоимости производства изделий. Цель типизации – стандартизовать тех-

нологические процессы, для того чтобы сборка одинаковых и сходных по конструкции изделий осуществлялась общими, наиболее совершенными и эффективными методами. Типовой технологический процесс в этих случаях разрабатывают как образцовый, позволяющий внедрять прогрессивную технологию и передовую производственную технику.

Типизацию осуществляют по отдельным отраслям машиностроения, а в некоторых случаях и по отдельным группам заводов, производящих однородную продукцию.

Первым этапом типизации технологических процессов сборки является классификация данной группы изделий. Изделия или их составные части могут быть разделены на классы по общности технологических задач, возникающих при их сборке. Каждый класс изделий разбивают на подклассы, затем на группы и подгруппы; при этом учитывают определенные конструктивные признаки изделий и их размеры. Типовое изделие (составная часть изделия) объединяет совокупность изделий, имеющих одинаковый план (маршрут) операций, осуществляемых на однородном сборочном оборудовании с применением однотипных приспособлений и инструментов. Учитывают также состав собираемого объекта, структуру сборочных операций и производственные условия: серийность выпуска, частоту сменяемости объекта сборки и другие факторы.

Работа по классификации завершается составлением классификаторов, позволяющих делить типизируемые сборочные объекты по характерным конструктивным и технологическим признакам.

Вторым этапом типизации технологических процессов сборки является разработка принципиально общего технологического процесса с установлением типовых последовательности и содержания операций, типовых схем базирования и типовых конструкций оснастки. Если изделия достаточно полно унифицированы, то на них составляют одну общую технологическую карту с нормами времени. При меньшей степени унификации разрабатывают как обязательный образец принципиальный технологический процесс, на базе которого составляют технологические процессы для конкретных изделий. Типизация технологических процессов способствует внедрению новых, более совершенных методов сборки, сокращению сроков и удешевлению подготовки производства, более широкому применению средств механизации и автоматизации, установлению типажа сборочного оборудования, а также использованию типовой переналаживаемой оснастки. На основе типовых технологических процессов создают типовые компоновки специализированного оборудования.

По мере совершенствования технологии сборочного производства типовые технологические процессы необходимо периодически корректировать. Типовые технологические процессы сборки целесообразно применять на заводах серийного и массового производства с устойчивой номенклатурой изделий.

Основу групповых технологических процессов сборки составляет не только общность конструктивных особенностей изделий, но общность технологии их сборки. Это позволяет в условиях мелкосерийного и серийного производства осуществлять технологические процессы сборки, характерные для крупносерийного и массового производства, переходить от непоточного к поточному производству. В методе групповой технологии заложены бóльшие возможности унификации, чем при использовании типовых технологических процессов. Повышается непрерывность, прямоточность и ритмичность производства.

В групповых поточных линиях оборудование располагают по маршруту сборки близких по конструкции и размерам изделий (или их элементов) нескольких наименований, закрепленных за линией. Все закрепленные за линией изделия собирают периодически пропускаемыми партиями, и в каждый данный момент времени линия работает как непрерывно-поточная. Переход от сборки одного изделия к другому в ряде случаев возможен без переналадки линии; в других случаях производят частичную и несложную переналадку. Оборудование линии комплектуют и располагают по технологическому маршруту сборки наиболее сложного и трудоемкого изделия в группе (*комплексного изделия*). Другие изделия группы можно собирать с пропуском отдельных переходов и операций. Реже используют способ групповой сборки, когда на линии одновременно собирают весь комплект изделий группы. Линия все время работает как непрерывно-поточная без переналадки оборудования. Приспособления для такой сборки многоместные, более сложные и крупных размеров.

На разработку группового технологического процесса затрачивают значительно больше времени, чем на единичный, однако в расчете на изделие затраты на технологическое проектирование снижаются в несколько раз.

На групповых поточных линиях обеспечивается более высокая производительность и экономичность, чем в непоточном серийном производстве, но экономия времени сборки изделий, закрепленных за линией, должна быть больше затрат времени на ее переналадку.

Групповые технологические процессы разрабатывают в определенной последовательности: 1) подбирают группу изделий, удовлетворяющих требованиям групповой сборки; намечают маршрут сборки, содержание операций и схемы групповых наладок; ориентировочно определяют оперативное время сборки; 2) уточняют содержание операций и разрабатывают наладки для наиболее сложных и выпускаемых в большом количестве изделий группы; затем разрабатывают наладки для других изделий группы; определяют штучное время сборки; 3) уточняют требования к сборочному оборудованию (дают задания на модернизацию или конструирование нового специального оборудования); 4) разрабатывают конструкции сборочных приспособлений и выявляют необходимую инструментальную оснастку; уточняют условия и режимы выполнения сборочных операций, окончательно устанавливают нормы времени; конструирование сборочных приспособлений – наиболее трудоемкий этап разработки групповой сборки; 5) составляют технологическую документацию каждого изделия группы; 6) выявляют технико-экономические показатели групповой сборки.

Контроль качества сборки изделий. При разработке технологических процессов общей и узловой сборки важное место занимает технический контроль качества производимой продукции. Качество обеспечивается предупреждением и своевременным выявлением брака продукции на всех этапах производственного процесса. Профилактический контроль направлен на проверку комплектующих изделий, полуфабрикатов и деталей смежных производств, на проверку сборочного оборудования и оснастки, а также на систематическую проверку правильности протекания технологического процесса сборки. Качество продукции в сборочных цехах контролируют рабочие, наладчики оборудования и мастера участков. Меньший объем работ выполняют контролеры, производя промежуточный и окончательный контроль. В маршрутной технологии указывают операции контроля и элементы контроля, включаемые в сборочные опёрации.

При узловой и общей сборке проверяют: 1) наличие необходимых деталей в собранных соединениях (выполняют осмотром); 2) правильность положения сопрягаемых деталей и узлов (выполняют осмотром); 3) зазоры в собранных сопряжениях (щупом); проверку щупом производят в процессе сборки и после ее окончания; 4) точность взаимного положения сопряженных деталей (проверку на радиальное и осевое биение и др., производят в контрольных приспособлениях); 5) герметичность соединения в специальных приспособлениях и плотность прилегания поверхностей деталей на краску в процессе сборки; 6) затяжку резьбовых соединений, плотность и качество постановки заклепок, плотность вальцовочных и других соединений; 7) размеры, заданные в сборочных чертежах; 8) выполнение специальных требований (уравновешенности узлов вращения, подгонки по массе и статическому моменту); 9) выполнение параметров собранных изделий и их составных частей (производительности и развиваемого напора насосов, точности делительных механизмов, качества контакта в электрических соединениях и др.); 10) внешний вид собранных изделий (отсутствие повреждений деталей, загрязнений и других дефектов, которые могут возникнуть в процессе сборки).

В функцию контроля входит также проверка предписанной последовательности выполнения сборочных переходов (порядок затяжки резьбовых соединений, последовательность наложения сварных швов и др.) и проверка обязательного выполнения вспомогательных операций (промывки и очистки сопрягаемых деталей, промывки трубопроводов и др.). Задача разработки технологии сборки связана с выбором организационно-технической формы и средств контроля.

Средства контроля выбирают с учетом их метрологических характеристик (пределов и точности измерения), конструктивных особенностей (габаритных размеров, массы), экономических соображений, а также с учетом улучшения условий труда контролеров.

При разработке операций контроля исходными данными являются точность контроля (допустимая погрешность контроля обычно не превышает 20 % допуска на контролируемую величину) и его производительность. Технолог устанавливает объект, метод и средства контроля. Он дает техническое задание на конструирование специальных контрольно-измерительных инструментов и приспособлений; вы-

бирает схему контрольного приспособления с учетом наименьшей себестоимости выполнения контрольной операции.

На контрольные операции составляют инструкционные карты, в которых подробно указывают метод и последовательность контроля, используемые средства контроля.

Испытание собранных изделий. Испытание собранных изделий – заключительная контрольная операция качества их изготовления. Машины испытывают в условиях, приближающихся к эксплуатационным. Все виды испытаний можно свести к приемочным, контрольным и специальным.

При приемочных испытаниях выявляют фактические эксплуатационные характеристики машины (точность, производительность, мощность, затраты энергии и т.п.), а также правильность работы различных механизмов и устройств машины.

Контрольным испытаниям подвергают изделия, у которых ранее были обнаружены дефекты. При особо высоких требованиях к изделиям их подвергают после сборки обкатке и испытывают. Затем разбирают (частично или полностью), проверяют состояние деталей, вторично собирают и подвергают кратковременным контрольным испытаниям.

Специальные испытания выполняют для изучения износа, проверки безотказности работы отдельных устройств, установления пригодности новых марок материалов для ответственных деталей и исследования других явлений в машинах. Специальные испытания отличаются большой длительностью. Их программу разрабатывают в зависимости от цели проведения испытаний. Этим испытаниям подвергают не только собранные изделия, но и их составные части (коробки перемены передач, водяные и масляные насосы и другие механизмы). Испытания ведут на специальных стендах.

РОБОТИЗАЦИЯ СБОРОЧНЫХ РАБОТ

Промышленные роботы (ПР) – основное, быстропереналаживаемое и перспективное средство автоматизации сборочных процессов в машино- и приборостроении. Их применяют для повышения производительности труда и качества продукции в сборочных цехах, улучшения условий труда сборщиков и повышения гибкости производства. Использование ПР позволяет высвободить людей от выполнения опасных и вредных для здоровья операций (сборка при повышенных температурах, в зонах с вредными выделениями, в неудобных для работы положениях), от выполнения монотонных, постоянно повторяющихся операций, а также физически тяжелых, быстроутомляющих сборочных операций. В приборостроении ПР часто используют для сборки миниатюрных изделий, высвобождая людей от выполнения операций, утомляющих органы зрения.

Роботы применяют на операциях общей и узловой сборки изделий: на отдельных рабочих местах, оборудованных в виде робототехнических комплексов (РТК), встроенными в сборочный конвейер, встроенными в сборочные полуавтоматы и автоматы. При комплексной роботизации сборки отдельные РТК связывают транспортными устройствами в единую более сложную производственную систему.

Характерные работы, выполняемые ПР в сборочных цехах: загрузка и разгрузка автоматов, конвейеров, автоматических и полуавтоматических линий; установка деталей и узлов в заданном положении на собираемое изделие по технологическим базам; точечная и шовная сварка; окраска изделий методом распыления; транспортирование и складирование деталей и узлов; подача подготовленных к сборке деталей на прессы для выполнения запрессовки, склепывания, отбортовки и других операций. В отдельных случаях роботы могут выполнять операции технического контроля и испытания изделий, заменяя контролеров или облегчая их труд. Роботы используют на операциях гальванопокрытий, снятия заусенцев на деталях, промывки деталей перед сборкой. Оснащая сборочные роботы приспособлениями и дополнительными устройствами, можно расширить их технологические возможности, выполняя с помощью их сборку резьбовых соединений, пайку, склеивание, развальцовку, посадку с натягом тепловым воздействием, а также вспомогательные операции (клеймение, смазывание и пр.).

Применение роботов повышает уровень автоматизации производства и коэффициент сменности работы предприятия. Во многих случаях сроки окупаемости роботов не превышают трех лет. Использование роботов создает основу для полностью автоматизированных производств, управляемых от ЭВМ.

Препятствиями широкому применению роботов являются: их высокая стоимость, продолжительная наладка, необходимость комплексной перестройки технологии производства, необходимость повышения технического уровня остального оборудования цеха.

Роботы классифицируют по следующим признакам: по назначению – специальные, специализированные и универсальные (многоцелевые); по кинематике и базовой системе координат – прямоугольные (плоские и пространственные), полярные и ангулярные (плоские, цилиндрические и сферические); по числу степеней подвижности (обычно до шести, не считая движения захвата); по размеру рабочего (сборочного) пространства; по грузоподъемности – сверхлегкие (до 1 кг), легкие (до 10 кг), средние (до 200 кг), тяжелые (до 1000 кг) и сверхтяжелые (свыше 1000 кг); по степени мобильности робота – стационарные, передвижные, встроенные в оборудование, напольные, подвесные; по числу захватов – одно- и многозахватные; по системам управления – цикловые, аналоговые, с ЧПУ, микропроцессоры; по способу подготовки управляющих программ – ручные (для цикловых систем), ручные и полуавтоматические (для систем с ЧПУ), обучаемые с ручным перемещением рабочих органов и с механическим – от пульта управления (для записи программы на магнитной ленте); по характеру отработки программы – жесткопрограммируемые, адаптивные, гибкопрограммируемые; по характеру программирования – позиционные, контурные, комбинированные; по типу силового привода – пневматические, гидравлические, электрические, смешанные.

Эффективность применения ПР в значительной мере зависит от правильного выбора структурной кинематической схемы робота, определяющей его основные движения и рабочую зону (сборочное пространство), в которой может находиться рабочий орган – схват, исполнительный сборочный механизм. ПР, имеющие плоские системы координат – прямоугольную (рис. 4, *а*) полярную (рис. 4, *г*), ангулярную (рис. 4, *и*) и цилиндрическую поверхностную – полярную (рис. 4, *д*), применяют для выполнения простейших основных и вспомогательных сборочных приемов (подача деталей в зону сборки, свободная установка деталей в сборочное приспособление, соединение деталей с большими зазорами ≥ 0,5 мм и т.п.).

Большое распространение получили ПР, имеющие прямоугольную пространственную (рис. 4, *б*, *в*), и полярную цилиндрическую объемную (рис. 4, *е*) системы координат. Они обеспечивают высокую точность позиционирования ±0,02 мм и имеют значительное рабочее пространство. ПР портального типа (рис. 4, *в*) обладают высокой жесткостью и динамической устойчивостью, однако их применение приводит к созданию громоздких и массивных конструкций с ограниченным рабочим пространством.

Недостатками ПР (рис. 4, *б*, *е*) являются необеспечение передачи значительных сборочных сил в вертикальном направлении, интенсивный износ узла выдвижения руки, ведущий к снижению точности позиционирования. Роботы, имеющие полярную сферическую систему координат (рис. 4, *ж*), для выполнения сборочных операций применяют редко.

Наиболее эффективны для сборки конструкции ПР, имеющие ангулярную цилиндрическую (рис. 4, *и*) и сферическую (рис. 4, *к*) системы координат, т.к. имеют высокую жесткость конструкции и точность позиционирования, значительное рабочее пространство и обладают способностью выполнять сложные движения с большими скоростями.

Дополнительную оценку роботов по технологическим и эксплуатационным возможностям производят по скорости перемещения рабочих органов, точности их позиционирования, надежности и сроку службы, уровню шума, времени на переналадку, размерам сборочного пространства сборочного робота и его габаритам.

Кинематические возможности ПР характеризуют коэффициентом сервиса, который определяет возможность подхода захватного устройства к заданной точке с разных направлений. При совместной работе нескольких роботов в одном РТК часто указывают зону совместного обслуживания, т.е. часть пространства, где одновременно или последовательно могут работать несколько ПР.

Специальные роботы используют в поточно-массовом производстве. Они работают по неизменяемой (жесткой) программе с небольшим числом команд и выполняют определенную операцию. Часто эти роботы встраивают в сложные технологические комплексы. Примерами специализированных роботов являются роботы для сварки и окраски. Они предназначены для определенных технологических операций, но допускают переналадку. Универсальные роботы наиболее сложны и дороги. Область их использования – мелко- и среднесерийное производство. Наиболее распространены роботы с

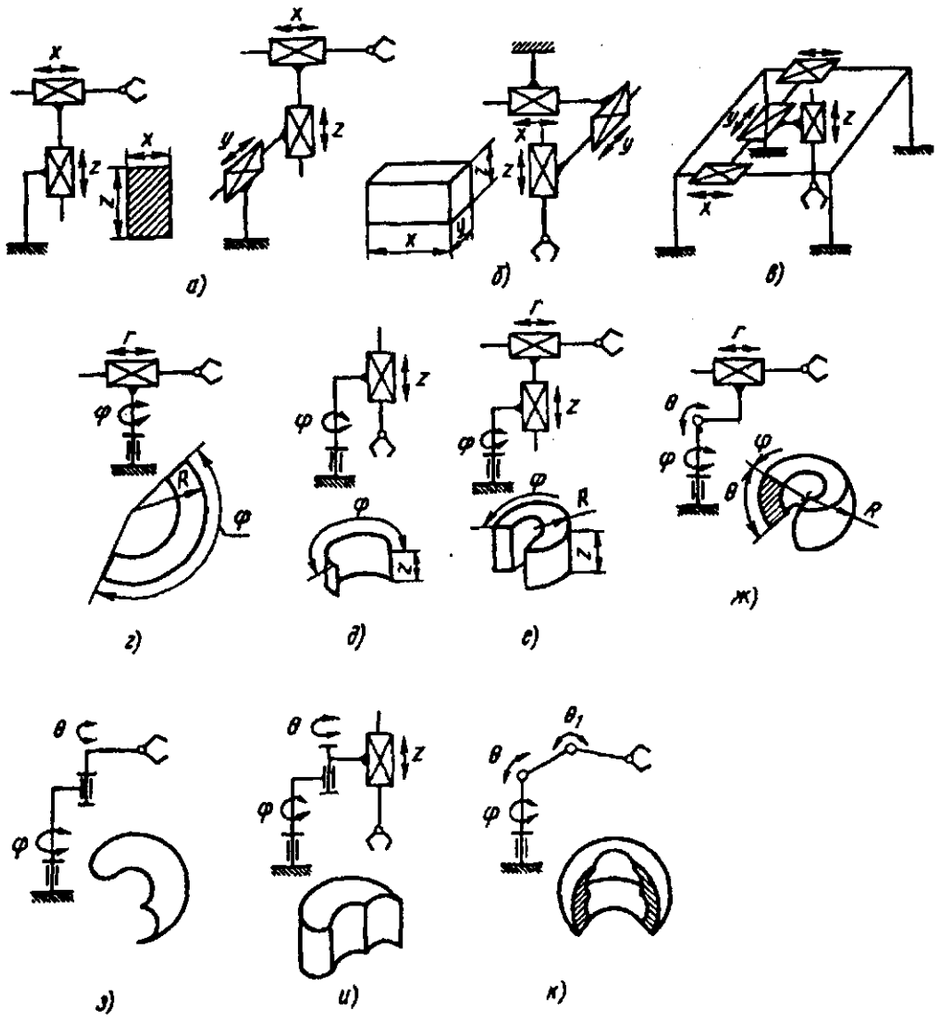


Рис. 4. Кинематические схемы роботов

цикловым управлением (90 %). Число команд у них составляет несколько десятков. Роботы с ЧПУ имеют большой объем памяти, однако они дороги. Точность позиционирования рабочих органов – обычно до 0,05 мм. Большей точности достигают, используя обратную связь в системах управления, а также центрирующие и направляющие элементы рабочих органов робота.

На практике имеется два подхода к вопросу технологической гибкости промышленных роботов. Первый заключается в том, что робот разрабатывается как единая универсальная система с программным управлением, которую можно использовать для выполнения различных технологических и транспортных задач. Второй подход состоит в том, что робот создается для определенного вида операций.

Все ранее выпущенные модели роботов создавались как функционально неделимые структуры и конструкции. Они достаточно универсальны, но их функциональная неделимость усложняет устройство. Для многих сборочных операций универсальный робот избыточен как по кинематической структуре, так и по возможности системы управления. В связи с этим большое внимание уделяется блочно-модульным системам. Специализированные роботы на базе блочно-модульной конструкции и структуры найдут применение в массовом и крупносерийном производстве для сборки различных изделий. При редкой смене объектов производства система управления может быть упрощена путем уменьшения ее функциональной гибкости. Функционально неделимые универсальные роботы будут преимущественно использоваться при частой смене объектов производства.

Блочно-модульный комплекс включает следующие основные элементы: механизмы и приводы перемещения, датчики положения и состояния объектов сборки, средства связи с оператором и объектами, захваты, средства блокировки и диагностики, системы программного управления и другие устройства. Под модулем понимают функционально законченное звено робота. Блочно-модульный принцип построения роботов является основой ускорения и удешевления их конструирования, производства, эксплуатации и ремонта. Развитие этого принципа будет способствовать расширению семейства сборочных роботов в промышленности.

При недостаточно продуманной технологии нередко выявляется малая (по сравнению с ручной сборкой) производительность сборочных роботов. Ее можно повысить применением многозахватных роботов, многоместных захватов и приспособлений, ускоряющих установ и снятие объекта сборки, совмещением во времени элементов рабочего цикла, а также повышением безотказности роботов и сокращением времени на устранение отказов. При больших партиях n собираемых изделий и тяжелых условиях работы производительность Q роботов по сравнению с ручной сборкой возрастает (рис. 5). Это обусловлено уменьшением влияния подготовительно-заключительного времени $T_{пз}$ на партионное время $T_{пар}$, а также тем, что для робота не отводится время на отдых. Другой недостаток – относительно большая площадь, занимаемая роботом при сборке средних и крупных по размерам изделий. При сборке мелких изделий потребная для сборочного робота площадь может быть заметно сокращена (рис. 6).

Сокращение времени простоев ПР при подготовке управляющих программ достигается методом внешнего программирования. Он основан на расчете и исключает использование оператора. Его преимущества: более полное использование фонда времени ПР, упрощение конструкции ПР из-за отсутствия средств обучения и записи программы, исключение субъективных факторов при подготовке программы.

ПР следует использовать совместно с системой обслуживания, транспортирования, складирования и контроля как единый быстропереналаживаемый робототехнический комплекс, управляемый от ЭВМ. Роботы необходимо оснащать типовыми сменными устройствами, значительно расширяющими их технологические возможности, а также различными датчиками и средствами очувствления для повышения безотказности работы и расширения сферы их применения на производстве. На основании накопленных данных должны быть разработаны технологические требования к изделиям роботизированного производства – созданы соответствующие нормативные материалы.

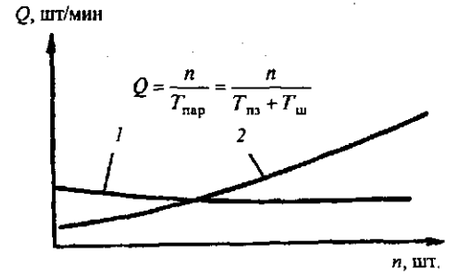


Рис. 5. Влияние $T_{п.з}$ и n на производительность Q ручной (*1*) и роботизированной (*2*) сборки

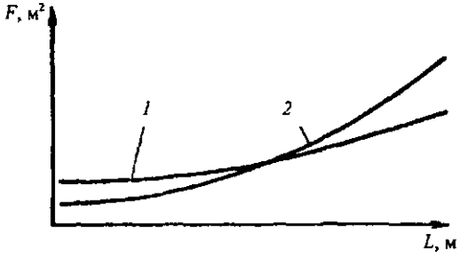


Рис. 6. Влияние габаритных размеров L изделия на площадь рабочего места F при ручной (*1*) и роботизированной (*2*) сборке

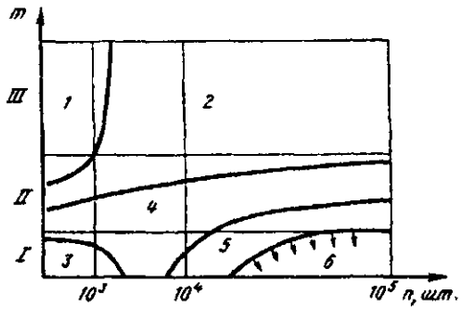


Рис. 7. Области применения различных способов сборки в зависимости от годовой программы выпуска (*n*) и сложности изделий (*m*):
I – простые изделия (до 5 – 8 деталей); *II* – изделия средней сложности (6 – 20 деталей); *III* – сложные изделия (более 20 деталей); *1* – ручная сборка; *2* – ручная механизированная сборка; *3* – универсальные роботы; *4* – специализированные роботы; *5* – специальные роботы; *6* – автоматическая сборка на специальном оборудовании

Необходимо расширять области использования сборочных роботов (рис. 7). Расширению области применения роботизированной сборки будет способствовать развитие роботов второго поколения – роботов и робототехнических систем с адаптивными устройствами, оснащенных силовыми, тактильными и визуальными сенсорами, а также роботов третьего поколения (интеллектуальных роботов). Последние смогут не только самостоятельно ориентироваться в сложной производственной обстановке и выбирать лучший технологический вариант решения, но и сами собирать изделие по сборочному чертежу.

Большая часть отечественных типоразмеров ПР может быть при соответствующем оснащении использована для выполнения сборочных работ.

Периферийные устройства вместе со сборочным роботом образуют сборочный РТК. Состав периферийных устройств определяется характером и содержанием сборочной операции. На рис. 8 показаны примеры компоновочных схем РТК для сборочных операций.

На рис. 8, *а* представлена схема сборки несложных изделий (3 – 5 деталей) на отдельном РТК, не связанном с другими транспортными устройствами. Детали из емкостей *1* (магазинов, кассет, бункеров) в ориентированном виде передаются роботом *2* в сборочное приспособление *3*. Собранные изделия передаются роботом в тару *4*.

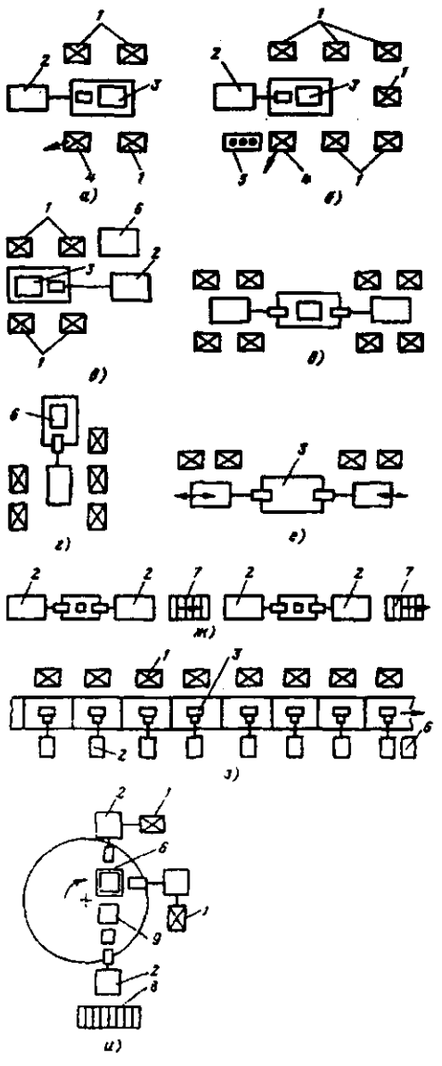


Рис. 8. Примеры компоновочных схем РТК для сборочных операций

При сборке более сложных изделий (5 – 10 деталей) в компоновке РТК предусматривается магазин сменных захватов и сборочных инструментов *5* (рис. 8, *б*).

В компоновку РТК включают технологическое оборудование *6* (рис. 8, *в*), если при сборке изделий необходимо выполнить запрессовку, клепку, точечную электросварку и другие операции. В этом случае сборка начинается

в приспособлении *3*, затем изделие рабочим органом робота передается на технологическое оборудование *6* и далее (если нужно) возвращается для завершения сборки опять в приспособление *3*.

Сборка несложных изделий может быть полностью выполнена в рабочей зоне технологического оборудования *6* (рис. 8, *г* – машина для точечной или шовной сварки, пресс и др.).

Для повышения производительности сборку нередко выполняют на РТК с двумя или большим числом стационарно расположенных роботов (рис. 8, *д*). При больших габаритах изделия *3* эти роботы могут быть подвижными для расширения рабочей зоны сборки (рис. 8, *е*).

При сборке сложных многокомпонентных изделий РТК могут образовать цепочку с гибкой транспортной связью *7* между ними (рис. 8, *ж*). Передача собираемого изделия от одного РТК к другому производится роботами без потери ориентации изделия.

В поточно-массовом производстве РТК представляет собой участок сборочного конвейера (рис. 8, *з*), вдоль которого расположены синхронно работающие роботы *2* и емкости *1* для деталей собираемого изделия. На рабочих позициях конвейера периодического действия закреплены сборочные приспособления *3*. В некоторых случаях у конвейера может быть расположено необходимое технологическое оборудование *6*.

РТК на базе карусельной установки (круглого стола) с передачей собранных изделий на конвейер *8* показан на рис.8, *и*. По периферии стола расположены емкости *1* для деталей, а на неподвижной центральной части стола малогабаритное технологическое оборудование *6* и устройства *9* для контроля изделий.

Емкости для деталей (узлов) собираемых изделий выполняют в виде бункерно-ориентирующих устройств, кассет и магазинов. Бункерно-ориентирующие устройства (обычно вибрационного типа) применяют для деталей с размерами до 80 – 90 мм. Их чаша загружается навалом деталями на несколько часов работы. В бункерно-ориентирующих устройствах применяют пассивную, активную и смешанную системы ориентации деталей. За работой этих устройств требуется непрерывное наблюдение для устранения возможных отказов в подаче деталей.

Кассеты представляют собой прямоугольные или круглые плиты с ячейками для деталей. У кассет прямоугольной формы ячейки расположены параллельными рядами, а у круглых – по спирали. Кассету устанавливают в рабочей зоне робота в строго фиксированном положении. Рабочий орган робота передает детали из кассеты на сборочную позицию, а собранное изделие в другую кассету для выполнения последующих операций сборки. Кассета перемещается после каждого цикла на шаг в продольном направлении и после *k* циклов, где *k* – число ячеек в продольном ряду, на строку (рис. 9). Эти перемещения происходят при помощи координатного устройства по команде от рабочего органа робота. Несмотря на ручную или полуавтоматическую зарядку, кассеты улучшают условия переналаживаемости РТК. По сравнению с бункерно-ориентирующими устройствами кассеты для различных деталей заменяются очень быстро и легко. Кассеты, кроме того, используют как тару при перемещении деталей и элементов изделия на другую позицию сборки без потери ориентации.

Для деталей сложных форм и крупных размеров используют магазины. Их выполняют лоткового, ящичного и поворотного типов. Магазины загружают деталями вручную. Возможна загрузка по лоткам от смежно работающих станков-автоматов. Емкость магазинов – от нескольких десятков (лотковые магазины) до нескольких сотен деталей (ящичные магазины). В РТК нередко применяют смешанное питание деталями. Базовые детали изделия как наиболее сложные и крупные подаются из магазинов, остальные – из бункерно-ориентирующих устройств или из кассет.

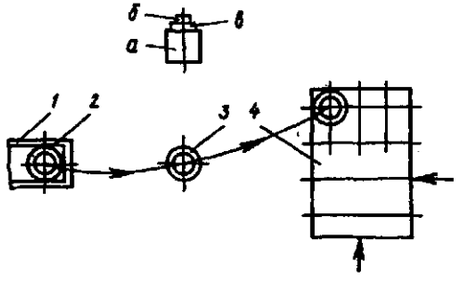


Рис. 9. Схема работы кассеты для питания робота:
а – база для ориентации в лотке вибробункера и в кассете; *б* – база для захвата рабочим органом робота; *в* – база для сборки с сопряженной деталью; *1* – лоток вибробункера; *2* – деталь; *3* – сборочная позиция; *4* – кассета собранных узлов

Детали простых форм (шары, цилиндрические пальцы, шайбы, плоские детали простых конфигураций) можно брать и ориентировать специальным захватом робота непосредственно из бункера или из тары, куда они засыпаются навалом. Для более сложных деталей применяют специальные устройства с одной или двумя ступенями автоматической ориентации.

Захваты роботов – одна из важных частей робототехнических систем. Они должны быть простыми по конструкции, надежными и безопасными в работе, быстродействующими, точными по захвату и центрированию деталей. Захваты не должны деформировать детали и портить их поверхности. Захваты могут быть универсальными (типа клещей) и специальной конструкции, постоянными и сменными. Последние применяют при сборке многокомпонентных изделий, а также в ГАП.

Конструкции захватов многообразны. По принципу работы их делят на механические, магнитные, вакуумные и струйные.

Наиболее распространены механические захваты. Их применяют для деталей различных размеров и форм. Они незаменимы для крупных и тяжелых деталей. Усилие захвата детали определяют с учетом силы тяжести детали и инерционных сил, возникающих при ее переносе на сборочную позицию робота.

Суммарная погрешность несовпадения осей сопрягаемых деталей на позиции роботизированной сборки достигает 0,3 – 0,8 мм, причем погрешность захвата составляет 10 – 15 % от этой величины. Жесткая сборка соединений с зазорами менее 0,2 мм в этих условиях становится невозможной. Для устранения этого недостатка применяют захватные устройства с упругими компенсаторами. Сборочное усилие при этом уменьшается в 3 – 4 раза. Для уменьшения погрешности позиционирования сборочную позицию целесообразно располагать ближе к центру рабочей зоны робота. Это, кроме того, сокращает площадь РТК в результате более экономного размещения периферийных устройств.

Магнитные (электромагнитные) захваты не имеют подвижных деталей, что повышает точность позиционирования и упрощает их конструкцию. Эти захваты применяют для деталей небольших и средних размеров из магнитных материалов. Удерживающая сила захватного устройства до 150 Н на см^2 поверхности полюса.

Вакуумные захваты применяют преимущественно для плоских деталей небольшой массы из любых материалов. Удерживающая сила захватного устройства до 8 Н на см^2 активной поверхности.

Струйные захваты используют для легких деталей с базовым отверстием. Принципы действия – создание вакуума в зазоре между центрирующим пальцем и отверстием детали при подаче сжатого воздуха в наклонные отверстия пальца. Вытекающие струи воздуха поддерживают деталь на пальце при ее переносе на сборочную позицию. Струйные захваты являются надежными и быстродействующими, применяются для мелких и легких деталей. Для тонкостенных деталей типа стаканов и гильз используют пневмокамерные захваты. Деталь вставляется в захват и закрепляется там упругой оболочкой, в которую подается сжатый воздух.

В роботах второго поколения применяют адаптивные захваты, приспособляющиеся к деталям с изменяющимися размерами и формами, и захваты с тактильными датчиками, способными распознавать положение детали.

Перспективно применение многоместных захватов, способствующих повышению производительности сборочных роботов. Их целесообразно применять при групповой роботизированной сборке.

Приспособления для сборочных роботов служат для установки базовой детали собираемого изделия. После ее автоматического закрепления производится последовательная установка всех остальных деталей изделия. Затем собранный объект автоматически открепляется и передается рабочим органом робота (или автоматическим выталкивателем) в тару или на следующую позицию без потери ориентации. Весь цикл сборки выполняется автоматически по заранее составленной программе. Подача команд на исполнительные органы приспособления обычно производится от системы управления робота. Возможно и автономное управление с подачей команд на зажим и разжим от рабочего органа робота.

Сборочное приспособление устанавливается на столе или стойке возле робота. В простейшем случае оно представляет собой плиту с элементами для точной установки базовой детали собираемого изделия. Зажимные устройства выполняют пневматического или гидравлического типа с управлением от системы робота. Приспособление должно быть по возможности простым, с открытой рабочей зоной, обеспечивающей свободный подвод рабочего органа робота и установку деталей. В мелкосерийном производстве приспособление целесообразно собирать из элементов УСП, что сокращает время на технологическую подготовку роботизированного производства. Для быстрой и точной установки приспособления (при переналадке на новый объект сборки) на столе или стойке робота без выверки необходимо предусматривать направляющие шпонки или контрольные штифты.

Планировка рабочего места сборочного робота включает участок производственной площади для робота; стол или стенд для приспособления, магазинов, бункеров или кассет с деталями собираемого изделия; участки размещения технологического оборудования (если требуется); пульт управления роботом; транспортное устройство для удаления собранных изделий; площадки для тары с деталями изделия. Участок расположения робота должен иметь ограждение, так как робот представляет машину повышенной опасности.

Построение технологических процессов сборки в роботизированном производстве. Исходными данными для разработки технологических процессов роботизированной сборки во вновь создаваемом производстве являются сборочный чертеж изделия, технические условия на его приемку, годовая программа выпуска изделия и предполагаемая продолжительность их производства в годах. При разработке технологических процессов для действующего (реконструируемого) предприятия кроме перечисленных исходных данных нужно знать местные производственные условия (наличное оборудование, производственные площади и др.).

В качестве нормативно-справочных материалов технолог должен иметь каталоги роботов и технологического оборудования, альбом сборочной оснастки, нормативы по нормированию времени сборки, технологические процессы роботизированной сборки на аналогичные изделия и др.

Разработке технологических процессов предшествует контроль рабочих чертежей изделия на технологичность конструкции. Контролю на технологичность подвергаются детали изделия и изделие в целом. Деталям необходимо придавать простые и симметричные формы. При этом упрощается задача ориентации деталей в вибробункерных устройствах. Если деталь имеет слабовыраженные признаки асимметрии, их в ряде случаев следует усиливать, предусматривая уступы, срезы или дополнительные отверстия. Конструкция деталей должна быть такой, чтобы при выдаче их из бункерно-ориентирующих устройств они взаимно не сцеплялись в виде двух или многозвенных цепочек, образование которых приводит к прекращению выдачи деталей из бункеров. К таким деталям относят спиральные пружины, разрезные кольца, пружинные шайбы с большим зазором в замке.

Базовые детали изделий должны просто и надежно устанавливаться и закрепляться в сборочном приспособлении робота. Установку целесообразно производить простым (желательно прямолинейным) движением рабочего органа робота. Этому требованию удовлетворяют, в частности, такие схемы, как установка на центрирующую выточку или на два базовых отверстия и перпендикулярную их осям плоскость.

Детали изделия должны иметь точно выполненные базы для надежного захвата их рабочим органом робота. Для обеспечения полной собираемости детали должны иметь малые погрешности взаимного расположения поверхностей. Детали изделия должны быть в максимальной степени унифицированы и стандартизированы. При роботизации сборки это позволяет в большой мере использовать однотипные исполнительные и вспомогательные устройства РТК.

Конструкция изделия в целом должна быть оформлена так, чтобы при сборке детали подавались по простым прямолинейным траекториям. Это значительно упрощает условия роботизированной сборки. Конструкция изделия должна быть удобной для подвода и отвода сборочных инструментов, а также для выполнения сборки с одной стороны без применения поворотного приспособления. При большом числе входящих в изделие деталей его целесообразно расчленять на предварительно собираемые узлы. Это позволяет выделить и более легко автоматизировать узловую сборку.

При роботизации производства следует применять сборку по принципу полной взаимозаменяемости. Менее удобна сборка по принципу ограниченной и групповой взаимозаменяемости, неудобна сборка по методу регулирования с использованием жестких или подвижных компенсаторов и недопустима сборка по методу пригонки.

В роботизированном производстве целесообразен переход к моноблочным конструк-

циям изделий, в которых отдельные детали объединяются в одну и притом не обязательно более сложную деталь. Это уменьшает объем механической обработки, узловой и общей сборки изделия. Созданию моноблочных конструкций способствует развитие и использование прогрессивных методов выполнения заготовок. Не все виды соединений удобны для роботизированной сборки. Робот как сборочная машина не способен развивать большие усилия, необходимые для запрессовки. Собираемый узел при этом необходимо передавать на смежно расположенный пресс, что усложняет процесс сборки. Выполнение болтовых соединений менее удобно, чем винтовых. Точечная сварка в роботизированном производстве осуществляется легче, чем склепывание. Дополнительные устройства (сменные вальцовки, прессующие устройства, встроенные в сборочные приспособления; сменные резьбозавертывающие установки и др.), расширяют технологические возможности роботов.

Выбор технологических баз – важный вопрос разработки роботизированной сборки. От него зависит качество собираемых изделий и безотказность работы робототехнического комплекса. Этот вопрос должен взаимосвязано решаться на всех этапах сборки данного изделия. На первом этапе выбирают базу, определяющую положение детали изделия в ячейках кассеты, магазина, в лотке бункерно-ориентирующего устройства или лотке-накопителе (для базовой детали изделия). Формулируют требования по точности обработки выбранной базы, точности изготовления ячеек, максимально возможному зазору между деталью и ячейкой. Эти вопросы должны решаться на основе обеспечения точного и безотказного захвата деталей рабочим органом робота.

На втором этапе выбирают базу для захвата детали рабочим органом робота. Эта база должна быть достаточно протяженной для устойчивости детали в захвате робота, точно выполненной и точно расположенной относительно первой базы. В отдельных случаях эта база создается искусственно из технологических соображений (*вспомогательная база*).

На третьем этапе определяют технологическую сборочную базу. Различают базирование базовой детали изделия и сопрягаемых с ней деталей при узловой и общей сборке. Базовые детали изделия устанавливают в приспособление робота, выдерживая принципы совмещения и постоянства баз. Первый принцип заключается в том, что технологическая база, на которую ставят базовую деталь изделия, совмещается с измерительной. В этом случае погрешность базирования равна нулю, и положение поверхности сопряжения с другими деталями собираемого изделия будет постоянным для всей партии изделий. Это повышает собираемость сопрягаемых деталей и безотказность процесса сборки.

Отход от принципа постоянства технологических баз нарушает однотипность сборочных приспособлений на различных РТК сборки одного изделия, что ведет также к снижению собираемости деталей и безотказности сборки. Другие детали изделия, подаваемые в зону сборки рабочим органом робота, могут иметь погрешности положения в результате погрешности позиционирования рабочего органа робота и погрешности захвата. Последняя, в свою очередь, зависит от точности изготовления захватного устройства и погрешности исходного положения детали в ячейке кассеты (магазина). Со временем эксплуатации робота погрешности позиционирования и захвата возрастают в результате его изнашивания. При отдельных видах соединений (точечной сварке, спайке, склеивании) рассмотренные погрешности положения присоединяемых деталей снижают качество изделий. Их величину в каждом конкретном случае приходится регламентировать и обосновывать, исходя из предъявляемых к изделию технических требований. При выполнении соединений типа вал-втулка эти погрешности вызывают отказы в работе робота из-за большого смещения осей сопрягаемых поверхностей.

Детали, сопрягающиеся с зазором или натягом, следует выполнять с заходными фасками или направляющими заточками. Это обеспечивает лучшее направление сопрягаемых деталей на сборочной позиции робота.

На первом этапе сопряжения (зона кромок и фасок сопрягаемых поверхностей) условием собираемости является выполнение неравенств

$$\Delta_\Sigma < \Sigma f \pm \delta_c/2 + \Sigma\delta_п/2,$$

где Δ_Σ – величина смещения сопрягаемых поверхностей на сборочной позиции; Σf – сумма катетов фасок: $\Sigma f = f_1 + f_2$; δ_c – максимальный натяг (–) или минимальный зазор (+) в соединении; $\delta_п$ – разность диаметров между сопрягаемой поверхностью и центрирующим пояском или расточкой:

$$\delta_{п\Sigma} = \delta_{п_1} + \delta_{п_2},$$

$$\alpha_\Sigma < \alpha_{пред},$$

где α_Σ – угол перекоса сопрягаемых поверхностей перед началом сопряжения; $\alpha_{пред}$ – допустимый угол перекоса, при котором возможно перемещение присоединяемой детали по кромкам и фаскам базовой под действием сборочной силы. Величина $\alpha_{пред}$ зависит от относительного диаметрального зазора δ_c/d и положения центра тяжести присоединяемой детали. Для вертикальной сборки значения $\alpha^\circ_{пред}$ приведены в табл. 2.

При выполнении 2-го этапа сопряжения с зазором угол перекоса сопрягаемых поверхностей измеряется от $\alpha = \arccos(1 - \delta_c/d)$ до 0. При этом сборка соединений с $\delta_{c\min} \geq 0{,}03 \ldots 0{,}05$ мм под действием сборочной силы $P_{сб}$ происходит безотказно. При зазорах $\delta_{c\min}$ меньшей величины, особенно близких к 0, погрешности формы $\Delta_ф$ и пространственного положения $\Delta_{пп}$ сопрягаемых поверхностей становятся причиной отказов из-за заклинивания деталей при выполнении сопряжения. Величину этих погрешностей необходимо ограничивать в пределах $(0{,}2 \ldots 0{,}4)\delta_{c\min}$. Компенсация их влияния достигается за счет создания дополнительного сборочного вращательного движения автопоиска.

Для соединений с натягом максимальное значение предельного угла перекоса сопрягаемых поверхностей $\alpha_{пред}$ не должно превышать 30′.

Условиями безотказного выполнения резьбовых соединений (РС) являются

$$\Delta_\Sigma < \Sigma f + \delta_c/2 + \varepsilon,$$

где Δ_Σ – суммарная погрешность положения резьбовых поверхностей на позиции сборки; Σf – сумма катетов фасок РС; ε – упругое отжатие патрона за счет нежесткости системы: "шпиндель гайковерта – насадка – патрон" под действием сборочной силы. Максимальное значение ε у отечественных гайковертов приведены в табл. 3.

Недопустимыми отказами для РС является наживление через нитку, которое возможно, если $\alpha_\Sigma \geq \alpha_{пред}$, равного

$$\operatorname{tg}\alpha_{пред} = (p - 0{,}5Td_{ср}\operatorname{tg}30^\circ)/(d + d_1 + Td_1),$$

где d и d_1 – наружный и внутренний диаметры резьбы; $Td_{ср}$ и Td_1 – допуски на средний и внутренний диаметры резьбы; p -шаг резьбы.

Значения $\alpha_{пред}$ приведены в табл. 4.

2. Значения $\alpha^\circ_{пред}$ для цилиндрических соединений с зазором

H/d	$l_{вт}/H$	При δ_c/d					
		0,001	0,0017	0,002	0,005	0,01	0,017
1,5	0,5	4°03′	5°10′	5°28′	8°	10°35′	13°
1,0	0,5	4°48′	6°	6°30′	9°24′	12°12′	15°
0,5	0,5	6°30′	8°	8°24′	11°50′	15°18′	18°24′
0,25	0,5	8°24′	10°	10°33′	14°18′	18°	21°15′

3. Максимальные значения отжатия патронов гайковертов

Изготовитель	ε, мм, при диаметре резьбы		
	М6 ... М8	М10 ... М12	М14 ... М24
ГАЗ	0,5 ± 0,3	0,7 ± 0,3	1,0 ± 0,5
ЗИЛ	0,6 ± 0,3	0,8 ± 0,3	1,1 ± 0,5
КАМАЗ; ВАЗ	0,5 ± 0,3	0,7 ± 0,3	1,0 ± 0,5

4. Значения $\alpha_{пред}$

Диаметр резьбы	М6	М8	М10	М12	М16	М20
$\alpha_{пред}$	5,11°	4,58°	4,25°	4,16°	3,87°	3,85°

5. Отклонение от перпендикулярности осей резьбовых отверстий относительно плоскости разъема

Диаметр резьбы	М6	М8	М10	М12	М16 – М20
Отклонение от перпендикулярности на крайних точках, мм	0,06 ... 0,1	0,05 ... 0,08	0,04 ... 0,06	0,03 ... 0,04	0,03 ... 0,035

Поэтому необходимым требованием технологичности является ограничение допуска на отклонение от перпендикулярности отверстия под резьбу в пределах $(0,3 \ldots 0,5)\alpha_{пред}$. В табл. 5 приведены допустимые отклонения от перпендикулярности отверстий относительно плоскости.

При наживлении и в начале завинчивания погрешность Δ_Σ компенсируется за счет отжатия патрона ε, бокового зазора в РС, но по мере завинчивания растет жесткость РС, что приводит к увеличению силы, действующей на головку болта или гайки со стороны патрона, создающей момент дополнительного сопротивления и уменьшающий силу затяжки $P_з$. Экспериментально установлено, что при значении Δ_Σ близком к ε, величина силы затяжки РС уменьшается на 30 ... 40 %, а ее разброс увеличивается на ±10 ... 25 %. Поэтому при выполнении ответственных РС для обеспечения их качества необходимо выполнение условия $\Delta_\Sigma = (0,5 \ldots 0,6)\,\varepsilon$. Чем больше это неравенство, тем стабильнее сила затяжки РС.

Погрешности Δ_Σ и α_Σ являются погрешностями замыкающих звеньев линейной и угловой размерных цепей, соединяющих сопрягаемые поверхности собираемых деталей на РТК.

Величину Δ_Σ можно определить как

$$\Delta_\Sigma = \sqrt{\varepsilon^2_{у.б.д} + \varepsilon'^2_{п.д} + \Delta^2_н + \Delta^2_ф + \Delta^2_{п.п}},$$

где $\varepsilon_{у.б.д}$ – погрешность установки базовой детали в сборочном приспособлении; $\varepsilon'_{п.д}$ – погрешность установки присоединяемой детали в охвате ПР; $\Delta_н$ – погрешность настройки роботизированной позиции ($\Delta_н = \pm 0,02 \ldots 0,05$ мм); $\Delta_ф$ – погрешность фиксации сборочного приспособления (палеты) на сборочной позиции ($\Delta_ф = \pm 0,05$ мм); $\Delta_{п.п}$ – погрешность повторного позиционирования руки робота, лежит в пределах 0,04 ... 0,1 мм в зависимости от типоразмера ПР.

Суммарная погрешность несовпадения сопрягаемых поверхностей на позиции роботизированной сборки достигает 0,3 ... 1 мм, причем погрешность $\varepsilon_{у.б.д}$ составляет 10 ... 15 % от этой величины.

Жесткая сборка соединений с зазорами $\delta_c < 0,1$ мм в этих условиях становится труднодостижимой. Для устранения этого недостатка применяют сборочные исполнительные устройства с упругими компенсаторами и с дополнительным вращательным движением автопоиска или с адаптивными исполнительными механизмами, устанавливаемыми в руке робота. Устройство монтируется на руке робота; его применение повышает безотказность работы РТК и позволяет снизить требования по точности позиционирования. Для уменьшения погрешности позиционирования сборочную позицию целесообразно располагать ближе к центру рабочей зоны ПР. Это также сокращает площадь РТК в результате более экономного размещения периферийных устройств.

На четвертом (заключительном) этапе сборки изделие снимается для укладки в тару готовой продукции или передается рабочим органом робота на транспортирующее устройство для перемещения на последующие операции сборки без потери ориентации. На этом этапе используют прежнюю базу для захвата рабочим органом робота (второй этап); если она оказывается закрытой установленными деталями изделия, то выбирают новую базу, обеспечивающую точное положение на следующей операции сборки.

Технологические схемы общей и узловой сборки в роботизированном производстве составляют отдельно, выделяя не только технологические, но и вспомогательные операции. На этих схемах следует выделять участки ручной и механизированной сборки, на которых роботизированная сборка затруднительна или невозможна. Сложные изделия, состоящие из большого числа разнородных деталей (более 10 – 15), обычно автоматически не собирают. Такие изделия расчленяют на простые узлы, предусматривая узловую и общую сборку.

Тип производства (поточно-массовое или серийное) определяется отдельно для изделия и его узлов, так как он может быть разным. В первом случае устанавливают такт работы, во втором – размеры партий. По организационным формам роботизированная сборка может быть стационарной и конвейерной.

Маршрутную технологию общей и узловой сборки составляют на основе технологических схем сборки. Уточняют последовательность и содержание операций сборки, устанавливают структуру РТК и типы входящих в их состав роботов, технологического и транспортного оборудования, выявляют операции с большей вероятностью отказов и предусматривают на этих этапах сборки производственные заделы.

Операционная технология – наиболее сложный и трудоемкий этап проектирования роботизированной сборки. Он включает уточнение содержания операций, повышение степени концентрации технологических переходов, выявление и строгую регламентацию всех элементов операции, выполнение всех необходимых технологических расчетов, определение штучного времени по элементам и в целом. Устанавливают конкретные модели роботов и технологического оборудования, встраиваемого в РТК. Составляют технические задания на проектирование специального технологического оборудования, захватов и приспособлений. Устанавливают типы блокировочных устройств и сигнализации для предупреждения аварийных ситуаций и брака при сборке, а также тип диагностических устройств для быстрого выявления причин отказов и разрабатывают мероприятия по технике безопасности. Для сложных операций строят циклограммы работы роботов и РТК в целях выявления возможности устранения потерь времени и повышения производительности.

Составляют документацию, фиксирующую разработанные технологические процессы сборки, и определяют технико-экономические показатели по разработанным технологическим процессам для их оценки.

При разработке операционной технологии роботизированной сборки не рекомендуется копировать ручную сборку. В каждом случае следует искать новые решения, обеспечивающие производительность и качество изделий. Задача технолога – вписать наиболее эффективно ПР в конкретную технологическую среду и организовать эту среду для наивыгоднейшего использования в ней данного ПР.

На основе операционной технологии составляют исходные данные для подготовки управляющих программ для роботов, имеющих ЧПУ; определяют траекторию движения рабочих органов робота, устанавливают координаты опорных точек траектории, назначают скорости перемещений рабочего органа робота, рабочие и вспомогательные команды; выявля-

ют траекторию обхода возможных препятствий; составляют управляющую программу (вручную или на ЭВМ), подвергаемую последующей проверке на графопостроителях, на экране дисплея или пробным пуском робота; осуществляют последующее корректирование программы (если требуется).

Используя операционную технологию, обучают робот, если он имеет систему ручного или дистанционного обучения. Данные операционной технологии используют для наладки роботов с цикловой системой управления, а также для установки, наладки и регулирования периферийных устройств РТК. В этом же плане проводится большая работа по состыковке систем управления роботом и входящего в данный РТК технологического оборудования. Если последнее не имеет системы программного управления, то оно подвергается соответствующей модернизации и реконструкции.

ПРИМЕНЕНИЕ ПР НА СБОРОЧНЫХ РАБОТАХ

Комплексная механизация и автоматизация, внедренная в крупносерийном и массовом производстве, облегчается прежде всего тем, что затраты на создание специального и специализированного оборудования, дорогостоящего оборудования, оправдывается только при изготовлении больших программ изделий.

Объем крупносерийного и массового производства в настоящее время даже в промышленно развитых странах не превышает 20 – 25 % и имеет тенденцию к постоянному снижению. Поэтому в условиях дальнейшего развития науки и техники, совершенствования технологии и организации производства требуется обеспечение возможности быстрой перестройки производственных процессов для перехода на изготовление новых видов продукции.

При выполнении сборочных операций в серийном производстве наиболее эффективно применение сборочного оборудования на базе ПР, используемых для автоматизации операций на всех видах сборочных работ. На сборке под дальнейшую механическую обработку ПР выполняют следующие операции: подача, ориентация и соединение деталей в один комплект; взаимное закрепление деталей, установка и снятие комплекта при обслуживании станков.

При узловой сборке ПР используют для поиска и распознавания деталей; их транспортирования, ориентации и подачи на сборочную позицию; контроля размеров, а также правильности и качества взаимного соединения и закрепления деталей; для транспортирования, укладки и упаковки собранного узла. Сборка под сварку может рассматриваться как операция узловой сборки и как операция, предшествующая механической обработке. При окончательной сборке изделия ПР используют для транспортирования, взаимной ориентации и установки узлов, иногда для их соединения, а также для транспортирования готовых изделий. ПР могут применяться и для разборки изделий.

К **основным операциям** сборки, которые могут быть выполнены **с помощью ПР**, оснащенных соответствующими инструментами и приспособлениями, относятся операции типа "наложить – вложить", "раздвинуть – развернуть", "установить – снять", "запрессовать", "свинтить – развинтить", "склеить", "склепать", "сжать – освободить". Однако для успешного выполнения указанных операций требуется реализация значительного числа вспомогательных операций, к которым следует отнести транспортирование, ориентирование, измерение и т.п.

Для автоматизации сборки с помощью ПР необходимо соблюдать ряд общих требований. Детали по количеству изготовления должны соответствовать техническим условиям чертежа, быть чистыми, не иметь забоин, вмятин, их конструкция должна исключать возможность *сцепления друг с другом при выходе из* подающего устройства (магазина). В конструкциях соединяемых деталей должны быть предусмотрены фаски, конусы, проточки и т.п. Следует избегать соединений с деталями из легкодеформируемых, хрупких и не обеспечивающих сохранения определенной геометрической формы материалов. Перед поступлением на сборочную позицию необходимо предусматривать контроль деталей на соответствие техническим условиям.

Тип и конфигурация базовой детали определяют конструкцию базирующего приспособления и схему базирования. Условия собираемости, выбор базовых поверхностей при захвате и монтаже присоединяемой детали, а также последовательность сборки зависят от пространственного расположения поверхностей сопряжения. Основным признаком классификации типовых сборочных единиц и комплектов является деление их на комплекты типа "вал" (с охватываемой базовой деталью) и типа "корпус" (с охватывающей базовой деталью).

В комплекте типа "вал" базовой деталью является вал или другая деталь этой группы, на которую устанавливаются подшипники, зубчатые колеса, втулки, пружинные стопорные кольца, уплотнительные манжеты и т.п. В комплекте типа "корпус" базовыми деталями являются корпус, фланец, стакан и т.п., в которые вкладываются присоединяемые детали.

Сборочный инструмент ПР

Операции сборки могут быть объединены в группы, в которых соединения осуществляются: стапелированием (укладкой) с большими и малыми зазорами; пластической деформацией (с натягом); упругой деформацией (с предварительным упругим деформированием одной из сопрягаемых деталей); склеиванием; свариванием; с помощью резьбы.

Для выполнения таких соединений с помощью ПР необходимы различные сборочные приспособления, инструменты и оборудование.

Основные требования к сборочному инструменту, комплектующему роботизированные сборочные комплексы, следующие:

обеспечение надежного захватывания детали, ее транспортирования на сборочную позицию и установки в приспособление (или сопряжения с базовой деталью);

конструкции захватных элементов инструмента должны обеспечивать заданную точность базирования детали;

конструкции сборочного инструмента должны включать в себя устройство автопоиска или элементы, способствующие самоустановке присоединяемой детали под действием сил, возникающих в местах контакта сопрягаемых поверхностей и, следовательно, компенсирующих несовпадение и перекосы осей поверхностей в процессе их сопряжения;

деталь не должна деформироваться под действием усилия сборки или усилия захвата и фиксации (если это не требуется по техническим условиям);

конструкции инструмента должны иметь блокировочные устройства, предохраняющие его от поломки.

По типу захватных устройств сборочный инструмент делится на две группы: 1) с захватными устройствами, выполненными отдельно от инструмента; 2) с захватными устройствами, совмещенными с инструментом.

Захватные устройства. Захватные устройства, выполненные отдельно от сборочного инструмента, обеспечивают соединение деталей, изменение их положения, а также перенос деталей и собранного изделия. На рис. 10 показано захватное устройство для работы с деталями типа корпусов и фланцев. К корпусу *3* сверху крепятся хвостовик *1* с фланцем *2* (элементы системы автоматической смены захватного устройства), пневмоцилиндр *7*, предназначенный для раскрытия губок *11*, сведéние которых для зажима детали осуществляется пружиной *6*. Губки свободно поворачиваются на осях, установленных на вилке, смонтированной на поворотной плите *4*. Поворот плиты вокруг оси $X - X$ на 90 – 180° осуществляется с помощью зубчатого колеса *8* и рейки *5* (нарезанной на конце тяги *9*, соединенной болтом *10* со штоком гидро- или пневмоцилидра, размещенного внутри руки ПР). Поворот губок осуществляется либо с помощью реечной передачи (исполнение "а"), либо с помощью клина (исполнение "б"). На рейке *12* или на клине *13* смонтирован струйный датчик *14*, подающий команду на остановку руки ПР при подходе к стойке деталей, расположенных в магазине. Подключение пневмоцилиндра *7* и датчика *14* к силовой и измерительной сетям и к пневмоэлектропреобразователю осуществляется с помощью пневморазъема, ответная часть которого установлена на фланце *2*.

Захватные устройства, совмещенные с инструментом, достаточно разнообразны. Ниже приведены примеры отдельных решений таких инструментов.

Соединение деталей по цилиндрическим поверхностям – операция, наиболее часто встречающаяся в машиностроении (установка подшипников, валов, вкладышей и манжет в корпус). Она требует высокой точности взаимного расположения сопрягаемых поверхностей и траектории перемещения или компенсации погрешностей взаимного расположения деталей.

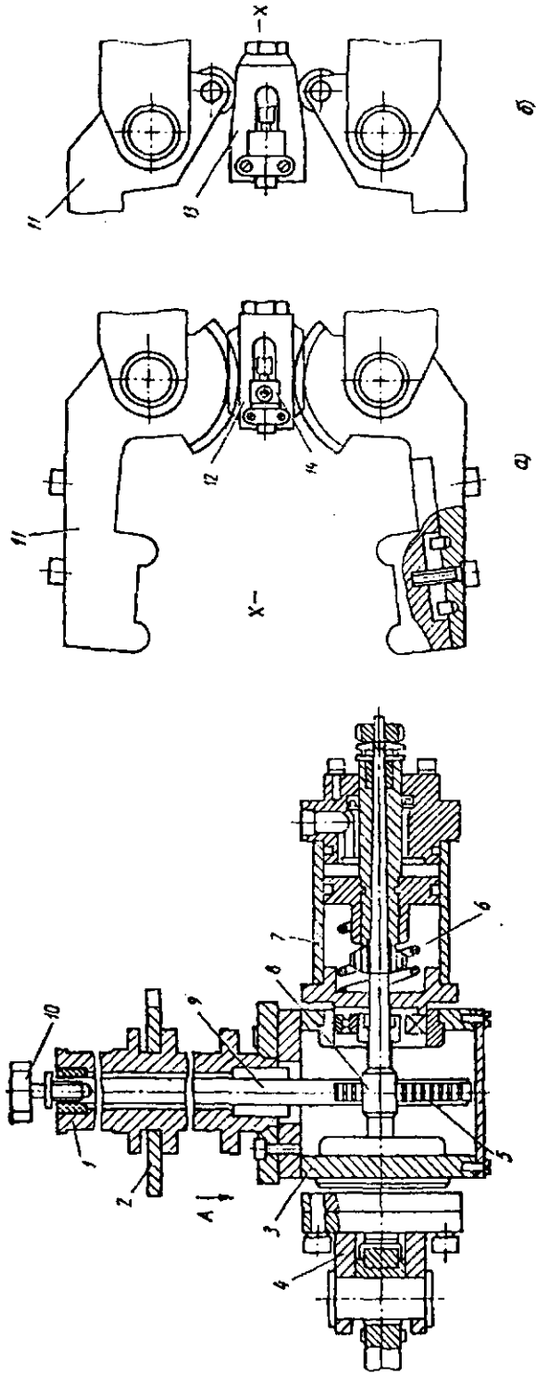


Рис. 10. Широкодиапазонное захватное устройство для выполнения сборочных операций с деталями типа корпусов и фланцев. Поворот губок:
а – с помощью реечной передачи; *б* – клином

Погрешности взаимного расположения компенсируют *двумя способами*:

1) активный способ, основанный на применении датчиков, измеряющих силы и моменты (возникающие при сопряжении деталей) и выдающих команды на дополнительные перемещения исполнительных узлов ПР и загрузочного устройства;

2) пассивный способ, основанный на применении кинематических элементов и приспособлений, устанавливаемых обычно непосредственно на сборочном загрузочном устройстве или инструменте и обеспечивающих податливость (*т.е. автопоиск*) сопрягаемых поверхностей. Для автопоиска на сопрягаемых деталях необходимо иметь соответствующие вспомогательные поверхности – фаски, скосы и т.п.

Первый способ наиболее универсален, но требует оснащения сборочного оборудования набором средств адаптации (*приспособляемости*). Второй способ менее универсален, он требует меньших затрат времени на выполнение сборочной операции, а сенсорное оснащение ограничивается устройствами поиска детали и контроля ее наличия на сборочной позиции.

На рис. 11 показано устройство для захватывания и монтажа подшипника качения в базовый корпус, на примере которого можно проиллюстрировать возможность компенсации погрешностей по второму способу при сопряжении жестких деталей. В корпусе *8* по направляющим скольжения *7* и *9* перемещается рабочий шток *10*, головка *11* которого связана со штоком гидроцилиндра привода, расположенного внутри руки ПР. Пневмодатчик *19*, установленный на стакане *4*, подключен к пневморазъему *6* воздухопровода *5* и контролирует наличие в сборочном инструменте монтируемой детали (подшипника).

Детали, подлежащие установке, устанавливают на начальной позиции в кассетах. Сборочный инструмент, установленный в руке ПР, размещается над первой верхней деталью перпендикулярно ей и опускается ходом руки ПР вниз. При этом рабочий шток *10* находится в крайнем верхнем положении, а прессующий шток *16* висит на упоре *14*. Между монтируемой деталью (подшипником) и фланцем штока *16* расположен сепаратор (диск *20* с шариками *21*), прикрепленный к штоку эластичной струной *22*.

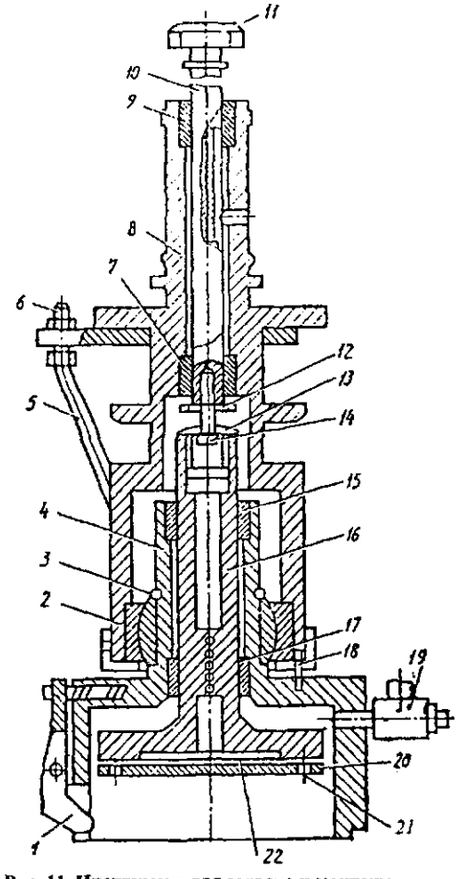


Рис. 11. Инструмент для захвата и монтажа подшипников в отверстии базовой детали

Монтируемая деталь центрируется и захватывается тремя подпружиненными губками *1* с усилием, выбираемым в соответствии с массой детали. При движении инструмента вниз деталь перемещает прессующий шток до тех пор, пока его фланец не перекроет датчик *19*. По команде датчика движение инструмента вниз прекращается, и он вместе с деталью поднимается на сборочную позицию. Стакан *4* располагается соосно отверстию в корпусе и прижимается к его торцу. Усилие прижима контролируется силовым датчиком, встроенным в руку ПР.

По команде на выполнение соединения гидроцилиндр, встроенный в руку ПР, перемещает рабочий шток *10*, который через гайку *12* (со сферическим торцом) передает усилие на шаровую поверхность упора *13*, укрепленного

на штоке *16*, который по направляющим *15* и *17* перемещается внутри стакана *4*, который на сферической опоре *2* вмонтирован в корпус *8* и предохранен от осевого перемещения стопорным кольцом *3*, а от поворота – штифтом *18*. Перемещаясь вниз, прессующий шток устанавливает (запрессовывает) деталь в отверстие базовой детали (корпуса).

Компенсация смещения осей сопрягаемых деталей происходит при радиальном перемещении присоединяемой детали под действием сил, возникающих при контакте заходных фасок сопрягаемых поверхностей. Сепаратор (*20*, *21*) уменьшает сопротивление радиальному перемещению детали.

При монтаже деталей, одна из которых является нежесткой, несовпадение их осей компенсируется упругой деформацией присоединяемой (нежесткой) детали или ее элементов.

На рис. 12 показан инструмент для запрессовки армированной резиновой уплотнительной манжеты (с пружиной) в гнездо базового корпуса. Инструмент состоит из цилиндрического корпуса *1* (с хвостовиком и фланцем для подсоединения к руке ПР). Внутри корпуса расположена подпружиненная оправка *2*, вылет которой ограничен упором *3*. На оправке на двух полуосях *4*, проходящих через пазы *9* в корпусе *1*, смонтирован рычаг *6*, представляющий собой полувтулку, несущую с одной стороны шуп *5*, а с другой кулачок *7*, взаимодействующий с закрепленным на оправке *2* пневмодатчиком *8*. При опускании инструмента в накопитель манжета *10* надевается на оправку *2*, диаметр которой соответствует диаметру уплотняемого вала, и удерживается на ней силой трения. При этом манжета отжимает щуп *5*.

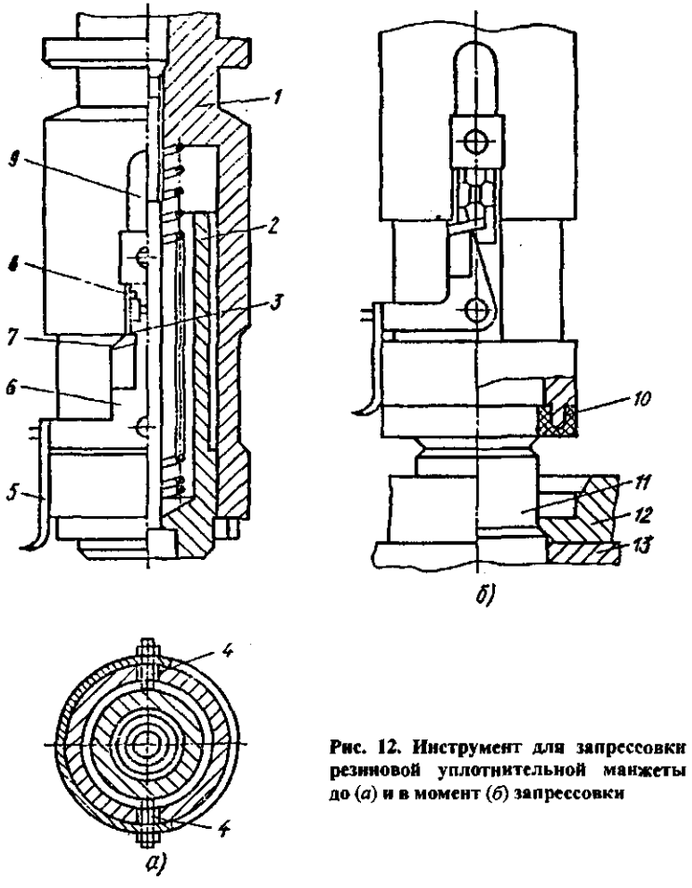


Рис. 12. Инструмент для запрессовки резиновой уплотнительной манжеты до (*а*) и в момент (*б*) запрессовки

Рычаг *6* поворачивается, перекрывает кулачком *7* сопло датчика *8*, и движение вниз руки ПР прекращается. Затем инструмент с захваченной манжетой перемещается на сборочную позицию. Упор *11*, установленный в приспособлении *13* на сборочной позиции, центрирует базовую деталь *12*, а также служит направляющей для манжеты. При запрессовке манжеты оправка *2* упирается торцом в упор *11*, а корпус *1*, продолжая движение вниз, сжимает пружину и запрессовывает манжету в гнездо. Затем инструмент перемещается вверх и удаляется из зоны сборки.

При соединении манжета центрируется наружной (монтажной) поверхностью по заходной фаске, выполненной в отверстии базовой детали. Смещение осей оправки и манжеты не должно превышать величины фаски на оправке. Вылет оправки выбирается в зависимости от конструкции манжеты; необходимо гарантировать размещение уплотнительного пояска манжеты на цилиндрической части оправки.

Применяя соответствующие насадки на корпусе *1* и оправке *2*, можно использовать инструмент для запрессовки армированных резиновых уплотнительных манжет с наружным диаметром 32 – 125 мм в гнезда базовых деталей типа корпусов, крышек стаканов и т.п. Для уменьшения деформации манжеты и облегчения входа в нее оправки манжеты и гнезда смазывают минеральным маслом, что предотвращает повреждения манжет.

Установку плоских прокладок из листового материала производят с помощью электромагнитных или вакуумных захватных устройств. Вакуумные захватные устройства обеспечивают бóльшую точность установки, а их работа не зависит от материала прокладок.

На рис. 13 показано вакуумное захватное устройство, выполненное в виде цилиндрического корпуса *1*, где закреплен сменный диск *5*, в пазах которого установлены присоски *6* (с эжекторами) и струйный датчик *7*. Число присосок выбирают в зависимости от формы, размеров и массы прокладки. Воздух от силовой пневмосети подается через разъем 2, патрубок *3* и трубки *8* в корпус *1*, где размещен распределитель *4*. Струйный датчик *7* формирует команды на остановку руки ПР при контакте присосок загрузочного устройства с прокладкой и на перемещение руки на сборочную позицию.

На исходной позиции прокладки располагаются стопкой в ориентирующем магазине. Переналадка инструмента осуществляется сменой дисков *5*, установкой соответствующего числа присосок и регулировкой их положения в пазах дисков, а также перенастройкой положения датчиков *7*. При смене дисков (три типоразмера) подобные захватные устройства могут быть использованы для работы с картонными и текстолитовыми прокладками.

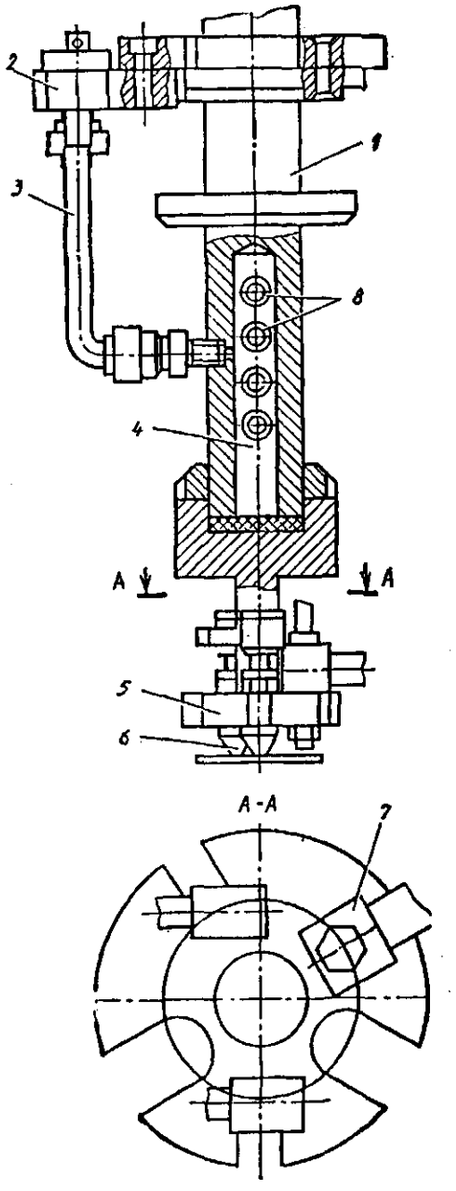


Рис. 13. Вакуумное захватное устройство

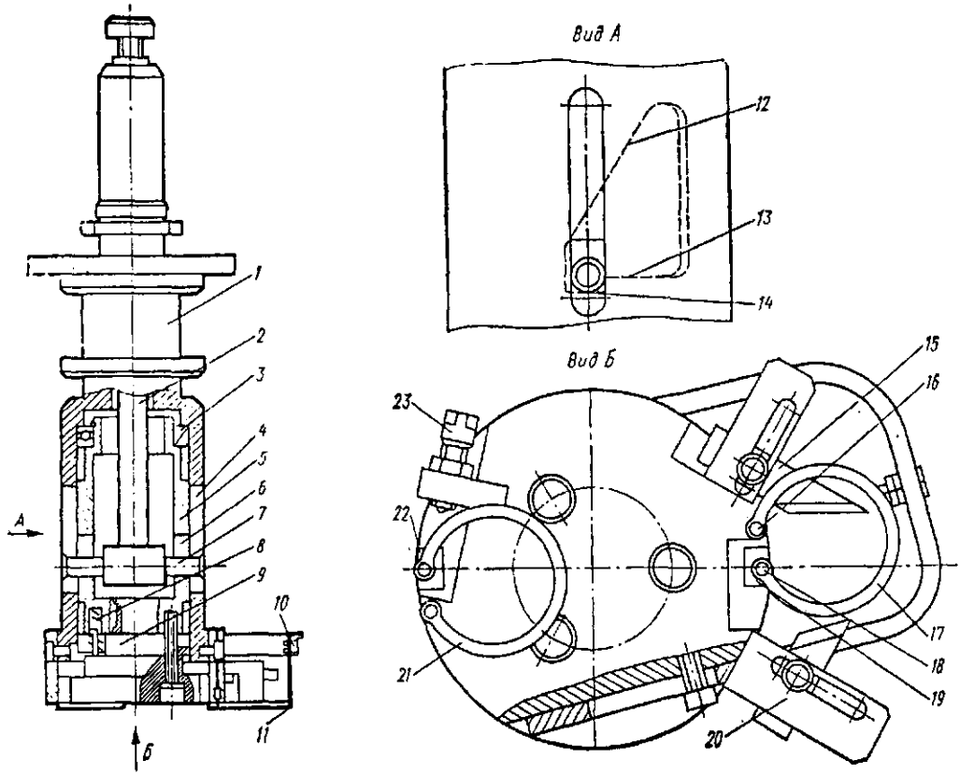


Рис. 14. Сборочный инструмент для установки на вал наружных плоских пружинных колец

Сборочный инструмент для установки на вал наружных плоских пружинных колец показан на рис. 14. Внутри корпуса *1* проходит тяга *2*, связанная с приводом, размещенным в руке ПР. Там же размещена втулка *5*, прижимаемая пружинами *8* к подшипнику *3*. На диаметрально противоположных сторонах втулки *5* вырезаны два фигурных окна *6*, имеющие наклонный *12* и два горизонтальных (*13* и *14*) участка, а в корпусе *1* вырезаны продольные пазы *4*. Концы штифта *7*, соединенного с тягой *2*, входят (через окна *6*) в пазы *4*. На торце втулки *5* закреплена насадка *9*, несущая подвижный упор *23*, два регулируемых толкателя *15* и *20*, подпружиненный штырь *16* для установки монтируемого пружинного кольца *17*.

Инструмент располагают над кассетой с ориентированными пружинными кольцами *17*. Он опускается до касания торцами насадки *9* и планки *11* плоскости кольца *17*. При этом установочные штыри *16* и *18* входят в отверстия проушин кольца *17*. Пневмодатчик, фиксирующий наличие детали, формирует сигнал на включение привода захватного устройства, в результате чего тяга *2* движется вверх. При этом штифт *7* поворачивает втулку *5* относительно корпуса *1*, разжимая кольцо *17* и возвратную пружину *21*, закрепленную одним концом к планке *22* (установленной на корпусе захватного устройства), а другим – к насадке *9*.

При разжиме кольцо *17* фиксируется (подпружиненным упором *21*) в углублении на штырях *16* и *18* и подводится под два толкателя *15*. Затем инструмент перемещается соосно валу, закрепленному в сборочном приспособлении, и опускается, надевая разжатое кольцо *17* на вал до тех пор, пока изменение сигнала пневмодатчика не зафиксирует наличия канавки. При движении тяги *2* вниз штифт *7* высвобождает окна *6*, вследствие чего втулка *5* разворачивается под действием возвратной пружины *21* и монтируемого кольца *17*, которое

охватывает канавку сопрягаемого вала. Продолжая движение вниз, штифт доходит до горизонтальных участков окон *6* и смещает втулку *5* вместе с насадкой *9*, которая с помощью двух толкателей *15* сталкивает кольцо *17* в канавку вала, освобождая штырь *18*. Другой штырь *16*, высота которого превышает толщину кольца *17*, упирается в торец упора, смонтированного в сборочном приспособлении, и утапливается. При движении инструмента вверх все его элементы занимают исходное положение.

Инструмент для установки внутренних плоских пружинных колец в выточки отверстий базовых деталей (корпусов, крышек и т.п.) показан на рис. 15. Внутри составного корпуса *1* проходит тяга *2* со штифтом *6*, в верхней части которой ввернут наконечник *13*, соединяющий тягу с приводом. Концы штифта *6* через два противоположных продольных паза *12* (прорезанных в корпусе *1*) входят в фигурные окна *5* (выполненные во внешней втулке). Между втулкой и корпусом установлено пружинное кольцо *7*, аналогичное монтируемому пружинному кольцу *9*, так, что один конец кольца *7* закреплен на корпусе, а другой – на составной втулке *4*. Между корпусом *1* и втулкой *4* установлен шарикоподшипник *3*.

На боковой стороне корпуса *1* снизу закреплен пружинный упор *8*, а на торце с противоположной стороны – установочный штырь *10*. Второй штырь *11* (подпружиненный) смонтирован на торце втулки *4*. Расстояние между штырями равно межосевому расстоянию отверстий в проушинах недеформированного кольца *9* и задается пружинным кольцом *7*. Длина штырей больше толщины кольца *9*. На установочных штырях выполнены обращенные одно к другому углубления, длина которых равна толщине монтируемого кольца.

Кольца *9* расположены стопкой в ориентирующем магазине на начальной позиции. Инструмент перемещается соосно стопке и опускается до касания торцом втулки *4* плоскости верхнего кольца *12*. При этом штыри *10* и *11* входят в отверстия в проушинах монтируемого кольца. При движении тяги *2* вверх штифт *6* поворачивает внешнюю втулку *4* относительно корпуса *1*, сжимая (штырями *10* и *11*) кольцо *7* и монтируемое кольцо, которое фиксируется углублениями этих штырей. Пружинный упор *8* препятствует провисанию и срыву монтируемого кольца.

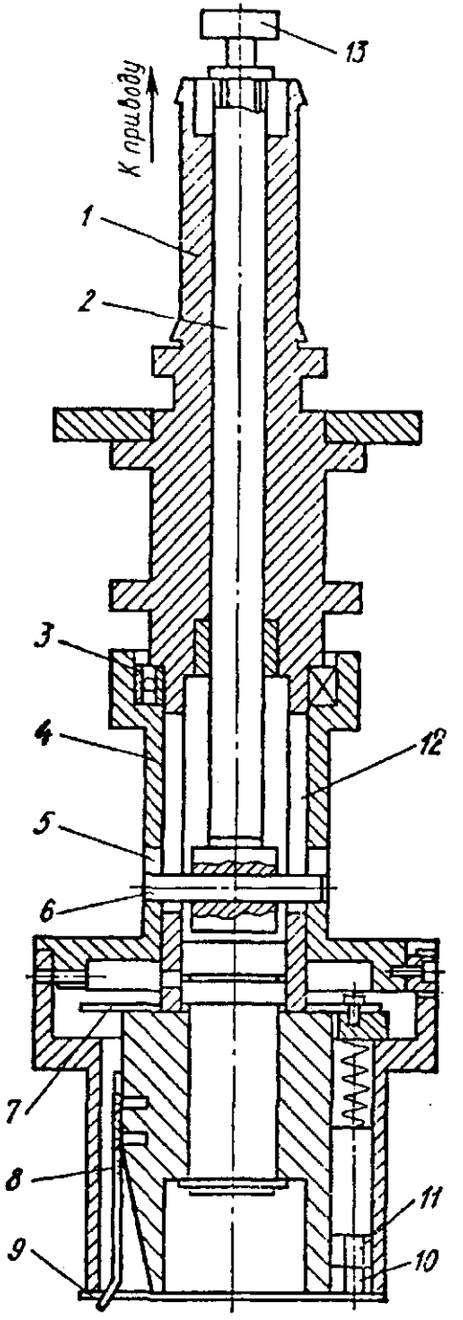


Рис. 15. Инструмент для установки внутренних плоских пружинных колец в выточки отверстий базовых деталей

Затем инструмент перемещается соосно отверстию в базовой детали и опускается в него, не доходя до выточки на высоту штыря *10*. При движении тяги *2* вниз штифт *6* высвобождает внешнюю втулку *4*, позволяя ей провернуться относительно корпуса *1*. Штыри *10* и *11* расходятся, а кольцо *9* распускается до касания со стенками отверстия базовой детали. Дальнейшее движение вниз тяги *2* заставляет штифт *6* переместить вниз втулку *4*, которая сталкивает кольцо *9* в выточку, освобождая при этом штырь *10*. Штырь *11* утапливается специальным упором и выходит из контакта с кольцом *9*, которое, разжимаясь, самоустанавливается в выточке внутреннего отверстия базовой детали. При движении инструмента вверх втулка *4* под действием пружинного кольца *7* поворачивается и занимает исходное положение.

Инструмент для сборки резьбовых соединений показан на рис. 16. К хвостовику *1* (являющемуся вместе с фланцем *2* элементом системы автоматической смены инструмента) прикреплен корпус *3* пневматического резьбозавертывающего инструмента, выполненного на базе стандартного гайковерта. Присоединяемая резьбовая деталь захватывается из накопителя магнитным элементом *8* и подводится к базовой детали. Сжатый воздух поступает к разъему *11* и далее по трубопроводу *10* к пневмодвигателю. Шпиндель *5* вместе с вращением получает движение осцилляции вдоль оси свинчивания. При этом происходит наживление болта (гайки).

После наживления шпинделю *5* сообщается рабочее движение вдоль оси резьбового соединения. При этом базирующий элемент *8* утапливается в гнезде *9* под действием присоединяемой резьбовой детали. На корпусе *3* закреплен кронштейн *4*, несущий пневмодатчик *7* контроля положения торцового ключа *6* относительно корпуса *3*. Если по каким-либо причинам свинчивания не происходит (например, винт заклинило), то шпиндель продолжает перемещаться в осевом направлении, а торцовой ключ *6* не перемещается и своим кольцевым выступом взаимодействует с датчиком *7*.

При этом давление в измерительном канале пневмодатчика повышается и срабатывает команда на прекращение осевого перемещения в течение заданного времени. Если после выдержки времени сигнал будет снят (прокручивающийся торцовый ключ сместится вместе с болтом и кольцевой выступ *9* "откроет" датчик), то поступит команда на дальнейшее

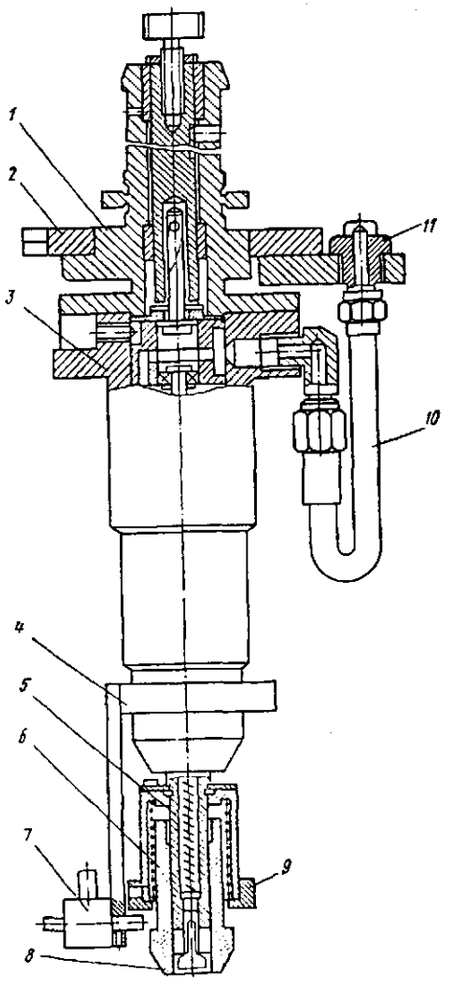


Рис. 16. Инструмент для сборки резьбовых соединений

осевое перемещение на заданную глубину свинчивания. Если после выдержки времени пневмодатчик останется включенным, то от системы управления ПР поступит сигнал на реверс и отвод инструмента.

Сборочные ПР

Специфика сборки, в процессе которой необходимо компенсировать погрешности позиционирования, захвата и установки деталей, обусловливает определенные требования к сборочным ПР.

Взаимные основные движения сопрягаемых деталей (как правило, это прямолинейные перемещения) должны осуществляться ПР в цилиндрической системе координат. Если необходимы более сложные движения, то они должны быть реализованы исполнительным органом ПР или сборочным инструментом.

Размеры рабочей зоны ПР должны быть достаточными для размещения: вспомогательных устройств, приспособлений и оснастки, необходимых для реализации технологического процесса сборки; магазинов с инструментами и захватными устройствами; подающих устройств; накопителей собираемых деталей; средств контроля качества сборки.

ПР должен иметь не менее трех степеней подвижности, а также возможность увеличить их число до 8 в результате дополнительных движений исполнительного органа ПР или сборочного инструмента.

Система управления ПР должна обеспечивать возможность его работы со значительным числом вспомогательных механизмов (тактовые столы, транспортеры, устройства поштучной выдачи заготовок и т.д.).

ПР, последовательно выполняющие несколько различных операций и переходов, должны иметь устройство, автоматически заменяющее захват и инструмент и подключающее их к силовой и измерительной сетям (пневматическим или электрическим).

Скорость перемещения исполнительных узлов и кинематических звеньев ПР (как правило, 0,001 – 1,5 м/с) должна обеспечивать максимальную производительность при выполнении основных и вспомогательных операций сборки. При необходимости выполнения в процессе сборки операций механической обработки (сверление, развертывание и др.) исполнительный орган ПР должен обеспечить работу режущего инструмента с требуемыми скоростью и усилием подачи; если это невозможно, то в состав РТК следует включить соответствующее металлорежущее оборудование.

Остальные требования являются общими для ПР другого назначения.

Для сборки могут быть использованы почти все модели универсальных роботов, а также специальные ПР.

При сборке ПР являются не только средствами автоматизации транспортных, загрузочно-разгрузочных и других вспомогательных процессов, но и средствами автоматизации основных технологических операций. Причем с помощью ПР удается осуществлять такие сборочные операции, которые не удавалось автоматизировать с помощью традиционных технических средств.

ПР способны выполнять ряд таких интеллектуальных функций, как распознавание объектов сборки, контроль технологических режимов, адаптация к изменению условий производства и др.

Проведенный анализ конструктивно-технологических параметров 155 моделей отечественных и зарубежных ПР, применяемых для автоматизации сборочных работ, позволил выявить ряд особенностей, характерных для них. Основные технические показатели сборочных ПР (отечественного и зарубежного производства) приведены в табл. 6.

Проведенный анализ позволяет сформулировать некоторые тенденции развития и перспективы применения сборочных ПР.

1. Наиболее перспективными для автоматизации сборочных операций являются ПР компоновки ScARA, которые отвечают большинству требований, предъявляемых к ПР этого класса.

2. Повышается число моделей ПР, имеющих дополнительные степени подвижности и оснащенных устройством автоматической смены инструмента, а также различными элементами адаптации.

3. ПР, применяемые для выполнения сборочных операций, снабжаются, как правило, высокоэффективными малоинерционными приводами на базе электродвигателей постоянного тока в сочетании с пневмоприводами.

4. Технические показатели сборочных ПР непрерывно улучшаются и главным образом в отношении быстродействия и точности позиционирования.

5. ПР с автоматической сменой инструмента снабжаются набором сменных захватных устройств и специализированного сборочного инструмента. Все большее применение получа-

6. Технические характеристики сборочных ПР с электрическим приводом

Изготовитель	Модель	Грузоподъемность, кг	Количество степеней подвижности	Тип системы управления	Погрешность позиционирования, мм	Максимальные перемещения, мм	Скорость линейных перемещений, м/с	Емкость памяти системы управления	Способ (язык) программирования	Средства адаптации и автоматической смены захватов	Площадь горизонтальной проекции зоны обслуживания, $м^2$	Объем зоны обслуживания, $м^3$	Коэффициент использования площади	Удельная материалоемкость конструкции
Прямоугольная система координат														
Россия	УМ-1,25*	0,25	5	Кон		500X 900Y 450Z					0,45	0,2		
DEA-S. p. A (Италия)	Pragma A-3000	1,5	1+6	Поз	0,025	300X 1260Y 250Z	0,6	1200 кадров	HELP		0,38	0,035	0,9	
Nippon Electric. Corp. (Япония)	ARMS-D*	2	3	Поз		500X 270Y 150Z	0,45 X,Y 0,25Z		PASLA		0,25	0,05		
Nippon Electric. Corp. (Япония)	NR-410	2	4	См	0,08	410X 1400Y 410Z		6500 кадров	PASLA		0,57	0,24		
IBM (США)	7565** (RS1)	2,3	6	Поз	0,2	457X 1457Y 432Z	1,0	192 Кбайт	AML		0,6	0,24		

Продолжение табл. 6

Изготовитель	Модель	Грузоподъемность, кг	Количество степеней подвижности	Тип системы управления	Погрешность позиционирования, мм	Максимальные перемещения, мм	Скорость линейных перемещений, м/с	Емкость памяти системы управления	Способ (язык) программирования	Средства адаптации и автоматической смены захватов	Площадь горизонтальной проекции зоны обслуживания, $м^2$	Объем зоны обслуживания, $м^3$	Коэффициент использования площади	Удельная материалоемкость конструкции
Matsushita Electric (Япония)	Pana Roba A_1	2	3	Поз	0,02	400X 600Y 100Z	0,5X,Y 0,3Z	500 команд (12,5 Кбайт)			0,24	0,024		31
Control Automation Inc. (США)	CAR-1999	4,5	4	См	0,025	500X 1420Y 500Z	1,0	16 Кбайт	BASIC	Опт	0,71	0,36		
Olivetti DCN S. p. A. (Италия)	Sigma* MTG	5	3	Поз	0,1	1010X 400Y 400Z	0,5		SIGLA		0,4	0,16		
Adaptive Intelligence Corp. (США)	AAR M*	6,5	3 ... 6	Поз	0,025	500X 900Y 500Z	1,0				0,45	0,23		
Automatics Inc. (США)	AID 600 Cybervision III	8	6	См	0,05	590X 1300Y 400Z	1,0	1000 команд	RAIL	Опт	0,65	0,26		

Продолжение табл. 6

Изготовитель	Модель	Грузоподъемность, кг	Количество степеней подвижности	Тип системы управления	Погрешность позиционирования, мм	Максимальные перемещения, мм	Скорость линейных перемещений, м/с	Емкость памяти системы управления	Способ (язык) программирования	Средства адаптации и автоматической смены захватов	Площадь горизонтальной проекции зоны обслуживания, м²	Объем зоны обслуживания, м³	Коэффициент использования площади	Удельная материалоемкость конструкции
Olivetti DCN S. p. A. (Италия)	Series 3*	10	4	Поз	0,1	410X 1400Y 410Z	0,5	64 Кбайт	SIGLA		0,57	0,24	0,23	
Nitto Seiki (Япония)	Nittoman M	10	3	Поз	0,05	400X 600Y 150Z	0,56X,Y 0,35Z	2 Кбайт	Обучение		0,24	0,036	2	7
Цилиндрическая система координат														
Россия	РС-6*1	0,5	4	Поз	0,05	240Г 48П	0,4Г 0,1В		Обучение	Адап				
Microba S. A. (Швейцария)	MR-02*2 CASTOR	1	4 – 5	Поз	0,02	300Г 234В	2,7	1000 команд						
IBM (США)	7535	1	4	Поз	0,05	220Г 75В	1,0Г	300 кадров	AML		0,19	0,014	12,1	25
Sormel (Франция)	SHIVA S1	4	3	Поз	0,03	138В	0,65Г	250 команд						
Mitsubishi Danki (Япония)	MELFA RH-111	5	3	Поз	0,05	410Г 300В	2,0Г 0,2В	6000 команд	MELFA	СТЗ	0,95	0,29	10,6	17

Продолжение табл. 6

Изготовитель	Модель	Грузоподъемность, кг	Количество степеней подвижности	Тип системы управления	Погрешность позиционирования, мм	Максимальные перемещения, мм	Скорость линейных перемещений, м/с	Емкость памяти системы управления	Способ (язык) программирования	Средства адаптации и автоматической смены захватов	Площадь горизонтальной проекции зоны обслуживания, м²	Объем зоны обслуживания, м³	Коэффициент использования площади	Удельная материалоемкость конструкции
Messma Kelch (ФРГ)	Moro 300+4	5	4	См	0,02	220В				СТЗ, АСИ				
Dainishi Kiko Co. Ltd. (Япония)	PT-300A	5	4	Поз	0,1	380Г 100В	до 1,6Г 0,1В	3000 команд	Обучение	Опт	0,48	0,048	7,8	25
Nippon Electric Corp. (Япония)	NR-220 (model B)	5	4	Поз	0,05	480Г 300В	0,26В	768 команд	PASLA	–	1,45	0,435	9,0	40
Scemi (Франция)	4C.06	6	4	Поз	0,04	130В	2,75	3000 команд	LM		0,73	0,09		
Sankyo Seiki (Япония)	SKILAM SR-3	6	4	Поз	0,05	460Г 75В	1,1Г 0,15В	300 команд	SERF		0,85	0,063	13,5	10
Toyoda Machinery Wanks (Япония)	FRIEND RC-4-2	6	5	Кон	0,05	500Г 125В		40 Кбайт			1,25	0,156	8,3	15
Toshiba Seiki (Япония)	TOSMAN TSR-701H	8	4	Поз	0,05	450Г 125В	1,5Г	512 команд	SCOL-I		1,0	0,125	8,1	10
Nitto Seiki (Япония)	Piemat PRO-423	10	4	Поз	0,05	120В	1,0Г	150 команд	Обучение		1,03	0,12	19,2	6,5

Продолжение табл. 6

Изготовитель	Модель	Грузоподъемность, кг	Количество степеней подвижности	Тип системы управления	Погрешность позиционирования, мм	Максимальные перемещения, мм	Скорость линейных перемещений, м/с	Емкость памяти системы управления	Способ (язык) программирования	Средства адаптации и автоматической смены захватов	Площадь горизонтальной проекции зоны обслуживания, $м^2$	Объем зоны обслуживания, $м^3$	Коэффициент использования площади	Удельная материалоемкость конструкции
Pentel Co. (Япония)	Puna HR-63	10	4	Поз	0,05	400Г 50В	1,6Г	250 команд			0,54	0,027	2,3	12
Россия	М20К	20	6	См	0,05	620Г 400В	1,1Г 0,17В	32 Кбайт		СТЗ, ИК, АСИ	1,45	0,58	3,6	20
United Technology Corp. (США)	Nikon 100	20	6	Поз	0,35	1000В	0,3В	1200 команд			0,3	0,3		5,2
Nachi-Fujikoshi Corp. (Япония)	600-AL	30	4	Поз	0,05	650Г 100В	1,1Г	700 команд			1,85	0,185		
Россия	М40В.05.11**	40	4	Поз	0,5	5000Г 420В	0,6Г 0,4В	0,5 Кбайт	Обучение	СТЗ, ИК, АСИ				
GMF (США, Япония)	А-00	5	4	Поз	0,05	300Г 60В	1,2Г 0,2В	6000 команд	« »		0,47	0,07	0,1	20
Dainishi Kiko Co. Ltd. (Япония)	PT-550	7	5	Кон	0,2	600Г 500В	0,5В	1000 команд		Опт	1,68	0,84	6,5	50
Cybotech Inc. (Франция)	Н8	8	4	Поз	0,05	500Г 500В	1,0		Обучение		1,53	0,76		12,5

Продолжение табл. 6

Изготовитель	Модель	Грузоподъемность, кг	Количество степеней подвижности	Тип системы управления	Погрешность позиционирования, мм	Максимальные перемещения, мм	Скорость линейных перемещений, м/с	Емкость памяти системы управления	Способ (язык) программирования	Средства адаптации и автоматической смены захватов	Площадь горизонтальной проекции зоны обслуживания, $м^2$	Объем зоны обслуживания, $м^3$	Коэффициент использования площади	Удельная материалоемкость конструкции
GMF (США, Япония)	А-0	10	5	Поз	0,05	300Г 300В	1,2Г 0,6В	6000 команд	« »	Сенсорный интерфейс	0,48	0,14	0,1	20
Nitto Seiki Ltd. (Япония)	Nittoman M Y-Z-8	10	3	Поз	0,05	400Г 150В	0,56Г 0,35В	2 Кбайт	« »		0,79	0,12	24,7	7
GMF (США, Япония)	А-1	15	5	Поз	0,1	500Г 500В	1,2Г 0,5В	6000 команд	« »	Сенсорный интерфейс	1,96	0,98	8,0	13,3
Ангулярная сферическая система координат														
Actobe (США)	AG-4	0,45	5	Поз	0,025	810Г 610В		500 команд						120
Unimation Inc. (США)	Puma 260	0,9	6	См	0,05	810Г 610В	1,0	16 Кбайт	VAL					
Intelledex (США)	Intelledex 605	2	6	Поз	0,025		1,0	150 команд	BASIC	Такт СТЗ				
Toshiba Seiki (Япония)	TSR-500 V	2,5	6	Поз	0,05		2,0	512 команд	SCOL					
Yaskawa (Япония)	Motoman L-3	3	5	См	0,1		1,0	1000 кадров	Обучение					36,7

Продолжение табл. 6

Изготовитель	Модель	Грузоподъемность, кг	Количество степеней подвижности	Тип системы управления	Точность позиционирования, мм	Максимальные перемещения, мм	Скорость линейных перемещений, м/с	Емкость памяти системы управления	Способ (язык) программирования	Средства адаптации и автоматической смены захватов	Площадь горизонтальной проекции зоны обслуживания, м²	Объем зоны обслуживания, м³	Коэффициент использования площади	Удельная материалоемкость конструкции
					Сферическая система координат									
Oungheinrich (ФРГ)	R 55	3	5	См	0,2			700 команд	« »					
Kuko (ФРГ)	IR160/45	4,5	6	Кон	0,5		4,0							
Dainishi Kiko Co. Ltd. (Япония)	300 V	5	5	Поз	0,1		1,0	999 кадров	Обучение	СТЗ	0,95		15,2	40
Cincinatti Milacron (США)	T-726	6	6	Кон	0,15		1,0	3000 команд	Обучение					
Россия	ТУР-10	10	5	Поз	0,2	800Г		3600 кадров	Обучение					25
					Ангулярная цилиндрическая система координат									
Suwa Seikosha (Япония)	SSR-H253	1	4	Поз	0,01	250Г	1,0Г	200 команд	BASIC					

* Мостовые роботы. ** Портальные роботы с гидравлическим приводом. [1] С пневматическим приводом. [2] С гидравлическим приводом.

Примечания: 1. Грузоподъемность соответствует рабочим (средним) скоростям перемещения рабочих органов. Для многоруких и портальных ПР грузоподъемность и другие характеристики указаны в расчете на одну руку.

2. Приняты следующие сокращения: а) система управления: Поз – позиционная, Кон – контурная, См – смешанная (позиционно-контурная); б) сенсорное оснащение: Такт – тактильные датчики, Опт – оптические датчики (в том числе ИК – инфракрасные датчики), СТЗ – системы технического зрения, Адап – средства пассивной адаптации.

3. Наибольшие перемещения (ускорения) даны с индексами: Г (В) – перемещение по горизонтали (вертикали); X (Y, Z) – по осям X (Y, Z).

ют многоцелевые захватные устройства и многопозиционные сборочные головки.

6. Расширяются функциональные возможности систем программного управления в целях восприятия различной сенсорной информации и возможности группового управления несколькими ПР и периферийными устройствами. Современные системы программного управления создаются на модульном принципе с применением микропроцессорной техники. В том случае, когда для сборки требуется совместная работа группы ПР и другого оборудования или при необходимости обработки значительных объемов сенсорной информации, для управления используются мини-ЭВМ.

7. В настоящее время для программирования сборочных ПР используется большое число языков программирования различного уровня. В целях удобства пользования и унификации программного обеспечения ведутся работы по созданию универсального проблемно-ориентированного языка программирования ПР для выполнения сборочных операций.

8. До настоящего времени ПР применялись для выполнения сборочных операций в крупносерийном и массовом производстве. С созданием адаптивных ПР расширяется область их применения в серийном многономенклатурном производстве.

Структурная схема сборочного ПР с адаптивным управлением представлена на рис. 17. Рука *II* вводит на сборочную позицию базовую деталь, рука *I* – в отверстие базовой детали болт, а рука *III* навертывает на него гайку. Привод рук *I* и *III* осуществляется от скоростных позиционных сервоприводов *1*. Сигналы от тактильных датчиков сил поступают в измерительный блок *2* вычислительного устройства *3*, где они сравниваются с расчетными, заданными программой. Величина рассогласования этих сигналов передается в цепь управления сервоприводами *1*, которые соответственно изменяют углы поворота исполнительных органов рук *I* и *III*. Такая же обратная связь осуществляется между устройством *3* и сервоприводом *4* руки *II*.

Сборочные ПР второго поколения помимо систем адаптации снабжены видеоустройствами, в состав которых входят: телевизионные камеры, коррелятор совпадения полярности видеосигналов, следящий привод, рука с механизмом осязания, блок управления.

Рис. 17. Структурная схема сборочного ПР с адаптивным управлением

Компоновки сборочных РТК

Основные типовые варианты компоновки сборочных РТК представлены на рис. 8.

Некоторые варианты компоновок сборочных РТК более подробно рассмотрены на рис. 18. Все РТК имеют следующие типовые элементы:

ПР *2*, рабочие позиции *4* (на которых выполняются операции сборки);

питатели *1* (служащие для подачи собираемых деталей в ориентированном положении);

магазины *3* с комплектами сборочных инструментов.

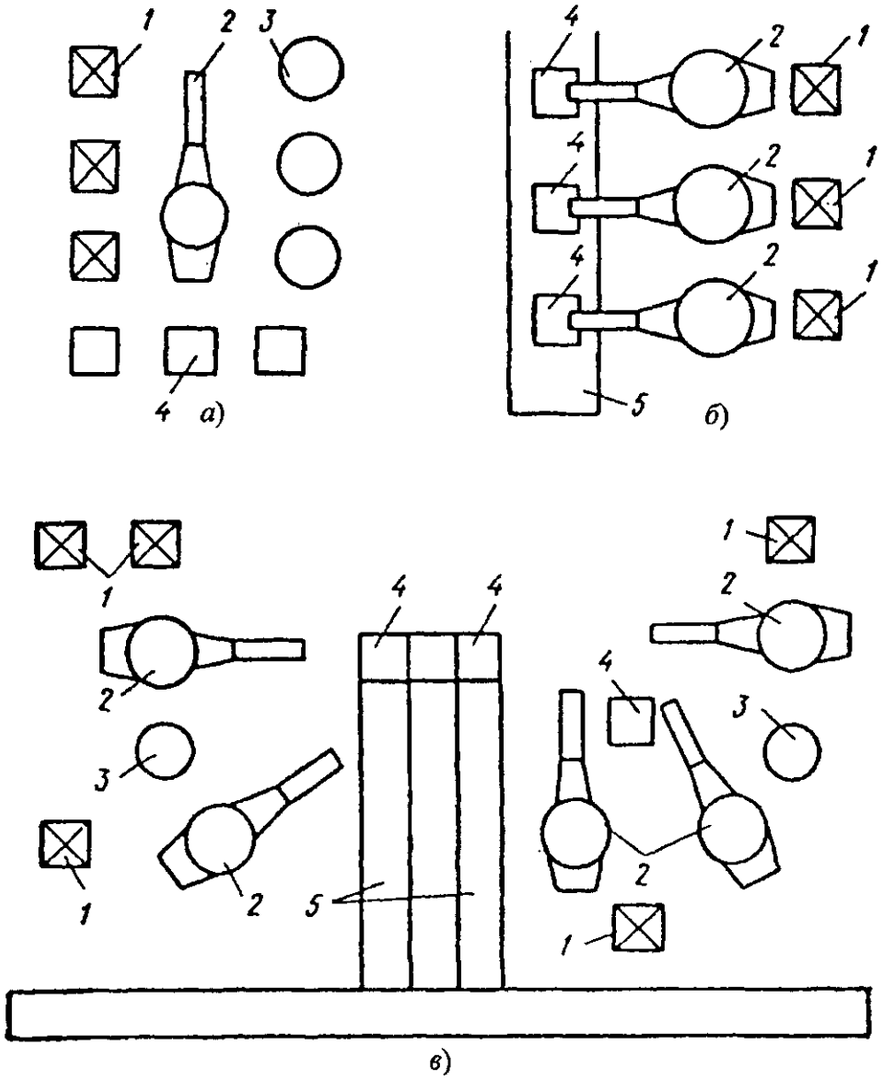


Рис. 18. Типовые варианты компоновок сборочных РТК

В РТК (рис. 18, *а*) один ПР последовательно выполняет все операции сборки до получения полностью собранного изделия. При такой компоновке используют универсальные ПР и рабочие позиции в целях их быстрой переналадки при переходе на сборку другого изделия.

В РТК (рис. 18, *б*) используют специальные ПР упрощенной конструкции с небольшим числом степеней подвижности. Собираемые детали перемещаются транспортером *5* между несколькими позициями сборки, работающими параллельно. Линейное расположение оборудования обеспечивает выполнение технологических функций и простоту транспортной системы. Жесткая связь между рабочими позициями обусловливает остановку РТК при выходе из строя ПР или другого оборудования.

Особенностью РТК (рис. 18, *в*) является то, что сборочные операции (с учетом их специфики) максимально сконцентрированы на отдельных рабочих позициях, причем на ряде позиций сборочные операции выполняются одновременно несколькими ПР. Транспортирование полуфабрикатов между рабочими позициями *4* осуществляется конвейером *5*. Связь между отдельными рабочими позициями гибкая.

Примеры применения ПР при сборке

Автоматическая линия сборки трансформаторов дана на рис. 19. Собираемые детали – катушки, верхние и нижних магнитные сердечники – подаются соответственно питателями *5*, *7* и *13* на позиции выдачи, где расположены оптические датчики *ОД1 – ОД3*, фиксирующие наличие деталей и формирующие сигнал начала процесса сборки. Нижняя пара магнитных сердечников закрепляется в фиксирующем устройстве стола *10*, где осуществляются операции сборки, контроля и отбраковки. Робот *12*, взяв катушку с позиции выдачи питателя *13*, переносит ее к столу *10* и собирает с нижней парой магнитных сердечников. Операция контролируется датчиком положения *ДП1*. Если после трехкратной попытки операция не выполняется, катушка и пара нижних магнитных сердечников роботами *12* и *9* сбрасываются в люк *11* сборника брака.

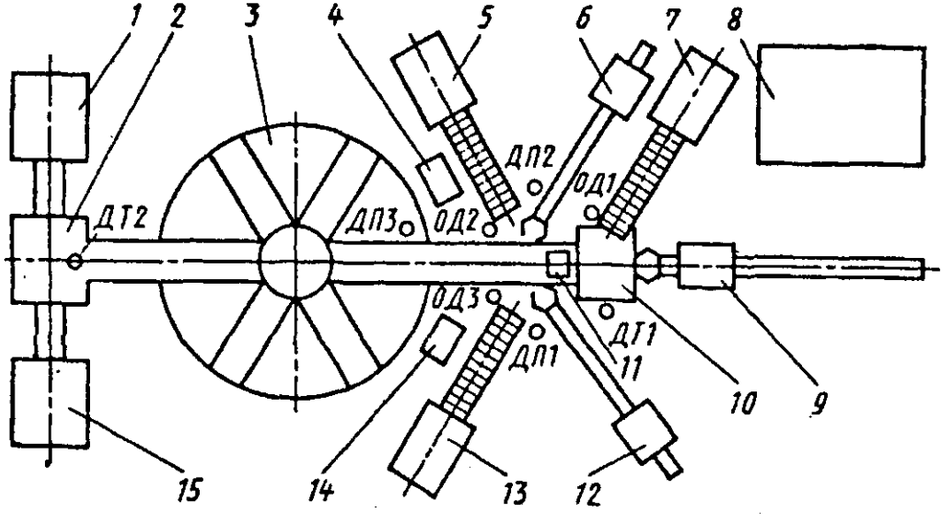


Рис. 19. Схема автоматической линии сборки трансформаторов

После сборки первых трех деталей робот *6*, забрав из питателя пару верхних магнитных сердечников, окунает их последовательно в ванночки с обезжиривающим и клеевым составами, а затем соединяет пару верхних магнитных сердечников с катушкой и двумя нижними сердечниками. Контроль правильности выполнения операции осуществляется датчиками положения *ДП2*. Если после трех попыток верхние сердечники не удается соединить с собранным подузлом, робот *12* сбрасывает их в сборник брака *14*. По окончании сборки робот *6* помещает трансформатор между пружинными контактами подключения тока к вторичной обмотке.

Датчик *ДТ1* измеряет ток холостого хода трансформатора, после чего трансформатор либо сталкивается роботом *6* в сборник брака *4*, либо с помощью робота *9* передается в секционную сушильную установку с тактовым поворотным столом *3*. При заполнении секции (контроль выполняется датчиком положения *ДП3*) стол поворачивается на $\frac{1}{6}$ оборота, открывая пустую секцию для следующего цикла. Высушенные трансформаторы попадают на позицию контроля *2* датчиками тока *ДТ2*, откуда направляются либо на позицию выдачи *15*, либо в бункер брака *1*.

Автоматическую линию обслуживают три пневматических робота грузоподъемностью 0,5 кг с числом степеней подвижности *3* и погрешностью позиционирования ±0,15 мм. Производительность линии – 300 трансформаторов в час. Цикл сборки одного трансформатора (без учета времени на сушку) составляет 15 с. Управление линией осуществляется от устройства *8*.

Автоматизированная линия сборки двигателей внутреннего сгорания японской фирмы Kawasaki Dzukogë показана на рис. 20. Сборка выполняется на 12 позициях, причем операции на позициях № 6 и 9 производятся слесарями-сборщиками, а на остальных позициях – роботами "Kawasaki Unimate-5030" грузоподъемностью 10 кг с автоматической сменой инструмента и захватных устройств.

На начальную позицию пластинчатого конвейера *2* корпус устанавливает оператор, который контролирует также поступление на пластинчатый конвейер деталей, необходимых для сборки. Каждый робот обслуживает несколько сборочных позиций. Иногда требуется согласованная работа двух роботов. Всего на линии установлено десять роботов.

РТК с адаптивными роботами "Hi-T-Hand Expert" японской фирмы Hitachi, на рис. 21, предназначена для сборки деталей с малым зазором (около 0,03 мм). Обеспечить такую точность соединения позволяет система адаптивного управления. РТК имеет: вспомогательный *II* и основной *I* ПР (последний оснащен упругим подпружиненным захватом *15*); загрузочно-транспортные устройства *6*, *8* и *12* для соединяемых деталей (вала *5*, втулки *7* и корпуса *13*).

Все устройства РТК действуют синхронно по программе, набираемой на штекерной панели устройства. РТК оснащен тактильными датчиками, встроенными в гибкое запястье захвата *15* ПР *I* (базой которого является корпус *1*), поскольку для обеспечения посадки вала *5* в отверстие втулки *7* с зазором в 0,02 мм необходима малая жесткость захвата.

ПР *I* с захватом *15*, имеющим возможность поворота (на угол 90°), извлекает из лотка *6* вал *5* и переносит его посредством кареток *2* и *4* к месту сборки. Привод перемещения осуществляется от шаговых двигателей, а привод перемещения захвата *15* – микродвигателем.

После подачи вала *5* ПР *II* (базой которого является опорная площадка *11*) захватом *9* (аналогичным захвату *15*) извлекает из лотка *8* втулку *7* и поворотом руки *10* переносит ее к месту сборки. Для обеспечения точности положения руки *10* используется двигатель с электромагнитным тормозом. Если для осуществления сборки необходимо, то захват *9* руки *10* может поворачиваться на угол до 90° с помощью микродвигателя с электромагнитным тормозом.

ПР *I* и *II* обеспечивают точность относительного расположения соединяемых деталей в пределах ±2 мм. Далее включается программа поиска, содержащая систему адаптивного управления, во время работы которой ПР *II* продолжает удерживать втулку *7*, а ПР *I* продвигает валик *5* (в горизонтальной плоскости) в направлении оси отверстия втулки *7*. Смещение валика *5* производится на основе изменения положения шарнирно укрепленного захвата *15*, которое измеряется четырьмя тактильными датчиками *14*, приклеенными к плоским пружинам *16* шпинделя *3*. Результаты измерений датчиками *14* позволяют определить величину относительных отклонений деталей в направлении координатных осей *X*, *Y*, *Z* и осуществить необходимую коррекцию положения валика *5* относительно отверстия втулки *7*.

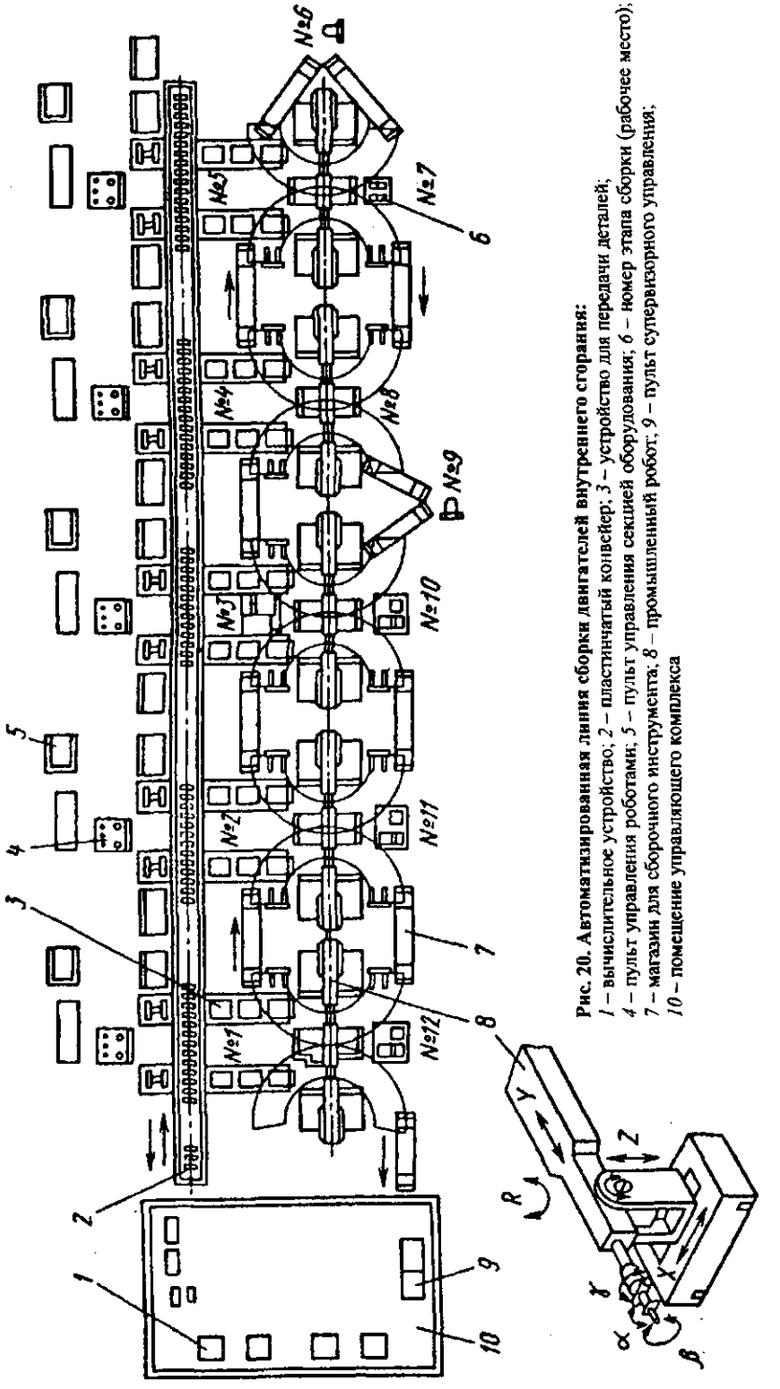


Рис. 20. Автоматизированная линия сборки двигателей внутреннего сгорания:
1 – вычислительное устройство; *2* – пластинчатый конвейер; *3* – устройство для передачи деталей; *4* – пульт управления роботами; *5* – пульт управления секцией оборудования; *6* – номер этапа сборки (рабочее место); *7* – магазин для сборочного инструмента; *8* – промышленный робот; *9* – пульт супервизорного управления; *10* – помещение управляющего комплекса

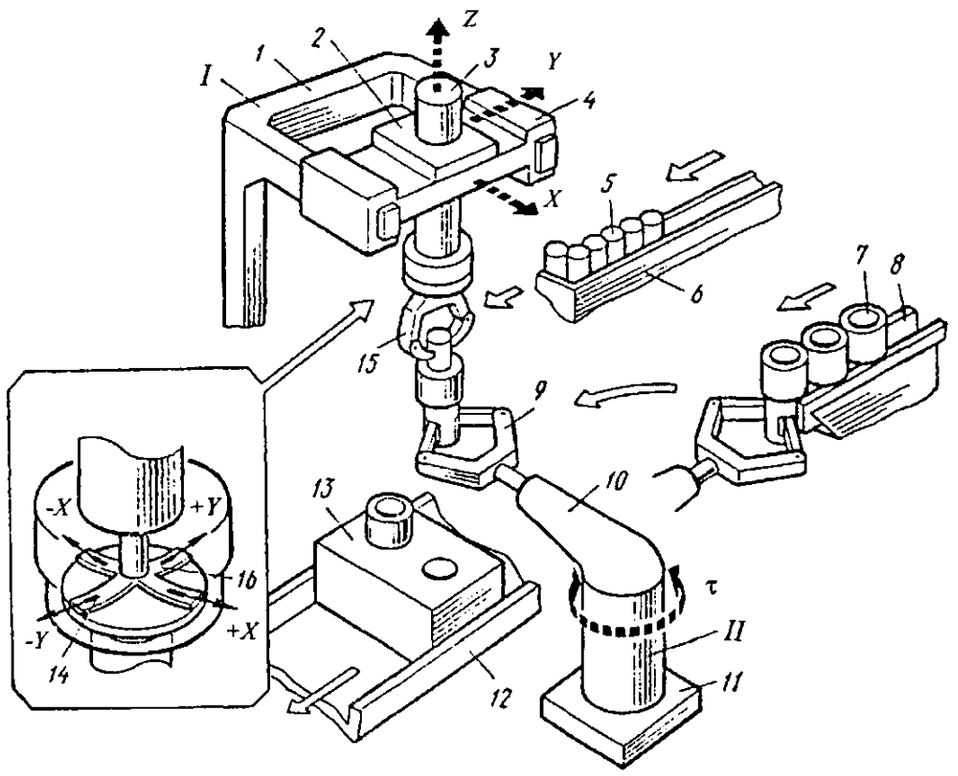


Рис. 21. Автоматизация сборки с использованием ПР "Hi-T-Hand Expert"

Валик *5* постоянно поджимается пружиной захвата *15* к торцу втулки *7*.

Величина сборочного усилия, осуществляющего поджатие, зависит от жесткости пружины и измеряется тактильным датчиком, действующим по направлению оси *Z*. Под действием этой силы происходит первоначальное соединение деталей. Наличие ошибки (в пределах 2 мм) в относительном положении деталей приводит к тому, что валик *5* упирается в торец втулки *7*, а затем перекашивается. Эти изменения в положении соединяемых деталей измеряются датчиками, формирующими сигналы, под действием которых мостовая электросхема комплекса окажется разбалансированной.

Для приведения электросхемы в исходное состояние включаются шаговые двигатели, перемещающие валик *5*. При совпадении осей соединяемых поверхностей вырабатывается сигнал, дающий команду на вертикальное перемещение валика *5*. После чего захват *15* начинает двигаться вниз, осуществляя постоянный контроль относительного положения валика *5* и втулки *7* по величине сборочного усилия. Во избежание заклинивания валика во втулке величина этого усилия, действующего в направлении оси *Z*, ограничена. По мере ввода валика в отверстие втулки система управления продолжает корректировать положение захвата *15* (в направлении оси *X*) до тех пор, пока не будет закончен процесс установки валика *5*.

После окончания сборки с помощью щупа осуществляется контроль качества соединения (по относительному положению деталей).

Система искусственного зрения на двухпозиционных датчиках представляет собой информационную поверхность, выполненную в виде плоской сетки электрически активных точек (например, ультразвуковых элементов). Эта поверхность является грубым аналогом сетчатки глаза. Чувствительные элементы

реагируют на присутствие объектов *на информационной поверхности*. Применение таких поверхностей позволяет решить ряд задач: выбор детали определенной конфигурации из группы различных объектов, сортировку деталей, сборку простейших конструкций, согласование в пространстве и во времени работы нескольких робототехнических устройств и т.п.

Технологические системы с промышленными роботами объединяются информационной поверхностью (рис. 22). В этом случае информационная поверхность может выполняться в виде монтажного стола, который используется в качестве промежуточной базы, на которую один из роботов укладывает детали различной конфигурации, а другие выбирают нужные для продолжения технологического процесса.

Решение задач очувствления с помощью информационных полей требует разработки алгоритмов фильтрации информации (выделение полезной информации из общего объема), идентификации объектов, определения зависимостей дискретности поля от геометрических свойств объектов. Заметим, что часто в качестве устройств искусственного зрения применяют телекамеры. Система "фиксирует" зоны с различной освещенностью. Это могут быть как грани объектов, так и тени от них. Из этого большого количества информации с помощью сложных алгоритмов и программ извлекаются лишь те особенности, которые могут быть использованы для распознавания объектов с заранее известными свойствами. Другими словами, ведется "борьба" с избыточной информацией, которая требует затрат времени работы вычислительных средств, часто превышающих время движения робота. Такой очувствленный робот становится "тугодумом", и это обстоятельство ставит проблему адекватности используемых технических средств восприятия информации кругу решаемых задач.

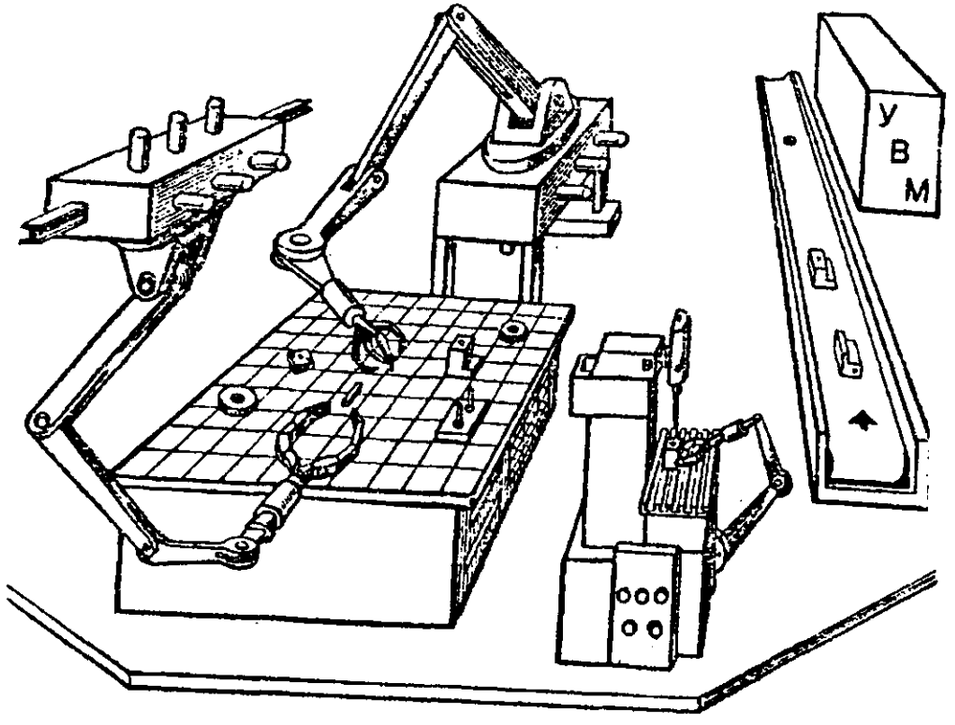


Рис. 22. Сборочный РТК с дискретным информационным полем на монтажном столе

Для информационной системы робота это означает, что количество информации, которое собирают датчики, не должно быть несоизмеримо больше, чем количество информации, необходимое для устранения неопределенности в исходной программе действий робота. С ростом количества избыточной информации увеличивается время и усложняются алгоритмы ее обработки, уменьшается помехозащищенность системы.

В связи с усложнением решаемых задач наращивание технической оснащенности систем восприятия и разработка алгоритмов обработки информации определяют одно из основных направлений развития робототехники. Уровень проводимых в этом направлении работ виден на примере экспериментальной робототехнической установки (рис. 23) с двумя руками (*1* и *2*), с 8-ю степенями свободы каждая, а также с чрезвычайно разветвленной системой датчиков и системой управления и обработки информации на базе двух ЭВМ. Система восприятия информации содержит 8 телекамер, осматривающих зону работы робота (одна из них установлена в захвате вспомогательной руки), и большое число двухпозиционных датчиков касания и пропорциональных датчиков усилия, установленных на звеньях обеих рук.

Взаимодействие всех устройств установки отрабатывалось на операции сборки бытового пылесоса, три узла которого (мешок для сбора пыли, моторный блок и поддон) произвольно, в том числе и навалом, располагались в рабочей зоне робота. Эта операция, очень простая, когда сборку ведет человек, оказывается неимоверно сложной для автоматических устройств. Действительно, в автоматическом режиме надо разыскать эти узлы, идентифицировать их, собрать в требуемой последовательности, и все это с учетом аморфности мешка, возможности наложения элементов сборки друг на друга и произвольной начальной ориентации этих элементов (они могут быть и перевернуты).

Основные трудности создания таких систем не в оснащении их устройствами очувствления, а в разработке мощного математического и программного обеспечения.

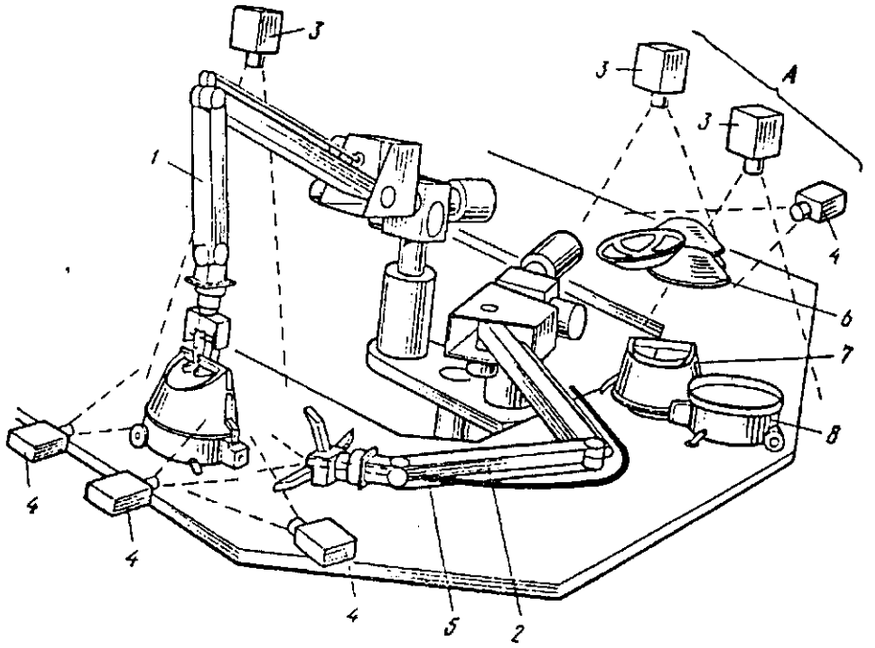


Рис. 23. Структурная схема РТК, оснащенного техническим зрением:
1 – правая рука для выполнения операций, требующих значительных усилий и затрат мощности;
2 – левая рука (вспомогательная); *3 – 4* – вертикально и горизонтально расположенные телекамеры;
5 – телекамера на захвате ПР; *6, 7, 8* – соответственно, фильтр пылесоса, его моторный блок и камера для пыли

МЕХАНИЗИРОВАННЫЙ СБОРОЧНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

При сборке машин применяют механизированный инструмент с электрическим, пневматическим и гидравлическим приводом. Механизированный инструмент прост конструктивно, удобен в эксплуатации и является основным средством для *механизации слесарно-сборочных работ*.

Наиболее распространены инструменты с пневматическим и электрическим приводом. КПД механизированного инструмента с пневматическим приводом 7 … 11 % и электрическим 50 … 60 %. По удобству пользования они равноценны, но электроинструмент более бесшумен в работе. Эксплуатационные затраты при электрифицированном инструменте ниже, чем при пневматическом. Масса пневматического инструмента меньше: он способен выдерживать продолжительные перегрузки, что недопустимо для электроинструмента.

Гидравлический инструмент отличается значительно меньшей массой благодаря высокому (до 8 МПа) давлению рабочей жидкости, а также относительной бесшумностью в работе. В гидравлических инструментах применяют ротационные лопастные, поршневые и винтовые приводы.

В пневматических инструментах применяют ротационные лопастные, турбинные и поршневые приводы, в электрических инструментах – двигатели постоянного тока, однофазные и трехфазные.

Инструмент для пригоночных работ

Сверлильные машины используют для сверления отверстий в сталях средней прочности с временным сопротивлением $\sigma_в$ до 400 МПа и других материалах.

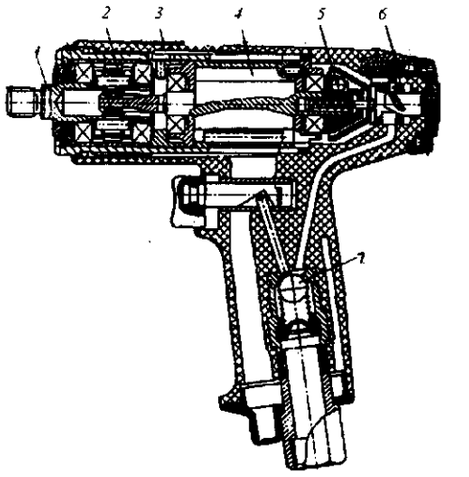


Рис. 24. Пневматическая сверлильная машина ИП-1027:
1 – шпиндель; *2* – планетарный редуктор; *3* – корпус; *4* – ротационный пневмодвигатель; *5* – центробежный редуктор; *6* – механизм изменения частоты вращения; *7* – пусковое устройство

По конструктивному исполнению их подразделяют на прямые машины с рукоятками пистолетного типа и угловые для обработки отверстий в труднодоступных местах. Сверлильные машины выполняют одно- или двухскоростными или с плавным регулированием частоты вращения шпинделя. Основные технические характеристики сверлильных машин приведены в табл. 7, 8. Пример конструкции показан на рис. 24.

Сверление отверстий диаметром 0,5 … 1,5 мм выполняют пневматическими машинами с приводом турбинного типа, имеющих частоту вращения шпинделя 100 000 об/мин и более.

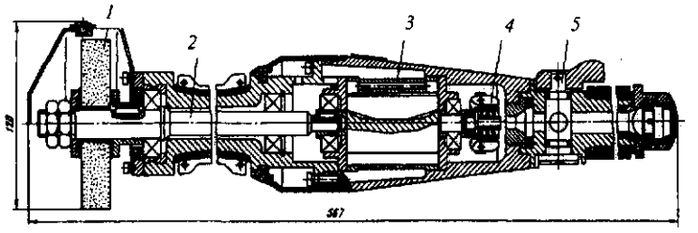


Рис. 25. Шлифовальная машина ИП-2015:
1 – шлифовальный круг; *2* – шпиндель; *3* – пневмодвигатель; *4* – регулятор частоты вращения;
5 – пусковое устройство

7. Электрические сверлильные машины

Модель	Наибольший диаметр сверления по стали, мм	Частота вращения шпинделя под нагрузкой, мин$^{-1}$ на 1-й скорости / на 2-й скорости	Мощность, Вт	Габаритные размеры, мм	Масса без кабеля, кг	Завод-изготовитель
ИЭ-1505БЭ	10	0 ... 16 (0 ... 960)	420	265 × 70 × 175	1,7	ОАО "Конаковский завод механизированного инструмента" (КЗМИ), г. Конаково
ИЭ-1053		0 ... 16 (0 ... 960)		252 × 70 × 169	1,6	
ИЭ-1053Э		0 ... 16 (0 ... 960)		252 × 70 × 169	1,6	
ИЭ-1511БЭ		0 ... 16 (0 ... 960) / 0 ... 34,6 (0 ... 2076)		293 × 70 × 275	1,85	
ИЭ-1211Э		0 ... 16 (0 ... 960) / 0 ... 34,6 (0 ... 2076)		285 × 70 × 168	1,8	
ДРЭ-2Р	10	0,25(0 ... 1500)	450	248 × 70 × 182	1,8	З-д "Диффузион", г. Смоленск
ИЭ-1036Э Саратов-2	10	0 ... 16 (0 ... 950)	350	270 × 70 × 171	2	ОАО "Саратовский электротехнический з-д", г. Саратов
ИЭ-1036Э-01	10	0 ... 16,7 (0 ... 1000)	350		1,5	ОАО "Белорецкий завод механизированного инструмента" (БЗМИ), г. Белорецк
МЭС-280Э-0	10	0 ... 26,7 (0 ... 1600)	280	233 × 67 × 192	1,3	ОАО "ПНППК", г. Пермь
МЭС-280Э-3			300		1,3	
МЭС-300Э						
Кулон 1-420	10	0 ... 16,7(0 ... 1000) / 0 ... 16(0 ... 960) / 0 ... 34,2(0 ... 2050)	420	300 × 70 × 165	1,6	НПО "Кулон", г. Москва
Кулон 11-20				300 × 75 × 165	1,8	

Продолжение табл. 7

Модель	Наибольший диаметр сверления по стали, мм	Частота вращения шпинделя под нагрузкой, мин$^{-1}$ на 1-й скорости / на 2-й скорости	Мощность, Вт	Габаритные размеры, мм	Масса без кабеля, кг	Завод-изготовитель
ИЭ-1505ДЭ	13	0 ... 12,3(0 ... 740)	600	–	1,8	ОАО "КЗМИ", г. Конаково
ИЭ-1511А		0 ... 12,3(0 ... 740) / 0 ... 37,2(0 ... 2236)		–		
ИЭ-1211БЭ		0 ... 18(0 ... 1080) / 0 ... 39(0 ... 2340)	500	285 × 70 × 170		
Саратов 1	13	0 ... 18,7(0 ... 1120)	600	–	–	ОАО "Саратовский электротехнический завод", г. Саратов
ИЭ-1506Э	13	0 ... 17,5(0 ... 1050)	420	–	–	"БЗМИ", г. Белорецк
МЭС-450ЭР	13	0 ... 26,7(0 ... 1600)	450	233 × 68 × 137	1,6	ОАО ПНППК
МЭС-550	13	0 ... 27,5(0 ... 1650)	550	224 × 65 × 194	1,9	г. Пермь
Кулон 11-500	13	0 ... 16,7(0 ... 1000) / 0 ... 16(0 ... 960) / 0 ... 34,2(0 ... 2050)	500	265 × 70 × 165	1,75	НПО "Кулон", г. Москва
Кулон 11-500				300 × 75 × 165	1,85	
Кулон 1-630	13	–	630	280 × 70 × 180	1,8	
ИЭ-1505ДЭ	13	0 ... 13,3(0 ... 804)	600	265 × 64 × 179	1,75	ОАО "КЗМИ", г. Конаково
ИЭ-1506Э	13	0 ... 17,5(0 ... 1050)	420		2,2	ОАО "БЗМИ", г. Белорецк
ИЭ-1049Э	16	0 ... 10(0 ... 600)	450		2,7	

Продолжение табл. 7

Электрические сверлильные машины зарубежных фирм

Модель	Наибольший диаметр сверления по стали, мм	Частота вращения шпинделя под нагрузкой, мин$^{-1}$ на 1-й скорости / на 2-й скорости	Мощность, Вт	Масса, кг	Фирма-изготовитель
GBM1	6,5	2600	320	1,2	BOSCH
GBM1RE	6,5	0 ... 1350	320	1,2	
DE 8 QX/S	8	0 ... 2500	400	1,4	Atlas Copco
Dw 217	8	0 ... 4000*[3]	675	1,2	DeWalt
Dw 160*	10	1200*[3]	350	1,5	
DE 10 RQX/S	10	0 ... 1500	600	1,4	Atlas Copco
DE 10 RQ/S				1,35	
GBM 10	10	1300	420	1,4	BOSCH
GBM 10 SRE		0 ... 1600			
GBM 10 RE*		0 ... 750	400	1,6	
GBM 13-2 RE	13	0 ... 550 / 0 ... 1000	550	1,95	
GBM 13		660	900	2,5	
DE 13 RPQ/S	13	0 ... 520	630	1,5	Atlas Copco
DW 246	13	0 ... 600	701	1,6	DeWALT
SR-16	13	0 ... 750*[3] / 0 ... 1900	600	1,8	HILTI
KP 700 CRE	13	0 ... 3000*[3]	700	–	BLACK & DECKER
GBM 16-2 RE	16	0 ... 380 / 0 ... 880	1050	3,7	BOSCH
GBM 23-2	23	0 ... 280 / 0 ... 640	1150	4,6	
B4-32**	32	115; 160; 190; 260	1050	7,5	

*Угловая. ** С упором в грудь. *[3] На холостом ходу.

Примечание. Напряжение сети 220 В, частота тока 50 Гц.

8. Пневматические сверлильные машины (давление воздуха 0,63 МПа)

Модель	Наибольший диаметр сверления по стали, мм	Частота вращения шпинделя на холостом ходу, с$^{-1}$ без регулирования / с регулированием	Мощность на шпинделе, Вт	Расход воздуха, м^3/мин	Габаритные размеры, мм	Масса , кг	Завод-изготовитель
СМ 11-6-3600	6	(3600)	184	0,6	150 × 45 × 145	0,9	ОАО "Московский завод пневмоинструментов" (МЗПИ)
СМ 21-6-12000	6	(12000)	294	0,8	171 × 55 × 152	1	
СМ 22-8-2300	8	(2300)	330	0,64		0,9	
СМ 21-10-270	10	(270)	294	0,8		1,35	
СМ 21-10-2300	10	(2300)	294	0,8		1,2	
УСМ12-6-3000*	6	50(3000) / 25(1500)	184	0,8	314 × 46 × 68	1	
СМУ21-6500*	6	8,34(500) / 4,17(250)	294	0,8	288 × 55 × 74	1,7	
ИП-1027	10	46,6(2800) / 28,8(1400)	0,38	0,7	180 × 53 × 178	1,1	ОАО "Пневмостроймашина", г. Москва
ИП-1026	13	11,7(700) / 8,7(400)	0,38	0,72	270 × 53 × 178	1,5	

Продолжение табл. 8

Пневматические сверлильные машины зарубежных фирм

Модель	Наибольший диаметр сверления по стали, мм	Частота вращения шпинделя на холостом ходу, $мин^{-1}$	Расход воздуха, $м^3/мин$	Масса, кг	Фирма-изготовитель
D2112	0 ... 6,5	5400	0,6	1	Atlas Copco
–	6	2800	0,52	0,62	BOSCH
D2116	1,5 ... 10	2400	0,6	1	Atlas Copco
D2163*	1,5 ... 10	2000	0,54	1,1	
9020**	10	1400	0,22	1,1	COMARIA
9022**	10	650	0,28	1,47	
–	10	850	0,52	0,67	BOSCH
D2121	2 ... 13	750	0,6	1,4	Atlas Copco
D2148-R	2 ... 13	625	0,63	1,45	

* Угловая. ** Реверсивная.

9. Пневматические шлифовальные машины
(давление воздуха 0,63 МПа)

Модель	Диаметр абразивного круга, мм	Частота вращения шпинделя на холостом ходу, $мин^{-1}$	Мощность на шпинделе, кВт	Расход воздуха, $м^3/мин$	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	Завод-изготовитель
ПМЗ-01-17000*	30	17000	0,075	0,2	185 × 31 × 50	1,2	ОАО "МЗПИ", г. Москва
ПМЗ-31-250*	38	15000	0,368	0,9	325 × 55 × 65	1,5	
ИП-2020**	63	15180	0,5	1,64	305 × 71 × 67	1,4	ОАО "КЗМИ", г. Конаково
ИП-2014Б**	150	5100	1,6	1,48	590 × 164 × 130	4,2	
ИП-2106А***	180	7000 ... 8500	1,2	1,5	350 × 200 × 140	3,25	
ИП-2015	150	7600	0,73	1,2	567 × 120 × 100	3,5	
–	40	21000	–	0,52	200 × 48	0,58	BOSCH
–	–	–	–	0,75	320 × 54	1,1	

*Радиальная пистолетного типа. **Радиальная. ***Угловая.

10. Высокоскоростные пневматические шлифовальные машины
(давление воздуха 0,63 МПа)

Модель	Диаметр абразивного круга	Частота вращения шпинделя на холостом ходу, $мин^{-1}$	Мощность на шпинделе, кВт	Расход воздуха, $м^3$/мин	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	Завод-изготовитель
ВПМШ 0.04.01	2	500000	0,04	0,07	140 × 18	0,055	Смешанное товарищество "Контакт", г. Комсомольск на Амуре
ВПМШ 0.15.01	4	230000	0,15	0,14	175 × 38	0,250	
ВПМШ 0.35.01	15	110000	0,35	0,36	260 × 48	0,650	

11. Электрические шлифовальные угловые машины

Модель	Шлифовальный (отрезной) круг, мм	Частота вращения круга на холостом ходу, $с_1$ ($мин^{-1}$), при номинальной мощности	Мощность на шпинделе, кВт	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	Завод-изготовитель
МШУ-0,6-115	115	183(11000) –	0,6	280 × 127 × 96	2,5	АО "Лепси", г. Киров
МШУ-1,6-230	230	65(3900) 26,6(1600)	1,6	530 × 325 × 165	6,5	
Е-252	230	108(6500) 66,7(4000)	1,8	424 × 106 × 134	4,2	Ижевский механический завод
ИЭ-2115	230	110(6600) -(440)	2,0	486 × 240 × 175	5	ОАО "КЗМИ", г. Конаково

Продолжение табл. 11

Электрические шлифовальные угловые машины зарубежных фирм

Модель	Шлифовальный (отрезной) круг, мм	Частота вращения шпинделя на холостом ходу, $мин^{-1}$, при номинальной мощности	Мощность, кВт	Масса, кг	Фирма-изготовитель
AG 715-115 X	115	10000	0,710	1,6	Atlas Copco
GWS 6-115		11000	0,670	1,4	BOSCH
DW 818		10000	0,800	1,7	DeWALT
AG 1200-125 X	125	11000	1,200	2	Atlas Copco
GWS 10-125 C		11000	1,020	1,6	BOSCH
DW824		10000	0,640	1,8	DEWALT
WS-125		11000	0,900	1.9	HILTI
AG 1500-180 XC	180	7300	1,500	2,0	Atlas Copco
GWS 20-180		8500	2,000	4,2	BOSCH
DW840		8000	1,800	3,2	DEWALT
WS-180		8500	2,000	4,2	HILTI
WSBA 2300	230	6600	2,300	4,8	Atlas Copco
GWS 23-230		6500	2,300	4,9	BOSCH
DW 852		6300	2,200	4,7	DEWALT

Примечание. Напряжение сети 220 В, частота тока 50 Гц.

Пневматические шлифовальные машины (рис. 25, табл. 9) используют для зачистки чугунных и стальных отливок, сварных швов, шлифования и полирования различных поверхностей периферией шлифовального круга. В качестве инструмента применяют шлифовальные круги с допустимой скоростью вращения не менее 40 м/с.

Высокоскоростные пневматические шлифовальные машины применяют при изготовлении штампов и пресс-форм, доводке высокоточной технологической оснастки, лекальных работах, заточке мелкого инструмента. Высокая частота вращения шпинделя машины 100000 ... 500000 мин$^{-1}$ обеспечивает оптимальные условия резания как для лезвийного, так и абразивного инструмента. Технические характеристики машин приведены в табл. 10.

Электрические шлифовальные угловые машины предназначены для резки металлоконструкций и выполнения шлифовальных работ. Машины работают отрезными (шлифовальными) кругами с рабочей скоростью не менее 80 м/с. Технические характеристики машин приведены в табл. 11.

Аналогичную машину с пневматическим приводом ИП-2106А выпускает ОАО КЗМИ, ее технические характеристики: диаметр круга 180 мм, номинальная мощность 1,2 кВт; давление сжатого воздуха 0,63 МПа, удельный расход сжатого воздуха 1,5 м^3/мин-кВт; частота вращения шпинделя на холостом ходу 7000 ... 8000 мин$^{-1}$; габаритные размеры 350 × × 200 × 140 мм; масса 3,25 кг.

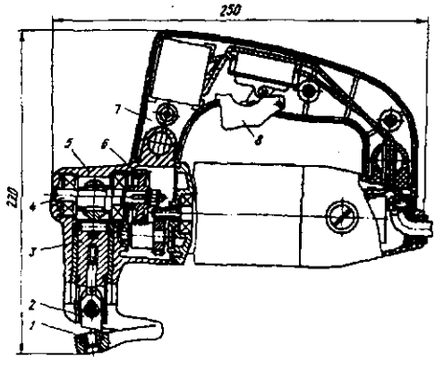


Рис. 26. Ножницы ИЭ-5404:
1 – неподвижный нож; *2* – подвижный нож; *3* – ползун; *4* – эксцентрик; *5* – корпус; *6* – редуктор; *7* – рукоятка; *8* – курок

Ножницы применяют для прямолинейной и фасонной резки листового материала из стали и сплавов цветных металлов с временным сопротивлением $\sigma_в$ до 400 МПа и толщиной листа до 2,8мм. Выпускают ножевые и вырубные ножницы.

Резка металла *ножевыми ножницами* (рис. 26) осуществляется перемещением верхнего подвижного ножа *2* относительно нижнего неподвижного *1*, закрепленного на скобе. Возвратно-поступательное движение подвижный нож получает от ползуна *3*, который приводится в движение эксцентриком *4*.

Режущими элементами у *вырубных ножниц* является пуансон и матрица. В процессе обработки материал заготовки последовательно просекается пуансоном. Такие ножницы позволяют резать металл по более сложному контуру, вырезать фигурные отверстия внутри листа. Они не деформируют заготовку. Технические характеристики ножниц приведены в табл. 12 и 13.

Резьбонарезная пневматическая машина ИП-3405 (рис. 27) предназначена для нарезания резьбы в стали. От вала ротора пневмодвигателя *5* через планетарный редуктор *4* и механизм реверса *2* вращение передается на шпиндель *1*. При осевом нажатии в процессе резьбонарезания шпиндель перемещается назад и зацепляется с кулачками шестерни правого вращения *3*. При снятии осевого усилия шпиндель под действием пружины *7* перемещается в исходное положение, зацепляется с центральной шестерней *6* и получает ускоренное вращение для вывинчивания метчика из нарезанного отверстия.

Техническая характеристика машины: диаметр нарезаемой резьбы 12 мм; частота вращения шпинделя, с$^{-1}$, при вращении правом 5,8, левом 11,1; мощность на шпинделе 0,4 кВт; расход сжатого воздуха 0,75 м^3/мин; давление сжатого воздуха 0,63 МПа; габаритные размеры 280 × 53 × 178 мм; масса 1,8 кг. Машину изготовляет Московский завод "Пневмостроймашина".

12. Электрические ножевые ножницы

Модель	Толщина разрезаемого стального листа, мм	Число двойных ходов в минуту	Потребляемая мощность, кВт	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	Завод-изготовитель
ИЭ-5410	2	1700	0,420	245 × 69 × 235	2,5	ОАО "КЗМИ", г. Конаково
ИЭ-5404	1,6	1800	0,230	250 × 80 × 220	3,0	
НРЭН 520-2,8	2,8	2760	0,520	270 × 96 × 150	2,8	АО "Лепси 2", г. Киров
ИЭ-5412	2,5	–	–	250 × 70 × 235	3,0	ОАО "СЭЗ", г. Саратов
KS 2,5	2,5	1600	0,500	–	1,9	Atlas Copco
GSC 16	1,6	2200	0,350	289 × 140	1,9	BOSCH
GSC 2,8	2,8	2400	0,500	292 × 205	2,7	
GSC 3,5	3,5	1320	0,900	340 × 290	4,7	
GNA 16*	1,6	2200	0,350	289 × 142	1,7	
CNA 2,0*	2,0	2400	0,500	275 × 127	2,0	

*Вырубные.

Примечание. Напряжение сети 220 В, частота тока 50 Гц.

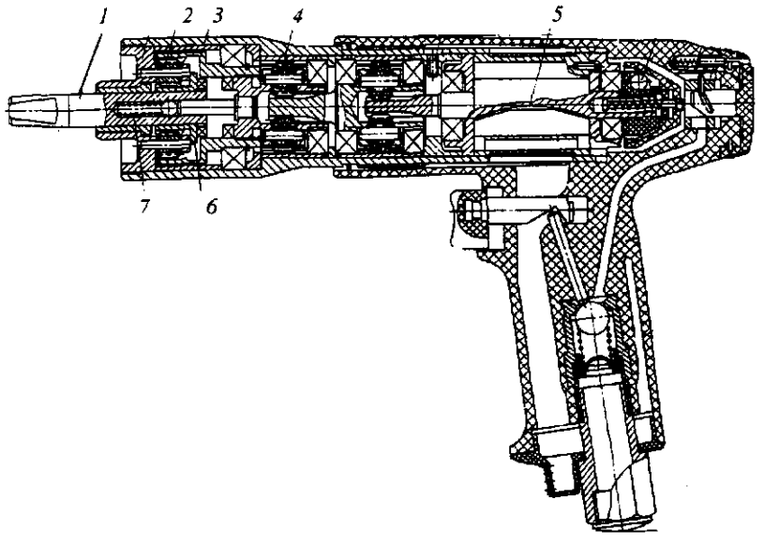


Рис. 27. Резьбонарезная пневматическая машина ИП-3405:
1 – шпиндель; *2* – механизм реверса; *3* – шестерня правого вращения; *4* – планетарный редуктор; *5* – пневмодвигатель; *6* – центральная шестерня; *7* – пружина

13. Пневматические ножевые ножницы
(давление воздуха 0,63 МПа)

Модель	Толщина разрезаемого стального листа, мм	Число двойных ходов в минуту	Расход сжатого воздуха, $м^3$/мин	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	Завод-изготовитель
ИП-5405	2,0	1700	0,31	230 × 70 × 160	1,8	ОАО "КЗМИ", г. Конаково
ИП-5401А*	2,3	2000	0,80	218 × 56 × 202	3,2	
–	2,5	1900	0,72	262 × 204	2,15	BOSCH
–	2,0*	1900	0,72	259 × 126	1,56	BOSCH

*Вырубные

Инструмент для сборки резьбовых соединений

Для механизации сборки резьбовых соединенный применяют ручные *одношпиндельные резьбозавертывающие машины*: гайко- шпилько- и винтоверты. Их выпускают с пневматическими ротационными, электрическими *высокочастотными двигателями* и *однофазными* коллекторными двигателями нормальной частоты.

По принципу работы их подразделяют на

машины вращательного действия, частоударные и редкоударные. *Ударные гайковерты* выполняют в виде ручных машин. Они обладают высокой производительностью, требуется меньшая мощность, чем для гайковертов вращательного действия, более легкие. Реактивный момент в процессе работы ударных гайковертов практически отсутствует. Это позволяет использовать их при значительных моментах затяжки. Срок службы ударных гайковертов меньше, чем у гайковертов вращательного действия, выше уровень шума и вибрации.

Редкоударные гайковерты имеют меньшую на 20 ... 40 % массу по сравнению с частоударными, более высокий в 2 ... 5 раз КПД, для них требуются двигатели меньшей мощности (на 15 ... 35 %).

Частоударные гайковерты совершают 16 ... 40 ударов в секунду, редкоударные – до трех ударов в секунду. Процесс затяжки частоударными гайковертами осуществляется за 110 ... 200 ударов, редкоударными за 4 ... 15 ударов энергией большого удара постоянной величины. Энергия частоударных гайковертов меняется от удара к удару, у редкоударных остается постоянной по величине, что позволяет вести сборку ответственных резьбовых соединений.

Технические характеристики пневматических гайковертов ударного действия приведены в табл. 14. На рис. 28 показана конструкция гайковерта. В табл. 15 даны технические характеристики электрических винтовертов с рукоятками пистолетного типа для сборки резьб размеров 6 ... 8 мм.

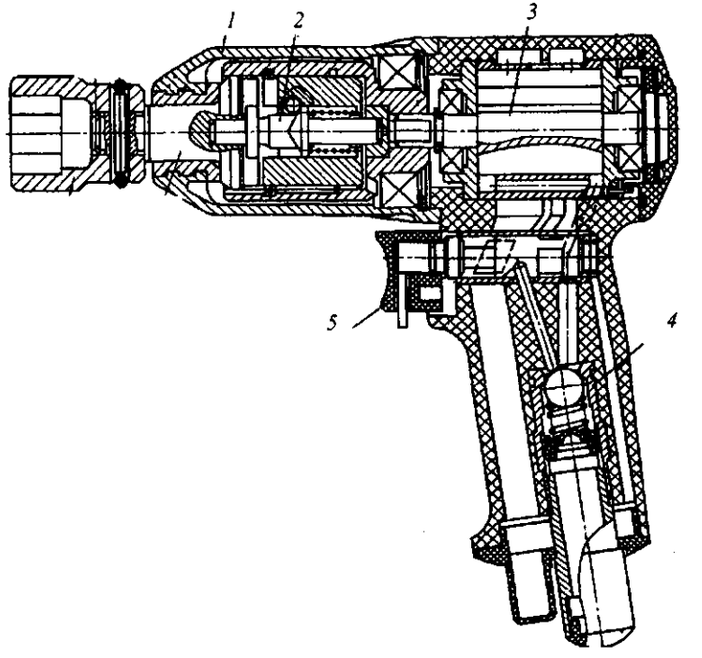


Рис. 28. Пневматический гайковерт:
1 – корпус; *2* – ударно-вращательный механизм; *3* – ротационный пневмодвигатель; *4* – пусковое устройство; *5* – курок с переключателем реверса.

14. Пневматические резьбозавертывающие машины (гайковерты)
(давление воздуха 0,63 МПа)

Модель	Максимальный диаметр затягиваемой резьбы, мм	Момент затяжки, Н·м	Время затяжки, с	Расход сжатого воздуха, м³/мин	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	Завод-изготовитель
РЗМП22-8-160	8,0	–	–	1,0	–	1,8	ОАО "МЗПИ", г. Москва
ИП-3127	16	160	3	0,6	184 × 59 × 183	1,88	ОАО Московский з-д "Пневмостроймашина"
ИП-3131	18	250	5	0,6	207 × 54 × 183	2,1	
ИП-3125А	18	275	5	0,7	220 × 72 × 202	2,7	
ИП-3126	20	405	5	0,77	234 × 78 × 210	3,4	
ИП-3124-1	24	800	5	0,9	270 × 107 × 225	5,4	

15. Электрические резьбозавертывающие машины* (винтоверты)

Модель	Максимальный диаметр затягиваемой резьбы, мм	Момент затяжки, Н·м	Частота вращения шпинделя на холостом ходу, с⁻¹ (мин⁻¹)	Мощность, Вт	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	Завод-изготовитель
ИЭ-3604АЭ	6,0	10	0 ... 20,5 (0 ... 1230)	270	330 × 69 × 169	1,85	ОАО "КЗМИ" г. Конаково
ШРЭ-11-500	8,0	–	0 ... 17 (0 ... 1020)	500	330 × 70 × 165	1,8	НПО "Кулон", г. Москва

*Напряжение сети 220 В, частота тока 50 Гц.

Московским заводом "Пневмоинструмент" выпускается винтоверт цилиндрической формы с техническими характеристикам: диаметр затягиваемого винта 4 мм; мощность на шпинделе 75 Вт; частота вращения шпинделя на холостом ходу 600 мин⁻¹; расход сжатого воздуха 0,2 м³/мин; габаритные размеры 210 × 81 × 50 мм; масса 0,37 кг.

В массовом и крупносерийном производствах применяют многошпиндельные гайковерты, которые компонуют из нормализованных резьбозавертывающих силовых головок, снабженных встроенными пневматическими или электрическими двигателями. Для крепления в корпусе головки имеют присоединительные фланцы и посадочные диаметры. Точность затяжки многошпиндельными гайковертами составляет 12 ... 15 %. Такие многошпиндельные головки заводы автомобильной промышленности изготовляют собственными силами.

Для сборки более крупных резьбовых соединений применяют редкоударные гайковерты, выпускаемые Свердловским заводом "Пневмостроймашина". Технические характеристики гайковерта модели ИП-3129: диаметр затягиваемой резьбы 22 ... 45 мм; момент затяжки 3500 Н·м.; время затяжки 8 с; расход сжатого воздуха 1,6 м³/мин; давление сжатого воздуха 0,63 МПа; масса 12,5 кг. Заводом разработаны аналогичные конструкции более мощных гайковертов для сборки резьб диаметром 48 ... 80 мм.

Инструмент для сборки клепаных соединений

Для механизации сборки клепаных соединений в машиностроении применяют клепальные молотки, ручные пневмогидравлические прессы. При клепке пневматическими молотками заклепка со стороны, противоположной удару, должна упираться в массивную подставку.

Технические характеристики пневматических клепальных молотков приведены в табл. 16.

На Московском заводе "Пневмоинструмент" выпускают ручной пневмогидравлический пресс модели 1СПГ-5 для сборки соединений заклепками с сердечниками из алюминиевых сплавов. Технические характеристики пресса: максимальный диаметр заклепки 5 мм; сила на штоке 7 кН; ход штока 25 мм; габаритные размеры 235 × 80 × 348 мм, масса 1,8 кг.

Для зачистки торцев сердечников заклепок в процессе сборки клепаных соединений применяют пневматические фрезерные машины. Рабочим органом машины является однозубая фреза, вылет которой регулируется специальными винтами. Технические характеристики фрезерных машин приведены в табл. 17.

16. Пневматические клепальные молотки
(давление воздуха 0,63 МПа)

Модель	Наибольший диаметр стальной заклепки, мм	Энергия единичного удара, Дж	Частота ударов, Гц	Расход сжатого воздуха, м³/мин	Масса, кг	Завод-изготовитель
КМП-14МЦ	4	2,5	42	0,3	1,3	ОАО "МЗПИ", г. Москва
КМП-24МЦ	5	5,0	37	0,45	1,6	
КМП-16	6	5,0	45	0,3	1,05	
КМП-32	6	10	23	0,65	2,3	
КМП-42	8	12,7	19	0,75	3,3	

17. Пневматические фрезерные машины
(давление воздуха 0,63 МПа)

Модель	Наибольший диаметр обрабатываемой зоны, мм	Мощность, Вт	Расход воздуха, м³/мин	Масса, кг	Завод-изготовитель
ФМ-1	13	184	0,6	1,8	ОАО "МЗПИ", г. Москва
ЗМ-1	18	294	0,9	2,5	
ОМ-3	4,0	184	0,6	1,3	

СБОРОЧНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Назначение и типы сборочных приспособлений. Сборочные приспособления используют при узловой и общей сборке изделий. Они являются простыми, доступными и эффективными средствами механизации ручной сборки, а также необходимыми дополнительными устройствами обычного и автоматизированного сборочного оборудования.

Сборочные приспособления обеспечивают быструю установку и закрепление сопрягаемых элементов изделия. По степени специализации их подразделяют на универсальные и специальные.

Универсальные приспособления применяют в единичном и мелкосерийном производстве. К ним относят плиты, сборочные балки, призмы и угольники, струбцины, домкраты и различные вспомогательные детали и устройства (подкладки, клинья, винтовые прихваты).

Плиты и балки служат для установки, выверки и закрепления собираемых машин или их узлов. Плиты и балки изготовляют из чугуна; на их обработанной поверхности выполняют Т-образные пазы. Плиты и балки устанавливают на фундамент на 50 – 100 мм выше пола и тщательно выверяют по уровню.

Призмы и угольники служат для установки и закрепления узлов или базовых деталей собираемых машин. Домкраты служат для выверки и поддержки громоздких и тяжелых деталей и узлов.

Специальные приспособления применяют в крупносерийном и массовом производстве для выполнения определенных сборочных операций. По назначению их разбивают на два основных типа.

К первому типу *относят приспособления для неподвижной установки и закрепления базовых деталей и узлов собираемого изделия.* Приспособления этого типа облегчают сборку и повышают производительность труда, так как рабочие освобождаются от необходимости удерживать объект сборки руками.

На рис. 29 показано приспособление первого типа для крепления корпусной детали

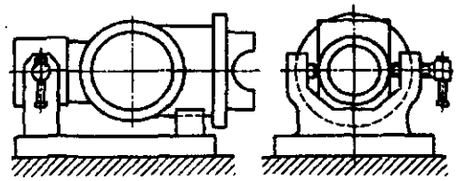


Рис. 29. Приспособление для крепления корпусной детали узла

узла. К приспособлениям данного типа обычно не предъявляют требований точной установки закрепляемых деталей; сила закрепления должна быть достаточной для предотвращения смещения детали от действия сил и моментов, возникающих при выполнении сборочных операций.

Для удобства и повышения производительности труда сборщиков *приспособления часто выполняют поворотными.* На рис. 30 показано приспособление с вертикальной осью поворота для сборки коробки передач, картер *1* которой закрепляется на опорах зажимом *2*.

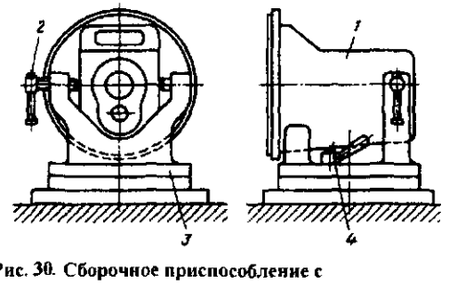


Рис. 30. Сборочное приспособление с вертикальной осью поворота

После поворота на требуемый угол верхнюю часть *3* фиксируют и закрепляют зажимом *4*.

Приспособления для крепления базовых деталей и узлов могут быть одно- и многоместными. *Одноместные приспособления* служат для закрепления одного собираемого изделия (см. рис. 29 и 30). При использовании многоместных приспособлений производительность труда сборщиков повышается в результате сокращения вспомогательного времени на одновременную установку и съем нескольких изделий.

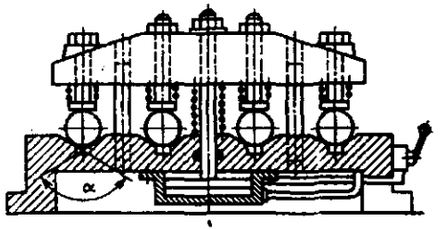


Рис. 31. Приспособление с пневматическим зажимом

Работу на многоместном приспособлении ведут по принципу последовательной или параллельной концентрации технологических переходов. Последний случай имеет место при одновременной затяжке резьбовых соединений на всех закрепленных в приспособлении изделиях с помощью многошпиндельного гайковерта.

Многоместные приспособления должны обеспечивать равномерное и быстрое закрепление всех деталей. Приспособление с пневматическим зажимом (рис. 31) удовлетворяет этому требованию.

Приспособления данного типа могут быть стационарными и передвижными. Стационарные приспособления устанавливают на верстаках или сборочных стендах, передвижные - на тележках или плитах конвейеров. При автоматической сборке эти приспособления (*приспособления-спутники*) должны обеспечивать точную установку фазовых деталей. В них должно быть предусмотрено устройство для съема готового изделия в конце сборки.

Ко второму типу специальных сборочных приспособлений относят *приспособления для точной и быстрой установки соединяемых частей изделия.* При использовании таких приспособлений сборщик не производит выверки

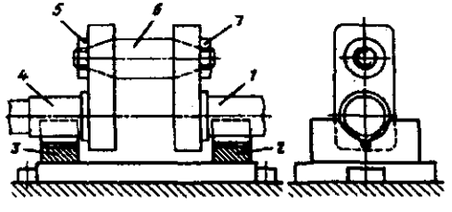


Рис. 32. Приспособление для сборки составного коленчатого вала

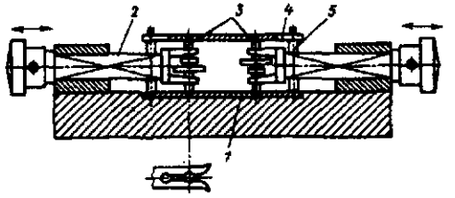


Рис. 33. Приспособление для сборки зубчатого механизма прибора

взаимного положения сопрягаемых деталей, так как оно обеспечивается автоматически доведением их баз до соприкосновения с опорами и направляющими элементами приспособления.

Такие приспособления применяют для сварки, пайки, клепки, склеивания, развальцовки, посадки с натягом, резьбовых и других сборочных соединений. Они обеспечивают значительное повышение производительности и необходимы при автоматизации сборочного процесса.

На рис. 32 показано приспособление для сборки составного коленчатого вала, обеспечивающее соосность его коренных шеек *1* и *4*. Их установка и закрепление в центрирующих призмах *2* и *3* производится перед затяжкой гаек *5* и *7* мотылевой шейки *6*.

На рис. 33 представлена схема приспособления для сборки зубчатой передачи прибора. В отверстия закрепленной в приспособлении нижней пластинки *1* вводят поддерживаемые пружинными вилками ползунов *2* валики *3* собираемой передачи. После наложения и закрепления верхней пластины *4* на распорках *5* ползуны отводят назад в направлениях, указанных стрелками.

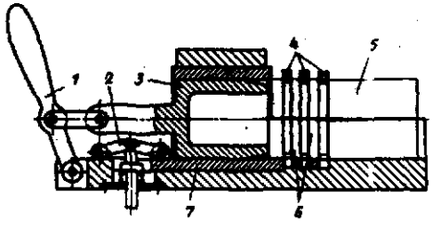


Рис. 34. Приспособление для надевания колец на поршень

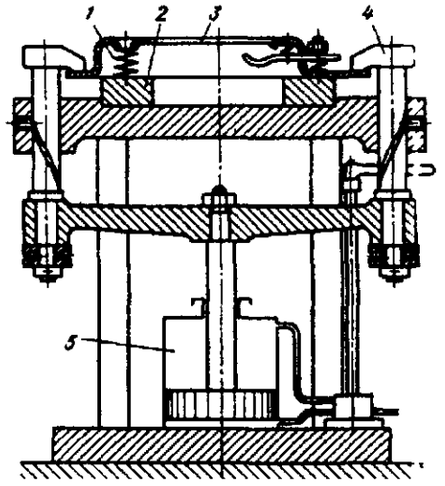


Рис. 35. Приспособление для сборки муфты сцепления

Приспособления этого типа могут быть одно- и многоместными, стационарными и подвижными. Подвижные приспособления применяют при большой программе выпуска мелких и средних изделий в условиях конвейерной сборки. Они характерны, в частности, для сборки методом пайки и склеивания.

Наряду со сборочными приспособлениями описанных типов в машиностроении используют *приспособления для предварительного деформирования собираемых упругих элементов* (пружин, рессор, разрезных колец и т. д.), а также для выполнения соединений с натягом, когда при сборке необходимо приложение больших сил. Приспособления этого типа облегчают труд сборщиков, повышают производительность. Приводят их в действие вручную, используя усилители (рычажные, винтовые, комбинированные) или силовые узлы (пневмо-, гидро- или электроприводы).

На рис. 34 показано приспособление для надевания поршневых колец на поршень. Кольца *4* закладывают замками вниз между подвижными полукольцами *6*. Конусную оправку *3* рычагом *1* вводят в кольца и разжимают их до размера, необходимого для свободного введения поршня. Нажимая на педаль,

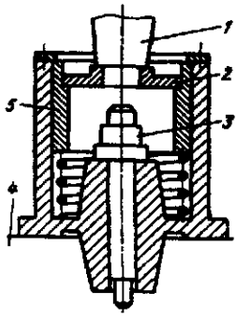


Рис. 36. Приспособление для запрессовки диска на вал

рабочий через шарнирную систему *2* и ползун *7* сжимает полукольца и кольца, удерживая последние в разведенном состоянии после отвода оправки *3* влево. После установки поршня *5* педаль освобождается, и кольца садятся в свои канавки.

В качестве примера приспособления, приводимого в действие от пневматического устройства, на рис. 35 показано приспособление для сборки муфты сцепления автомобильного двигателя. При сборке необходимо предварительно сжать пружины *1*, находящиеся между нажимным диском *2* и кожухом *3*. Это достигается осадкой кожуха четырьмя Г-образными прихватами *4*, связанными с пневматической системой *5*. Затем завертывают гайки. После поднятия прихватов собранную муфту вынимают из приспособления.

На рис. 36 показано приспособление для устранения перекоса при запрессовке тонкого диска *2* на вал *3*. Направление диска осуществляется гильзой *5*. Приспособление устанавливают на стол *4* пресса, а запрессовка производится ползуном *1* до упора.

Элементы сборочных приспособлений. Специальные сборочные приспособления состоят из корпуса и смонтированных на его основе установочных элементов и зажимных устройств.

Назначение *установочных элементов* то же, что и в станочных и контрольных приспособлениях, т. е. обеспечивать требуемое положение деталей и частей изделия без выверки. В качестве установочных элементов применяют стандартные или специальные детали в зависимости от вида используемых технологических баз. Так как в качестве последних служат окончательно обработанные поверхности деталей собираемого изделия, то установочные элементы приспособления должны иметь достаточные опорные поверхности (постоянные опоры с плоской головкой, опорные пластины, широкие призмы, пальцы и другие элементы).

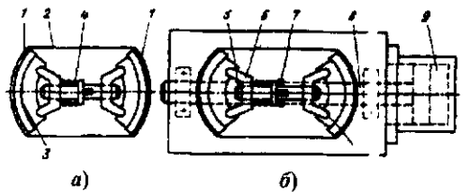


Рис. 37. Приспособление для приклеивания накладок на тормозные колодки

В приспособлениях для крепления базовых деталей установочные элементы часто облицовывают твердой резиной или пластмассами, чтобы предупредить порчу поверхностей этих деталей.

Зажимными устройствами фиксируют полученное при установке положение собираемых деталей и обеспечивают их устойчивость в процессе выполнения сборочной операции. Зажимные устройства предупреждают смещение собираемого изделия под влиянием сил, возникающих при выполнении соединений. Вместе с тем они не должны деформировать детали изделия или портить их поверхности. Это обеспечивается использованием мягких вставок в зажимных элементах.

В сборочных приспособлениях применяют те же зажимные механизмы, что и в станочных приспособлениях. Если рабочая зона приспособления ограничена необходимостью подачи сопрягаемых деталей по сложным траекториям, зажимное устройство должно быть по возможности малогабаритным и должно быть расположено так, чтобы не затруднять сборку. Этому требованию удовлетворяют низко расположенные прихваты и Г-образные прижимы.

Для сокращения вспомогательного времени привод зажимных устройств осуществляют от силовых узлов – пневмо- или гидроцилиндров. При использовании гидроцилиндров получается более компактная конструкция сборочного приспособления.

Непосредственное закрепление пазовых деталей собираемого узла на магнитной (электромагнитной) плите недопустимо из-за возможности его намагничивания. Для небольших сил закрепления весьма удобны и быстродействены вакуумные зажимные устройства, а для больших сил – пружинные. Последние часто применяют в приспособлениях для пайки и склеивания деталей. Они не препятствуют тепловому расширению деталей при нагреве и их сжатию при охлаждении. В качестве материала пружин используют сплавы на основе Co – Ni –Cr – W – Mo, выдерживающие высокую температуру нагрева (до 400 °С) без заметного снижения механических свойств.

Пружинные зажимы применяют на стационарных приспособлениях и на приспособлениях-спутниках. На рис. 37, *а* показано транспортируемое приспособление с прижимом приклеиваемых фрикционных накладок *1* к тормозным колодкам *3* посредством пружины *4* и охватывающей гибкой металлической или тканевой ленты *2*. Надевание и съем этой ленты производится с помощью стационарного устройства (рис. 37, *б*). При подаче сжатого воздуха в цилиндр *9* происходит сжатие пружины вилкой *7* на штоке *8*; левая вилка 6 упирается при этом в неподвижные штыри *5*.

Для определения сил закрепления необходимо знать условия выполнения сборочных процессов. Так, при склеивании (клеем БФ-2 и др.) необходимо прижатие соединяемых деталей давлением 15 … 20 МПа. При пайке силу прижатия устанавливают из условия прочной фиксации собираемых деталей.

При выполнении резьбовых соединений базовая деталь изделия воспринимает реактивный момент от затяжки этих соединений, поэтому их необходимо прочно удерживать от провертывания. Если используется многошпиндельное винтозавертывающее устройство, реактивный момент воспринимается деталью и корпусом устройства. Зная внешнюю силу или момент, схему установки и закрепления собираемого изделия, а также реакции опор, можно найти необходимую силу закрепления.

Расчет сил закрепления сводится к задаче статики на равновесие изделия под действием приложенных к нему внешних сил. Найденная сила закрепления должна быть меньше или

равна предварительно определенной из условий допустимой деформации базовой детали изделия. В связи с этим выбор мест приложения сил закрепления имеет большое значение. Силы закрепления необходимо передавать через закрепляемые детали на жесткие опоры приспособления, избегая деформаций изгиба и скручивания.

При расчете сил закрепления учитывают наибольшие значения сдвигающих сил и моментов, а также коэффициент запаса k. Его величину берут в пределах 1,5 – 2,5 в зависимости от схемы установки и закрепления. При установке базовой детали на достаточно большие участки чисто обработанной поверхности коэффициент трения берут 0,16.

К *вспомогательным устройствам сборочных приспособлений* относят поворотные и делительные механизмы, фиксаторы, выталкиватели и другие элементы. Их функциональное назначение и конструктивное оформление такие же, как и у станочных приспособлений.

При конструировании поворотных приспособлений с горизонтальной осью вращения центр тяжести изделия по мере присоединения к нему деталей может изменять свое положение. Положение оси следует выбирать так, чтобы момент поворота был наименьшим, а сумма работ на вращение поворотной части приспособления по всем переходам сборки была минимальной.

Специфика конструирования специальных сборочных приспособлений. Исходными данными при конструировании являются чертеж изделия, технические условия на приемку изделия, технологический процесс сборки, который определяет последовательность и содержание операций, принятое базирование, оборудование и инструменты, режимы работы, а также заданную производительность с учетом времени на установку, закрепление и снятие собранного изделия.

Конструирование приспособления начинают с уточнения схемы установки базовой и сопрягаемых деталей изделия. Затем определяют тип, размер, число и взаимное расположение установочных элементов. Зная силы, возникающие в процессе сборки, устанавливают место приложения и величину сил для закрепления базовых деталей. Исходя из этого, а также учитывая заданную производительность, конфигурацию и точность изделия, выбирают размер и конструкцию зажимного устройства.

Далее выявляют элементы для направления собираемых деталей, устанавливают необходимые вспомогательные устройства, оформляют конструкцию корпуса приспособления. При этом используют имеющиеся нормали и стандарты.

При конструировании сборочных приспособлений необходимо учитывать базирование сопрягаемых деталей. В зависимости от требуемой точности их взаимного положения при сборке и в готовом изделии назначают допуски на размеры установочных и направляющих деталей сборочного приспособления на основании анализа размерной цепи данной технологической системы.

Особое внимание должно уделяться конструированию приспособлений для автоматической сборки, так как для них необходима высокая надежность работы. При сильном закреплении сопрягаемых деталей необходимо учитывать возможные деформации и их влияние на точность сборки.

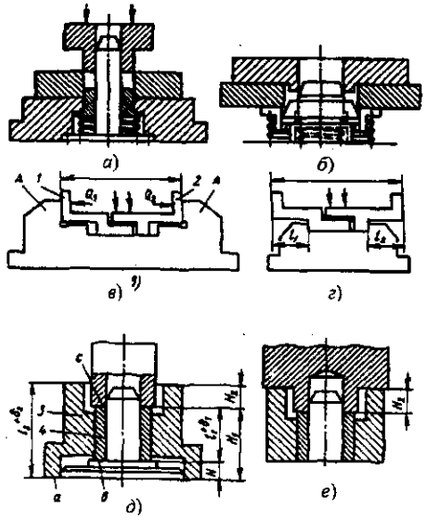


Рис. 38. Схемы к расчету точности сборки в приспособлениях

К приспособлениям для сборки, при которой *детали изделия подвергаются нагреву* (сварка различных видов, пайка, склеивание при использовании клеев горячего отверждения), предъявляются дополнительные требования, приведенные ниже.

Точность сборки зависит от вида сопряжения деталей, точности их изготовления, метода базирования при сборке, а также от точности сборочного приспособления. Наибольшая точность обеспечивается при сборке сопрягаемых деталей по центрирующим поверхностям без зазора. В этом случае приспособление не влияет на точность сопряжения деталей по их концентричности (рис. 38, *а*).

При неподвижных сопряжениях деталей, ориентируемых при сборке по центрирующим элементам с гарантированным зазором, их наибольшее смещение в боковом направлении от среднего положения равно максимальному радиальному зазору. Применяя конические или разжимные направляющие элементы приспособления (рис. 38, *б*), можно это смещение перед окончательным скреплением деталей свести к минимуму.

При подвижном соединении точность взаимного положения деталей не зависит от точности приспособления, а определяется точностью изготовления самих деталей. Взаимное положение осей механизма зависит от точности расположения отверстий в пластинах и от зазоров между цапфами и отверстиями (см. рис. 33).

При отсутствии центрирующих элементов сборку изделия ведут, совмещая технологические базы сопрягаемых деталей с измерительными, от которых производится измерение заданного размера.

На рис. 38, *в* у соединяемых деталей *1* и *2* *технологическими базами, которыми они* контактируют с установочными элементами *А* сборочного приспособления, являются вертикальные площадки. После выполнения соединения (стык показан жирной линией) выдерживаемый размер x проверяют по тем же площадкам. В результате совмещения технологических и измерительных баз точность сборки будет наибольшая, так как погрешность базирования при этом равна нулю. Размер x может изменяться лишь вследствие износа установочных элементов приспособления.

На рис. 38, *г* показана схема сборочного приспособления, где технологические базы деталей не совмещены с измерительными. В этом случае выдерживаемый размер x выполняется с погрешностью базирования, равной сумме допусков на размеры l_1 и l_2 сопрягаемых деталей.

На рис. 38, *д* показано приспособление для запрессовки втулки *4* в корпус *3*. При сборке выдерживается размер H. Поверхность *а* и поверхность *b* втулки являются технологическими и измерительными базами. Условие совмещения баз при этом выполняется, и погрешность базирования для размера H равна нулю. Если при сборке выдерживается размер H_1, то условие совмещения баз выполняется только для детали *3*. Для детали *4* оно не выполняется (поверхность *b* – технологическая база, а поверхность *с* – измерительная), поэтому по отношению к размеру H_1 возникает погрешность базирования, численно равная допуску на длину втулки T_1.

При выполнении размера H_2 условие совмещения баз не выдерживается для обеих сопрягаемых деталей. Возникает погрешность базирования для размера H_2, численно равная $T_1 + T_2$, где T_2 – допуск на размер l_2 корпуса.

Изменив схему приспособления (рис. 38, *е*) и применив ступенчатый наконечник прессующего устройства, можно привести погрешность базирования для размера H_2 к нулю при условии, что по нижнему торцу втулки предусмотрен зазор.

Из рассмотренных примеров видно, что погрешность базирования в сборочных приспособлениях может достигать бо́льших значений, чем при механической обработке.

Если при сборке обе сопрягаемые детали закрепляются силами Q_1 и Q_2 (рис. 38, *в*), то погрешность закрепления

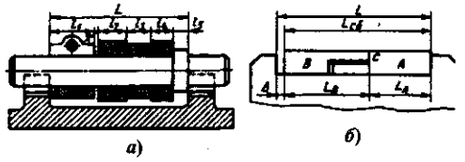
$$\varepsilon_3 = \sqrt{\varepsilon_{31}^2 + \varepsilon_{32}^2},$$

где ε_{31} и ε_{32} - погрешности закрепления от сил Q_1 и Q_2.

В данном случае увеличивается также погрешность закрепления по сравнению с погрешностью установки заготовки в станочных приспособлениях.

При сборке более сложных узлов с большим числом деталей точность выдерживаемого размера может быть определена на основании расчета соответствующей размерной цепи.

При *расчете размерной цепи* по максимуму и минимуму (метод полной взаимозаменяемости) допуск на выдерживаемый размер x (рис. 39, *а*)



а) *б)*

Рис. 39. Схемы размерных цепей сборочных приспособлений

$$T_x = T + \sum_{i=1}^{n} T_i,$$

где T – допуск на размер L приспособления; $\sum_{i=1}^{n} T_i$ – сумма допусков на размеры $l_1, l_2, \ldots, l_n$ деталей.

Эта формула справедлива для случая, когда сборка осуществляется с использованием нескольких приспособлений (дублеров) или приспособлений-спутников на автоматической линии. Если сборку выполняют в одном приспособлении, величину T учитывать не следует; при большой программе выпуска изделий под величиной T нужно понимать допуск на износ установочных элементов приспособлений.

Из этого выражения можно найти допуск T на размер приспособления, зная допуски на размеры сопрягаемых деталей, и допуск T_x на выдерживаемый размер:

$$T = T_x - \sum_{i=1}^{n} T_i.$$

При расчете размерной цепи по методу неполной взаимозаменяемости допуск на выдерживаемый размер x можно определить по формуле

$$T_x = t\sqrt{\lambda_1 T_1^2 + \lambda_2 T_2^2 + \ldots + \lambda_n T_n^2 + \lambda T^2},$$

где t - коэффициент, определяющий риск (%) получения брака по выдерживаемому размеру при сборке; обычно берут $t = 3$:

Коэффициент t . . .	1	2	3
Риск брака, % . . .	32	4,5	0,27

λ_1, λ_2, ..., λ_n – коэффициенты, зависящие от формы кривых распределения размеров соответствующих сопрягаемых деталей узла.

В случае кривой распределения, близкой к нормальной, $\lambda = 1/9$. Для кривой равной вероятности и в случае, когда о форме кривой ничего не известно, рекомендуется принимать $\lambda = 1/3$. Если кривая распределения близка к треугольнику, $\lambda = 1/6$. Зная исходные величины и задаваясь значениями t, можно определить допуск T на размер сборочного приспособления:

$$T = \sqrt{\frac{1}{\lambda}\left(\frac{T_x^2}{t^2} - \lambda_1 T_1^2 - \lambda_2 T_2^2 - \ldots - \lambda_n T_n^2\right)}.$$

Результаты расчета показывают, что при сравнительно небольшом риске получения брака допуск на размер приспособления можно значительно расширить. Вместе с тем расширяют допуски и на размеры сопрягаемых деталей.

При сборке неразъемных соединений методом пайки, сварки и склеивания необходимо учитывать зазоры между установочными элементами приспособления и базовыми поверхностями собираемого изделия.

На рис. 39, *б* показана схема приспособления для пайки в печи деталей A и B. Место пайки показано жирной линией. Пайку производят с общим нагревом приспособления и изделия. Для учета различного теплового расширения приспособления и деталей изделия нужно предусматривать зазор при установке этих деталей в приспособление. В противном случае возможно заклинивание изделия или искажение взаимного положения сопрягаемых деталей.

Для простейших форм деталей и приспособления величину минимального зазора Δ можно определить, зная температуру нагрева t, размеры сопрягаемых деталей и коэффициенты теплового расширения α этих деталей и приспособления. Применительно к схеме (см. рис. 39, *б*)

$$\Delta = t[(L_A\alpha_A + L_B\alpha_B) - L\alpha].$$

Здесь величины с индексами относятся к деталям изделия, а величины без индексов – к приспособлениям.

Если $L_A\alpha_A + L_B\alpha_B < L_\alpha$, то первоначальный зазор с повышением температуры будет возрастать. Величину Δ в этом случае следует назначать такой, чтобы можно было легко осуществить закладку в приспособление деталей, выполненных с наибольшими предельными размерами.

При сложных формах деталей величину Δ нужно устанавливать экспериментально.

Величину допуска T на размер L приспособления можно назначать достаточно большой, если соединяемые детали прижаты друг к другу по стыку C; точность выполняемого размера $L_{сб}$ при этом от допуска T не зависит. При отсутствии гарантированного прижатия деталей по стыку C допуск $T_{сб}$ на выполняемый размер можно определить по методу полной взаимозаменяемости:

$$T_{сб} = T_A + T_B + \Delta + T,$$

откуда

$$T = T_{сб} - T_A - T_B - \Delta.$$

При расчете по методу неполной взаимозаменяемости из выражения допуска на выдерживаемый размер

$$T_{сб} = t\sqrt{\lambda_1 T_A^2 + \lambda_2 T_B^2 + \lambda T^2} + \Delta$$

можно найти

$$T = \sqrt{\frac{1}{\lambda}\left[\frac{(T_{сб} - \Delta)^2}{t^2} - \lambda_1 T_A^2 - \lambda_2 T_B^2\right]}.$$

Если собираемое изделие состоит из n деталей, то выражение принимает вид

$$T = \sqrt{\frac{1}{\lambda}\left[\frac{(T_{сб} - \Delta)^2}{t^2} - \lambda_1 T_1^2 - \lambda_2 T_2^2 - \ldots - \lambda_n T_n^2\right]};$$

при $\lambda = \lambda_1 = \lambda_2 = \ldots = \lambda_n = 1/9$ (распределение по нормальному закону) и $t = 3$

$$T = \sqrt{(T_{сб} - \Delta)^2 - T_1^2 - T_2^2 - \ldots - T_n^2}.$$

Для повышения точности изделий, собираемых методом пайки, сварки и склеивания, целесообразны конструкции с центровкой деталей по пояскам, буртикам, пазам и другим элементам.

Сборочное приспособление должно обеспечивать заданную точность при длительной эксплуатации и многократном нагреве (при пайке твердыми припоями температура нагрева 700 – 1200 °С).

При необходимости удаления не полностью охлажденного изделия из приспособления рекомендуется снижать площадь контакта между деталями и приспособлением, создавая местные выточки и выемки.

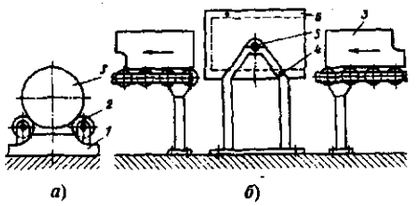
Удобны разборные конструкции приспособлений с малыми параметрами шероховатости поверхности установочных элементов. В разборных конструкциях предпочтительнее клиновые соединения перед резьбовыми. Приспособление должно быть легким для уменьшения времени нагрева. Необходимо избегать длинных и относительно тонких плит, так как при нагреве они деформируются.

Выбор материала для основных деталей приспособления определяет долговечность приспособления и точность сборки. Коэффициент расширения материала деталей изделия должен быть меньше, чем коэффициент расширения материала приспособления. В этом случае можно допустить меньшие тепловые зазоры между приспособлением и изделием и обеспечить более высокую точность сборки, которая для небольших изделий составляет 0,025 – 0,05 мм.

Материал основных деталей приспособлений должен выдерживать многократные нагрев и разборку (в разборных конструкциях), а также быть прочным и износостойким. Этим требованиям удовлетворяют специальные сплавы и керамика. При пайке алюминиевых сплавов погружением для деталей приспособления рекомендуется применять жаропрочные никелевые сплавы или коррозионно-стойкую сталь, так как углеродистая сталь загрязняет ванну. В приспособлении не должно быть углублений, препятствующих стеканию припоя.

Если пайку производят с индукционным нагревом деталей, то близко расположенные к индуктору детали приспособления рекомендуется выполнять из неметаллических материалов (микалекса, эпоксипластов, армированных стеклотканью, керамики), обладающих химической стойкостью к флюсу и высокими изоляционными свойствами. Если применяют металлические детали, то их нельзя выполнять в виде кольца или замкнутой петли, так как в этом случае в них индуцируются ТВЧ. Их делают пустотелыми и применяют для охлаждения проточную воду.

Приспособления периодически проверяют на точность. Их конструкция должна быть удобной для быстрой проверки без применения косвенных методов контроля Приспособления для склеивания подвергают периодической очистке от накапливающихся следов клея. Поскольку большинство клеев не удаляется растворителями, нужно предусматривать быстрый съем (или разборку) приспособления для его



а) *б)*

Рис. 40. Приспособления для изменения положения собираемого изделия

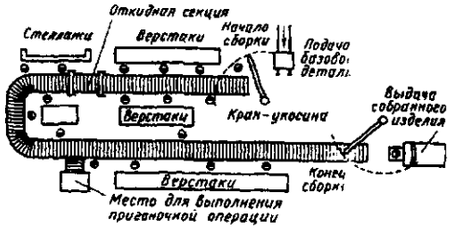


Рис. 41. Участок сборки на роликовом конвейере

нагрева до температуры, при которой клей разрушается (около 300 °С). После этого очистку производят механически (щетками, скребками и др.).

Приспособления для изменения положения собираемого изделия. При больших размерах изделий для изменения их положения в процессе сборки применяют поворотные устройства.

На рис. 40, *а* изображена схема приспособления для сборки изделий цилиндрической формы. Корпус приспособления *1* снабжен роликами *2*, на которые укладывают деталь *3*, легко поворачиваемую на требуемый угол.

На рис. 40, *б* показана схема приспособления для перевертывания изделия, проходящего сборку (обработку) на роликовом конвейере. Деталь *3* закатывают в клеть *6* приспособления и повертывают на 180° вокруг цапф *5*, вследствие чего она оказывается в перевернутом положении на другой стороне рольганга. *Клеть фиксируется вытяжным упором 4.*

Центр тяжести поворотной части с горизонтальной осью вращения и центр тяжести собираемого изделия должны по возможности лежать на этой оси. Это уменьшает момент поворота. Поворотную часть вращают вручную (сила поворота на рукоятке штурвала не должна быть больше 100 Н) или от силового узла.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ СБОРОЧНЫХ ЦЕХОВ

Транспортное оборудование

Роликовые конвейеры (рольганги). По способу действия роликовые конвейеры подразделяют на приводные и неприводные. На приводных ролики приводятся во вращение двигателями и перемещают лежащий груз. На неприводных конвейерах грузы перемещают вручную. С этой целью их выполняют с уклоном 1 … 4° в сторону перемещения груза.

Параметры цилиндрических роликов неприводных роликовых конвейеров регламентированы по ГОСТ 8324–82.

Длина цилиндрических роликов определена размерным рядом чисел: 100, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250 мм, шаг роликов размерным рядом 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400 мм, диаметры роликов приняты в диапазоне 40 … 155 мм.

Для обеспечения спокойного хода груза расстояние между осями роликов принимают не более 1/3 длины груза, при перемещении длиномерных изделий – меньшим.

Нагрузку на ролик принимают приближенно в зависимости от соотношения длины груза $l_{гр}$ к шагу роликов $l_р$. При $2l_р < l_{гр} < 3l_р$ принимают $P = 0{,}5G$ (G – масса груза); при $3l_р < l_{гр} < 4l_р$ $P = 0{,}330G$; при $4l_р < l_{гр} < 5l_р$ $P = 0{,}25G$. Скорость передвижения груза на роликовых конвейерах до 20 м/мин.

План участка сборки на роликовом конвей- ере показан на рис. 41. Расположение роликового конвейера зависит от длины сборочной линии и направления грузопотока в цехе. В местах прохода рольганги имеют откидные секции. Для изменения положения собираемых деталей применяют кантователи. Пригоночные операции обычно выносят из потока сборки, т.е. их выполняют на специально оборудованных рабочих местах.

На конвейерах помимо цилиндрических роликов применяют дисковые ролики. Преимущества их в том, что на криволинейных в плане участках диски на радиально расположенных осях вращаются с разной скоростью (с внешней стороны скорость больше, чем с внутренней). Скольжение у передаваемого груза отсутствует, груз передается легче.

Сборочные тележки. Используют при поточной сборке. Собираемое изделие последовательно транспортируют с одного рабочего

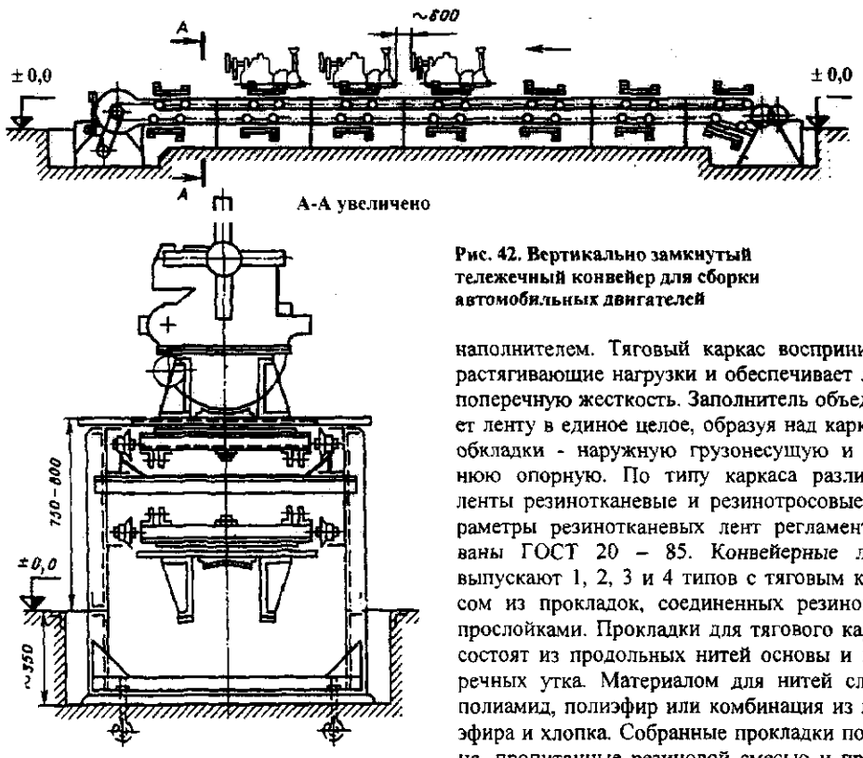


Рис. 42. Вертикально замкнутый тележечный конвейер для сборки автомобильных двигателей

места к другому со свободным или принудительным движением со скоростью 10 – 15 м/мин.

Безрельсовые тележки бывают с металлическими или резиновыми катками.

Тележки для изделий массой более 1000 кг делают на колесах с ребордами для движения по рельсам, укладываемым на бетонных подушках.

Для удобства выполнения сборочной операции верхнюю часть тележек часто делают вращающейся относительно вертикальной оси. Возврат тележек происходит по вспомогательному пути, расположенному рядом с путями рабочей ветви или же под ним.

Ленточные конвейеры применяют при сборке мелких и легких грузов и изделий. Сборочные операции выполняют на верстаках, расположенных вдоль конвейера, или на столах, установленных перпендикулярно линии сборки. Несущим органом конвейера является прорезиненная лента, состоящая из тягового каркаса, покрытого эластичным защитным наполнителем. Тяговый каркас воспринимает растягивающие нагрузки и обеспечивает ленте поперечную жесткость. Заполнитель объединяет ленту в единое целое, образуя над каркасом обкладки - наружную грузонесущую и нижнюю опорную. По типу каркаса различают ленты резинотканевые и резинотросовые. Параметры резинотканевых лент регламентированы ГОСТ 20 – 85. Конвейерные ленты выпускают 1, 2, 3 и 4 типов с тяговым каркасом из прокладок, соединенных резиновыми прослойками. Прокладки для тягового каркаса состоят из продольных нитей основы и поперечных утка. Материалом для нитей служит полиамид, полиэфир или комбинация из полиэфира и хлопка. Собранные прокладки по длине, пропитанные резиновой смесью и провулканизированные обладают высокой прочностью. В лентах сборочных конвейеров применяют чаще ленту 4-го типа, имеющую одно- или двухпрокладочный каркас, двухстороннюю резиновую обкладку и нарезные борта. Ленты 3, 2 и 1 типов применяют для более нагруженных условий работы.

Концы лент при монтаже соединяют горячей или холодной вулканизацией в зажимных плитах или металлическими скобами-соединителями.

Приводные механизмы ленточных конвейеров состоят из барабана, передаточного механизма и двигателя. Во ВНИИПТМАШе разработано типовое обрудование моторбарабанов мощностью 1 – 30 кВт. Диаметр барабанов 200 – 800 мм. В этих конструкциях электродвигатель и редуктор встроены в барабан. Для лент шириной 650 – 800 мм диаметр барабана принимают равным 200 – 1000 мм в зависимости от числа прокладок ленты; длину барабана принимают больше ширины ленты на 100 – 150 мм.

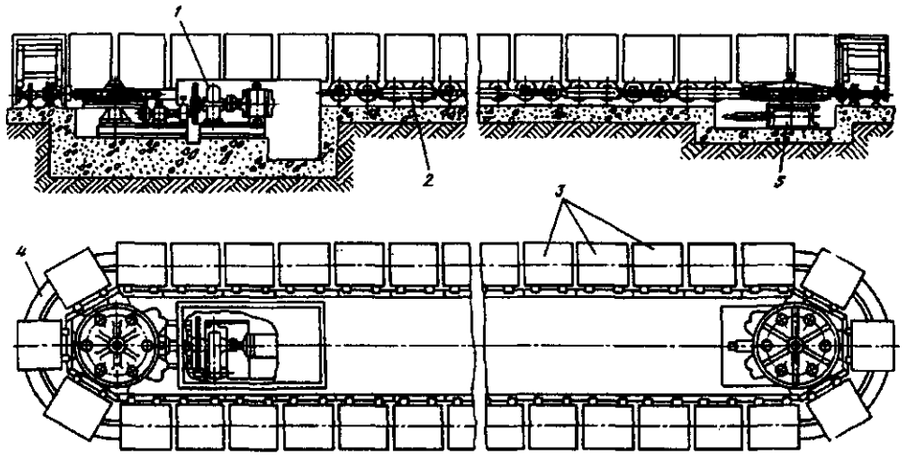


Рис. 43. Горизонтально замкнутый конвейер

Производительность ленточного конвейера, шт/ч,

$$Q = 3600va,$$

где v – скорость движения ленты, м/с (обычно принимают v = 0,02 … 0,5 м/с); a – число изделий на одном метре длины ленты.

Приводные тележечные конвейеры бывают вертикально замкнутые (рис. 42) и горизонтально замкнутые (рис. 43). Они состоят из следующих частей: приводной *1* (электродвигатель, редуктор и вариатор); тяговой *2* в виде одной или двух шарнирных цепей; несущей *3* (ряд соединенных с цепями тележек); опорной *4* (направляющие, по которым катятся ролики тележек); натяжной *5*.

Выбор типа конвейера зависит от технологического процесса, собираемого изделия и планировки участка. Жесткость конструкции поворотных платформ тележек позволяет выполнять операции запрессовки и сборки крупных резьбовых соединений. Номинальный ряд ширины тележек: 200, 320, 400, 500, 650, 800, 1200 мм. Грузоподъемность тележек 10 – 8000 кг.

Для тележечных цепных конвейеров кроме электропривода можно применять гидропривод, допускающий бесступенчатое регулирование скорости движения тележек.

Карусельные конвейеры применяют для сборки узлов, содержащих небольшое число сборочных операций. Рабочие места (4 – 8) размещают вокруг стола. Необходимый инструмент подвешивают на неподвижной стойке в центре стола. Собранные узлы поступают непосредственно на сборку.

Цепные напольные конвейеры применяют для сборки тракторов, автомобилей и других изделий. Изделия, имеющие ходовую часть, перемещаются по специальным путям, проложенным на полу, и сцепляются с тяговой цепью сцепками, которые автоматически отцепляются в конце конвейера. Изделия, не имеющие своей ходовой части, собирают на тележках, соединенных с тяговой цепью (рис. 44).

В приводных механизмах предусматривают вариаторы для изменения скорости. Скорость непрерывно движущихся конвейеров составляет 0,25 – 6 м/мин, периодически движущихся конвейеров 6 – 12 м/мин.

Мощность электродвигателя привода конвейера, кВт,

$$N = \frac{W_0 \mathrm{v}}{102\eta_m},$$

где W_0 – потребная тяговая сила; v – скорость движения конвейера; η_m – КПД передаточных механизмов конвейера; η_m = 0,4 … 0,5.

Потребная тяговая сила

$$W_0 = L\eta(q + q_0),$$

где η – коэффициент, учитывающий сопротивление в шарнирах и роликах тягового органа; η = 0,66 … 0,07; q – нагрузка на единицу длины конвейера от массы собираемых объектов; q_0 - нагрузка на единицу длины от массы рабочей и холостой частей тягового органа; q_0 = = 150 … 400 Н/м.

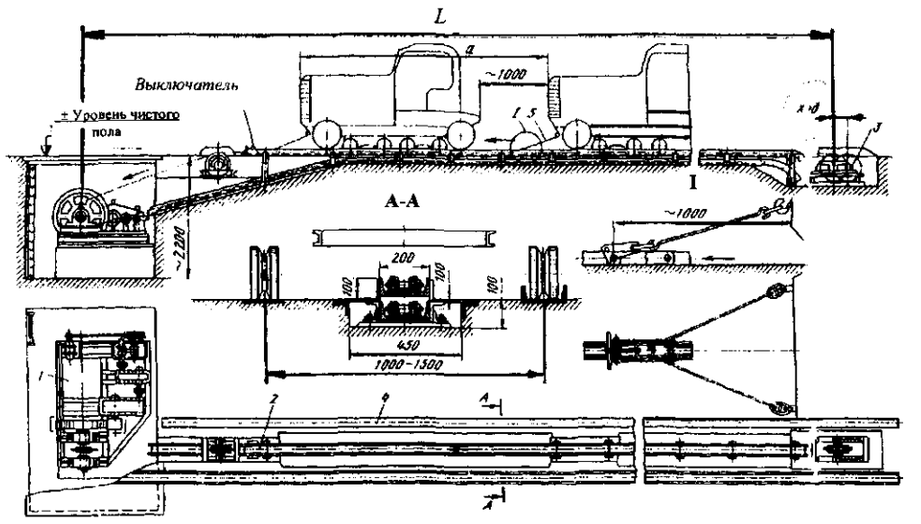


Рис. 44. Вертикально замкнутый цепной конвейер для сборки тракторов:
1 – привод; *2* – тяговая цепь; *3* – натяжное устройство; *4* – направляющий путь; *5* – сцепка

Тяговым элементом для сборочных конвейеров служат пластинчатые, втулочные и роликовые цепи с шагом 80 – 320 мм.

Рамные (шагающие) конвейеры применяют при сборке станков, где требуется точная выверка (рис. 45). Станина станка при этом устанавливается на точно выверенные плиты *1*. Рама конвейера *2* выполнена из двутавровых балок и опирается на гидравлические домкраты *3*. Для перемещения изделий рама конвейера поднимается гидравлическими домкратами перемещается на величину шага приводом продольного перемещения и опускается, устанавливая при этом изделия на плиты.

Подвесные конвейеры применяют для транспортирования деталей, узлов и готовых изделий. Пространственная трасса подвесных конвейеров и большая протяженность (до 500 м при одном приводе и до 3000 м при нескольких приводах) позволяют одним конвейе-

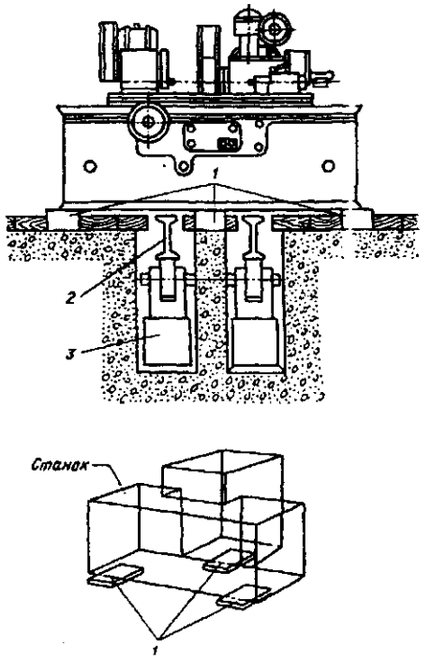


Рис. 45. Схема шагающего рамного конвейера для сборки станков

ром обслуживать полный производственный цикл.

Подвесные конвейеры подразделяют на три типа: грузонесущие, грузоведущие (рис. 46) и толкающие. Одинаковыми по конструкции у этих конвейеров являются тяговый элемент, привод, поворотные и натяжные устройства. Различные конструктивные исполнения имеют ходовые пути, каретки, тележки.

Параметры подвесных грузонесущих конвейеров с разборными цепями с шагом 80, 100, 160 ... 200 мм регламентированы ГОСТ 5946. Подвесные однобалочные пути изготовляют из двутавровых балок № 10, 12, 14, 16 по ГОСТ 8239, из труб диаметром 60, 100, 150 мм с продольной прорезью и из коробчатых профилей. Каретки выпускают грузоподъемностью: 20, 50, 250, 500 и 800 кг.

Подвесные толкающие конвейеры приводят в движение груз посредством каретки толкателя и тележки, к которой крепят подвеску. Не имея жесткой связи, грузовая тележка может двигаться вместе с цепью, но может быть и остановлена или переведена на другой путь там, где это необходимо. Адресующие устройства в виде селекторных механизмов дают команду для получения тележек по заданному адресу.

Грузоподъемность подвесных толкающих конвейеров 50, 150, 250, 500, 1250кг. Скорость движения цепи до 40 м/мин. Подвесные грузоведущие конвейеры транспортируют собираемые изделия на напольной тележке, перемещаемой при помощи захвата или толкателя, укрепленного на каретке. Каретка может двигаться по подвесному пути или пути, проложенному под полом. Обеспечивается автоматическое адресование тележек.

Достоинством этих конвейеров является свободный ввод и вывод тележек из линии конвейера. Скорость движения конвейера благодаря отсутствию раскачивания груза достигает 45 м/мин. Грузоведущие конвейеры позволяют транспортировать изделия массой до 2500 кг.

Сборочные стенды. Для сборки изделий часто применяют специальные стенды. Конструкция стендов зависит от размеров, массы и формы изделий. Для удобства сборки конструкции стендов позволяют менять положение собираемого изделия и фиксировать его в необходимом положении при выполнении данной операции.

При сборке крупных судовых дизелей сборочный стенд представляет собой несколько стальных балок, залитых в бетонный фундамент, поперек которых уложены две подвижные стальные балки-параллели. На последние и ставят фундаментную раму собираемого дизеля. Подвижные и неподвижные балки соединяют болтами. У подвижных балок обработаны верхняя и нижняя привалочные плоскости, у неподвижных только верхняя. Это позволяет обеспечить горизонтальное положение верхней плоскости рамы для сборки дизеля.

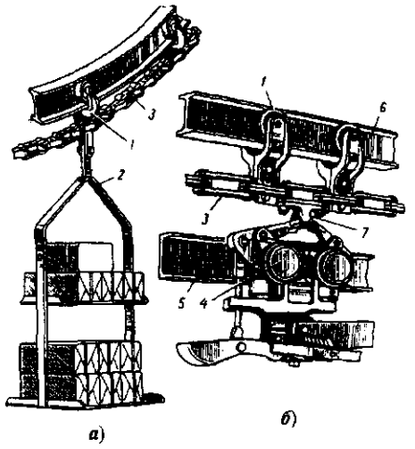


Рис. 46. Схемы подвесных конвейеров:
а – грузонесущий; *б* – толкающий; *1* – каретка; *2* – подвеска; *3* – цепь; *4* – тележка; *5* – грузовой путь; *6* – тяговый путь; *7* – толкатель

Для сборки тепловозного двигателя, имеющего в конструкции два коленчатых вала (верхнего и нижнего) применяют стенды, позволяющие изменять положение изделия относительно горизонтальной оси. Для удобства установки нижнего коленчатого вала в подшипниковые опоры, двигатель поворачивают относительно горизонтальной оси на 180°.

Подъемные устройства

Для подъема и перемещения деталей, узлов и изделий при выполнении сборочных работ применяют различное подъемное оборудование. Наибольшее применение получили электрические тали, консольные поворотные краны, краны-балки, а для тяжелых узлов и изделий применяют передвижные краны, установленные на подкрановые пути. В табл. 18 приведены технические характеристики односкоростных, с шарнирно-приводной и шарнирно-неприводной тележками, электрических талей.

Консольные поворотные краны устанавливают на отдельных стойках или крепят к колоннам производственных помещений. Они обеспечивают подъем и передачу собираемых изделий в секторе 180°, с вылетом стрелы до 6 м и грузоподъемностью до 3 т. Их характеристики регламентированы ГОСТ 19494.

Мостовые однобалочные краны-балки используют для подъема изделий до 5 т. Их характеристики устанавливает ГОСТ 22045 – 82.

Прессы

Прессовое оборудование выбирают исходя из расчетного усилия запрессовки с коэффициентом запаса 1,5 – 2 и габаритов собираемого узла. Бо́льшие значения коэффициентов выбирают для менее мощных прессов.

Винтовые ручные прессы одностоечные обеспечивают создание усилий до 7,5 кН, двухстоечные до 50 кН. Ход ползуна винтовых прессов 200 – 400 мм. Для использования при работе пресса инерционных сил на головке винта укрепляют массивный маховик или длинную штангу с двумя грузами.

Реечные верстачные прессы простые развивают усилие до 10 кН с промежуточным усилителем до 30 кН.

Пневматические прессы могут быть прямого действия и рычажные.

Для получения больших усилий применяют сдвоенные прессы с двумя цилиндрами, поршни которых закреплены на одном штоке. По такой схеме прессы обеспечивают усилие 30, 65, 100 кН.

18. Электрические тали конструкции ВНИИПТМАШа

Грузоподъемность, т	Высота подъема, м	Скорость, м/мин		Номера профилей двутавровых балок для подвесного пути		Наименьший радиус закругления пути, м	Масса тали, кг, для высоты подъема, м		
		подъема	передвижения	ГОСТ 19425	ГОСТ 8239		6	12	18
0,25	6	9,6	20 или 32	18М; 24М	14 – 20а; 22; 24	0,5	85	–	–
0,5	6	8		18М; 24М	16 – 20а; 22; 24	0,5	96	–	–
	12; 18	8				1,0	–	111	126
1,0	6; 12; 18	8		18М; 24М; 30М; 36М	–	1,0; 1,5*	195	220	245
2,0	6; 12; 18	8		24М; 30М; 36М	–	1,0; 1,5*	290	325	360
3,2	6	8		30М; 36М; 45М	–	1,5	470	–	–
		8					510	–	–
	12; 18	8,0				1,5; 2,0*	–	515	560
		8					–	555	600
5,0	6; 12; 18	8		30М; 36М; 45М		2,0; 2,5*	700	755	815

*Радиус указан для талей с высотой подъема 18 м.

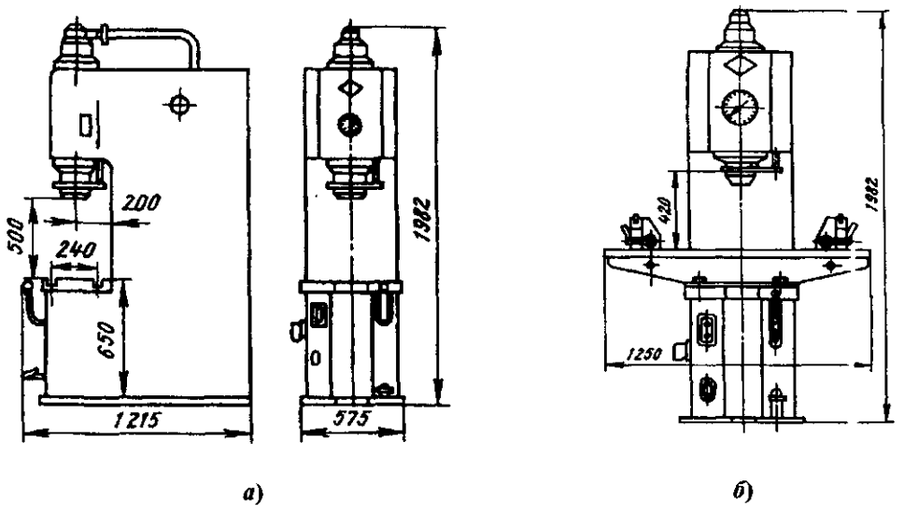


Рис. 47. Пресс модели П6320:
а – без правильного стола; *б* – со столом для правки деталей

Гидравлические прессы позволяют получать большие усилия благодаря высокому давлению рабочей жидкости в цилиндре.

Пресс модели П6320 с усилием 100 кН показан на рис. 47.

Пневмогидравлические прессы имеют силовое устройство, состоящее из пневматического цилиндра и гидравлического усилителя. Рабочее усилие на штоке создается давлением масла на поршень; подъем штока производится сжатым воздухом, направляемым на поршень. По такой схеме созданы прессы, развивающие усилие до 75 кН.

Электромагнитные прессы применяют при усилиях запрессовки до 15 кН при сборке изделий приборостроения. Силовым устройством в этих прессах являются электромагниты постоянного или переменного тока с плоским якорем втяжного типа или соленоидные. Они имеют высокую скорость перемещения штока, но малый его ход; последнее ограничивает их применение.

ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ СБОРОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Разъемные соединения допускают разборку без повреждения сопрягаемых и скрепляющих деталей. К ним относят резьбовые, клиновые, штифтовые, шпоночные, шлицевые и профильные соединения, а также соединения посредством упругих элементов (стопорных колец).

Резьбовые соединения весьма распространены в машиностроении, а трудоемкость их относительно велика. Их сборку выполняют, применяя крепежные детали (болты, винты и резьбовые шпильки, рис. 48). При болтовых соединениях не требуется нарезание резьбы в соединяемых деталях что важно, если материал детали не обеспечивает необходимой прочности резьбы. Эти соединения несколько утяжеляют изделие, усложняют его внешние очертания и вызывают необходимость удерживать болт от проворачивания при завинчивании гайки.

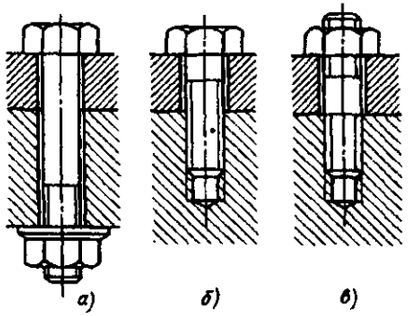


Рис. 48. Основные типы резьбовых крепежных деталей:
а – болт; *б* – винт; *в* – резьбовая шпилька

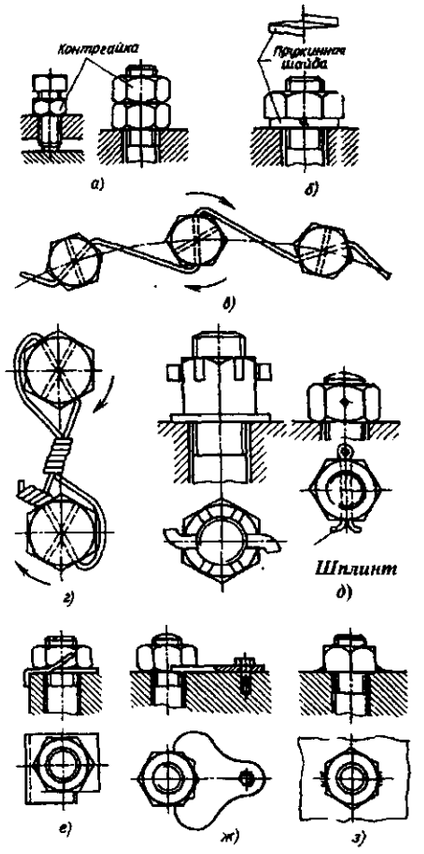


Рис. 49. Способы стопорения крепежных деталей

Винтовые соединения просты по конструкции и удобны для сборки. При частой разборке соединений винты не применяют, так как они могут повредить резьбу в детали. В этом случае их заменяют болтами или шпильками.

Стопорение резьбовых соединений необходимо, если они воспринимают переменные и ударные нагрузки или подвержены действию вибраций. Последние уменьшают трение и ухудшают условие самоторможения в резьбе.

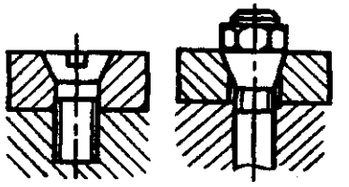


Рис. 50. Самостопорящиеся крепежные детали

Применяют три основных способа стопорения:

1) повышают трение в резьбе путем постановки контргайки, пружинной шайбы и использования резьбовых пар с натягом в резьбе (рис. 49, *а*, *б*);

2) жестко соединяют гайку со стержнем болта (шпильки) с помощью шплинтов или соединяют группу винтов проволочной обвязкой (рис. 49, *в* - *д*);

3) гайку (головку винта) жестко соединяют с деталью, применяя специальные шайбы, планки, накернивание или точечную сварку (рис. 49, *е*, *ж*, *з*).

Резьбовые соединения, расположенные внутри механизмов, стопорят только вторым и третьим способами. Винты и гайки со сферическими опорными поверхностями (рис. 50) обладают хорошими стопорящими свойствами из-за больших моментов трения на этих поверхностях.

Расположение крепежных деталей должно быть удобным для применения высокопроизводительных и механизированных сборочных инструментов, а расстояния между осями крепежных деталей не должны быть малыми, так как это затрудняет использование многошпиндельных винто- и гайкозавертывающих устройств. Размеры крепежных деталей должны быть по возможности унифицированы. Следует избегать расположения крепежных деталей в труднодоступных и неудобных местах.

Для лучшего направления при свинчивании у винтов целесообразно делать центриру-

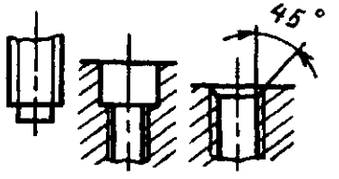


Рис. 51. Центрирование крепежных деталей при сборке

ющие заточки, а в отверстиях центрирующие выточки (рис. 51). Для той же цели на резьбовых поверхностях выполняют заходные фаски под углом 45°.

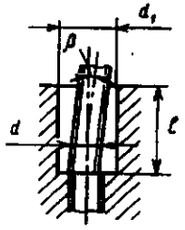


Рис. 52. К расчету размеров центрирующих выточек

Диаметр выточки в резьбовом отверстии (рис. 52)

$$d_1 = d + \Delta,$$

где Δ – диаметральный зазор между выточкой и резьбовой частью винта с наружным диаметром d (принимается в пределах 0,1 – 0,15 мм).

Глубину выточки можно определить по формуле)

$$l = 2\Delta d/P,$$

где P – шаг резьбы.

Наибольший угол перекоса оси винта к оси резьбового отверстия, при котором не происходит заедания резьбы,

$$\beta \le \operatorname{arctg}\frac{0{,}5P}{d}.$$

Сборка резьбовых соединений состоит из нескольких последовательно выполняемых этапов. Сначала на сборочный стенд устанавливают и взаимно ориентируют сопрягаемые детали изделия. Затем устанавливают крепежные резьбовые детали, осуществляя их наживление, завинчивание и затяжку с заданным осевым усилием или моментом. У ответственных соединений далее осуществляется контроль затяжки и стопорение резьбовых деталей.

Сборка деталей винтами наиболее простая. В единичном и мелкосерийном производстве наживление винтов выполняется вручную, а последующее завинчивание и затяжку – гаечными или торцовыми ключами и отвертками. В крупносерийном и массовом производстве эти этапы сборки выполняются средствами механизации и автоматизации (одно- и многошпиндельными переносными гайковертами и специальными винтозавертывающими стационарными станками с подачей винтов из бункерных устройств).

Более сложна сборка болтовых соединений. Она включает вставку болтов и придерживание их от проворачивания, надевание шайб, наживление, навертывание и затяжку гаек с использованием тех же средств производства, как и в предыдущем случае.

При сборке соединений с резьбовыми шпильками процесс еще более усложняется. Сначала в одну из деталей ввертывают с натягом резьбовые шпильки, затем на них надевают сопряженную деталь, на выступающие концы шпилек надевают шайбы, навинчивают и затягивают гайки.

Натяг при ввертывании шпилек обеспечивают следующими способами: натяг по резьбе (наиболее распространен), плотная посадка на сбег резьбы шпильки, упор буртом шпильки в плоскость разъема деталей, упор в дно резьбового отверстия, посадка резьбы шпильки на клею, завинчивание шпильки в гладкое отверстие (только для алюминиевых и магниевых сплавов), затяжка шпильки со спиральной проволочной вставкой.

Для завинчивания шпилек используют специальные патроны, захватывающие шпильки за гладкую или резьбовую часть, и применяют ручные или механизированные инструменты (шпильковерты). Постановку шпилек проверяют на перпендикулярность положения их оси к плоскости разъема при помощи угольника, а также на величину момента затяжки (проверяют динамометрическим ключом).

Резьбовые шпильки не следует располагать близко к точным отверстиям и плоскостям, так как при их затяжке происходит выпучивание стенок детали и возникают погрешности формы точных поверхностей (например, зеркала цилиндров двигателя).

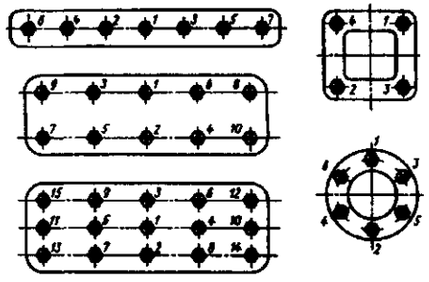


Рис. 53. Последовательность затяжки крепежных деталей

Затяжку крепежных деталей в групповом соединении осуществляют постепенно. На рис. 53 цифрами показана рекомендуемая последовательность предварительной и окончательной затяжки крепежа для устранения деформации сопрягаемых деталей.

Требуемая затяжка ответственных резьбовых соединений обеспечивается: ограничением крутящего момента; поворотом гайки на определенный, заранее установленный угол; затяжкой с замером удлинения стержня шпильки или болта.

Для ограничения крутящего момента при ручной затяжке применяют предельные и динамометрические ключи. При использовании механизированных инструментов (электрических или пневматических гайковертов) заданный момент затяжки обеспечивают муфтами тарирования, реле тока, самоостановкой (с торможением) двигателя в конце затяжки и другими способами. В особых случаях эта затяжка дополняется затяжкой динамометрическими ключами.

Данные методы затяжки не гарантируют точность выдерживания осевой силы затяжки, так как даже при постоянном моменте на осевую силу влияют постоянство коэффициента трения в резьбе и на торце, неточность изготовления резьбы и опорных торцов и другие факторы.

Более точно величину предварительной затяжки обеспечивают дополнительным поворотом гайки на определенный угол. Гайку вначале затягивают обычным ключом, чтобы создать плотность в стыках. Затем ее ослабляют и вновь завертывают до соприкосновения торца с опорной плоскостью. После этого гайку с помощью накладного градуированного диска поворачивают на определенный угол φ. Его величину в зависимости от требуемой силы затяжки определяют по формуле

$$\varphi^\circ = 360\frac{P_{зат}l}{P}\left(\frac{1}{E_б F_б} + \frac{1}{E_д F_д}\right),$$

где l – длина болта или шпильки между опорными плоскостями; P – шаг резьбы; $E_б$, $E_д$ – модули упругости материала болта и скрепляемых деталей; $F_б$, $F_д$ – площади поперечных сечений болта и скрепляемых деталей; $P_{зат}$ – сила затяжки.

Под величиной $F_д$ понимают ту часть площади поперечного сечения деталей, которая участвует в деформации от затяжки болта. Обычно полагают, что деформация от гайки и головки болта распространяется в глубь деталей по конусам с углом 30°. Приравнивая объем этих конусов к объему цилиндра, находят

$$F_д = \frac{\pi}{4}\left(D_1^2 - d_{отв}^2\right),$$

где $D_1 = D + \frac{h_1 + h_2}{4}$ [здесь D – диаметр опорной поверхности гайки (болта)]; $d_{отв}$ – диаметр отверстия под болт; h_1 и h_2 – толщины соединяемых деталей.

Наиболее точно силу затяжки определяют по измеренному удлинению болта λ по формуле

$$P_{зат} = \frac{\lambda E_б F_б}{l}.$$

Величину λ измеряют специальным микрометром. Данный метод применяют при сборке ответственных резьбовых соединений (турбостроение, двигателестроение, тяжелое машиностроение).

При большом диаметре болтов и резьбовых шпилек (более 50 мм) затяжку часто производят после предварительного нагрева их стержня до определенной температуры пропусканием через сквозное осевое отверстие струи нагретого воздуха или пара. После остывания в стержне болта возникает необходимая сила затяжки $P_{зат}$. Температура нагрева

$$\alpha(t - t_1) = P_{зат}\left(\frac{1}{E_б F_б} + \frac{1}{E_д F_д}\right),$$

где α – коэффициент линейного расширения материала болта; t_1 – температура окружающей среды, °С; t – температура нагрева, °С.

Равномерность затяжки резьбовых соединений зависит от метода затяжки и от качества изготовления крепежных (резьбовых) деталей. В табл. 19 приведены данные по относительной неравномерности затяжки γ резьбовых соединений различными методами.

Производительность сборки резьбовых соединений зависит от типа сборочных инструментов. Время завертывания крепежных деталей обычным гаечным ключом сокращается в 2 – 3 раза при использовании трещоточных ключей, в 3 – 5 раз при использовании торцовых коловоротных ключей и в 10 – 15 раз при применении механизированных инструментов (гайковертов). Многошпиндельные гайковерты дополнительно сокращают время в K раз, где K – число шпинделей гайковерта. Автоматичес-

19. Относительная неравномерность затяжки

Метод затяжки	Относительная неравномерность затяжки	
	по моменту $\gamma_1 = \frac{M_{max} - M_{min}}{M_{ср}}$	по осевой силе $\gamma_2 = \frac{P_{max} - P_{min}}{P_{ср}}$
Ручными ключами:		
в удобном положении	0,35 – 0,30	0,55 – 0,45
в неудобном положении	0,40 – 0,35	0,60 – 0,50
Предельными ключами	0,25 – 0,20	0,35 – 0,30
Динамометрическими ключами	0,15 – 0,10	0,20 – 0,15
По углу поворота гайки	–	0,15 – 0,10
По удлинению болта	–	0,10 – 0,05
Гайковертом:		
с муфтой тарирования момента	0,30 – 0,25	0,45 – 0,40
с ударно-импульсным преобразователем момента	0,35 – 0,30	0,50 – 0,40
с самоторможением двигателя в конце затяжки	0,20 – 0,15	0,15 – 0,22

кие винтозавертывающие станки обеспечивают завертывание до 1000 – 1500 винтов в час.

Повышение производительности труда сборщиков и облегчение условий их работы достигается применением технологической оснастки. К ней относят стационарные или поворотные приспособления для закрепления базовых деталей собираемых изделий, устройства для упругой подвески механизированных сборочных инструментов (пружины, пружинные балансиры), шарнирно-телескопические устройства для восприятия реактивных моментов от гайковертов, монорельсовые устройства для перемещения упругих подвесок сборочных механизированных инструментов в горизонтальном направлении при больших габаритах собираемых изделий.

Средства автоматизации применяют при узловой и общей сборке небольших изделий в массовом и серийном производстве, используя одно- и многопозиционное (карусельное) полуавтоматическое оборудование и автоматические линии. Перспективно также применение робототехнических комплексов в гибких автоматизированных производствах.

При контроле резьбовых соединений проверяют наличие и правильность положения поставленных деталей, момент затяжки у ответственных изделий, *герметичность соединений*, последовательность затяжки крепежных деталей (в процессе сборки) и выявляют другие дефекты сборки. Перед автоматической сборкой резьбовые элементы подвергают 100 %-му контролю.

Клиновые (конические) соединения обеспечивают сборку деталей с полной выборкой поперечного зазора. Они надежны в работе, хорошо центрируют сопрягаемые детали, но не обеспечивают их точного положения в продольном направлении. К сопряженным поверхностям конуса (клина) предъявляют повышенные требования по точности обработки (проверка по краске, "на качку", а также по глубине посадки охватывающего конуса на валу).

Для разборки соединения в его конструкции предусматривают резьбовые отверстия для отжимных винтов или уступы для лап съемника.

Сборку выполняют вручную затяжкой крепежных деталей (гайки или винтов) ударами мягкого молотка или усилием пресса. Усилие регламентируют техническими условиями на сборку. При передаче больших крутящих моментов в соединении предусматривают шпонки.

Штифтовые соединения применяют для точной фиксации сопрягаемых деталей между собой и собранных узлов с базовой деталью изделия (рис. 54, *а*). План обработки в первом случае: раздельная предварительная обработка обеих деталей (обеих половинок разъемного

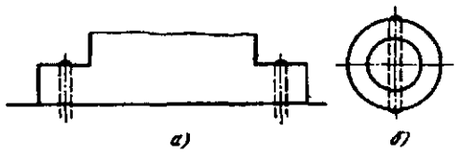


Рис. 54. Примеры штифтовых соединений

корпуса), чистовая обработка плоскости разъема этих деталей, сверление отверстий под крепежные детали, сборка обеих деталей в одно целое, сверление и развертывание отверстий под контрольные штифты, постановка штифтов, окончательная обработка собранного корпуса. При его повторной сборке обеспечивается точное взаимное положение обработанных поверхностей.

План обработки во-втором случае: предварительное крепление узла на базовой детали (станине) изделия, точная выверка положения узла на станине, сверление и развертывание отверстий под контрольные штифты, постановка контрольных штифтов, обеспечивающих точную фиксацию узла и станины. Штифты выполняют цилиндрическими или коническими; их ставят с небольшим натягом. Отверстия под штифты сверлят по разметке или по кондуктору (накладному или стационарному).

В часто разбираемых соединениях штифты целесообразно делать полыми, свертной конструкции. При наличии открытого шва они обладают пружинными свойствами, что обеспечивает компенсацию износа по наружной поверхности. В отдельных случаях штифты используют не только для точной фиксации сопряженных деталей, но и для передачи сдвигающих сил перпендикулярно их оси (рис. 54, *б*).

Шпоночные соединения используют в изделиях мелкосерийного и единичного производства. Конструктивные недостатки (ослабление валов шпоночным пазом, малая несущая способность) ограничивают их применение в малонагруженных конструкциях. Наиболее распространены призматические и сегментные шпонки; клиновые шпонки применяют редко, так как при сборке ступица смещается на валу в радиальном направлении. Сегментные шпонки меньше перекашиваются в пазу, чем призматические, однако они больше ослабляют вал и преимущественно их ставят по его концам.

Сборку шпоночных соединений производят, устанавливая сперва плотно шпонку в пазу, используя медный молоток, пресс или специальное приспособление. Длинные (направляющие) шпонки крепят в пазу винтами.

В массовом производстве сборку ведут по принципу взаимозаменяемости; в серийном допускается подбор и пригонка шпонок по ширине паза. После посадки шпонки на вал насаживают с зазором или натягом ступицу сопряженной детали. Последняя предохраняется от осевого смещения гайкой, винтом, разрезным пружинным кольцом или другими способами в зависимости от конструкции собираемого узла.

Рабочее место сборщика оснащается сборочными и контрольными приспособлениями, ручными или приводными прессами. При большой массе собираемых изделий сборочное место должно быть оборудовано подъемно-транспортными устройствами.

Для разборки соединений в их конструкции предусматривают резьбовые отверстия для отжимных винтов, возможность применения съемников, выколоток и упругих элементов.

В процессе сборки соединений проверяют плотность посадки шпонок в пазах вала, параллельность расположения шпонок оси вала, плавность перемещения ступицы по валу (для скользящих соединений), выявляют окружной зазор (качку) в соединении; соединения с клиновыми шпонками проверяют также на радиальное и осевое биения ступицы. Дефектные соединения могут быть подвергнуты (если допускается по ТУ) переборке.

Шлицевые соединения. По форме профиля шлицев применяют три типа соединений: прямобочные, эвольвентные и треугольные. *Прямобочные соединения* выполняют центрированием по боковым граням шлицев, по наружному или внутреннему диаметру вала. По стандарту предусматриваются три серии соединений (легкая, средняя и тяжелая) с числом шлицев 6 – 20. Лучшая соосность вала и ступицы обеспечивается центрированием по наружному или внутреннему диаметру. Центрирование по боковым граням применяют при тяжелых условиях работы, так как оно дает более равномерное распределение нагрузки по шлицам.

При невысокой твердости материала втулки (НВ < 350) центрирование производят по наружному диаметру. В этом случае поверхности центрирования втулки калибруют протяжкой, а центрирующие поверхности вала шлифуют. При большей твердости материала втулки применяют центрирование по внутреннему диаметру. Центрирующие поверхности втулки и вала при этом шлифуют.

Эвольвентные шлицевые соединения центрируют по боковым граням или (реже) по наружному диаметру вала. Как прямобочные, так и эвольвентные шлицевые поверхности применяют в подвижных и неподвижных соединениях. Элементы подвижного шлицевого соединения обычно подвергают термической обработке.

Соединения с треугольными шлицами применяют как неподвижные при тонкостенных втулках. Они обеспечивают передачу значительных моментов и при большом числе шлицев (до 75) позволяют регулировать положение втулки на валу в окружном направлении.

Сборку шлицевых соединений производят методом полной взаимозаменяемости и методом подбора (при повышенных требованиях). Сборке предшествует тщательная очистка сопрягаемых деталей, их контроль и внешний осмотр на предмет выявления дефектов поверхности (забоины, вмятины и др.).

При сборке подвижных соединений втулка должна плавно, без качки и заедания перемещаться по валу (от руки). Зазоры в радиальном и окружном направлениях не должны превышать величин, указанных в ТУ на данное соединение. Сборку неподвижных соединений выполняют на прессе. Контроль на биение осуществляют индикатором в центровых бабках или на призмах.

Профильные соединения имеют преимущества по сравнению со шпоночными и шлицевыми – они обеспечивают хорошее центрирование деталей, не имеют острых углов и резких переходов сечения, в результате чего нет концентрации напряжений и опасности образования трещин при термической обработке. Технология обработки поверхностей сопряжения вала (копирное обтачивание и шлифование) и втулки (протягивание) не вызывает затруднений. Профильные соединения обычно выполняют с овальным контуром поперечного сечения (рис. 55). Их сборка производится с зазором (подвижные соединения) по принципу взаимозаменяемости. При неточном изготовлении сопряженных деталей возможна качка втулки на валу.

Соединения с гарантированным зазором выполняют вручную при массе деталей до 10 кг. При большей массе используют подъемные устройства. Перед сборкой производят очистку (протирку) и смазывание (в узлах трения) поверхностей сопряжения. Для облегчения сборки и устранения перекосов часто предусматривают направляющие фаски и пояски на сопряженных поверхностях. Используют также специальные приспособления и вспомогательные оправки (фальшвалики).

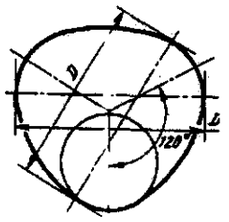


Рис. 55. Пример профильного соединения

При малых допусках на зазор сопрягаемые детали сортируют на размерные группы или подбирают на месте в процессе сборки.

Соединения с упругими элементами выполняют с использованием разрезных стопорных колец [наружных (рис. 56, *а*) и внутренних, рис. 56, *б*] и других элементов. Стопорные кольца фиксируют детали от осевого перемещения и воспринимают значительные осевые нагрузки. Их изготовляют из стали 65Г и подвергают термической обработке. Размеры колец стандартизованы. Перед постановкой на место кольца разжимают или сжимают, используя специальные щипцы или приспособления. Стопорные кольца уменьшают габариты сопряжений, упрощают их конструкцию и обработку сопрягаемых поверхностей.

Сборка неразъемных соединений. К неразъемным соединениям относят соединения,

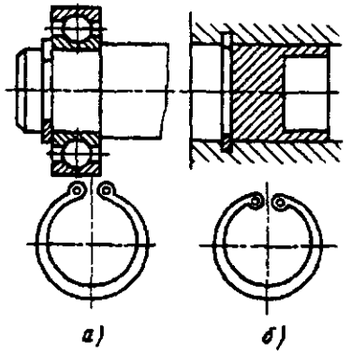


Рис. 56. Примеры применения стопорных разрезных колец

выполняемые с гарантированным натягом, развальцовкой и отбортовкой, клепкой, сваркой, пайкой и склеиванием.

Соединения с гарантированным натягом осуществляют ударами ручника (запрессовка штифтов, заглушек, небольших втулок), на прессах или путем теплового воздействия на сопрягаемые детали. Способность соединений передавать нагрузки зависит от натяга. На его величину оказывает влияние шероховатость посадочных поверхностей. При большой высоте микронеровностей часть их при запрессовке сминается, и фактически получаемый натяг уменьшается. Поэтому параметр шероховатости посадочных поверхностей назначают в пределах $Ra \le 1{,}25$ мкм.

Качество соединений с гарантированным натягом контролируют по величине усилия запрессовки. При сборке ответственных соединений снимают диаграмму усилия запрессовки, которая является паспортом этого соединения. Для проверки качества соединений может быть применен ультразвуковой метод контроля.

Сборка с тепловым воздействием повышает прочность соединения в 1,5 раза, так как в этом случае сглаживания микронеровностей не происходит. Поверхности сопряжения можно обрабатывать менее тщательно. Тепловые посадки целесообразно применять при больших диаметрах и незначительной длине сопряжения (бандажи колес подвижного состава, зубчатые венцы), когда при посадке под прессом из-за неточного направления могут возникнуть перекосы, а также при тонкостенных охватывающих деталях.

Сборку с тепловым воздействием проводят с общим и местным нагревом охватывающей детали. Первый применяют для деталей небольших и средних размеров. Нагрев осуществляют в масляных или водяных ваннах, индукционными устройствами или газовым пламенем. Для крупногабаритных деталей применяют местный нагрев примыкающего к посадочному отверстию материала (газовым пламенем или электронагревателями).

Нагрев крупногабаритных деталей затруднен; в этих случаях применяют охлаждение охватываемых деталей. Сборка с охлаждением не изменяет исходную структуру и физико-механические свойства металла. Время охлаждения охватываемых деталей (особенно тонкостенных) меньше времени нагрева охватывающих. Охлаждение осуществляют в жидком азоте (температура –195,8 °С) или в ванне денатурированный спирт – сухой лед (температура –78,5 °С). При автоматической сборке детали пропускают через конвейерную холодильную установку.

При запрессовке и сборке с тепловым воздействием применяют специальные приспособления для правильной установки сопрягаемых деталей, а на их поверхностях предусматривают направляющие фаски или цилиндрические пояски. Для предупреждения задиров поверхностей и уменьшения сил запрессовки применяют минеральную смазку или дисульфид молибдена. При сборке сопряжений, работающих при повышенных температурах, шейку вала покрывают специальной смазкой, содержащей графит. В случае разборки соединений с гарантированным натягом применяют съемники; в конструкциях деталей для облегчения демонтажа предусматривают соответствующие элементы. Сила запрессовки, Н

$$P = f\pi\, ndLp,$$

где f – коэффициент трения на контактной поверхности (зависит от параметров шероховатости поверхности, смазочного материала, величины давления и других факторов); приближенно при сборке стальных и чугунных деталей $f = 0{,}08 \ldots 0{,}1$; d – номинальный диаметр сопряжения, мм; L – длина сопрягаемых поверхностей, мм; p – давление на поверхности контакта, МПа;

$$p = \frac{\delta \cdot 10^{-3}}{d\left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2}\right)},$$

где δ – натяг в сопряжении, мкм; C_1 и C_2 – коэффициенты;

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \mu_1; \quad C_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} + \mu_2;$$

здесь E_1 и E_2, μ_1 и μ_2 – модули упругости и коэффициенты Пуассона материалов вала и втулки; d_1 – диаметр отверстия пустотелого вала; d_2 – диаметр напрессовываемой детали (втулки). Для сплошного вала $d_1 = 0$ и $C_1 = 1 - \mu$.

По усилию запрессовки выбирают мощность прессующего устройства с учетом коэффициента запаса, величину которого рекомендуется брать равной 1,5. Сила запрессовки может быть уменьшена на 20 – 30 % при наложении осевых вибраций (импульсов) от встраиваемого в прессующее устройство специально-

го вибратора.

При запрессовке происходит увеличение диаметра охватывающей детали (Δd_2) и уменьшение внутреннего диаметра охватываемой (Δd_1). Эти изменения следует учитывать, если указанные размеры ограничены узкими допусками:

$$\Delta d_2 = \frac{2pd_2d^2 \cdot 10^3}{E_2\left(d_2^2 - d^2\right)}; \quad \Delta d_1 = \frac{2pd^2d_1 \cdot 10^3}{E_1\left(d^2 - d_1^2\right)}.$$

При сборке с тепловым воздействием необходимо знать температуру и время нагрева или охлаждения сопрягаемых деталей. Увеличение или уменьшение диаметра (в мкм) посадочной поверхности определяют по формуле $\Delta d = \delta + i$, где δ – наибольший натяг для данного соединения; i – гарантированный зазор, обеспечивающий свободную посадку при сборке (рекомендуется брать равным минимальному зазору посадки *H7/g6*).

Температуру $T_в$ нагрева охватывающей детали или температуру охлаждения охватываемой, которая должна быть в начале выполнения соединения, определяют из условия

$$\Delta d \cdot 10^{-3} < \alpha T_B d,$$

откуда

$$T_B > \frac{\Delta d \cdot 10^{-3}}{\alpha d}.$$

При переносе детали из нагревательного (охлаждающего) устройства на сборочную позицию неизбежно ее охлаждение (нагрев). Знак время t переноса детали, можно найти температуру T_A, которую должна иметь деталь в момент ее выгрузки из нагревательного устройства:

$$T_A = T + \frac{T_B - T}{e^{-kt}},$$

где T – температура окружающего воздуха, °С. Показатель k зависит от размеров и конфигурации детали, ее материала и метода нагрева. Его следует определять экспериментально. Если T_A и T_B заданы, то

$$t = \frac{1}{k} \ln \frac{T_A - T}{T_B - T}.$$

Соединения, выполняемые развальцовкой и отбортовкой. Развальцовка и отбортовка основаны на пластическом деформировании одной из сопрягаемых деталей, поэтому свойства материала имеют большое значение для получения качественного соединения. Развальцовкой и отбортовкой получают плотные и герметичные соединения, передающие осевую нагрузку и крутящий момент.

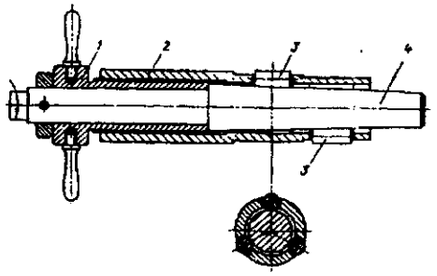


Рис. 57. Цилиндрическая вальцовка с разжимом роликов:
1 – винт подачи; *2* – корпус; *3* – ролики; *4* – разжимающий конус

Развальцовку выполняют вручную на сверлильных и специальных станках, используя специальный инструмент. При развальцовке цилиндрических поверхностей применяют вальцовки с радиальной подачей роликов (рис. 57); скорость развальцовывания 15 – 20 м/мин.

Отбортовку выполняют вальцовками (рис. 58), штампами и обжимками. Качество соединений проверяют гидравлическими испытаниями на герметичность и плотность, приложением внешней нагрузки для выявления передаваемой осевой силы и момента, а также внешним осмотром. Качество соединения зависит от подготовки сопрягаемых поверхностей, которые должны быть чисто и точно обработаны.

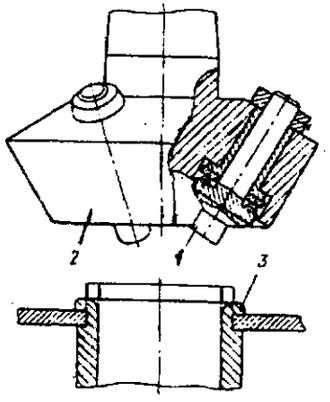


Рис. 58. Отбортовка роликовой вальцовкой:
1 – ролики; *2* – корпус головки; *3* – деталь

Параметр шероховатости сопрягаемых поверхностей должен быть $Rz \leq 10$ мкм, а точность – не ниже 11-го квалитета. Качество соединения проверяют в процессе сборки по моменту и осевой силе, что удобно при автоматическом выполнении соединения, а также по пути перемещения разжимающего конуса инструмента.

Применяют также методы импульсного воздействия высоких энергий при вальцевании, что повышает производительность и качество соединений. К таким методам относят использование ударной волны при взрыве проволочки, соединенной с источником электрической энергии.

Сварка. В зависимости от технических требований, предъявляемых к сварным узлам, различают следующие схемы технологических процессов:

- заготовка элементов узла с их окончательной механической обработкой – сборка узла – сварка – правка узла;
- заготовка элементов узла с частичной (предварительной) механической обработкой – сборка узла – сварка – термическая обработка (при необходимости) – окончательная механическая обработка;
- заготовка элементов узла – сборка узла – сварка – механическая обработка.

В последней схеме механическая обработка может выполняться также на первом этапе в виде подготовки кромок под сварку.

Сборочные работы перед сваркой предусматривают правильное положение соединяемых деталей и их временное скрепление. Правильность соединения обеспечивают выверкой или установкой деталей в приспособления.

Технологические особенности сварки обеспечивают возможность ведения этого процесса на поточных линиях механической обработки и сборки.

Пайка. Для получения прочных и герметичных соединений, особенно в производстве изделий из листового металла (оцинкованного и декапированного железа, жести, латуни и т. п.), применяют пайку.

Различают пайку твердыми и мягкими припоями. Твердые припои имеют температуру плавления выше 550 °С и предел прочности до 500 МПа. У мягких припоев температура плавления ниже 400 °С и предел прочности ~50 – 70 МПа. Припои стандартизованы.

Припои наносят в расплавленном состоянии паяльником или в виде колец, фольговых прокладок, дроби, паст в смеси с флюсом; расплавление припоя происходит при нагреве вместе с деталями.

Автоматическую пайку выполняют в следующем порядке: точная установка соединяемых деталей специальными приспособлениями, нанесение припоя и флюса, нагрев узла до температуры плавления припоя индукционным методом, ТВЧ, газовым пламенем, пропусканием через конвейерное нагревательное устройство или окунанием в расплавленный флюс. Последние два способа удобны при большом числе одновременно выполняемых мест пайки. Качественные стали паяют также в защитной атмосфере (или в вакууме) при нагреве ТВЧ.

Комплексную автоматизацию пайки наиболее просто осуществляют при использовании припоя и флюса в виде пасты. Пайку ведут на карусельной установке; на первой позиции устанавливают детали, подаваемые из бункеров; на второй – выдают пасту в зону пайки; на третьей – нагревают узел ТВЧ или газовым пламенем; на четвертой – охлаждают узел (при необходимости) и на пятой – автоматически удаляют собранный узел.

Поверхности соединяемых деталей тщательно обезжиривают и очищают от окислов и посторонних частиц. Для повышения прочности соединения необходимо обеспечивать большую поверхность прилегания. Применяют соединения внахлестку или в ус. Поверхность контакта увеличивают образованием выточек или применением соединительных деталей (рис. 59).

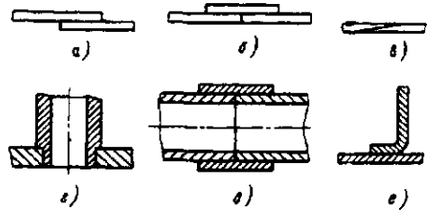


Рис. 59. Виды соединений при пайке:
а и б – внахлестку; *в* – соединение вскос; *г – е* – соединение с увеличенной поверхностью контакта

20. Составы флюсов для пайки

Твердая пайка		Мягкая пайка	
Состав	Применение	Состав	Применение
Бура	Пайка латуни и медных сплавов	Хлористого цинка 10 – 30 %, остальное – вода	Пайка стали и медных сплавов
Буры 72 % + поваренной соли 14 % + поташа кальцинированного 14 %	То же и пайка серебряными припоями	Хлористого цинка 20 % + + хлористого аммония 5 % + вазелина 74 %, остальное – вода	То же (флюс в виде пасты)
Буры 80 – 90 % + хлористого цинка 10 – 20 %	Пайка серебряными припоями	Хлористого цинка 25 – 30 % + хлористого аммония 5 – 20 %, остальное – вода	Пайка меди и медных сплавов
Буры 90 % + борной кислоты 10 %	Пайка стали и медных сплавов	Канифоль (сухая или раствор ее в этиловом спирте)	Пайка меди и ее сплавов
Буры 21 % + борной кислоты 70 % + фтористого кальция 9 %	Пайка коррозионностойкой стали медноникелевыми припоями	Насыщенный раствор хлористого цинка в соляной кислоте	Пайка коррозионностойкой стали
Борной кислоты 60 % + фтористого кальция 40 %	То же, серебряными припоями	Хлористого цинка 95 % + фтористого натрия 5 %	Пайка алюминия
Буры 60 % + хлористого цинка 38 % + марганцевокислого калия 2 %	Пайка чугуна	Стеарин	Лужение и бесконтактная пайка меди и латуни
Хлористого лития 29 – 35 % + фтористого натрия 9 – 11 % + хлористого цинка 6 – 10 % + хлористого калия 44 –50 %	Пайка алюминия		

С увеличением зазора в стыке прочность соединения снижается. При пайке стали твердыми припоями рекомендуется зазор в пределах 0,03 – 0,05 мм, мягкими припоями зазор – 0,05 – 0, 2 мм. При пайке медных сплавов зазор принимают в пределах 0,08 – 0,35 мм.

Для обеспечения указанных зазоров необходимы точная механическая обработка сопрягаемых поверхностей и учет тепловых деформаций деталей при их нагреве.

Механическую очистку выполняют стальной щеткой или абразивным полотном, обезжиривание – горячими щелочными растворами или органическими растворителями. Окислы удаляют травлением в кислотах с последующей промывкой и сушкой.

Элементы собранного узла перед пайкой скрепляют в специальных приспособлениях. Если в одном узле применяют последовательную пайку нескольких деталей, то используют припои с последовательно понижающейся температурой плавления.

Для удаления с поверхностей соединяемых деталей пленок, окислов и лучшего смачивания их используют флюсы (табл. 20) в виде порошков или паст. Флюсы насыпают или намазывают на места пайки. Остаток флюса после пайки удаляют промывкой горячей водой или пескоструйной обработкой, так как он способствует коррозии соединений (особенно при пайке алюминия).

Пайку узлов выполняют с местным или общим нагревом. Методы пайки приведены в табл. 21.

21. Методы пайки

Нагрев	Пайка	Средство нагрева	Припой	Назначение и условия выполнения
Местный	Термическим контактом	Паяльники	Мягкий	–
	Пламенем горючих газов и паров	Газовое пламя от горелки или лампы	Твердый и мягкий	Во избежание прожигов рекомендуется для крупных изделий
	Электродуговая	Дуга от угольного или металлического электрода	Твердый	–
		Дуга косвенного действия		Для толщин 1,5 мм
	Электроконтактная	Контактные машины для сварки. Специальные аппараты для пайки	Твердый и мягкий	Для соединений небольших размеров, для припайки мелких деталей к более крупным
	Электрическая индукционная	Индуктор, установка ТВЧ		
Общий	Горновая	Горны	Твердый	
	В печах	Муфельные или электрические печи. Печи с восстановительной атмосферой		
	Погружением	Ванны с расплавленным припоем или соляные	Твердый и мягкий	Требуется защита свободных поверхностей от припоя

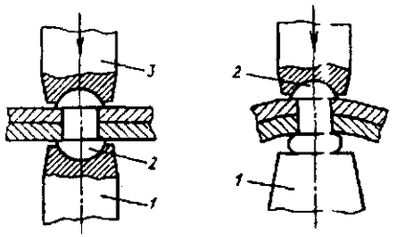
Выполнение клепаных соединений. Горячую клепку применяют для заклепок диаметром более 14 мм, холодную клепку при наличии мощного клепального оборудования и достаточной пластичности металла – для заклепок диаметром до 25 мм.

Замыкающую головку получают ударной клепкой и клепкой давлением. Клепка давлением в качественном отношении лучше, чем ударная клепка: она бесшумна и вызывает меньшую утомляемость рабочего. Ударная клепка более универсальна, ее применяют для соединения деталей любых габаритов.

Склепыванию предшествует предварительная обработка отверстий пробивкой или сверлением и сжатие соединяемых деталей; для выравнивания смещенных отверстий их совместно обрабатывают.

Для фиксации склепываемых деталей применяют центрирующие вставки или штифты. При клепке на прессах используют также установочные приспособления.

При горячей клепке каждую заклепку выдерживают под давлением рабочего инструмента для предупреждения ее вытяжки. Постановку заклепок для уменьшения смещения отверстий и выпучивания соединяемых листов следует вести вразброс.



а) *б)*

Рис. 60. Схема клепки:
а – обычным способом; *б* – обратным способом; *1* – поддержка; *2* – закладная головка заклепки; *3* – обжимка

Замыкающая головка при ударной клепке формируется двумя способами (рис. 60). При обычном способе закладную головку заводят в углубление поддержки, и замыкающая головка образуется под ударами молотка; требуемая форма головке придается обжимкой. При обратном способе, применяемом для склепывания в труднодоступных местах, удары наносят по закладной головке. Замыкающая головка образуется от соприкосновения с поддержкой.

Заклепки из сталей Ст2 и Ст3 нагревают до 1050 – 1100 °С в угольных, газовых и электрических печах. Производительность печей – около 300 заклепок в час. Удобен электроконтактный способ нагрева (производительность до 100 заклепок на одно нагревательное гнездо), однако при нем затруднен равномерный нагрев по всей длине заклепки.

Замыкающую головку трубчатых заклепок выполняют развальцовыванием или осадкой на прессах.

Механизацию клепальных работ осуществляют применением клепальных молотков, подвесных скоб и клепальных машин в виде прессов, полуавтоматов и автоматов.

При работе на прессах заклепки вставляют вручную щипцами или специальными вилками; на полуавтоматах – с помощью подающего устройства из бункеров. В автоматах пробивка отверстий, вставка заклепок и обжатие замыкающих головок выполняются автоматически. Промышленность выпускает автоматы для холодной клепки заклепками диаметром до 4 мм; время на расклепывание одной заклепки 0,5 с.

При работе на прессах на одну заклепку требуется 3 с.

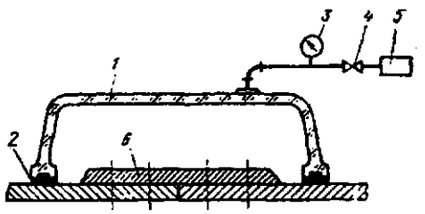


Рис. 61. Схема проверка на герметичность:
1 – прозрачный колпак; *2* – уплотнение; *3* – вакуумметр; *4* – кран; *5* – вакуум-насос; *6* – испытуемый узел

Усилие горячей клепки на прессах должно быть не менее $100F$, а при холодной клепке $250F$, где F – площадь поперечного сечения заклепки, мм^2.

Усилие, Н, холодной клепки

$$P = kd^{1,75}\sigma_в^{0,75},$$

где k – коэффициент формы замыкающей головки заклепки (для сферических головок k = = 28,6; для потайных k = 26,2; для плоских k = 15,2; для трубчатых k = 4,33); d – диаметр тела заклепки, мм; $\sigma_в$ - предел прочности материала заклепки при растяжении, МПа.

При клепке резервуаров и сосудов, работающих под давлением, для обеспечения герметичности производят чеканку листов и головок заклепок. Эту операцию выполняют при толщине листов более 4 мм.

При ударной клепке применяют жесткие или регулируемые поддержки.

Качество клепки контролируют внешним осмотром соединений и простукиванием заклепок. Внешним осмотром выявляют дефекты замыкающих головок, выпучивание или подсечку листов. Простукиванием определяют слабо затянутые заклепки. Маломерные, плохо оформленные и сбитые на сторону головки обнаруживают шаблонами. Плохое прилегание головок проверяют щупами. Дефектные заклепки высверливают, а вместо них ставят новые.

Герметичность соединения проверяют воздушной или гидравлической пробой. Узлы, не имеющие замкнутого пространства, проверяют методом вакуума (рис. 61). Неплотность соединения обнаруживают по воздушным пузырькам после смачивания поверхности мыльной водой. При гидропробе неплотности обнаруживают падением давления по манометру или по выступлению капелек влаги на наружной поверхности. Величину пробного давления указывают в технических условиях.

Склеивание применяют для сопряжений по цилиндрическим поверхностям (посадка втулок в корпусные детали, постановка заглушек и пр.), а также для соединения по плоскостям (узлы из листового материала внахлестку, встык с одной или двумя накладками). Клеевые соединения хорошо работают на сдвиг (прочность 4000 МПа), хуже на отрыв и отдир. Они обеспечивают герметичность стыка. При температуре выше 100 °С их прочность резко снижается.

Величина зазора рекомендуется в пределах 0,05 – 0,15 мм. При зазоре 0,5 мм прочность снижается в 1,5 – 2 раза. С увеличением длины нахлестки прочность соединения растет, асимптотически приближаясь к определенному пределу. Применяют клеи на основе фенольных смол (типа БФ), эпоксидных смол, каучуков, полиуретановые и специальные клеи (карбинольные, шеллаки, силиконовые и др.).

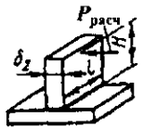
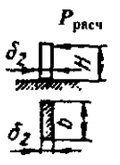
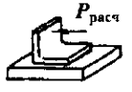
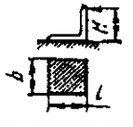
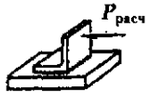
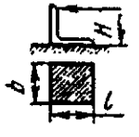
Технология выполнения клеевых соединений предусматривает подготовку поверхности деталей, приготовление и нанесение клея, сборку деталей с приложением прижимных сил в зависимости от марки клея и последующую выдержку узла для отверждения клея.

Параметр шероховатости сопрягаемых поверхностей Ra = 1,25 … 5,0 мкм. Поверхности очищают и обезжиривают, применяя органические растворители (ацетон, трихлорэтилен и др.), 2 – 3 %-ный водный раствор каустической соды, нагретый до 60 – 70 °С, или нагрев деталей в газовом пламени. Клей в зависимости от его консистенции наносят кистью, пульверизатором, шпателем, роликами или шприцами. Сборку деталей проводят в приспособлениях с прижатием их рычажными системами, пружинами или пневматическими устройствами. Давление при прижатии 20 – 30 МПа.

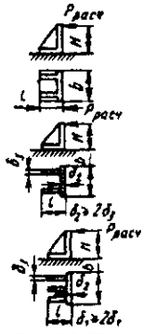
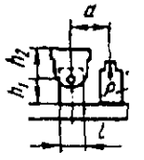
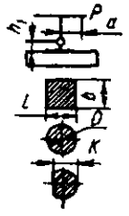
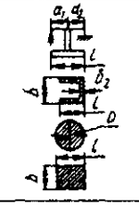
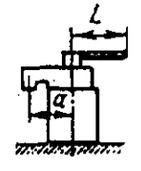
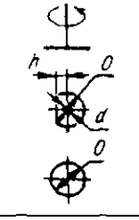
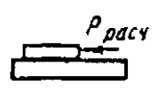
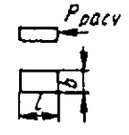
Температура нагрева при сушке и продолжительность выдержки зависят от марки клея. Так, для клея на основе эпоксидной смолы ЭД-5 температура должна достигать 150 – 160 °С и время выдержки 1,5 ч. Нагрев осуществляют в шкафах с электрическими или газовыми нагревателями. При работе с клеями необходима осторожность, так как их компоненты токсичны.

Расчетные схемы некоторых типовых клеевых соединений приведены в табл. 22.

22. Расчетные схемы клеевых соединений

Эскиз типового узла	Расчетная схема	Формула для определения напряжений в клеевом шве [МПа]		Приведенные напряжения
		нормальных σ	сдвигающих τ	$\sigma_{пр}$ [МПа]
		$\frac{6P^*_{расч}H}{b\delta_2^2}$	$\frac{1,5P^*_{расч}}{b\delta_2}$	$0,5\left(\sigma+\sqrt{\sigma^2+4\tau^2}\right)\le$ $\le[\sigma]$
		$\frac{15P^*_{расч}H}{bl^2}$	$\frac{15P_{расч}}{bl}$	
		$\frac{20P_{расч}H}{bl^2}$	$\frac{2P_{расч}}{bl}$	

Продолжение табл. 22

Эскиз типового узла	Расчетная схема	Формула для определения напряжений в клеевом шве [МПа]		Приведенные напряжения $\sigma_{пр}$ [МПа]
		нормальных σ	сдвигающих τ	
		$\frac{10P_{расч}H}{bl^2}$	$\frac{2{,}5P_{расч}}{bl}$	
		$\frac{5P_{расч}H}{bl\delta_2}$	$\frac{3{,}5P_{расч}}{\delta_2(b+l)}$	$0{,}5\left(\sigma+\sqrt{\sigma^2+4\tau^2}\right)\le$ $\le[\sigma]$
		$\frac{3{,}5P_{расч}H}{bl\delta_2}$	$\frac{2{,}5P_{расч}}{\delta_2(b+l)}$	$0{,}5\left(\sigma+\sqrt{\sigma^2+4\tau^2}\right)\le$ $\le[\sigma]$
 *1* – цилиндр гидравлический		$\frac{P}{bl}\left(1{,}5+\frac{6ah_1}{lh_2}\right)$; $\frac{4P}{\pi D}\left(1{,}5+\frac{6ah_1}{Dh_2}\right)$; $\frac{P}{F}\left(1{,}5+\frac{6ah_1}{Kh_2}\right)$;	$\frac{2Pa}{blh_2}$; $\frac{8Pa}{\pi D^2h_2}$; $\frac{2Pa}{Fh_2}$, где F – площадь основания	$0{,}5\left(\sigma+\sqrt{\sigma^2+4\tau^2}\right)\le$ $\le[\sigma]$
		$\frac{2P(a_1+a_2)}{\delta_2(2l+b)a_2}$; $\frac{8P(a_1+a_2)}{\pi D^2a_2}$; $\frac{2P(a_1+a_2)}{bla_2}$	–	$\sigma\le[\sigma]$
		$\frac{75PLa}{d_в h^2(D-d)}$; $\frac{75PLa}{d_в d^2D}$, где $d_в$ – диаметр винта; L – длина рукоятки	–	$\sigma=[\sigma]$
		–	$\frac{P_{расч}}{bl}$	$\tau=[\tau]$

* $P_{расч}$ – расчетная сила, действующая на тот или иной узел приспособления

Автоматизация нанесения клеев и герметиков применяется в случаях: требования высокой производительности; применения опасных для здоровья человека клеев или их компонентов; требования высокого качества клеевого соединения, которое нельзя обеспечить ручным нанесением.

Автоматизация обеспечивает экономичный расход клеев и герметиков. При разработке автоматизированных технологических процессов сборки клеевых соединений стремятся добиться безотходного использования клеящих материалов.

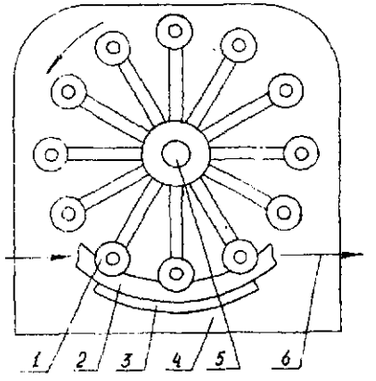


Рис. 62. Роликовый дозатор: *1* – подающий ролик; *2* – гибкий шланг; *3* – выступающий желоб под шланг; *4* – корпус с двигателем; *5* – ось вращения роликов; *6* – направление подачи клея

Механизмы автоматизированного нанесения клеев и герметиков обычно выполняют следующие функции: дозирование подачи клеящего материала; смешение компонентов клея в требуемых пропорциях, в случае применения многокомпонентных клеев; нанесение клея или герметика с требуемыми параметрами клеевого шва (толщина клеевого шва, равномерность нанесения, площадь нанесения и т.п.); транспортирование в зону сборки.

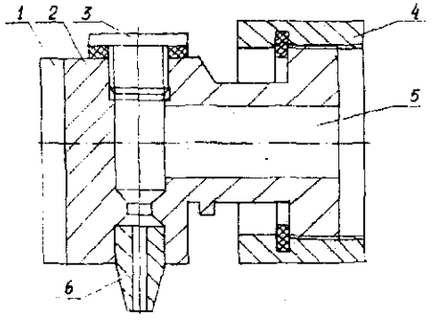


Рис. 63. Поворотная головка нанесения жидкотекучего клея: *1* – паз визуального контроля; *2* – корпус; *3* – пробка; *4* – гайка; *5* – канал подачи клея; *6* – сопло

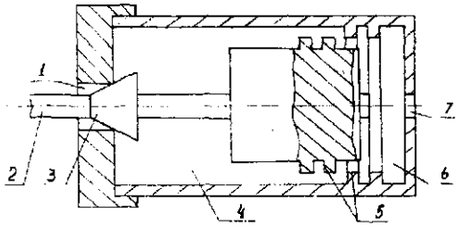


Рис. 64. Форсунка для распыления клея: *1* – входной канал для клея; *2* – поступательно перемещающийся вал с поршнем; *3* – стержневой затвор; *4* – камера; *5* – каналы выступа с тангенциальным наклоном; *6* – камера сжатия; *7* – сопло

В случае использования термопластичных клеев на механизмы нанесения накладывается дополнительная функция разогрева клея и поддержания требуемой температуры на всем пути транспортировки клея.

На рис. 62 представлен общий вид роликового дозатора, который транспортирует однокомпонентный низковязкий клей (или компонент клея) порционными объемами, замкнутыми между роликами *1* в гибком шланге *2* на желобе *3*. Чем быстрее вращаются ролики вокруг оси *5*, тем активнее поступает клей в зону сборки. Регулировкой скорости вращения роликов можно настроить дозатор на капельный или струйный режим работы.

Поворотная головка для нанесения жидкотекучего клея (рис. 63) является рабочим органом, который вводится непосредственно в зону сборки. Его соединяют с трубопроводом, идущим от дозирующих агрегатов. На трубопровод поворотная головка крепится гайкой *4*. Паз визуального контроля *1* позволяет вывести поворотную головку в рабочую позицию с определенной точностью. Особенно удобна такая конструкция при ручном перемещении головки по прямой траектории. Сопло *6* можно менять, изменяя сечение выходной струи клея или герметика. В случае засорения выходного канала, для удобства его продувки предусмотрена пробка *3* в корпусе *2*.

На рис. 64 показана форсунка для распы-

ления клея. Такие приспособления применяются при нанесении клея на большие поверхности. Клей должен обладать низкой вязкостью и хорошо растекаться по поверхности для обеспечения сплошности нанесения. При крайнем правом положении поршня *2* в камеру *4* через канал *1* поступает клей. При перемещении вала с поршнем *2* в крайне левое положение затвор *3* перекрывает входной канал для клея, отсекая избыток клея. Из камеры *4* клей перетекает в камеру сжатия *6*. Поршень переходит в крайне правое положение, вытесняя клей через сопло *7* на поверхность склеивания. Устройство работает в вертикальном состоянии при резком перемещении вала с поршнем *2*.

При использовании термопластичных клеев к описанному общему виду конструкции добавляется система нагрева клея и система регулировки температуры нагрева по всему пути следования клея до места сборки.

Системы контроля температуры нагрева позволяют избегать перегрева клея. В противном случае клей-расплав теряет пластичность, становится хрупким, утрачивает адгезивные характеристики и становится непригодным для работы. Рекомендуется так конструировать устройства для нанесения термопластичных клеев, чтобы плавилась не вся масса клея, а только порция, необходимая для сборки.

В большинстве случаев применения клеев-расплавов в машиностроении, нанесение его осуществляется с помощью профилированных наконечников, а также применяют ролики, специальные скребки или шпатели. Для беспрепятственной транспортировки клея-расплава к месту сборки необходимо обеспечить

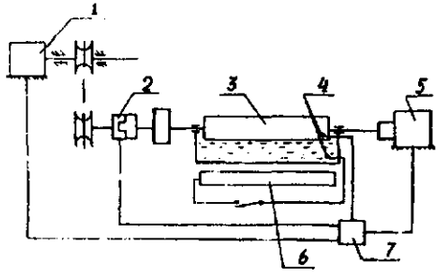


Рис. 65. Устройство для нанесения термопластичного клея в автоматизированном режиме:
1 – механизм перемещения заготовок; *2* – электромагнитная сцепная муфта; *3* – валик для нанесения клея; *4* – датчики температуры; *5* – двигатель; *6* – устройство нагрева; *7* – управляющая система регулировки температуры

нагрев до требуемой температуры по всей траектории движения, включая выходное сопло. В некоторых системах применяют ступенчатый нагрев для обеспечения лучших условий эксплуатации клея.

Выходное сопло должно легко закрываться и открываться без лишних вытеков клея. Корпуса таких устройств должны изготавливаться из теплоизолирующих материалов, которые предохраняют рабочих от возможных ожогов. В высокопроизводительном производстве процесс отверждения клея можно ускорить, оборудовав место сборки устройством подачи холодного воздуха на клеевой стык.

На рис. 65 изображена схема устройства для нанесения термопластичного клея в автоматизированном режиме. Клей наносится на заготовки валиком *3*, который вращается двигателем *5* в ванне с расплавленным клеем. Температура в ванне поддерживается нагревательным устройством *6*. За работой системы следит блок управления *7*, соединенный с температурными датчиками *4*. Если температура в ванне становится выше требуемой, то размыкается ключ в устройстве нагрева *6*, отключая ее. При понижении температуры нагреватель вновь включается. Таким образом в ванне с клеем поддерживается постоянная температура. Электромагнитная сцепная муфта *2* соединяет валковое устройство с транспортером, подающим заготовки в зону нанесения клея, синхронизируя работу этих механизмов.

СБОРКА УЗЛОВ С ПОДШИПНИКАМИ КАЧЕНИЯ

Подшипники качения различают:

по направлению воспринимаемой нагрузки относительно оси вала – радиальные, радиально-упорные, упорно-радиальные и упорные;

по форме элементов качения – шариковые и роликовые, причем ролики могут быть цилиндрическими (короткими, длинными и игольчатыми), коническими, бочкообразными и витыми;

по способности самоустанавливаться при неточном выполнении расточек или при перекосе вала – самоустанавливающиеся и несамоустанавливающиеся;

по способу монтажа – устанавливаемые непосредственно на шейке вала и устанавливаемые на шейке вала с помощью закрепительной втулки.

В зависимости от отношений основных размеров подшипники делят на следующие серии: особо легкие, легкие, тяжелые и широкие.

ГОСТ 520–2002 устанавливает допуски на основные размеры и точность вращения подшипников, методы контроля, транспортирование, хранение, указания по применению и эксплуатации.

Основные размеры подшипников должны соответствовать ГОСТ 3478, стандартам на типы и размеры подшипников или конструкторской документации, в которой имеется ссылка на ГОСТ 520.

Классы точности подшипников характеризуются значениями предельных отклонений размеров, формы, взаимного положения поверхностей подшипников. Для шариковых и роликовых радиальных и шариковых радиально-упорных подшипников установлены следующие классы в порядке повышения точности: 8, 7, нормальный, 6, 5, 4, Т, 2. Для роликовых конических подшипников установлены классы: 8, 7, 0, нормальный, 6Х, 6, 5, 4, 2.

В изделиях высокой точности и с большой частотой вращения используют подшипники классов 5 и 4. Подшипники классов 2 и Т применяют в основном в шпиндельных узлах прецизионных станков и в гироскопических приборах.

Долговечность подшипников зависит от правильного выбора посадок и монтажа подшипниковых узлов.

При выборе посадок следует руководствоваться рекомендациями, данными в приложении ГОСТ 3325–85. Неправильно выбранные посадки, перекосы при монтаже, повреждения и загрязнения при сборке могут вызвать преждевременный выход подшипника из строя.

Основные требования к сопрягаемым с подшипниками деталям по шероховатости поверхности, величине торцового биения заплечиков и посадочных поверхностей установлены ГОСТ 3325–85 и приведены в табл. 23.

23. Требования, предъявляемые к сопрягаемым с подшипниками качения деталям, по точности обработки и шероховатости поверхности

Требования к сопрягаемым с подшипниками качения деталям	Класс точности подшипника по ГОСТ 520	Номинальные диаметры, мм: Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
Допускаемое торцовое биение заплечиков, мкм:											
валов	0	18	21	25	30	35	40	46	52	57	–
	6	11	13	16	19	22	25	29	32	36	–
	5	5	6	7	8	10	12	14	16	18	–
	4	3	4	4	5	6	8	10	–	–	–
	2	2	2,5	2,5	3	4	5	7	–	–	–
отверстий в корпусах	0	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97
	6	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
	5	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
	4	5	6	7	8	10	12	14	16	30	
	2	3	4	4	5	6	8	10	12	13	
Шероховатость поверхности *Ra*, мкм:											
посадочных мест:											
на валах	0	1,25					2,5				
	6 и 5	0,63					1,25				
	4	0,32					0,63				
	2	0,16					0,32				
в отверстиях корпусов	0	1,25					2,5				
	6,5 и 4	0,63					1,25				
	2	0,32					0,63				
на торцах заплечиков валов и корпусов	0	2,5					2,5				
	6,5 и 4	1,25					1,25				
	2	0,63					0,63				

Примечание. Допуск непостоянства диаметра посадочных поверхностей валов и корпусов не должен превышать 1/2 допуска на посадочный размер для подшипников классов точности 0 и 6; 1/3 для классов точности 5 и 4 и 1/4 для класса точности 2.

Высота заплечиков вала и корпуса должна быть достаточной для надежной фиксации подшипника в осевом направлении и в то же время должна обеспечивать возможность съема подшипника при демонтаже узла. В том случае, когда второе требование не может быть выполнено, необходимо предусматривать расположенные под углом 120° пазы под лапы съемников.

Радиус галтели у заплечиков вала и корпуса должен быть меньше радиуса галтели подшипника для обеспечения касания торца кольца и упорного буртика.

Особое внимание следует обращать на обеспечение соосности расточек и посадочных шеек валов при установке несамоустанавливающихся подшипников. Причиной отклонения от соосности расточек в корпусах могут явиться остаточные напряжения в литых заготовках, а также напряжения, приобретенные в процессе черновой расточки отверстий. Поэтому корпусные детали для монтажа подшипников классов 5 и 4 следует подвергать старению.

При запрессовке подшипников на вал с большими натягами происходит уменьшение зазора e между беговой дорожкой и телами качения или даже защемление последних. И то и другое может явиться причиной преждевременного выхода подшипника из строя. Уменьшение зазора Δ'_e рассчитывают по формуле

$$\Delta'_e = \frac{0{,}8\delta dk}{d + 5{,}85\left(1 - k^2\right)},$$

где δ – номинальный натяг в сопряжении кольца подшипника с валом; d – номинальный диаметр отверстия внутреннего кольца подшипника; $k = d/d_н$; $d_н$ – наружный диаметр приведенного внутреннего кольца подшипника, имеющего в сечении прямоугольную форму при той же ширине и площадь, равную площади реального кольца.

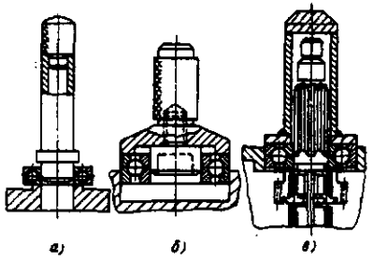


Рис. 66. Схемы установки подшипников качения на валы и в корпусы с использованием оправок

Приближенно можно считать, что уменьшение зазора составляет (0,55 – 0,6)δ при запрессовке внутреннего кольца и (0,65 – 0,7)δ при запрессовке наружного кольца в корпус.

Если по условиям эксплуатации возможен неодинаковый нагрев колец подшипника, то это может привести к уменьшению радиального зазора на величину $\Delta''_e = 1{,}1 \cdot 10^{-5} d_1 t$, где d_1 – диаметр дорожки качения внутреннего кольца подшипника; t – разность температуры внутреннего и наружного колец. Фактический зазор, равный $e - \Delta'_e - \Delta''_e$, не должен быть меньше минимального зазора, определяемого техническими условиям на подшипник.

Монтаж подшипников. Перед сборкой подшипники должны быть очищены от защитной смазки, грязи и посторонних частиц. Для этого их тщательно два-три раза промывают в 6 %-ном растворе минерального масла, в бензине или в горячих (70 – 75 °С) антикоррозионных водных растворах. Для очистки мелких подшипников применяют ультразвуковой способ.

После промывки подшипник проверяют на легкость вращения и шум. Для этого подшипник удерживают за внутреннее кольцо в горизонтальном положении, вращая наружное кольцо. Вращение должно быть легким и плавным.

При внешнем осмотре не должно быть обнаружено на подшипниках качения и посадочных поверхностях корпусов и валов следов коррозии. На этих поверхностях не допускаются забоины, задиры, царапины.

При посадке подшипников усилие следует прикладывать к тому кольцу подшипника, которое устанавливается с натягом. Во избежание перекосов прикладываемое усилие должно быть равномерно распределено по всему торцу кольца. Для этого используют специальные оправки (рис. 66, *а* – *в*). Запрессовку можно выполнять на прессе или ударами молотка. В том случае, когда запрессовывают оба кольца подшипника, усилие запрессовки прикладывают одновременно к торцам обоих колец с помощью специальной оправки (рис. 66, *в*).

Усилие запрессовки, Н,

$$P = \frac{\delta_ф f E \pi B}{2N},$$

где $\delta_ф$ – фактический натяг, мм; E – модуль упругости, МПа ($2{,}12 \cdot 10^5$); B – ширина напрессовываемого кольца, мм; f – коэффициент трения (при напрессовке f = 0,1 ... 0,15; при снятии кольца f = 0,15 ... 0,25);

$$N = \frac{1}{\left(1 - \frac{d}{d_0}\right)^2};$$ здесь $d_0 \approx d + \frac{D-d}{4}$; d – номинальный диаметр отверстия внутреннего кольца, мм; D – наружный диаметр подшипника, мм.

Фактический натяг всегда меньше номинального. Его определяют по формуле

$$\delta_ф = \delta - 1{,}2\left(R_{zд} + R_{zп}\right),$$

где $R_{zд}$ и $R_{zп}$ – средние высоты микронеровностей сопрягаемых поверхностей детали и подшипника. Ориентировочно величину фактического натяга можно принимать $\delta_ф = 0{,}8\delta$.

При наложении ультразвуковых колебаний и вибраций усилие запрессовки значительно уменьшается, что делает эффективным применение ультразвуковых методов сборки для небольших подшипников.

Установка подшипников качения облегчается при использовании метода теплового воздействия. Подшипник нагревают в масляной ванне в течение 15 – 20 мин и в горячем виде устанавливают на вал. При этом натяг уменьшается на величину $\Delta t \alpha d$, где Δt – разность температур подшипника и вала; α – коэффициент линейного расширения, равный для стали $1{,}1 \cdot 10^{-5}$, и d – внутренний диаметр подшипника.

Для полной компенсации натяга температурным расширением деталей разность температур Δt, сопрягаемых с натягом деталей, должна быть $\Delta t \geq \delta/\alpha d$.

Температура нагрева подшипника не должна превышать 100 °С; при более высокой температуре возможно ухудшение механических свойств материала подшипника. Если только одного нагрева подшипника недостаточно для компенсации натяга, дополнительно охлаждают вал. Метод охлаждения особенно целесообразен при запрессовке подшипника в корпус, так как наружное кольцо обладает меньшей жесткостью и при значительных натягах возможен перекос кольца в расточке корпуса. Нагрев корпуса осуществляют погружением его в масляную ванну (при небольших габаритах) или обдувкой горячим воздухом.

Заданную температуру нагрева подшипников при сборке 60 – 100 °С обеспечивают применением электрических регуляторов температуры масляной ванны.

Охлаждают подшипники и валы до температуры минус 75 – 77 °С в термостатах с сухим льдом.

При монтаже нагретый подшипник устанавливают на вал и досылают на место с небольшим осевым усилием. Аналогично устанавливают охлажденный подшипник в корпус.

При сборке подшипников качения особое внимание следует обращать на чистоту рабочего места, сборочных приспособлений и сопрягаемых деталей.

При монтаже крупногабаритных подшипников в разъемные корпуса обычно проверяют по краске прилегание наружного кольца к посадочной поверхности. Площадь касания должна составлять не менее 75 % общей площади поверхности. В случае плохого прилегания посадочные места пришабривают.

После установки подшипников на вал проверяют фактическую величину радиального зазора в подшипнике. Для этого используют приспособление, схема которого показана на рис. 67. Величина радиального зазора e радиальных шарикоподшипников может быть определена и по величине осевого зазора e_0 по формуле

$$e = \frac{e_0^2}{4(2r - d_ш)}$$

где r – радиус желоба; $d_ш$ – диаметр шарика.

Плотность касания подшипником торцов заплечиков вала или корпуса проверяют с помощью щупа.

После запрессовки кольца упорного подшипника на вал с помощью индикатора проверяют отсутствие осевого биения беговой дорожки подшипника, а также плотность прилегания его к заплечику вала.

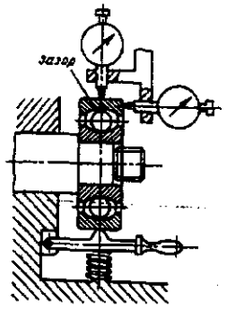


Рис. 67. Схема приспособления для проверки радиального зазора в шарикоподшипнике после его напрессовки на вал

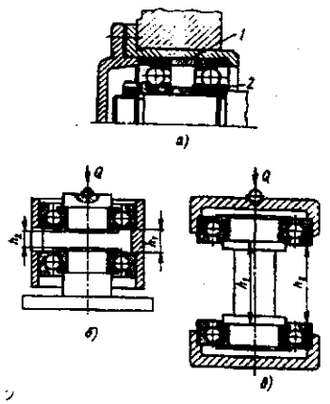


Рис. 68. Образование натяга в радиально-упорных подшипниках при их монтаже

При монтаже шпинделей металлорежущих станков и в ряде других случаев повышение жесткости опор и уменьшение вибраций в работе достигают путем устранения радиального зазора в шарикоподшипнике, создавая при этом предварительный натяг.

Натяг получают за счет взаимного осевого смещения колец подшипника, которое достигается установкой между кольцами втулок *1* и *2* разной длины (рис. 68, *а*). Предварительно в специальных приспособлениях при действии осевой нагрузки Q определяют разность расстояний h_1 и h_2 между внутренними и наружными кольцами (рис. 68, *б*, *в*) и изготовляют втулки соответствующей длины.

Монтаж прецизионных узлов с подшипниками качения в станкостроении имеет свою специфику. Перед сборкой проверяют радиальное биение посадочных шеек шпинделя и делают отметку в месте наибольшего биения. Аналогично контролируют подшипники и отмечают места наибольшего биения на внутренних и наружных кольцах.

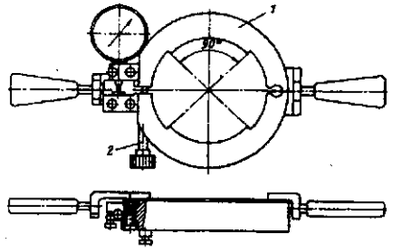


Рис. 69. Приспособление для измерения монтажного зазора в роликовых подшипниках прецизионных узлов

С целью уменьшения радиального биения шпинделя в собранном узле подшипники в процессе сборки устанавливают на шпиндель и в пиноль так, чтобы места наибольшего биения всех внутренних и наружных колец подшипников лежали соответственно в одной радиальной плоскости и в одном направлении. При этом внутренние кольца подшипников устанавливают на шейки шпинделя таким образом, чтобы наибольшие радиальные биения шарикоподшипников и посадочных шеек шпинделя были направлены в противоположные стороны.

Подбором подшипников обеспечивают натяг до 0,002 мм при установке на шпиндель и зазор до 0,002 мм при посадке по отверстию в пиноли.

Шпиндельные узлы прецизионных координатно-расточных станков иногда монтируют на цилиндрических роликовых подшипниках собственного изготовления. Наружные кольца подшипников обрабатывают окончательно в сборе с гильзой, внутренние кольца – в сборе со шпинделем. При установке внутреннего кольца на шпиндель, наружного в корпус используют метод теплового воздействия: внутреннее кольцо нагревают в масле при температуре 80 °С, а наружное кольцо охлаждают в вихревой холодильной установке до температуры –50 °С.

Ролики поступают на сборку рассортированными по группам. Путем подбора роликов обеспечивается радиальный натяг 2 мкм.

В прецизионных шпиндельных узлах используют также двухрядные подшипники с короткими цилиндрическими роликами и с конусным отверстием во внутреннем кольце. Радиальный зазор (натяг) в этих подшипниках регулируется смещением внутреннего кольца по конусной шейке шпинделя.

Для измерения монтажного радиального зазора в этих подшипниках применяется приспособление, показанное на рис. 69. Приспособление состоит из разрезного пружинящего кольца *1*, имеющего две диаметрально-симметричные поверхности на дуге 90 °. Благодаря пружинящим свойствам кольцо находится в контакте с подшипником, устанавливаемым внутри.

Диаметр рабочих поверхностей кольца изменяется регулировочным винтом *2*. С помощью нутромера фиксируют диаметр беговой дорожки наружного кольца. Затем нутромер помещают внутрь разрезного кольца приспособления и с помощью регулировочного винта

устанавливают диаметр, равный диаметру дорожки качения наружного кольца с учетом натяга. Стрелку прибора приспособления при этом устанавливают на 0. Далее соответствующее внутреннее кольцо с комплектом роликов надевают на коническую часть шпинделя.

Измерительное приспособление надевают на комплект роликов и перемещением внутреннего кольца по конической шейке добиваются аналогичного показания прибора. Тогда диаметр роликов будет соответствовать диаметру беговой дорожки наружного подшипника с учетом натяга. После этого шпиндель с внутренним кольцом подшипника и комплектом роликов осторожно вводят, вращая, внутрь гильзы, чтобы не повредить беговых дорожек наружного кольца.

Предварительный натяг в упорных подшипниках шпиндельных узлов прецизионных станков создают следующим образом. Собранный шпиндельный узел с гильзой устанавливают на специальный стенд. Далее с помощью динамометра создают осевую нагрузку, равную 80 % общей осевой нагрузки, обеспечивающей регламентированный натяг в упорных подшипниках, а 20 % нагрузки создают затяжкой гайки динамометрическим ключом. В этом случае колебания суммарной силы вследствие переменной величины коэффициента трения при затяжке получаются минимальными.

Монтаж игольчатых некомплектных (без колец) подшипников осуществляют несколькими способами. Если торец подшипника открыт, то иглы вводят в зазор между валом и корпусом до набора всего комплекта. Если торцы подшипника недоступны для монтажа, то иглы в отверстие охватывающей детали устанавливают с помощью монтажного валика *3* (рис. 70), диаметр которого на 0,1 – 0,2 мм меньше собираемого вала (оси). Для того чтобы иглы не выпадали из зазора, в отверстие

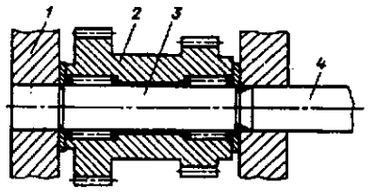


Рис. 70. Монтаж шестерни на игольчатых подшипниках

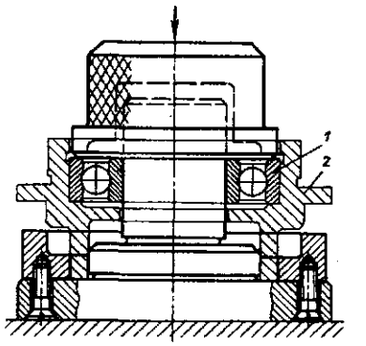


Рис. 71. Базирование корпуса *2* и подшипника *1* при сборке

детали *2* наносят тонкий слой консистентной смазки. После этого собранную группу вставляют в корпус *1* и вводят в него рабочий вал *4*, выталкивая при этом монтажный валик *3*. Комплектные игольчатые подшипники запрессовывают в корпус с помощью прессов.

Во всех случаях, когда позволяют габариты изделий, установку подшипников следует выполнять на прессах с использованием приспособлений, обеспечивающих надежное базирование собираемых деталей (рис. 71). Базирование подшипника *1* и корпуса *2* при сборке осуществляют при помощи ступенчатой оправки, что исключает перекос сопрягаемых деталей.

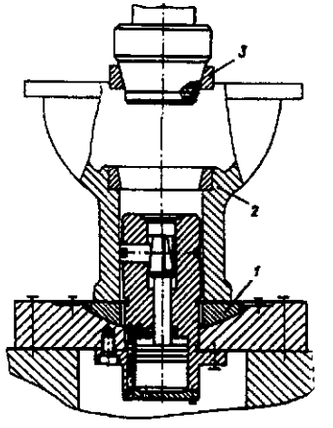


Рис. 72. Приспособление для запрессовки наружного кольца роликоподшипника, обеспечивающее самоустановку корпуса

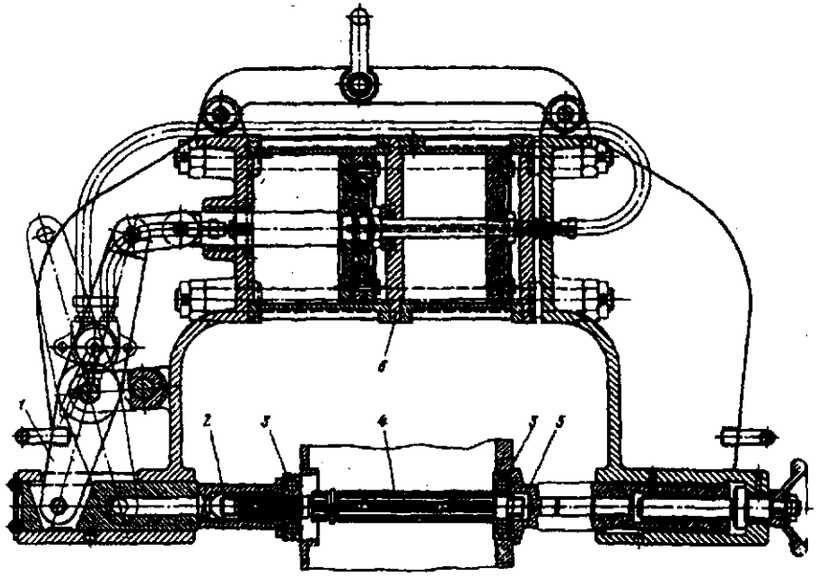


Рис. 73. Установка подшипников при сборке коробок передач с помощью подвесной скобы

Если базирование подшипника при сборке затруднено [например, при запрессовке наружного кольца роликоподшипника (рис. 72)], то в конструкции приспособления должна быть предусмотрена возможность самоустановки кольца при сборке. Это достигается обычно применением сферической опоры, на которую устанавливают корпус. В приспособлении (рис. 72) сферическая опора *1* компенсирует неперпендикулярность опорного торца посадочной поверхности корпуса *2*, предотвращая тем самым перекос наружного кольца роликоподшипника *3* при запрессовке.

Если габариты изделия не позволяют установить его на стационарный пресс, применяют переносные пневматические или гидравлические приспособления.

Одна из конструкций подвесной скобы, применяемой при сборке коробок передач, показана на рис. 73. С помощью данного приспособления осуществляют напрессовку на вал и установку в корпус одновременно двух подшипников. Для этого на вал *4* вручную устанавливают подшипники *3*, подводят скобу, винтовым устройством выдвигают опору *5* и создают давление масла в рабочих полостях сдвоенного цилиндра *6*. Усилие от штока цилиндра через рычаг *1* передается на оправку *2* и происходит запрессовка.

Крупногабаритные подшипники качения устанавливают на валы с помощью специальных гидравлических приспособлений, закрепляемых непосредственно на валу. Монтажное приспособление (рис. 74) закрепляют сменной

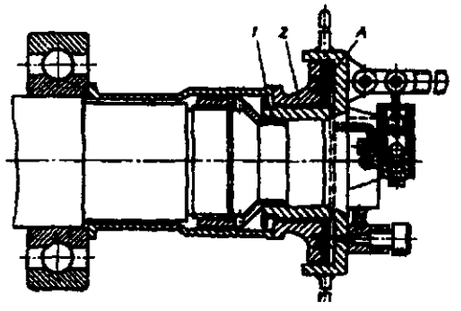


Рис. 74. Гидравлическое приспособление для напрессовки крупногабаритного подшипника

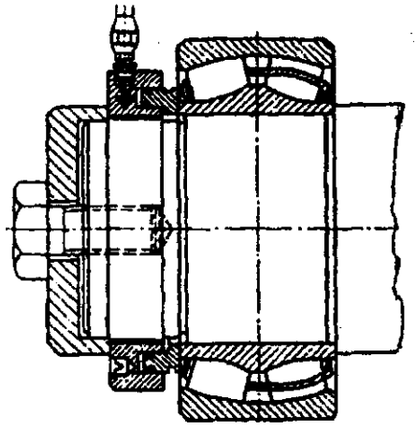


Рис. 75. Установка крупных подшипников с помощью гидравлической гайки

переходной втулкой на резьбовом хвостовике вала, с помощью ручного насоса масло нагнетается в рабочую полость *A* цилиндра *1*, и на поршне *2* развивается необходимое усилие запрессовки.

Для напрессовки крупногабаритных подшипников удобны гидравлические гайки (рис. 75), навертываемые на резьбовой хвостовик вала или закрепляемые торцовым винтом. На рис. 60 условно показаны оба способа закрепления.

Регулирование осевых зазоров в подшипниках. Если вал устанавливают на радиально-упорных и упорных подшипниках, то для их нормальной работы необходимо отрегулировать оптимальную величину осевого зазора. Допускаемые пределы осевой игры для конических роликоподшипников и радиально-упорных подшипников даны в табл. 24 и 25.

24. Допускаемые пределы осевой игры, мкм, для конических однорядных роликоподшипников

Номинальный диаметр отверстия подшипника, мм	Подшипник			Примерное расстояние между подшипниками при установке по одному подшипнику в каждой опоре
	с углом контакта 10 – 16°		с углом контакта 25 – 29°	
	Ряд I	Ряд II	Ряд I	
До 30	20 – 40	40 – 70	–	14*d*
Св. 30 до 50	40 – 70	50 – 100	20 – 40	12*d*
» 50 » 80	50 – 100	80 – 150	30 – 50	11*d*
» 80 » 120	80 – 150	120 – 200	40 – 70	10*d*
» 120 » 180	120 – 200	200 – 300	50 – 100	9*d*
» 180 » 260	160 – 250	250 – 350	80 – 150	6,5*d*
» 260 » 360	200 – 300	250 – 350	–	–
» 360 » 400	250 – 350	–	–	–

25. Допускаемые пределы осевой игры, мкм, для радиально-упорных шарикоподшипников

Внутренний диаметр подшипника, мм	Подшипник		
	с углом контакта 12°		с углом контакта 26 и 36°
	Ряд I	Ряд II	Ряд I
До 30	20 – 40	30 – 80	10 – 20
Св. 30 до 50	30 – 50	40 – 70	15 – 30
» 50 » 80	40 – 70	50 – 100	20 – 40
» 80 » 120	50 – 100	60 – 150	30 – 50
» 120 » 180	80 – 150	100 – 200	40 – 70
» 180 » 260	120 – 200	150 – 250	50 – 100

26. Допускаемые пределы осевой игры, мкм, для двойных и сдвоенных одинарных упорных шарикоподшипников

Номинальный диаметр отверстия подшипника, мм	Серии подшипников		
	8100	8200, 8300	8400
До 50	10 – 20	20 – 40	–
Св. 50 до 120	20 – 40	40 – 60	60 – 80
» 120 » 140	40 – 60	60 – 80	80 – 120

Указанные величины осевой игры рекомендуются для подшипников класса точности 0, причем данные для ряда 1 относятся к схеме установки подшипников по два на опоре, а для ряда II — по одному.

Допускаемые пределы осевой игры для двойных и сдвоенных упорных подшипников приведены в табл. 26.

Регулирование осевого зазора в радиально-упорных подшипниках осуществляется смещением наружного кольца в осевом направлении. Это достигается установкой прокладок под крышкой подшипника, применением подшлифовываемых колец или с помощью регулировочных винтов и гаек.

При определении толщины прокладок или толщины установочного кольца подшипниковый узел собирают без прокладок (в первом случае) или с заведомо более широким установочным кольцом (во втором случае) и затягивают крышку до появления заметного торможения вала. При этом зазоры в подшипнике будут выбраны. После этого замеряют зазор между торцом крышки и корпусом и с учетом требуемой осевой игры подшипников определяют толщину прокладок или толщину установочного кольца.

При регулировании зазоров в подшипниках винтами или специальными гайками вначале их затягивают до появления заметного торможения вала, а затем отворачивают на угол

$$\varphi = (l_0/P)360°,$$

где l_0 – осевой зазор в подшипнике; P – шаг резьбы регулировочного винта или гайки.

При заметном нагреве вала необходимо учитывать его тепловое удлинение при определении осевого зазора. В первом приближении тепловое удлинение вала можно определить по формуле

$$\Delta L = 1{,}1 \cdot 10^{-5} L \Delta t,$$

где L – расстояние между опорами, мм; Δt – разность температур вала и корпуса.

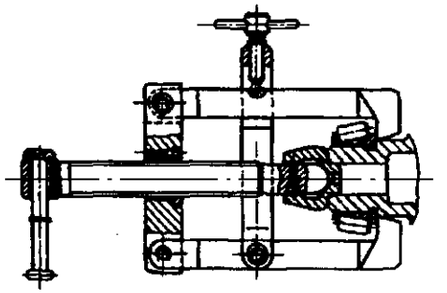


Рис. 76. Съемник для демонтажа внутренних колец роликовых подшипников

Демонтаж подшипников качения. При снятии с валов или при выпрессовке из корпусов подшипников, годных для дальнейшей эксплуатации, усилие следует прикладывать только к тому кольцу, которое смонтировано с натягом. Операции по демонтажу подшипников осуществляют при помощи пресса и специальных приспособлений (при большом объеме демонтажных работ), либо с использованием съемников (рис. 76).

В ряде случаев для снятия подшипников приходится использовать различного рода подкладки и демонтажные кольца. На рис. 77 показан демонтаж шарикоподшипника *1* с вала с использованием разъемного демонтажного кольца *2* и съемника *3*.

Для демонтажа в конструкциях подшипниковых узлов следует предусматривать технологические элементы, значительно упрощающие разборку (рис. 78). Для выпрессовки колец подшипников следует предусматривать резьбовые отверстия, в которые при демонтаже ввертывают винты (рис. 78, *а*) или вводят выколотку (рис. 78, *б*). Для использования съемников следует выдерживать размеры, показанные на рис. 78, *в*.

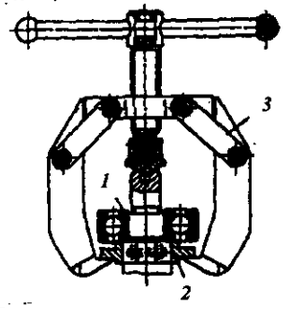


Рис. 77. Демонтаж шарикоподшипника с вала с использованием разъемного кольца

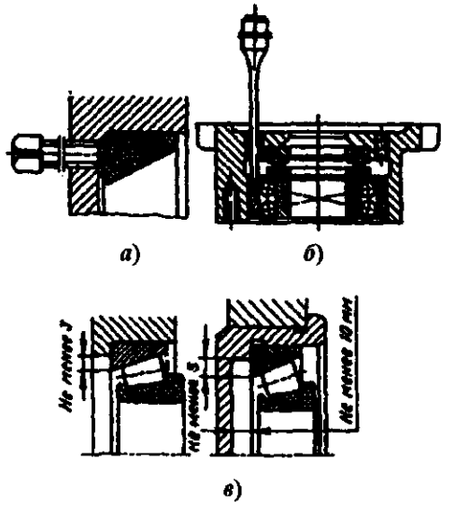


Рис. 78. Конструктивные элементы подшипниковых узлов, облегчающие их демонтаж

При снятии подшипника с закрепительной втулки торец его внутреннего кольца упирают в неподвижно установленную трубу. Отвернув гайку, наносят удары по торцу втулки через выколотку, добиваясь ее выхода из подшипника.

Для снятия крупногабаритных подшипников качения с вала натяг ослабляют путем нагнетания масла под давлением до 200 МПа в кольцевую канавку на посадочной шейке вала. Для этого в конструкции вала предусматривают канал для подвода масла от торца к кольцевой канавке.

СБОРКА УЗЛОВ С ПОДШИПНИКАМИ СКОЛЬЖЕНИЯ

Виды подшипников скольжения. В соответствии с ГОСТ 18282–88 подшипники скольжения разделяют: по направлению воспринимаемого усилия – на осевые и радиальные; в зависимости от вида смазочного материала – на гидродинамические, гидростатические, газодинамические, газостатические, с твердым смазочным материалом и без смазочного материала; по конструкции – на самосмазывающиеся с твердым смазочным материалом самосмазывающиеся пористые, самоустанавливающиеся и сегментные.

Основными элементами подшипника скольжения являются шейка вала, корпус подшипника, втулка или вкладыши подшипника. Втулки и вкладыши, у которых отношение толщины к наружному диаметру равно 0,065 –

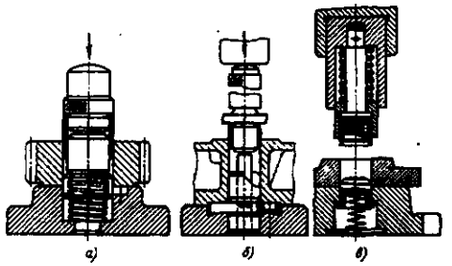


Рис. 79. Приспособление для запрессовки втулок:
а – пружинное; *б* – с направляющим стержнем;
в – с закреплением втулки на ползуне

0,095, называют толстостенными, при отношении 0,025 – 0,045 – тонкостенными.

Сборка подшипников скольжения с втулками состоит из запрессовки втулки в корпус подшипника, крепления втулки в корпусе и обработки отверстия втулки.

К подшипникам предъявляют следующие требования:

1) отверстие втулки должно быть изготовлено с допусками, исключающими пригонку ее внутренней поверхности к шейке вала;

2) смазочные отверстия и канавки должны иметь плавные закругления на кромках;

3) несовпадение маслоподводящих отверстий во втулке и корпусе – не более 0,2 – 0,5 мм;

4) углубление фиксирующих штифтов и винтов относительно рабочей поверхности втулки 0,5 – 2 мм;

5) диаметральный зазор для наиболее распространенных подшипников 60 – 100 мкм, для быстроходных подшипников 150 – 220 мкм;

6) отклонение от круглости и цилиндричности отверстия установленной в корпус втулки – не более половины допуска на отверстие;

7) отклонение от соосности отверстий двух подшипников не более 50 мкм;

8) температура подшипника при приработке не должна превышать 70 °С.

В зависимости от габаритов деталей и вида сопряжения установку втулок в корпус подшипника осуществляют методами силового (на прессах, виброударными и винтовыми приспособлениями) и теплового воздействия (охлаждением втулки в жидком азоте или нагревом корпуса подшипника).

При запрессовке втулок в корпус во избежание задиров посадочные поверхности смазывают машинным маслом. Для взаимной ориентации применяют приспособления, показанные на рис. 79. Запрессовка втулок на прессе эффективна в тех случаях, когда наружный диаметр втулки выполнен с допусками не более чем *s6*, а отверстие в корпусе – *H7*. При посадках с большим натягом следует нагревать корпус подшипника до температуры 100 – 150 °С, что часто невозможно вследствие больших габаритов, или охлаждать втулку в жидком азоте, теоретическая температура которого - (190 ... 196) °С. Этот метод целесообразен для крупногабаритных тонкостенных втулок.

После посадки втулки ее дополнительно крепят в корпусе с помощью винтов или штифтов, устанавливаемых с торца по поверхности сопряжения или в отверстия буртов. Сверление отверстий и нарезание резьбы в них под крепежные детали выполняют после запрессовки. Перед обработкой отверстия втулки выполняют сверление отверстий для подвода смазочного материал.

Далее втулку подвергают тонкому растачиванию, развертыванию, калиброванию упрочняющими оправками или шариками, раскатыванию. Соосно расположенные втулки после запрессовки растачивают за один установ или *развертывают удлиненной разверткой*. Втулки диаметром более 80 мм пригоняют только шабрением.

При установке втулок с посадками *H7/k6* и *H7/n6* диаметры и форма втулок почти не меняются; их крепят от провертывания и дополнительную обработку отверстия не производят. Для уменьшения объема пригоночных работ при установке крупных втулок их отверстия обрабатывают с технологическими допусками, учитывающими изменение диаметра отверстия после запрессовки.

Сборка подшипников скольжения с тонкостенными и толстостенными вкладышами. Тонкостенные вкладыши взаимозаменяемы, но верхний и нижний вкладыши составляют комплект. Замена вкладышей вне комплекта недопустима. Фиксацию тонкостенных вкладышей осуществляют посредством специального уса, выштампованного в месте разъема. Усы упираются в опорные плоскости крышки или корпуса подшипника и препятствуют проворачиванию вкладыша.

В крупносерийном и массовом производстве вследствие высокой точности обработки вкладышей и отверстий в корпусе для них не требуется подгонки сопрягаемых поверхностей. Иногда вкладыши подбирают по краске.

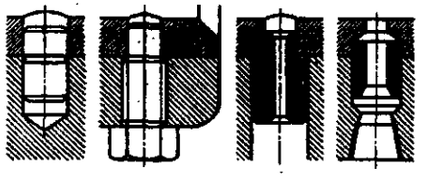


Рис. 80. Установочные штифты вкладышей подшипников

отпечатки которой должны располагаться равномерно. по всей наружной поверхности вкладыша.

Тонкостенные вкладыши почти полностью копируют форму отверстия в корпусе и крышке и поэтому к ним предъявляют повышенные требования по точности: овальность посадочных гнезд допускается не более 15 – 20 мкм, конусообразность не более 10 – 15 мкм на 100 мм диаметра, параметр шероховатости поверхности $Ra \leq 0{,}63$ ... 1,25 мкм. Вкладыши подбирают по размеру, указанному в маркировке.

Равномерное прилегание вкладышей по наружной поверхности к отверстию в корпусе и крышке, а также на стыках вкладышей необходимо не только для обеспечения жесткости подшипника, но и для хорошей отдачи тепла от вкладыша корпусу.

При сборке подшипников скольжения с толстостенными вкладышами к подшипникам предъявляют следующие требования:

1) смазочные канавки и отверстия должны иметь плавно закругленные кромки;

2) несовпадение маслоподводящих отверстий во вкладыше и корпусе не должно быть более 0,2 – 0,5 мм;

3) углубление фиксирующих штифтов 0,2 – 0,3 мм; штифты ставят в корпус с натягом 40 – 70 мкм, а в отверстие вкладыша с зазором 100 – 300 мкм;

4) прилегание вкладышей к корпусу – не менее 80 % по площади; прилегание вкладышей к шейкам вала проверяют по краске;

5) болты следует затягивать динамометрическим ключом с заданным моментом затяжки;

6) температура подшипника при приработке не должна превышать 60 °С. Крышки подшипников фиксируют штифтами, шипами или точно пригнанными болтами.

Толстостенные вкладыши устанавливают в корпус и крышку с натягом 20 – 60 мкм или

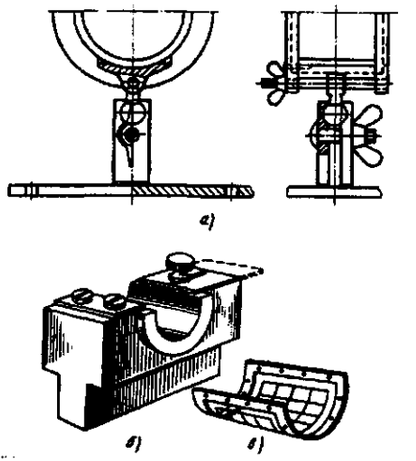


Рис. 81. Колодка для закрепления вкладышей при шабрении (*а* и *б*) и шаблон (*в*)

по посадке с зазором *H7/f7* или *H7/h6* и фиксируют от смещения заплечиками с установочными штифтами (рис. 80). При этом в одном вкладыше отверстие под штифт в плоскости возможного его поворота делают удлиненным, чтобы вкладыш мог самоустанавливаться. Подшипники скольжения с толстостенными вкладышами, как правило, выполняют невзаимозаменяемыми. При сборке необходимое прилегание вкладыша к корпусу и крышке подшипника и вкладышей к валу достигают шабрением. Сборка подшипников состоит из пригонки нижнего вкладыша к корпусу, верхнего вкладыша к крышке подшипников, нижнего и верхнего вкладышей к валу и проверки прилегания деталей.

Правильность формы отверстия вкладыша контролируют по краске при стандартной нагрузке по точности прилегаемой шейки вала. На закрепленные нижние вкладыши укладывают вал с нанесенным на шейки вала тонким слоем краски (берлинской лазури и голландской сажи) и проворачивают вал 2 – 3 раза.

Пятна краски размером около 3 мм в диаметре должны равномерно покрывать 80 – 90 % поверхности вкладыша, при этом на каждом квадратном сантиметре должно быть не менее трех пятен. Расположение их удобно контролировать прозрачным шаблоном с сеткой (рис. 81, *в*). Хорошее качество прилегания достигается пришабриванием, которое удобно

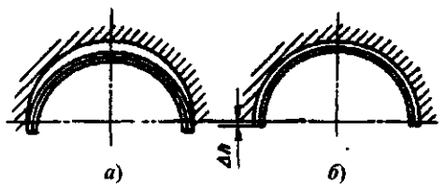


Рис. 82. Установка тонкостенного вкладыша в гнездо:
а – вкладыш в свободном состоянии; *б* – вкладыш установлен в гнездо

выполнять при закреплении вкладыша в приспособлении (рис. 81, *а, б*).

При сборке ответственных подшипников результаты определяют также по блеску, так как при затяжке подшипника и проворачивании вала на два-три оборота участки поверхности подшипника и шейки вала, входящие в контакт, приобретают блестящий оттенок.

Окончательную пригонку вкладышей подшипника осуществляют в собранном виде с крышками. Гайки проверяемого подшипника затягивают динамометрическим ключом, вал проворачивают на два-три оборота, затем эти гайки ослабляют, затягивают гайки следующего подшипника, вал снова проворачивают и т. д. После этого все подшипники раскрывают

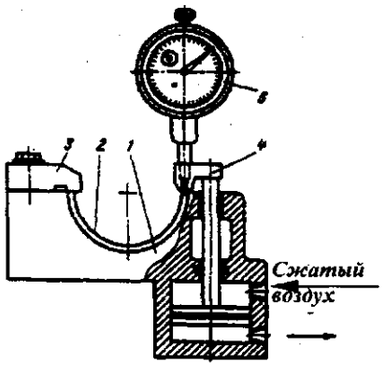


Рис. 83. Схема контроля выступания вкладыша по высоте:
1 – гнездо; *2* – вкладыш; *3* – жесткий упор; *4* – прижим; *5* – индикатор

и выполняют окончательное пришабривание верхних и нижних вкладышей. Операцию повторяют несколько раз до тех пор, пока не будет достигнуто требуемое качество прилегания.

Для контроля масляных зазоров применяют латунные пластинки. Толщина пластинки должна соответствовать предельному масляному зазору и не затруднять проворачивание вала при затянутых подшипниках.

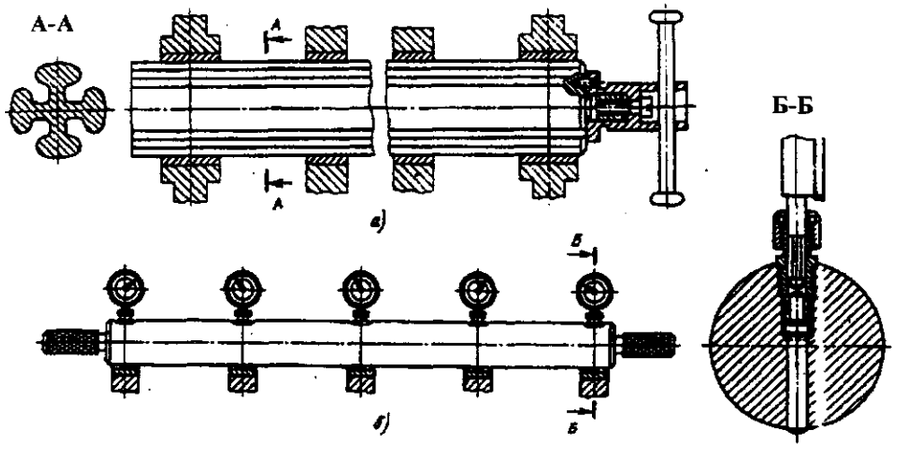


Рис. 84. Проверка соосности втулок многоопорного вала:
а – контрольной скалкой; *б* – скалкой с индикаторами

Масляный зазор можно проверить также при помощи калиброванной свинцовой или пластмассовой проволоки. Для этого вал укладывают во вкладыши корпуса, на шейку вала кладут калиброванную проволоку, устанавливают крышки и затягивают с нормированным моментом гайки. Крышки снимают, и определяют зазор по ширине сплющенной калиброванной проволоки.

В некоторых конструкциях подшипников для регулирования зазора предусмотрены комплекты прокладок. В комплект входят прокладки толщиной 0,05 – 2 мм.

Края тонкостенных вкладышей при установке их в гнезда должны выступать над плоскостью стыка на величину Δh = 0,05 … 0,1 мм (рис. 82), благодаря чему при затяжке болтов подшипника создается прессовая посадка вкладыша в корпусе. Высоту выступания вкладыша проверяют в специальном приспособлении (рис. 83).

Для нормальной работы подшипников при многоопорном вале большое значение имеет их соосность. Нарушение соосности может вызвать изгиб вала, деформировать масляный слой, вызвать появление местного трения без смазочного материала, снизить несущую способность подшипника и уменьшить прочность вала. Поэтому отверстия под втулки и вкладыши растачивают при механической обработке корпуса с одного установа длинной борштангой.

Соосноть проверяют контрольной скал – кой (рис. 84, *а*), диаметр которой должен быть меньше минимального диаметра отверстия подшипника на удвоенную величину допустимого отклонения от соосности или скалкой с индикаторами (рис. 84, *б*).

Для обеспечения соосности нескольких отдельно стоящих крупных подшипников с диаметром отверстия более 200 мм и с большим расстоянием между крайними опорами целесообразно пользоваться линейкой, прикладываемой к вкладышам. Зазоры замеряют щупом или стальной струной (рис. 85). При равных размерах H на крайних корпусах замеряют размер R и затем устанавливают все промежуточные опоры, контролируя размеры H и R.

Бóльшую точность, чем при контроле струной, обеспечивает оптический метод. В одном из подшипников устанавливают коллиматор, а в другом телескоп (рис. 86). Коллиматор имеет две шкалы M_1 и M_2, посредством

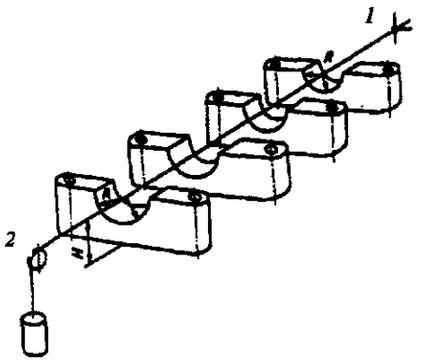


Рис. 85. Схема установки корпусов подшипников по струне:
1 – точка закрепления струн; *2* – блок

которых определяют смещение и перекос. Шкала телескопа M_3 позволяет найти числовую величину погрешности.

Для особо точного центрирования в прецизионном машиностроении применяют автоколлиматор с лазерным устройством. При этом достигается линейная точность до 0,8 мкм на 1 м и угловая до 2".

Замкнутую систему смазки подшипников проверяют нагнетанием подогретого до 50 – 60 °С масла под давлением 0,3 – 0,4 МПа. Работу масляной системы проверяют поочередно во всех точках при помощи заглушек-краников. Из открытого краника масло должно бить фонтаном.

Гайки, крепящие крышки подшипников, затягивают динамометрическим ключом в определенной последовательности. В собранном узле вал должен свободно проворачиваться при заданном крутящем моменте.

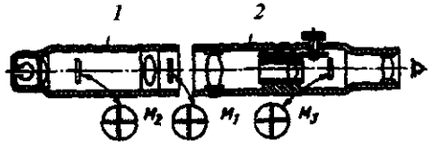


Рис. 86. Оптический метод определения соосности подшипников:
1 – коллиматор; *2* – телескоп

Приработка подшипников скольжения. После пригонки подшипников и установки вала вкладыши прирабатывают. Приработку начинают при малых нагрузках и малых оборотах, постепенно доводя их до рабочих значений. При этом должна работать масляная сис-

тема узла. В процессе приработки уменьшаются и сглаживаются микронеровности, а также уплотняется поверхность вкладышей. В период приработки происходит повышенный износ поверхностей сопряжения, увеличивается площадь прилегания шейки вала к поверхности трения подшипника, что уменьшает износ подшипника при эксплуатации машины.

В процессе приработки следят за температурой подшипников. Повышение температуры свидетельствует о некачественной сборке и пригонке, о неудовлетворительном поступлении смазочного материала. В этом случае приработку прекращают и устраняют дефекты.

УПРУГИЕ ДЕФОРМАЦИИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ СБОРКЕ

Детали машин, изготовленные в полном соответствии с допусками и техническими требованиями, на сборке испытывают действие силовых факторов. Контактирование деталей вызывает соответствующие искажения – погрешности размеров, формы и взаимного расположения поверхностей. Погрешности в собранных соединениях приводят к изменению динамического качества машин, возникновению нежелательных эпюр контактов деталей, вредным напряжениям и т.д. Показатели точности деталей при сборке, как правило, снижаются. В ряде случаев возникает необходимость доводочных операций.

Для оценки качества прецизионных изделий имеют особое значение упругие деформации, так как эти деформации могут быть соизмеримы с допусками на размер и форму поверхности.

Под *силовыми факторами* понимают силы и моменты сил, действующие при сборке. Такие факторы учитывают при расчетах, когда необходимо перейти от реальной конструкции к расчетной схеме. Все действующие факторы на расчетных схемах учитывать не представляется возможным, поэтому выделяют главные из них.

При разработке технологических процессов сборки расчетным и экспериментальным путем определяют величины упругих деформаций, сравнивают их с допустимыми отклонениями и принимают необходимые меры по регламентированию силовых факторов на сборке или по возможному изменению конструкции изделия.

Расчет деформаций производят на основе следующих допущений:

1. Линейные перемещения малы по сравнению с толщиной стенок цилиндрических деталей.

2. Угловые перемещения, выраженные в радианах, пренебрежимо малы по сравнению с единицей.

3. При формировании цилиндрической или конической детали нормаль к ее срединной поверхности не искривляется, а остается перпендикулярной к деформированной поверхности.

4. Материал детали принимается однородным, изотропным и подчиняющимся закону Гука.

5. Для тонкостенных деталей предполагается, что нормальные напряжения в площадках, параллельных срединной поверхности, пренебрежимо малы.

Расчет упругих деформаций при сборке предполагает выполнение ряда этапов.

На первом этапе рассматривают реальную конструкцию изделия и выявляют главные особенности, оказывающие существенное влияние на его выходные параметры. Таковыми могут оказаться изменения размеров, отклонение от перпендикулярности, отклонения формы и т.д.

На втором этапе составляют расчетную схему, которая представляет собой реальный объект, но освобожденный от несущественных особенностей. Для одной и той же конструкции может быть предложено несколько схем. Расчеты проводят по схеме балки, бруса, оболочки, пластины и пр.

На третьем этапе производят возможные упрощения силовой картины нагружения. Так, может быть введено абстрактное представление сосредоточенной силы, то есть силы, приложенной в точке. Силы взаимодействия деталей при сборке и действующие по некоторым поверхностям (и, как правило, по неизвестному закону) заменяют равномерно-распределенными или сосредоточенными силами.

Вопрос о схематизации реальных конструкций является одним из главных. Точность расчетов на основе предложенных схем в большой степени зависит от принятых допущений. Ряд технологических задач, возникающих на сборке сложных деталей, может быть решен с помощью метода конечных элементов, а также экспериментальными методами.

Деформации деталей типа валов. В процессе сборки возможно искажение формы

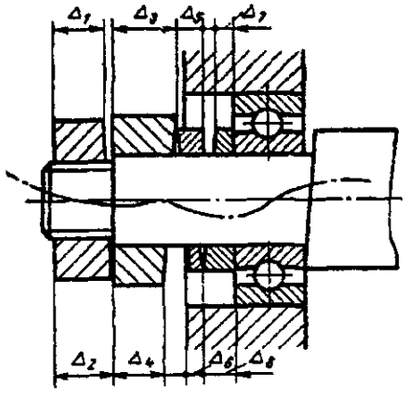


Рис. 87. Искривление оси вала при сборке деталей с непараллельными торцами

оси вала (рис. 87). Собираемые детали с непараллельными в пределах допуска торцами могут быть установлены по наиболее неблагоприятному варианту, когда максимальные (минимальные) размеры Δ всех деталей (толщин) окажутся расположенными вдоль одной прямой.

При затягивании гайки конец вала изогнется из-за накопленной погрешности несмотря на то, что все собираемые детали являются годными. При данном расположении деталей на гайку будут действовать силы по схеме, приведенной на рис. 88, *а*. Из условия равновесия гайки:

$$P_2 = P_1 \frac{h_1}{h_2}.$$

Силы P_1 и P_2, в свою очередь, вызывают изгиб вала. Из схемы нагружения вала (рис. 88, *б*) следует $P_1 h_1 = P_2 h_2$. За размер h_1 принята длина нарезанной части гайки. Упругие деформации целесообразно определять относительно торца A_1. Для расчета силу P_1, приложенную к свободному концу вала, необходимо перенести в

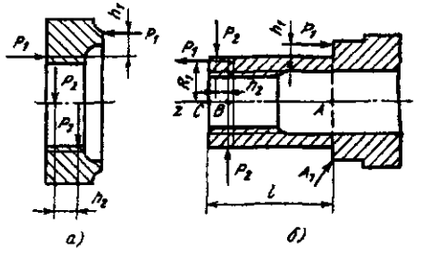


Рис. 88. Силы, действующие на гайку и вал при сборке деталей с непараллельными торцами

центр тяжести сечения. Такому нагружению для участка AB следует соответствующее уравнение изогнутой оси:

$$y = \frac{1}{EJ}\frac{P_1(R_1 + h_1)z^2}{2};$$

$$0 \le z \le l - h_2.$$

Для участка BC:

$$y = \frac{1}{EJ}\left\{\frac{P_1(R_1 + h_1)z^2}{2} - \frac{P_1 h_1\left[z - (l - h_2)\right]^3}{6}\right\},$$

$$l - h_2 \le z \le l.$$

Здесь z – координата, отсчитываемая от торца A_1; l – расстояние до расчетного сечения; E – модуль упругости; J – момент инерции сечения вала.

Деформации деталей типа гильз. Иногда из-за возникающих погрешностей гильза не может быть установлена в отверстие корпуса. Расчеты ведут на основе осесимметричного нагружения оболочек.

Если в гильзы запрессованы подшипниковые кольца, их считают за одно целое с гильзой, допуская, что при сборке деталей типа гильз создается нагрузка, распределенная равномерно по поверхности. При этом у торцов гильзы появляются погрешности в виде "раструба". На некоторой длине первоначальная форма гильзы изменяется из-за радиальных перемещений. Упругие перемещения при сборке для деталей этого типа определяют по следующей схеме.

Сила, равномерно распределенная при сборке по средней окружности резьбы

$$P_{ср} = \frac{P}{2\pi r_1},$$

где P – осевая сила при сборке (сила затягивания гайки); r_1 – средний радиус окружности резьбы.

Эту силу приводят к среднему радиусу $r_{ср}$ стенки гильзы; при этом возникает момент с интенсивностью моментной нагрузки

$$m = \frac{P(r_{ср} - r_1)}{2\pi r_{ср}}.$$

Принимая длину детали бесконечно большой, т.е. пренебрегая влиянием одного торца на другой, находят радиальное перемещение

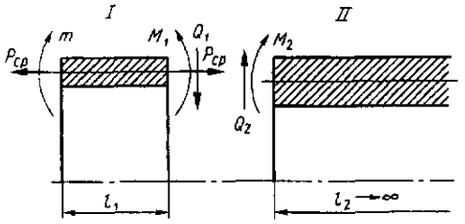


Рис. 89. Расчетная схема для определения погрешностей деталей типа гильз

$$W = e^{-k_1 z}\left(C_1 \sin k_1 z + C_2 \cos k_1 z\right) - \frac{\mu P_{ср} r_{ср}}{E\delta},$$

где μ – коэффициент Пуассона; C_1, C_2 – постоянные интегрирования, определяемые через m; δ – толщина стенки гильзы;

$$k_1 = \sqrt[4]{\frac{3\left(1-\mu^2\right)}{r_{ср}^2 \delta^2}}.$$

Таким образом можно определить W для любого сечения, отстоящего от торца на расстоянии z.

Задача усложняется при учете переменности толщины стенки детали по длине. Если деталь имеет два участка (длиной l_1 и l_2), расчет выполняют по схеме, приведенной на рис. 89 (участки условно расчленены). M_1, M_2 – возникающие уравновешивающие моменты; Q_1, Q_2 – силы.

Для левой, короткой части детали (участок I)

$$W_I = A_1 V_1(k_1 z) + A_2 V_2(k_1 z) + A_3 V_3(k_1 z) + A_4 V_4(k_1 z) - \frac{\mu r_{ср}}{E\delta} N_z,$$

где N_z – нормальная сила, растягивающая деталь вдоль оси; $V_1(k_1 z)$, $V_2(k_1 z)$, $V_3(k_1 z)$, $V_4(k_1 z)$ – функции Крылова; A_1, A_2, A_3, A_4 – произвольные расстояния, определяемые из граничных условий на торцах.

Для правой части детали (участок II)

$$W_{II} = e^{-k_2 z_{II}}\left[C_1 \sin(k_2 z_{II}) + C_2 \cos(k_2 z_{II})\right];$$

$$k_2 = \sqrt[4]{\frac{3\left(1-\mu^2\right)}{r_{срII}^2 \delta_{II}^2}},$$

где $z_{II} = z - l_1$ – координата, отсчитываемая от границы второго участка; $r_{срII}$ – средний радиус детали на участке II; δ_{II} – толщина стенки детали на участке II; C_1, C_2 – постоянные, подлежащие определению из граничных условий на левом торце.

Деформации деталей типа гладких втулок. При установке тонкостенных втулок в корпусные детали с натягом происходит перенос погрешностей сопрягаемых поверхностей на поверхность отверстия. При охлаждении соединений отклонение формы отверстий запрессованных втулок оказывается меньшим (особенно в продольных сечениях), чем при сборке с применением осевых сил. Прочность соединений, собранных с охлаждения втулок, в среднем в 1,4 раза больше, чем прочность соединений, собранных под прессом.

Во время сборки втулок с корпусными деталями возникает погрешность в продольном сечении (рис. 90). При сборке втулок с вылетом погрешности определяют на основе использования моментной теории осесимметричных цилиндрических оболочек.

Для поперечно-прессовых соединений радиальное перемещение втулки для участка l_1:

$$W_1 = -N/2;$$

для участка l_2:

$$W_2 = N/2[-1{,}05(kl_2)V_4(kz) - V_1(kz)];$$

для участка l_3:

$$W_3 = e^{-kz}(C_1 \sin kz - N/2 \cos kz);$$

где N – диаметральный натяг; z – координата длины оболочки; $V_1(rz)$, $V_3(k_1 z)$, $V_4(k_1 z)$ – функции Крылова;

$$k = \sqrt[4]{\frac{3\left(1-\mu^2\right)}{r_{ср}^2 \delta^2}};$$

$$C_1 = \frac{N}{2}\left[4V_4(kl_2) - 1{,}05(kl_2) - 1\right].$$

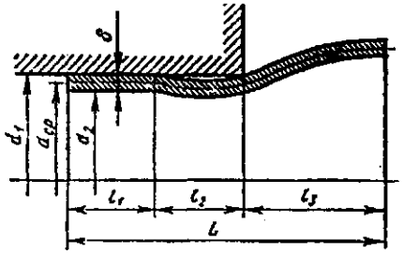


Рис. 90. Погрешности втулок, имеющих вылет, при их сборке с корпусами

Вылет l_3 обеспечивают при сборке; участок l_2 в общем случае неизвестен, но длина его должна удовлетворять условию $l_2 < 3/k$. Точное определение величины kl_2 производят графоаналитическим методом.

Деформации деталей типа стаканов. Погрешности возникают при установке подшипников и воздействии на стаканы силовой нагрузки в соответствии со схемой на рис. 91. Расчет производят по теории осесимметричной деформации тонкостенных цилиндрических оболочек с использованием гипотезы неизменности нормали и гипотезы об отсутствии взаимного надавливания слоев оболочки. Осевую силу P считают равномерно распределенной по кольцевой площади опорного бурта B.

Все силовые факторы приводят к срединной поверхности стакана. Радиальные перемещения точек этой поверхности определяют как

$$W = B_1 V_1(\alpha x) + B_2 V_2(\alpha x) + B_3 V_3(\alpha x) + B_4 V_4(\alpha x) + \overline{W};$$

здесь B_1, B_2, B_3, B_4 – постоянные интегрирования, определяемые из граничных условий; V_1, V_2, V_3, V_4 – функции Крылова;

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{3\left(1-\mu^2\right)}{r^2 h^2}}; \qquad \overline{W} = -\frac{\mu T_m}{Eh};$$

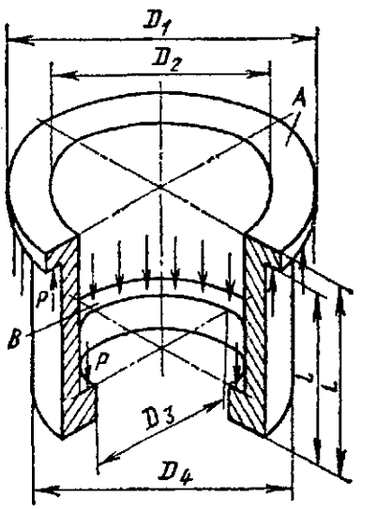


Рис. 91. Схема сил для расчета деталей типа стаканов

r – радиус срединной поверхности; h – толщина стенки стакана; T_m – интенсивность осевой силы; x – координата, отсчитываемая вдоль оси стакана.

Для практических целей удобно строить графики в координатах $W\frac{E}{P}$ и x. Тогда с помощью одной кривой можно определить значения W для любой осевой силы, действующей на стакан, выполненный из материала с модулем упругости E.

Радиальные перемещения стакана могут передаваться на наружные кольца подшипников, вызывая погрешности их формы. Угловые перемещения стенок стакана

$$\nu = dW/dx.$$

Деформации деталей типа крышек и фланцев. Сборочные погрешности определяют по приближенной теории расчета кольцевых деталей при осесимметричной нагрузке для случаев, когда число винтов, закрепляющих крышку, достаточно велико. Погрешности изготовления δ_1, δ_2, δ_3 крепежа и крышки (рис. 92) приводят в процессе сборки к искажению опорной поверхности T; последняя поворачивается на некоторый угол.

Угол поворота поперечного сечения

$$\varphi = M/EI_3,$$

где $M = \frac{Pn}{2\pi}(R_1 - R_2)$ – изгибающий момент; P – сила затяжки одного болта; n – число болтов; R_1, R_2 – расстояние от оси крышки до линии приложения силы P; E – модуль упругости 1-го рода материала крышки; $I_3 = \int_F \frac{dF}{r} z^2$; r и z – координаты элементарной площадки dF сечения в выбранной системе.

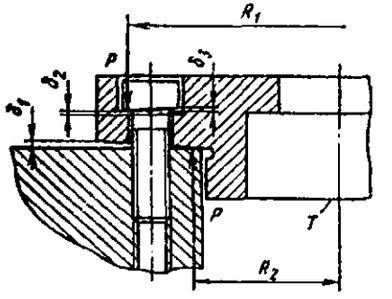


Рис. 92. Схема для расчета деталей типа крышек

Формула определения φ справедлива и для случаев контакта крышки и корпуса, отличных от приведенного на рис. 92.

Деформации подшипников скольжения. Подшипники представляют тонкостенными биметаллическими оболочками, часто с переменной толщиной стенки. Характерно осевое регулирование зазоров в процессе сборки. В трехопорных биметаллических подшипниках при регулировании (путем их осевого перемещения) возникает плоское деформированное состояние, что позволяет свести расчет подшипника к расчету кругового кольца с переменной жесткостью на изгиб в окружном направлении.

Осевое сечение подшипника (рис. 93) представляют в виде прямоугольника. Жесткость C сечения на изгиб определяют на основе гипотезы плоских сечений:

$$e = \frac{E_1 h_1^2 - E_2 h_2^2}{2(E_1 h_1 + E_2 h_2)};$$

$$c = \frac{b}{3(1-\mu^2)}\left[E_1 h_1^3 + E_2 h_2^3 - \frac{3}{2}e\right];$$

здесь b – ширина сечения кольца; h_1, h_2 - толщина слоев стали и бронзы соответственно; E_1, E_2 – модули упругости этих материалов.

Поскольку симметрично нагруженная симметричная система деформируется симметрично, любая точка рабочей поверхности подшипника, лежащая в радиальном сечении, образующем с силой P некоторый постоянный угол α, будет иметь одно и то же радиальное смещение:

$$\delta_\alpha = \frac{R}{3}\int_0^{2\pi}\frac{M_\varphi M_{\varphi 1}}{C(\varphi)}d\varphi,$$

где M_φ – изгибающий момент в текущем сечении, составляющем с силой P угол φ; $M_{\varphi 1}$ – изгибающий момент в том же сечении от единичной нагрузки, приложенной к разрезанному кольцу; R – радиус подшипника; $C(\varphi)$– жесткость в функции угловой координаты.

На рис. 93 представлен расчетный профиль участка подшипника резьбошлифовального станка после регулирования зазора с приложением различных сил P. Интенсивная деформация рабочих поверхностей объясняется тем, что участки, расположенные между ними (компенсационные участки), обладают сравнительно большой жесткостью.

Аналогичные расчеты позволяют не только определять искажения профиля рабочей поверхности и сделать вывод о толщине гидродинамического масляного клина, но и проанализировать конструкцию самого подшипника.

Сборочные погрешности деталей определяют **экспериментально** в случаях, когда расчетное определение невозможно, либо очень сложно. Для измерения упругих перемещений используют метод тензометрирования с помощью датчиков сопротивления. В этом случае экспериментальные установки получаются достаточно простыми.

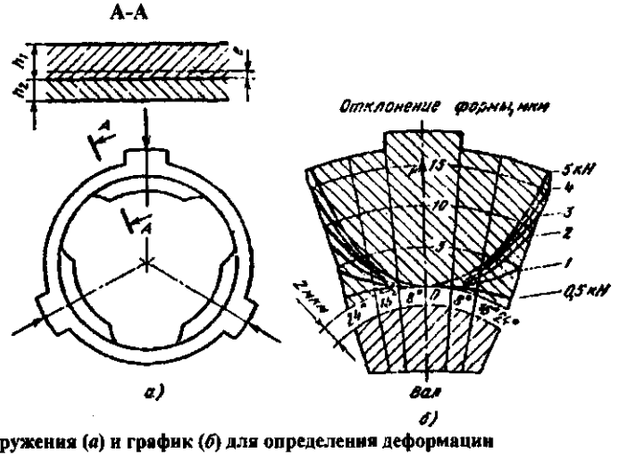


Рис. 93. Схема нагружения (*а*) и график (*б*) для определения деформации биметаллического подшипника при регулировании

Осциллографы показывают характер упругих перемещений деталей в ходе сборки, в частности наличие прерывистых колебаний, необходимость смазки, корректировки выбранных посадок, а также позволяют выявить дополнительные причины изменения формы высокоточных деталей. Вместо осциллографа используют стрелочные приборы. В случае экспериментального определения сборочных погрешностей датчики сопротивления наклеивают непосредственно на ответственном элементе и монтируют в измерительные мосты.

Силы, возникающие при закреплении узлов на базовых деталях, влияют на точность размера и формы основных элементов (положение направляющих, форму основных отверстий, положение осей и пр.). Возникающие погрешности определяют с помощью соответствующих датчиков. Особое внимание обращают на погрешности от закрепления подвижных частей машин.

Отработку технологических процессов сборки сложных корпусных деталей проводят на макетах, либо готовых корпусах, оснащенных соответствующими измерительными средствами. При этом оценивают последовательность установки деталей в процессе сборки, силы закрепления, состояния сопрягаемых поверхностей и пр.

Наряду с отклонениями формы ответственных поверхностей оценивают также правильность перемещений узлов или деталей во всем диапазоне нагрузок.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА И ТЕХНОЛОГИЯ БАЛАНСИРОВКИ

Единицы измерения дисбалансов и основные понятия технологии балансировки предусматриваются ГОСТ 19534–74.

Дисбалансом называют векторную величину, равную произведению неуравновешенной массы на ее расстояние до оси ротора e (эксцентриситет).

Ротором называют любую деталь или сборочную единицу, которая при вращении удерживается своими несущими поверхностями в опорах.

Единицей дисбаланса являются грамм-миллиметр (г·мм) и градус (...°), служащие для измерения соответственно значения дисбаланса и угла дисбаланса. Отношение модуля главного вектора дисбалансов к массе ротора характеризует удельный дисбаланс [(г·мм)/кг = мкм].

Все дисбалансы ротора приводятся к двум векторам – главному вектору $\overline{D}_{ст}$ и главному моменту $\overline{M}_D$ дисбалансов независимо от причин, вызвавших смещение центра масс с оси вращения: погрешностей получения заготовки, погрешностей механосборочного производства или изменения условий эксплуатации.

Главный вектор дисбалансов $\overline{D}_{ст}$ проходит через центр масс и равен произведению массы неуравновешенного ротора на ее эксцентриситет e.

Главный момент дисбалансов $\overline{M}_D$ равен геометрической сумме моментов всех дисбалансов ротора относительно его центра масс. Главный момент дисбалансов перпендикулярен главной центральной оси инерции и оси ротора и вращается вместе с ротором.

Главный вектор дисбалансов в плоскостях опор может быть заменен его составляющими (симметричными дисбалансами).

Главный момент дисбалансов в тех же плоскостях опор может быть заменен парой сил (кососимметричными дисбалансами).

Дисбаланс является векторной величиной и полностью определяется на роторе в выбранной плоскости углом дисбаланса, а также числовым значением дисбаланса

$$D_i = m_i e_i,$$

т.е. произведением неуравновешенной массы m_i на модуль ее эксцентриситета e_i относительно оси. Эта плоскость может служить для задания дисбаланса (плоскость приведения дисбаланса), корректировки масс ротора (плоскость коррекции), измерения дисбаланса (плоскость измерения дисбаланса).

Дисбалансы в различных двух плоскостях вдоль оси данного ротора различны, и их углы и значения могут быть найдены расчетом, а также с помощью балансировочного оборудования.

Структура технологического процесса балансировки определяется назначением балансировки, типом производства, размером детали или сборочной единицы, точностью балансировки, технологическим оборудованием и оснасткой и т.п.

Балансировка состоит из определения значений и углов дисбалансов ротора и уменьшения их корректировкой массы ротора.

Выявление и определение главного вектора можно осуществлять как в статическом (т.е. под действием силы тяжести), так и в динамическом (т.е. при принудительном вращении) режиме, главный момент дисбалансов – только в динамическом режиме.

Действие дисбалансов на ротор можно снижать или устранять путем добавления, уменьшения или перемещения одной корректирующей массы (или более), создающей дисбаланс такого же значения, что и у неуравновешенного ротора, но с углом дисбаланса 180° относительно дисбаланса ротора.

Различают дисбалансы начальный – до корректировки масс, остаточный – после корректировки масс, допустимый – приемлемый по условиям эксплуатации машин, удельный – отношение модуля главного вектора к массе ротора.

Различают балансировку статическую (силовую), моментную и динамическую (моментно-силовую).

При *статической балансировке* определяют и уменьшают главный вектор дисбалансов, т.е. центр масс ротора приводится на ось вращения размещением соответствующей корректирующей массы (масс).

При *моментной балансировке* определяют и уменьшают главный момент дисбалансов путем образования пары сил размещением корректирующих масс в двух плоскостях коррекции. При этом главная центральная ось инерции ротора в результате поворота совмещается с осью вращения.

При *динамической балансировке* определяют и уменьшают главный момент и главный вектор. Это достигается размещением корректирующих масс в двух (жесткие роторы) плоскостях коррекции или более (гибкие роторы). При этом главная центральная ось инерции смещается, поворачивается в пространстве и совмещается с осью вращения ротора.

Ротор может быть уравновешен за одну или несколько операций, состоящих из типовых переходов: выявление и определение значения и угла дисбалансов (измерительный) преобразование полученных данных в параметры технологического метода, принятого для корректировки масс дисбалансов (переход преобразования), и корректировка (устранение) дисбалансов до заданных значений.

В полностью автоматизированном процессе все три перехода осуществляются последовательно в одной машине, линии, агрегате.

Балансировочные операции могут выполняться на всех стадиях производственного процесса: в начале обработки заготовки, после завершения всех операций механообработки детали, в процессе сборки любых сборочных единиц, включая изделие.

В ряде случаев само изделие содержит УБУ (управляемое балансирующее устройство) или даже АБУ (автоматическое балансирующее устройство), позволяющее периодически корректировать дисбалансы, возникающие по мере эксплуатации изделия (износ, нагрев и т.п.).

Способы и средства выявления и определения статической неуравновешенности сборочных единиц. Главный вектор дисбалансов ротора, находящегося в покое, под действием силы тяжести создает момент относительно оси или точки подвеса ротора и стремится повернуть ротор так, чтобы так называемое "тяжелое" место (центр его масс) заняло самое низкое положение. На этом принципе основано действие различных средств для выявления и определения статической неуравновешенности в поле силы тяжести: стендов с роликовыми и дисковыми опорами или горизонтальными параллельными призмами.

Ротор, имеющий отверстие, надевается на базовую поверхность сбалансированной оправки без зазора. Базовая поверхность оправки выполняется концентрично с ее поверхностями, перекатывающимися по роликам или дискам. Точность определения "тяжелого" места зависит и от массы ротора и от трения между оправкой и опорами.

Для снижения трения и повышения точности используют наложение на опоры вибрации (рис. 94) или подачу струи воздуха под шейки оправки (рис. 95) или цапфы ротора.

Другой принцип, на котором основано действие устройств для выявления статической неуравновешенности, заключается в изменении положения центра масс ротора в горизонтальной плоскости при принудительном повороте ротора. Для этого применяют так называемые балансировочные весы (рис. 96). Положение равновесия находят путем перемещения груза 4 при различных угловых положениях ротора, т.е. смещениях центра массы S ротора на величину $\pm e_{ст}$ (изменения длины рычага).

Для тяжелых роторов с большим диаметром, обычно не имеющих собственных опор, нахождение эксцентриситета масс заключается

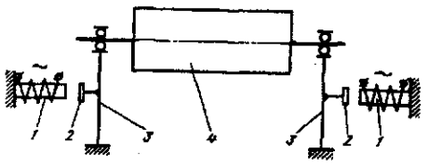


Рис. 94. Схема стенда для статической балансировки роторов с шарикоподшипниковыми опорами и наложением вибрации:
1 – электромагнит; *2* – якорь; *3* – опоры стенда с шарикоподшипниками; *4* – ротор

в следующем. Ось ротора располагается вертикально, а под действием момента от главного вектора дисбалансов на плече эксцентриситета $e_{ст}$ происходит поворот или качание ротора на пяте или шарике (рис. 97, *а*), острие, подвесе (рис. 97, *б*) или платформе-поплавке. По отклонению базовых поверхностей ротора от горизонта судят о его дисбалансе.

Один из способов нахождения статической неуравновешенности заключается в принудительном вращении ротора с регистрацией давления или колебаний (статическая балансировка в динамическом режиме). Применяют специальные балансировочные станки, чаще с вертикальной осью вращения. Сила, вызывающая давление на опоры или колебание системы,

$$P = m_p e_{ст} \omega^2,$$

где m_p – масса ротора; ω – угловая скорость.

Статическую балансировку осуществляют в одной плоскости коррекции.

Основными недостатками статической балансировки являются:

невозможность обнаружить моментную неуравновешенность ротора (статическая балансировка не только не может обнаружить неуравновешенные пары сил, но и часто способствует их появлению, ухудшая тем самым сбалансированность ротора);

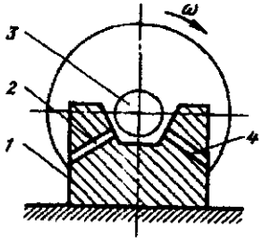


Рис. 95. Схема стенда для статической балансировки роторов на воздушной подушке:
1 – опора стенда; *2, 4* – каналы для подвода сжатого воздуха; *3* – цапфа ротора или оправки

низкая точность статической балансировки, зависящая от величины момента сил трения качения в опорах.

Характеристика оборудования для статической балансировки приведена в табл. 27.

Способ и средства выявления и определения динамической неуравновешенности сборочных единиц. Отклонение от параллельности оси вращения ротора его главной центральной оси инерции может быть выявлено при вращении сборочной единицы или детали на специальном балансировочном станке. Обычно действие на ротор главного момента и главного вектора заменяют действием эквивалентных систем. При вращении неуравновешенных масс, находящихся от оси на расстоянии e, возникают центробежные силы, пропорциональные дисбалансам в плоскостях опор:

$$F_A = m_A e_A \omega^2; \quad F_B = m_B e_B \omega^2.$$

Эти силы вызывают давление или вибрации в опорах ротора станка и через вибропреобразователи различных типов фиксируются соответствующей измерительной системой.

Данный способ выявления дисбалансов не является единственным, но практически для всех балансировочных станков используют именно его.

Балансировочные измерительные приборы, позволяющие получать информацию о дисбалансах ротора при балансировке на месте (в собственных подшипниках), действуют так же.

Балансировку на месте осуществляют балансировочным комплектом, который может включать (по ИСО 2371–74) измерительный вибропреобразователь, фильтр, индикатор амплитуды колебаний, индикатор частоты и другие специализированные приборы.

Балансировочные станки различают по виду балансировки (для статической и динамической балансировки); по режиму балансировки (в статике и в динамическом режиме, т.е. с вращением ротора); рабочей частоте вращения ротора (дорезонансные, резонансные, зарезонансные); типу роторов (горизонтальные и вертикальные); степени автоматизации (неавтоматические, полуавтоматические, автоматические); числу и специализации рабочих позиций (станки и линии) и др.

Техническая характеристика балансировочного станка для жестких роторов по ИСО 2953–75 содержит характеристику типа, массы и размеров балансируемого ротора, диапазон показаний балансировочного станка, указания о приводе станка и другие параметры.

27. Краткая характеристика оборудования для статической балансировки

Статистический режим работы							Динамический режим работы					
Условное обозначение	Число степеней свободы оси ротора	Положение оси ротора	Точность измерения e, мкм	Производительность	Виброизоляция	Технологическая маневренность	Условное обозначение	Число степеней свободы оси* ротора	Точность измерения e, мкм	Производительность	Виброизоляция	Технологическая маневренность
СБС-1а	0	Горизонтальное	8 – 15	Низкая	Необходима	Ограниченная	СБД-1а	0	0,5 – 2	Высокая	Изолированные фундаменты	Низкая
СБС-1б							СБД-3а	1				
СБС-2а	2	Вертикальное	15 – 30	Удовлетворительная	Изолированные фундаменты	Низкая	СБД-3б		2 – 6	Удовлетворительная		
СБС-2б												
СБС-3а	1	Горизонтальное	10 – 20				СБД-4а	2	1 – 3	Высокая	Необходима	Ограниченная
							СБД-4б					
СБС-3б		Вертикальтальное					СБД-4в					
СБС-4а	2	Горизонтальное	5 – 15	Низкая	Необходима	Ограниченная	СБД-5а	6			Не требуется	Высокая

*Положение оси ротора – вертикальное.

Обозначения: СБС – статическая балансировка в статическом режиме; СБД – то же в динамическом режиме.

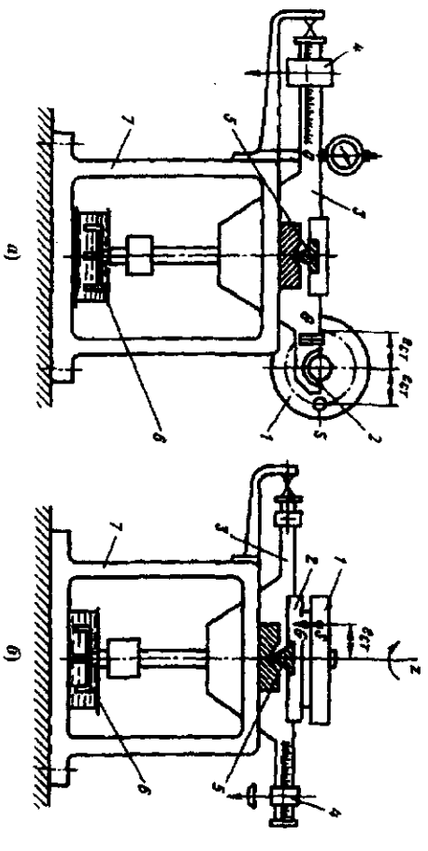


Рис. 96. Балансировочные весы:
а – с горизонтальной осью ротора; *б* – с вертикальной осью ротора; *1* – балансируемый ротор; *2* – опоры; *3* – рычаг весов; *4* – передвигаемый груз весов; *5* – опора-призма рычага; *6* – демпфер колебаний; *7* – станина

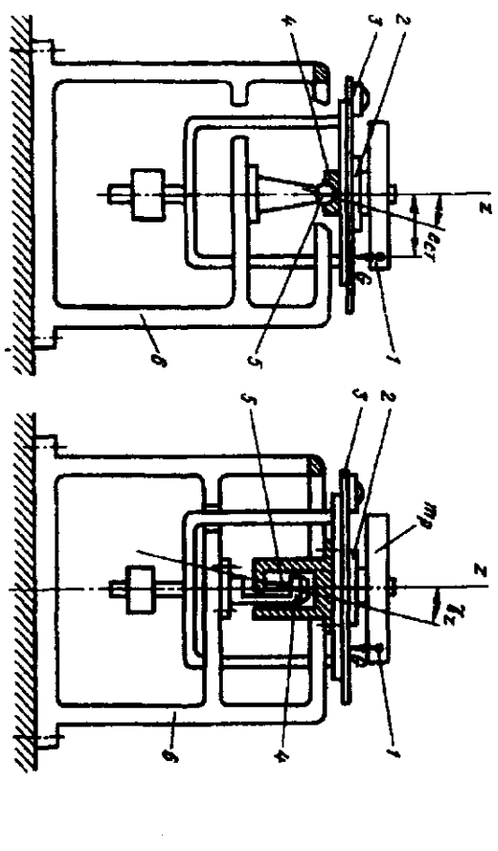


Рис. 97. Схемы станков для статической балансировки в динамическом режиме

Предельные габариты ротора для горизонтальных станков характеризуются диаметрами (наибольшим над станиной, наибольшими и наименьшими диаметрами вала для приводного ремня), а также осевыми размерами (наибольшим и наименьшим расстояниями между цапфами, наибольшим расстоянием от соединительной муфты до середины наиболее удаленного подшипника и наименьшим расстоянием от этой муфты до середины ближайшего подшипника).

Возможности вертикальных станков характеризуются предельными габаритами ротора, включая габариты шпинделя или планшайбы, а также максимальной высотой центра масс ротора.

Для всех станков важными показателями являются диапазон масс балансируемых роторов и максимальный момент инерции ротора относительно оси вала. Наибольшее произведение массы на квадрат радиуса вращения влияет на число включений и остановок (циклов) станка в час, на время разгона ротора до заданной частоты вращения.

Возможности станка характеризуются наибольшим измеряемым на нем дисбалансом для данного ротора и наименьшим достигаемым остаточным дисбалансом – порогом чувствительности станка.

Мерой общей эффективности балансировки на станке служит коэффициент уменьшения дисбаланса (%)

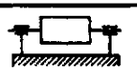
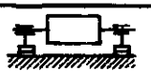
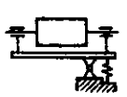
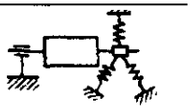
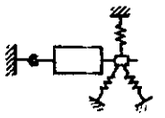
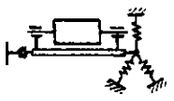
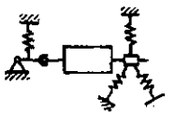
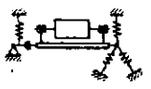
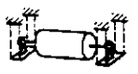
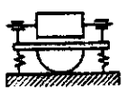
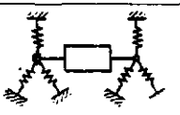
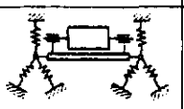
$$k = \frac{D_1 - D_2}{D_1} = 1 - \frac{D_2}{D_1},$$

где D_1 – начальный дисбаланс в данной плоскости; D_2 – дисбаланс после одной корректировки масс в этой же плоскости коррекции.

Относительно привода станка, выбираемого для выполнения операции, должны быть известны: частота вращения при балансировке (об/мин) или диапазон бесступенчатого регулирования, номинальный при трогании и максимальный вращающий моменты на роторе (Н · м), тип привода ротора (торцовый привод от муфты или ленты, ременный привод, привод магнитным полем, роликом, струей воздуха и т.п.), мощность, тип, частоты вращения, напряжение, сила тока, частота и фазы переменного тока двигателя, способ торможения двигателя и детали и т.п.

Станки с двумя плоскостями измерения дисбаланса и более имеют специальные системы, исключающие взаимное влияние этих плоскостей. Сигнал в измеряемой плоскости

28. Механические системы балансировочных станков

Класс	Конструктивная группа	
	A	*B*
I		
II		
III		
IV		
V		
VI		
VII		

должен идти только от дисбаланса, находящегося в данной плоскости.

Балансировочный станок для динамической балансировки роторов содержит в общем случае: механическую систему с n степенями свободы; приводное устройство, задающее частоту вращения ротору во время балансировочного процесса; измерительное устройство, позволяющее определить величину и угол дисбаланса в плоскостях коррекции: исполнительный орган, устраняющий дисбалансы в плоскостях коррекции.

Функциональная схема балансировочного станка с N плоскостями коррекции приведена на рис. 98.

Механическая система содержит в качестве основных элементов станину и опоры для установки ротора.

29. Основные параметры и размеры балансировочных станков

Наибольшая масса ротора m_0, кг	D, мм, не менее	L, мм	d, мм, не менее
1	250	10 ... 350	25
3	350	20 ... 500	35
10	500	30 ... 700	50
30	700	50 ... 1000	70
100	1000	50 ... 1300	100
300	1300	70 ... 1800	130
1000	1800	100 ... 2300	200
3000	2300	130 ... 3000	250
10 000	3000	180 ... 4000	360
30 000	4000	300 ... 5600	500
100 000	5600	400 ... 8000	1000

Примечания: 1. Параметры L, d для значений параметров $m > 3000$ кг и $D > 2300$ мм относятся только к горизонтальным станкам.

2. Для вертикальных станков указана масса ротора с зажимным приспособлением.

3. Наименьшее значение L дано при смыкании опор.

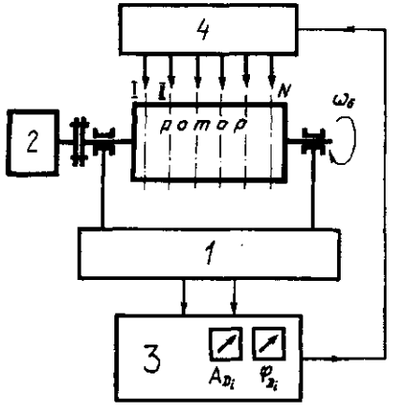


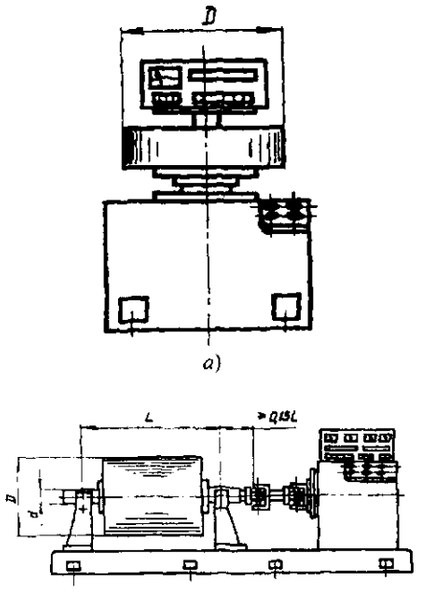
Рис. 98. Функциональная схема станка для динамической балансировки роторов:
1 – механическая система с балансируемым ротором; *2* – приводное устройство; *3* – измерительное устройство; *4* – исполнительные органы; I, II, ... N – номера плоскостей коррекции; A_{D_i} и φ_{D_i} – соответственно амплитуда и угол дисбаланса в i-ой плоскости; $\omega_б$ – угловая скорость вращения ротора при балансировке

Механические системы станков, обеспечивающие необходимое число степеней свободы приведены в табл. 28. Класс системы соответствует числу степеней свободы (I – VII). А – машины с колеблющейся рамой; Б – машины с независимыми опорами.

Способы устранения дисбалансов ротора. Для уменьшения дисбалансов ротора используются так называемые корректирующие массы, которые могут удаляться из тела ротора, добавляться к нему, а также перемещаться по ротору.

Корректирующую массу удаляют по показаниям балансировочного оборудования различными технологическими методами: опиливанием, отламыванием специальных приливов, точением, фрезерованием, шабрением, шлифованием, сверлением. В приборостроении используют также электроискровую, электрохимическую, лазерную, электронно-лучевую и другие обработки с малым съемом материала в единицу времени.

Корректирующую массу в противофазу дисбаланса ротора добавляют приваркой, клепкой, пайкой, привертыванием специальных элементов определенной массы и на определенном радиусе. Материал корректирующей



а)

б)

Рис. 99. Балансировочные станки:
а – вертикальный; *б* – горизонтальный; *D* – наибольший диаметр ротора; *L* – расстояние между серединами опор ротора; *d* – наибольший диаметр цапф ротора

массы может наноситься на ротор также напылением, наплавлением и другими методами.

Если в процессе эксплуатации сборочных единиц наблюдается непрерывное режимное изменение дисбаланса под действием износа, переменных нагрузок, применяют управляемые балансирующие устройства (УБУ) и автоматические балансирующие устройства (АБУ), позволяющие в заданный момент проводить корректировку масс. УБУ имеют специальные конструктивные элементы (втулки, секторы, сухари, шары, винты), перемещаемые в нужное место ротора.

Основные параметры и размеры балансировочных станков общего назначения классов точности Н (нормальный), П (повышенный) и В (высокий) для жестких роторов дорезонансных и зарезонансных, вертикальных с одной и двумя и горизонтальных с двумя плоскостями коррекции в соответствии с ГОСТ 20076–89 должны соответствовать указанным на рис. 99 и в табл. 29.

Точность балансировки. Точность балансировки характеризуется произведением удельного дисбаланса $e_{ст}$ на наибольшую частоту вращения ротора в эксплуатационных условиях $\omega_{э\,max}$.

На основании этого критерия ГОСТ 22061–76 предусматривает 13 классов точности (от 0 до 12). При назначении класса точности сборочных единиц можно использовать данные, приведенные в табл. 30.

ГОСТ 22061–76 соответствует стандарту ИСО 1940-73 в части содержания и классов точности балансировки с 1 по 11 (табл. 31).

30. Классы точности балансировки по ГОСТ 22061-76

Класс точности балансировки	Значения произведения $e_{ст}\omega_{э\,max}$, мм·рад/с	
	наименьшее	наибольшее
(0)*	(0,064)	(0,16)
1	0,16	0,40
2	0,40	1,00
3	1,00	2,50
4	2,50	6,30
5	6,30	16,00
6	16,0	40,00
7	40,00	100,00
8	100,00	250,00
9	250,00	630,00
10	630,00	1600,00
11	1600,00	4000,00
(12)*	(4000,00)	(10000,00)

* Применять факультативно.

31. Классы точности балансировки для различных групп жестких роторов по ГОСТ 22061–76 и ИСО 1940–73

Классы точности балансировки		$e_{ст}\omega_{э\,max}$, мм·рад/с, не более	Типы роторов (общие примеры)
по ГОСТ	по ИСО		
1	2	3	4
11	4000	4000	**Узел коленчатого вала жестко установленного:** низкооборотного судового дизеля с нечетным числом цилиндров
10	1600	1600	двухтактного двигателя большой мощности
9	630	630	**Узел коленчатого вала:** жестко установленного четырехтактного двигателя большой мощности; судового дизеля, установленного на виброизоляторах
8	250	250	жестко установленного высокооборотного четырехцилиндрового дизеля
7	100	100	высокооборотного дизеля с шестью и более цилиндрами. Двигателя в сборе (бензиновые и дизельные) для легковых и грузовых автомобилей и локомотивов
6	40	40	Колеса легковых автомобилей, ободы колес, бандажи, приводные валы, тормозные барабаны автомобиля, колесные пары. Узел коленчатого вала, установленного на виброизоляторах высокооборотного четырехтактного двигателя (бензинового или дизельного) с шестью и более цилиндрами; двигателя для легкового и грузового автомобилей и локомотива
5	16	16	Приводные валы (судовых винтов, карданные) со специальными требованиями. Части дробилок, сельскохозяйственных машин, двигателей (бензинового или дизельного) легковых автомобилей, грузовиков и локомотивов. Узел коленчатого вала двигателя с шестью и более цилиндрами со специальными требованиями
4	6,3	6,3	Части технологического оборудования. Главные редукторы турбин торговых судов. Барабаны центрифуг. Вентиляторы. Роторы авиационных газотурбинных двигателей в сборе. Маховики. Крыльчатки центробежных насосов. Части станков и машин общего назначения. Роторы обычных электродвигателей. Отдельные детали двигателей со специальными требованиями
3	2,5	2,5	Газовые и паровые турбины, включая главные турбины торговых судов. Турбогенераторы с жесткими роторами. Турбокомпрессоры. Приводы металлообрабатывающих станков. Роторы средних и крупных электродвигателей со специальными требованиями. Роторы небольших электродвигателей. Турбонасосы

Продолжение табл. 31

Классы точности балансировки		$e_{ст}\omega_{э\,max}$, мм·рад/с, не более	Типы роторов (общие примеры)
по ГОСТ	по ИСО		
1	2	3	4
2	1,0	1,0	Приводы магнитофонов и проигрывателей. Приводы шлифовальных станков. Роторы небольших электродвигателей специального назначения
1	0,4	0,4	Шпиндели, шлифовальные круги и роторы электродвигателей прецизионных шлифовальных станков. Гироскопы

Примечания: 1. $\omega = (2\pi n)/60 \approx n/10$, где n в мин$^{-1}$ (об/мин); ω в рад/с.

2. Когда речь идет о жестких роторах с двумя симметричными относительно центра масс плоскостями опор, к каждой плоскости следует относить половину рекомендуемого значения главного вектора допустимых дисбалансов. При дискообразном роторе это значение относится к одной плоскости, проходящей через центр масс ротора.

3. Узел коленчатого вала содержит коленчатый вал, маховик, муфту сцепления, шкив, гаситель крутильных колебаний, части масс шатунов, статически приведенные к осям шатунных шеек коленчатого вала и т.д.

4. В двигателе в сборе масса ротора включает сумму всех масс, относящихся к узлам коленчатого вала и перечисленных выше.

5. Низкооборотным считается двигатель со скоростью поршня менее 9 м/с; высокооборотным – более 9 м/с.

Показатели точности балансировочных станков регламентирует ГОСТ 20076–89: минимальный достижимый остаточный удельный дисбаланс $e_{min\ дост}$ и наименьшую единицу коррекции балансировочного станка K.

Минимальный достижимый остаточный удельный дисбаланс есть наименьшее значение остаточного удельного дисбаланса, которое может быть достигнуто на станке при балансировке контрольного ротора методом, определяемым инструкцией по эксплуатации этого станка, исключая обход плоскостей коррекции ротора контрольным грузом. Минимальный достижимый остаточный удельный дисбаланс выражают в г·мм/кг.

Наименьшая единица коррекции балансировочного станка есть наименьшая цена деления индикатора значения дисбаланса, достигнутая при балансировке контрольного ротора. Наименьшую единицу коррекции выражают в г·мм для дорезонансных и г·мм/кг для зарезонансных станков.

Допустимые значения $e_{min\ дост}$ и K вертикальных балансировочных станков не должны превышать значений, указанных в табл. 32 и 33.

32. Значения $e_{min\ дост}$ и K вертикальных балансировочных станков

Наибольшая масса ротора m_a, кг	$e_{min\ дост}$, г·мм/кг, для станков классов точности			K для станков класса точности, не более					
				Н		П		В	
	Н	П	В	г·мм	г·мм/кг	г·мм	г·мм/кг	г·мм	г·мм/кг
1	10	4	–	0,05/0,025	5	0,02/0,01	2	–	–
3				0,15/0,075		0,05/0,03			
10			1	0,50/0,250		0,20/0,10		0,05/0,025	0,5

Продолжение табл. 32

Наибольшая масса ротора m_a, кг	$e_{min\ дост}$, г·мм/кг, для станков классов точности			K для станков класса точности, не более					
				Н		П		В	
	Н	П	В	г·мм	г·мм/кг	г·мм	г·мм/кг	г·мм	г·мм/кг
30	10	4	1	1,50/0,750	5	0,60/0,30	2	0,15/0,075	
100				5,00/2,500		2,00/1,00		0,50/0,250	0,5
300				15,00/7,500		6,00/3,00		1,50/0,750	0,5
1000			-	50,00/25,00		20,00/10,0		–	–
3000				150,00/75,00		60,00/30,0			

33. Значения $e_{min\ дост}$ и K горизонтальных балансировочных станков

Наибольшая масса ротора m_a, кг	$e_{min\ дост}$, г·мм/кг, для станков классов точности			K для станков класса точности, не более					
				Н		П		В	
	Н	П	В	г·мм	г·мм/кг	г·мм	г·мм/кг	г·мм	г·мм/кг
1	1	0,4	0,1	0,0025	0,5	0,001	0,2	–	0,05
3				0,0075		0,003			
10				00,250		0,010		0,0025	
30				0,0750		0,030		0,0075	
100				0,2500		0,100		0,0250	
300				0,7500	5	0,300		0,0750	
1000				2,500		1,000		0,2500	
3000			–	7,500		3,000		–	–
10 000				25,000		10,00			
30 000				75,000		30,000			
100 000				250,00		100,00			

Примечания: 1. Для вертикальных станков указана масса ротора с зажимным приспособлением.

2. Допустимые значения установлены: в числителе - для станков с одной плоскостью измерения, в знаменателе – для станков с двумя плоскостями измерения.

3. Допустимые значения даны: $e_{min\ дост}$ – для роторов массой от 0,1 m_a до m_a; K – для роторов массой от 0,01 m_a.

Динамическую балансировку жестких роторов на традиционных станках осуществляют в двух плоскостях коррекции. Динамическую балансировку гибких роторов обычно производят в большем числе плоскостей коррекции.

34. Сравнительные данные по балансировке шлифовальных кругов

Балансировочное оборудование	Точность балансировки, мкм	Время балансировки, мин		Относительная стоимость балансировки круга за год	
		собственно балансировки	включая монтаж и демонтаж ротора	ежедневной	раз в неделю
Стенд с дисковыми опорами	15 – 20	15 – 20	50	2,50	0,75
Специальные весы	4 – 7	8 – 15	45	2,35	0,65
Балансировка на месте со стробоскопом	3 – 6	20	20	1,50	0,85
УБУ	0,5	1	1	1,00	1,00
Динамическая балансировка на станке	0,5	5	15	–	–

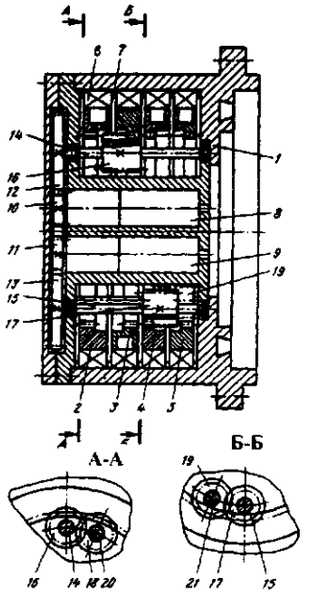


Рис. 100. Управляемое балансирующее устройство:
1 – корпус; *2–5* – корректирующие массы; *6* – шарикоподшипники корректирующих масс; *7* – выточка; *8*, *9* – электродвигатели; *10–13*, *16–19* – зубчатые колеса, образующие кинематические цепи; *14*, *15*, *20*, *21* – валы

Управляемые балансирующие устройства (УБУ) находят все более широкое применение для корректировки режимных дисбалансов роторов, позволяя повышать производительность машин и технологического оборудования. Из табл. 34 видны преимущества УБУ при ежедневной потребности в корректировке масс.

УБУ разделяют на четыре группы в зависимости от траектории перемещения центра корректирующих масс: по спирали; отрезкам прямой; по окружностям; по радиусу и дугам окружности.

УБУ (рис. 100) состоит из четырех попарно кинематически связанных корректирующих масс (*2* и *3*, *4* и *5*). Движение к корректирующим массам от электродвигателей *8*, *9* идет по кинематическим цепям: $n_8 \frac{z_{10}}{z_{12}} \frac{z_{15}}{z_3}$ и одновременно $n_8 \frac{z_{10}}{z_{12}} \frac{z_{14}}{z_{16}} \frac{z_{16}}{z_2}$, а также от электродвигателя *9* $n_9 \frac{z_{11}}{z_{13}} \frac{z_{17}}{z_4}$ и одновременно $n_9 \frac{z_{11}}{z_{13}} \times \frac{z_{17}}{z_{19}} \frac{z_{19}}{z_5}$.

Корректирующие массы попарно имеют дисбалансы, сдвинутые на 180°, а каждая пара повернута относительно другой на 90°, что приводит, во-первых, к перемещению центра каждой корректирующей массы по окружности, во-вторых, к перемещению общего центра масс пары (*2* и *3*, *4* и *5*) по прямой и, в-третьих, к перемещению центра масс каждой пары по взаимно перпендикулярным прямым.

РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Размерный анализ технологических процессов сборки

Общие положения. При сборке машин и механизмов важным является обеспечение требований, предъявляемых к их точности, которые зависят от точности формы, размеров, относительного положения исполнительных (рабочих) поверхностей деталей и сборочных единиц, т.е. от точности размерных связей между ними. *Нормы точности размерных связей* устанавливают, исходя из служебного назначения машин и механизмов, на стадии их проектирования на основе методов размерного анализа. Тем не менее, технологу приходится проводить дополнительный размерный анализ при разработке технологических процессов сборки в связи с выбором метода обеспечения требуемой точности замыкающего звена, изучением взаимосвязи деталей и сборочных единиц, определения последовательности их комплектации и отработкой конструкции на технологичность.

Размерный анализ базируется на теории и практике решения размерных цепей [4, 6]. При проведении такого анализа может возникнуть необходимость в изменении конструкции деталей, сборочных единиц, механизмов и машин в целом.

Выбор метода обеспечения точности замыкающего звена. Для достижения требуемой точности замыкающего звена на практике используют следующие методы: полной взаимозаменяемости; неполной взаимозаменяемости; групповой взаимозаменяемости; пригонки; регулирования.

Метод полной взаимозаменяемости. При использовании данного метода должны быть выполнены следующие условия:

$$A_0 = \sum_{1}^{m+n} \xi_{A_i} A_i, \qquad (1)$$

$$T_{A_0} = \sum_{1}^{m+n} \left|\xi_{A_i}\right| T_{A_i}; \qquad (2)$$

$$EC_{A_0} = \sum_{1}^{m+n} \xi_{A_i} EC_{A_i}. \qquad (3)$$

Уравнение (1) связывает номинальный размер замыкающего звена A_0 с номинальными размерами звеньев A_i. Уравнение (2) – допуск замыкающего звена T_{A_0} с допусками составляющих звеньев T_{A_i}. Уравнение (3) связывает координату середины поля допуска замыкающего звена EC_{A_0} с координатами середины полей допусков составляющих звеньев EC_{A_i}. В уравнениях (1 – 3) m – число увеличивающих и n – число уменьшающих звеньев A_i, ξ_{A_i} – передаточное отношение составляющего звена, которое в общем случае есть частная производная $\xi_{A_i} = \partial A_0 / \partial A_i$.

Уравнение (2) решают методом набора значений T_{A_i} (мкм) или на основе определения среднего числа единиц допуска $a_{C_{A_i}}$, содержащихся в допуске составляющего звена

$$a_{C_{A_i}} = \frac{T_{A_0}}{\sum_{1}^{m+n} \left|\xi_{A_i}\right| A_i}, \qquad (4)$$

где i_{A_i} – единица допуска составляющего звена A_i, определяемая по уравнению

$$i_{A_i} = 0{,}45\sqrt[3]{D_н} + 0{,}001 D_н, \qquad (5)$$

здесь $D_н$ – средний геометрический размер для интервала диаметров по ГОСТ 25347–82, к которому относится составляющий размер A_i, $D_н = \sqrt{D_{\min} D_{\max}}$. Значение i_{A_i} может быть определено по табл. 36. Степень точности (квалитет) составляющих звеньев определяют из условия $a_C \le a_{C_{A_i}}$ по табл. 37.

Уравнение (3) решают, задаваясь значениями верхних ES_{A_i} и нижних EI_{A_i} отклонений допусков составляющих звеньев $\left(EC_{A_i} = \frac{EI_{A_i} + ES_{A_i}}{2}\right)$ за исключением одного из них, верхнее и нижнее отклонения допуска которого находят через искомое значение EC_{A_i}, используя уравнения:

36. Значение $Ti_{A_i} = 0{,}45\sqrt[3]{D_н} + 0{,}001D_н$

Интервалы размеров, мм	До 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
i, мкм	0,55	0,73	0,90	1,08	1,31	1,56	1,86	2,17	2,52	2,89	3,22	3,54	3,89

37. Значение a_C для допусков различных квалитетов

Обозначение допуска	*IT*5	*IT*6	*IT*7	*IT*8	*IT*9	*IT*10	*IT*11	*IT*12	*IT*13	*IT*14	*IT*15	*IT*16	*IT*17
a_C	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600

$$ES_{A_i} = EC_{A_i} + \frac{T_{A_i}}{2}; \qquad (6)$$

$$EI_{A_i} = EC_{A_i} - \frac{T_{A_i}}{2}. \qquad (7)$$

Проверку расчетов выполняют с помощью следующих уравнений:

$$ES_{A_0} = \sum_1^{m+n} \xi_{A_i} EC_{A_i} + \frac{\sum_1^{m+n} \left|\xi_{A_i}\right| T_{A_i}}{2}; \qquad (8)$$

$$EI_{A_0} = \sum_1^{m+n} \xi_{A_i} EC_{A_i} - \frac{\sum_1^{m+n} \left|\xi_{A_i}\right| T_{A_i}}{2}. \qquad (9)$$

Метод неполной взаимозаменяемости. От метода полной взаимозаменяемости данный метод отличается способом определения допусков составляющих звеньев и проверкой.

Допуски составляющих звеньев находят из условия

$$T_{A_0} = t_0 \sqrt{\sum_1^{m+n} \xi_{A_i}^2 \lambda_{A_i}^2 T_{A_i}^2}, \qquad (10)$$

где t_0 – коэффициент риска, характеризующий вероятность выхода отклонений замыкающего звена за пределы допуска; $\lambda_{A_i}^2$ – коэффициент, характеризующий закон рассеивания размеров A_i или их отклонений.

При нормальном законе распределения (законе Гаусса) отклонений размера A_0 и равновероятностном их выходе за обе границы поля допуска коэффициент t_0 определяется из значений функций Лапласа $\Phi(t)$ в зависимости от принятого P = 100[1 – 2 $\Phi(t_0)$]% или из табл. 38. Коэффициент $\lambda_{A_i}^2$ при нормальном распределении равен $\frac{1}{9}$, при законе Симпсона $\lambda_{A_i}^2 = \frac{1}{6}$ и $\lambda_{A_i}^2 = \frac{1}{3}$ для случая, когда закон распределения размеров не известен.

38. Значение коэффициента риска t_0

Риск P, %	32,0	10,00	4,50	1,00	0,27	0,10	0,05	0,01
t_0	1,00	1,65	2,00	2,57	3,00	3,29	3,48	3,89

Вместо уравнения (4) для $a_{C_{A_i}}$ используют выражение

$$a_{C_{A_i}} = \frac{T_0}{t_0 \sqrt{\sum_1^{m+n} \xi_{A_i}^2 \lambda_{A_i}^2 i_{A_i}^2}}. \qquad (11)$$

Проверку выполненных расчетов выполняют, используя формулы:

$$ES_{A_0} = \sum_1^{m+n} \xi_{A_i} EC_{A_i} + \frac{t_0 \sqrt{\sum_1^{m+n} \xi_{A_i}^2 \lambda_{A_i}^2 T_{A_i}^2}}{2}; \qquad (12)$$

$$EI_{A_0} = \sum_1^{m+n} \xi_{A_i} EC_{A_i} - \frac{t_0 \sqrt{\sum_1^{m+n} \xi_{A_i}^2 \lambda_{A_i}^2 T_{A_i}^2}}{2}. \qquad (13)$$

Метод групповой взаимозаменяемости. Групповую взаимозаменяемость (селективную сборку) применяют, когда полная взаимозаменяемость не достижима или экономически нецелесообразна. Групповая взаимозаменяемость распространяется обычно на короткие размерные цепи типа "отверстие – вал – зазор", в которых замыкающим звеном является зазор. Групповая взаимозаменяемость применяется, например, при изготовлении подшипников качения или плунжерных пар, когда детали соединяются сортируются по группам в зависимости от размеров их рабочих поверхностей.

Число групп z, на которые рассортировывают детали, изготовленные с производственными (экономически приемлемыми допусками T'_{A_i}), определяют по уравнению

$$z = \frac{T'_{A_0}}{T_{A_0}}, \qquad (14)$$

где $T'_{A_0} = \sum_1^{m+n} \left|\xi_{A_i}\right| T'_{A_i}$ – производственный допуск замыкающего звена. Число z округляют до целого числа и обычно принимают в пределах от 2 до 5.

При выборе значений производственных *допусков должно соблюдаться* условие

$$\sum_1^m \left|\xi_{A_i}\right| T'_{A_i} = \sum_1^n \left|\xi_{A_i}\right| T'_{A_i} = \frac{1}{2} T'_{A_0}. \qquad (15)$$

В соответствии с числом групп z устанавливают для всех составляющих звеньев (за исключением одного) поля допусков каждой группы и координаты их середин, затем, используя уравнения (3, 6, 7), определяют верхнее и нижнее отклонения для каждой из групп такого звена.

При сопряжении деталей из одноименных групп обеспечивается необходимое значение допуска замыкающего звена T_0.

Метод пригонки. Необходимой точности замыкающего звена можно добиться путем снятия при сборке слоя металла с компенсирующего звена. Наибольшая величина компенсации $T_к$ может быть равной

$$T_к = T'_0 - T_0. \qquad (16)$$

Чтобы на компенсирующем звене создать необходимый для пригонки слой материала, в координату середины поля допуска такого звена нсобходимо внести поправку

$$\Delta_к = EC'_{A_0} + \frac{T_к}{2} - EC_{A_0}. \qquad (17)$$

Если компенсирующее звено входит в число уменьшающих звеньев размерной цепи (размер компенсатора при пригонке уменьшается) поправку $\Delta_к$ вносят со своим знаком, если – в число увеличивающих звеньев (размер компенсатора при пригонке увеличивается), то поправку $\Delta_к$ вносят с обратным знаком. Метод пригонки применяют в условиях единичного и мелкосерийного производства, при этом допуск на пригонку $T_{пр} \le T_{A_0}$.

Метод регулирования. Для достижения требуемой точности замыкающего звена используют подвижные (узлы из конической или клиновой пары в сочетании с винтовым механизмом) или неподвижные (в виде набора прокладок или сменных деталей с N ступенями размеров, подбираемых при сборке) компенсаторов.

Число ступеней компенсатора N определяют по уравнению (с округлением до целого числа)

$$N = \frac{T'_{A_0}}{T_{A_0} - T'_{комп}}, \qquad (18)$$

где $T'_{комп}$ – допуск компенсатора.

При определении T'_{A_0} и координат середины полей допусков звено-компенсатор не участвует. Размер компенсатора первой ступени равен его номинальному размеру. Размеры компенсаторов каждой следующей ступени отличаются от размеров компенсатора предшествующей ступени на величину ступени компенсации $T_{ст} = T'_{A_0}/N$.

При определении размера компенсации первой ступени в координату его середины поля допуска необходимо ввести поправку

$$\Delta_к = EC_{A_0} + 0{,}5\left(T'_{A_0} - T_{A_0}\right) - EC'_{A_0}. \qquad (19)$$

Правило внесения поправки обратное тому, как это принято в методе пригонки. С целью упрощения расчетов рекомендуется назначить поля допусков составляющих звеньев так, чтобы совместить одну из границ расширенно-

го поля допуска T'_{A_0} с соответствующей границей поля допуска T_{A_0} (в этом случае $\Delta_к = 0$).

Число прокладок в наборе z (при средней толщине прокладки $S = T_{A_0}$) определяется уравнением

$$z = \frac{T_к}{S}. \qquad (20)$$

При этом поправка $\Delta_к$, определяемая по уравнению (19) вносится в координату середины поля допуска одного из составляющих звеньев.

Для уменьшения числа прокладок в наборе толщину одной из них принимают $S = T_{A_0}$, а толщины всех последующих прокладок изменяют по геометрической прогрессии со знаменателем 2, т.е. если $S_1 = S$, то $S_2 = 2S$, $S_3 = 2^2S$ и т.д. до

$$S_{z_0} = 2^{z_0-1}S, \qquad (21)$$

где число z_0 определяют по уравнению

$$z_0 \geq 3{,}32\lg(z+1). \qquad (22)$$

При этом различные сочетания прокладок обеспечат любой размер кратный S.

Пример расчета сборочных размерных цепей. Требуется обеспечить при сборке величину зазора между торцами зубчатого колеса и простановочного кольца (рис. 101). Очевидно, величина зазора обуславливается точностью выполнения размеров зубчатого колеса A_1, вала A_2, корпуса A_3 и простановочного кольца A_4. Таким образом, зазор будет являться замыкающим звеном A_0 ($A_{0\,min} = 0$, $A_{0\,max} = 0{,}2$ мм). Следовательно, поле допуска на зазор равно $T_{A_0} = 0{,}2 - 0 = 0{,}2$ мм. Приняв номинальную величину зазора равной $A_0 = 0$ и соответственно $EI_{A_0} = 0$, $ES_{A_0} = +0{,}2$ мм, получим для координаты середины поля допуска замыкающего звена значение $EC_{A_0} = \frac{1}{2}(0 + 0{,}2) = +0{,}1$ мм.

Схема размерной цепи, замыкающим звеном которой является зазор A_0 (заключен в квадратные скобки), представлена на рис. 102. Очевидно, размеры A_1, A_2 и A_4 – уменьшающие, а размер A_3 – увеличивающий. Основное уравнение (1) размерной цепи

$$A_0 = \sum_1^{m+n} \xi_{A_i} A_i = -A_1 - A_2 + A_3 - A_4,$$

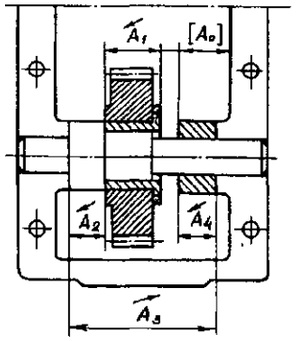


Рис. 101. Эскиз сборочной единицы

передаточное отношение ξ_{A_i} для цепей с параллельными звеньями равно $\xi_{A_i} = -1$ (для уменьшающих) и $\xi_{A_i} = +1$ (для увеличивающих) звеньев.

Рассмотрим различные варианты решения задачи для случая, когда $A_1 = 60$, $A_2 = 80$, $A_3 = 160$ и $A_4 = 20$ мм.

Очевидно, $A_0 = -60 - 80 + 160 - 20 = 0$.

Метод полной взаимозаменяемости. Для данного метода выполняется условие (2)

$$T_{A_0} = \sum_1^{m+n} |\xi_{A_i}|\, T_{A_i} = T_{A_1} + T_{A_2} + T_{A_3} + T_{A_4}.$$

В соответствии с уравнением (4) и табл. 36.

$$a_{C_{A_i}} = \frac{T_{A_0}}{\sum_1^{m+n} |\xi_{A_i}|\, i_{A_i}} = \frac{T_{A_0}}{i_{A_1} + i_{A_2} + i_{A_3} + i_{A_4}} =$$

$$= \frac{200}{1{,}86 + 1{,}86 + 2{,}52 + 1{,}31} = 26{,}49.$$

На составляющие размеры должны быть назначены допуски по 8-му квалитету точности, см. табл. 37 (ближайшее наименьшее значение $a_C = 25$). Приняв $T_{A_1} = 0{,}046$, $T_{A_2} = 0{,}046$

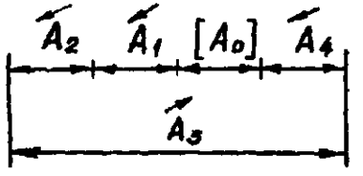


Рис. 102. Схема размерной цепи

и $T_{A_3} = 0{,}063$ мм, получим

$$0{,}2 = 0{,}046 + 0{,}046 + 0{,}063 + T_{A_4},$$

откуда $T_{A_4} = 0{,}045$ мм. Задавшись нижними и верхними отклонениями допусков на размеры A_1, A_2 и A_3, ориентируясь на вид поверхностей деталей механизма (охватываемые или охватывающие), $EI_{A_1} = -0{,}046$ и $ES_{A_1} = 0$, $EI_{A_2} = -0{,}046$, $ES_{A_2} = 0$ и $ES_{A_2} = 0$, $EI_{A_3} = 0$ и $ES_{A_3} = +0{,}063$ мм и, определив координаты середины полей допусков составляющих звеньев, $EC_{A_1} = -0{,}023$, $EC_{A_2} = -0{,}023$ и $EC_{A_3} = +0{,}0315$ мм, по уравнению (3) найдем координату середины поля допуска EC_{A_4}

$$EC_{A_0} = \sum_1^{m+n} \xi_{A_i} EC_{A_i} =$$

$$= -EC_{A_1} - EC_{A_2} + EC_{A_3} - EC_{A_4},$$

$$0{,}1 = -(0{,}023) - (-0{,}023) + 0{,}0315 - EC_{A_4},$$

откуда $EC_{A_4} = -0{,}0225$ мм. Тогда в соответствии с уравнениями (6) и (7)

$$ES_{A_4} = -0{,}0225 + \frac{0{,}045}{2} = 0;$$

$$EI_{A_4} = -0{,}0225 - \frac{0{,}045}{2} = -0{,}045 \text{ мм}.$$

Проверка расчетов по уравнениям (8) и (9) подтверждает правильность их выполнения.

Метод неполной взаимозаменяемости. Приняв $t_0 = 3$ и допущение, что распределение размеров составляющих звеньев подчиняется закону Гаусса $\left(\lambda^2_{A_i} = \frac{1}{9}\right)$, уравнение (10) представим в следующем виде

$$T^2_{A_0} = \sum_1^{m+n} T^2_{A_i}.$$

Тогда $T^2_{A_0} = T^2_{A_1} + T^2_{A_2} + T^3_{A_3} + T^4_{A_4}$. Преобразовав аналогичным образом уравнение (11), получим

$$a_{C_{A_i}} = \frac{T_0}{\sqrt{\sum_1^{m+n} i^2_{A_i}}} = \frac{T_0}{\sqrt{i^2_{A_1} + i^2_{A_2} + i^2_{A_3} + i^2_{A_4}}} =$$

$$= \frac{200}{\sqrt{1{,}86^2 + 1{,}86^2 + 2{,}52^2 + 1{,}31^2}} = 58{,}91.$$

В соответствии с табл. 37 на составляющие размеры могут быть назначены допуски по 9-му квалитету точности ($a_C = 40$). Желая расширить поле допуска на трудновыполнимый размер A_3, примем $T_{A_1} = 0{,}074$, $T_{A_2} = 0{,}074$ и $T_{A_4} = 0{,}052$ мм. Тогда

$$T^2_{A_0} = T^2_{A_1} + T^2_{A_2} + T^2_{A_3} + T^2_{A_4} =$$

$$= 0{,}074^2 + 0{,}074^2 + T^2_{A_3} + 0{,}052^2 = 0{,}2^2,$$

откуда $T_{A_3} = 0{,}162$ мм. Поэтому звено $A_3 = 160$ мм может выполняться по 10-му квалитету точности ($IT10 = 160$ мкм). Задавшись нижним и верхним отклонениями $EI_{A_1} = -0{,}074$ и $ES_{A_1} = 0$, $EI_{A_2} = -0{,}074$ и $ES_{A_2} = 0$, $EI_{A_4} = -0{,}052$ и $ES_{A_4} = 0$ и, определив координаты середин полей допусков $EC_{A_1} = -0{,}037$, $EC_{A_2} = -0{,}037$, $EC_{A_4} = -0{,}026$, по уравнению (3) найдем координаты середины поля допуска EC_{A_3}. Так как

$$EC_{A_0} = -EC_{A_1} - EC_{A_2} + EC_{A_3} - EC_{A_4} =$$

$$= -(-0{,}037) + EC_{A_3} - (-0{,}026) = 0{,}1,$$

получим $EC_{A_3} = 0$. Тогда $ES_{A_3} = 0 + \frac{1}{2}0{,}162 =$ $= +0{,}081$ и $EI_{A_3} = 0 - \frac{1}{2}0{,}162 = -0{,}081$ мм.

Проверка по уравнениям (12) и (13) подтверждает правильность расчетов.

Метод групповой взаимозаменяемости. Допустим, что число групп, на которые должны быть рассортированы детали после изготовления, равно 2. Тогда $T'_{A_0} = zT_{A_0} = 2 \cdot 0{,}2 =$ $= 0{,}4$ мм. Назначим производственные допуски на составляющие размеры A_i, так чтобы удовлетворялось условие (15): $T'_{A_3} = 0{,}2$ и $T'_{A_1} = T'_{A_2} = 0{,}074$, $T'_{A_4} = 0{,}052$ мм. Действительно,

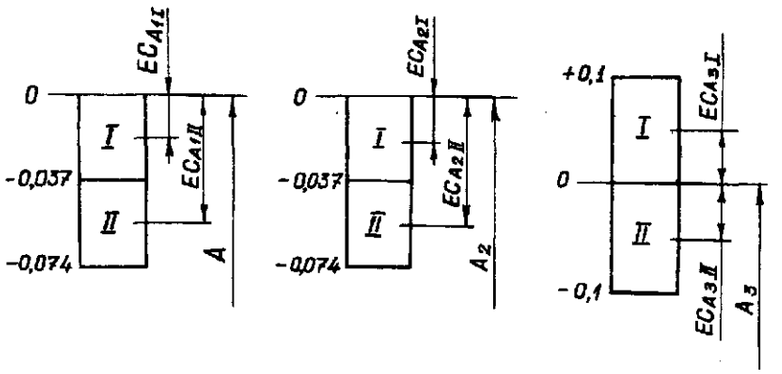


Рис. 103. Расположение полей допусков составляющих звеньев

$$T'_{A_3} = T'_{A_1} + T'_{A_2} + T'_{A_4} = \frac{1}{2}T'_{A_0},$$

$$0{,}2 = 0{,}074 + 0{,}074 + 0{,}052 = \frac{1}{2}0{,}4 = 0{,}2.$$

Установим для размеров A_1, A_2 и A_3 поля допусков каждой группы и координаты середины полей их допусков в соответствии с рис. 103. После чего по уравнению (3) определим координаты середин полей допусков каждой группы для размера A_4.

$$EC_{A_0} = -EC_{A_{1I}} - EC_{A_{2I}} + EC_{A_{3I}} - EC_{A_{4I}},$$

$$EC_{A_0} = -EC_{A_{1II}} - EC_{A_{2II}} + EC_{A_{3II}} - EC_{A_{4II}}.$$

Подставляя в эти уравнения известные значения координат середины полей допусков, получим

$$0{,}1 = -(-0{,}0185) - (-0{,}0185) + 0{,}05 - EC_{A_{4I}};$$

$$0{,}1 = -(-0{,}0555) - (-0{,}0555) - 0{,}05 - EC_{A_{4II}}.$$

Откуда $EC_{A_{4I}} = -0{,}013$ и $EC_{A_{4II}} = -0{,}039$ мм.

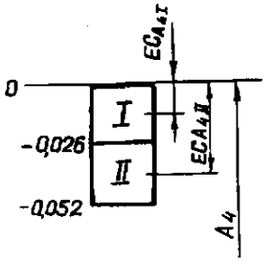


Рис. 104. Расположение поля допуска недостающего звена

Поле допуска для звена A_4 таким образом будет выглядеть в соответствии с рис. 104. Нетрудно видеть, что при сопряжении деталей из одноименных групп обеспечивается необходимый зазор $T_{A_0} = 0{,}2$ мм.

Метод пригонки. Примем в качестве звена-компенсатора простановочное кольцо, изменение размеров которого проще всего осуществить. Назначим на все составляющие размеры экономически целесообразные значения полей допусков, например, по 12-му квалитету точности: $T'_{A_1} = T'_{A_2} = 0{,}3$ $\left(ES'_{A_1} = ES'_{A_2} = 0 \text{ и } EI'_{A_1} = EI'_{A_2} = -0{,}3 \text{ мм}\right)$, $T'_{A_3} = 0{,}4$ $\left(EI'_{A_3} = 0 \text{ и } ES'_{A_3} = +0{,}4 \text{ мм}\right)$ и $T'_{A_4} = 0{,}21$ мм $\left(ES'_{A_4} = 0 \text{ и } EI'_{A_4} = -0{,}21\right)$. Тогда

$$T'_{A_0} = T'_{A_1} + T'_{A_2} + T'_{A_3} + T'_{A_4} = 0{,}3 + 0{,}3 + 0{,}4 + 0{,}21 = 1{,}21 \text{ мм}$$

и

$$EC'_{A_0} = -EC'_{A_1} - EC'_{A_2} + EC'_{A_3} - EC'_{A_4} = -(-0{,}15) - (-0{,}15) + 0{,}2 - (-0{,}105) = 0{,}605 \text{ мм}.$$

Тогда наибольшая величина компенсации по уравнению (16) равна

$$T_к = T'_{A_0} - T_{A_0} = 1{,}21 - 0{,}2 = 1{,}01 \text{ мм}.$$

В соответствии с уравнением (17) величина поправки $\Delta_к$

$$\Delta_к = EC'_{A_0} + \frac{T_к}{2} - EC_{A_0} = 0{,}605 + \frac{1{,}01}{2} - 0{,}1 = 1{,}01 \text{ мм}.$$

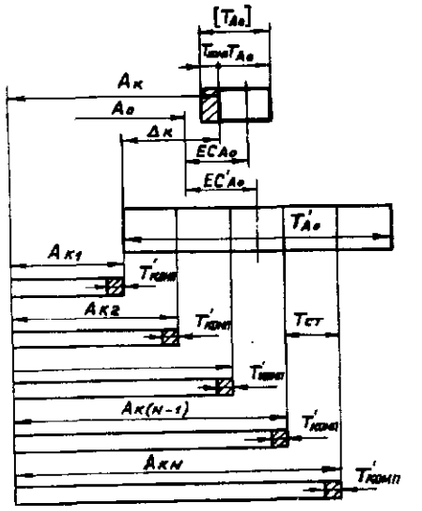


Рис. 105. Схема расположения компенсаторов различных ступеней

Из этого следует, что компенсирующее звено должно быть выполнено с размерами $A_4 = 30^{+1{,}01}_{-0{,}80}$. Поскольку звено A_4 уменьшающее, поправка в координату середины поля допуска вносится со своим знаком.

Метод регулирования. Рассмотрим пример применения неподвижного компенсатора, в качестве которого выбрано простановочное кольцо (рис. 105). Назначим экономически приемлемые поля допусков на составляющие размеры, например,

$$T_{A_1} = T_{A_2} = 0{,}19 \text{ мм} \quad \left(ES_{A_1} = ES_{A_2} = 0,\ EI_{A_1} = EI_{A_2} = -0{,}19 \text{ мм}\right);$$

$$T_{A_3} = 0{,}4 \text{ мм} \quad \left(ES_{A_3} = +0{,}2 \text{ и } EI = -0{,}2 \text{ мм}\right).$$

Тогда

$$T'_{A_0} = T'_{A_1} + T'_{A_2} + T'_{A_3} = 0{,}19 + 0{,}19 + 0{,}4 = 0{,}78 \text{ мм}$$

и

$$EC'_{A_0} = -EC'_{A_1} - EC'_{A_2} + EC'_{A_3} = -(-0{,}095) - (-0{,}095) + 0 = 0{,}19 \text{ мм}.$$

Приняв $T'_{комп} = 0{,}033$ мм, $\left(ES_{A_к} = 0,\ EI_{A_к} = -0{,}033 \text{ мм}\right)$ по уравнению (20) определяем число ступеней компенсатора

$$z = \frac{T'_{A_0}}{T_{A_0} - T'_{комп}} = \frac{0{,}78}{0{,}2 - 0{,}033} = 4{,}65 \approx 5.$$

Шаг ступеней компенсатора в этом случае

$$T_{ст} = T'_{A_0} / z = 0{,}78/5 = 0{,}156 \text{ мм}.$$

Поправка $\Delta_к$ в соответствии с уравнением (19)

$$\Delta_к = EC_{A_0} + \frac{1}{2}\left(T'_{A_0} - T_{A_0}\right) - EC'_{A_0} = 0{,}1 + \frac{1}{2}(0{,}78 - 0{,}2) - 0{,}19 = 0{,}2 \text{ мм}.$$

Учитывая, что поправка $\Delta_к$ вносится с обратным знаком, поскольку компенсатор является уменьшающим звеном, размер компенсатора первой ступени

$$A_{к_1} = \left(A_к - \Delta_к\right)_{EI_{A_к}} = (30 - 0{,}2)_{-0{,}033} = 29{,}8_{-0{,}033}.$$

Размеры компенсаторов других ступеней

$$A_{к_2} = \left(A_{к_1} + T_{ст}\right)_{EI_{A_к}} = (29{,}8 + 0{,}156)_{-0{,}033} = 29{,}956_{-0{,}033};$$

$$A_{к_3} = \left(A_{к_2} + T_{ст}\right)_{EI_{A_к}} = (29{,}956 + 0{,}156)_{-0{,}033} = 30{,}112_{-0{,}033};$$

$$A_{к_4} = \left(A_{к_3} + T_{ст}\right)_{EI_{A_к}} = (30{,}112 + 0{,}156)_{-0{,}033} = 30{,}268_{-0{,}033};$$

$$A_{к_5} = \left(A_{к_4} + T_{ст}\right)_{EI_{A_к}} = (30{,}268 + 0{,}156)_{-0{,}033} = 30{,}424_{-0{,}033}.$$

Нетрудно видеть, если принять $EI_{A_3} = 0$ и $ES_{A_3} = +0{,}4$ мм, то поправка в этом случае $\Delta_к = 0$.

Размерный анализ технологических процессов механической обработки. При проектировании технологических процессов механической обработки заготовок чаще всего возникают задачи по правильному и обоснованному определению операционных размеров и допусков на них. Они могут быть решены с помощью размерного анализа [3, 8, 9].

Допуски и предельные отклонения на

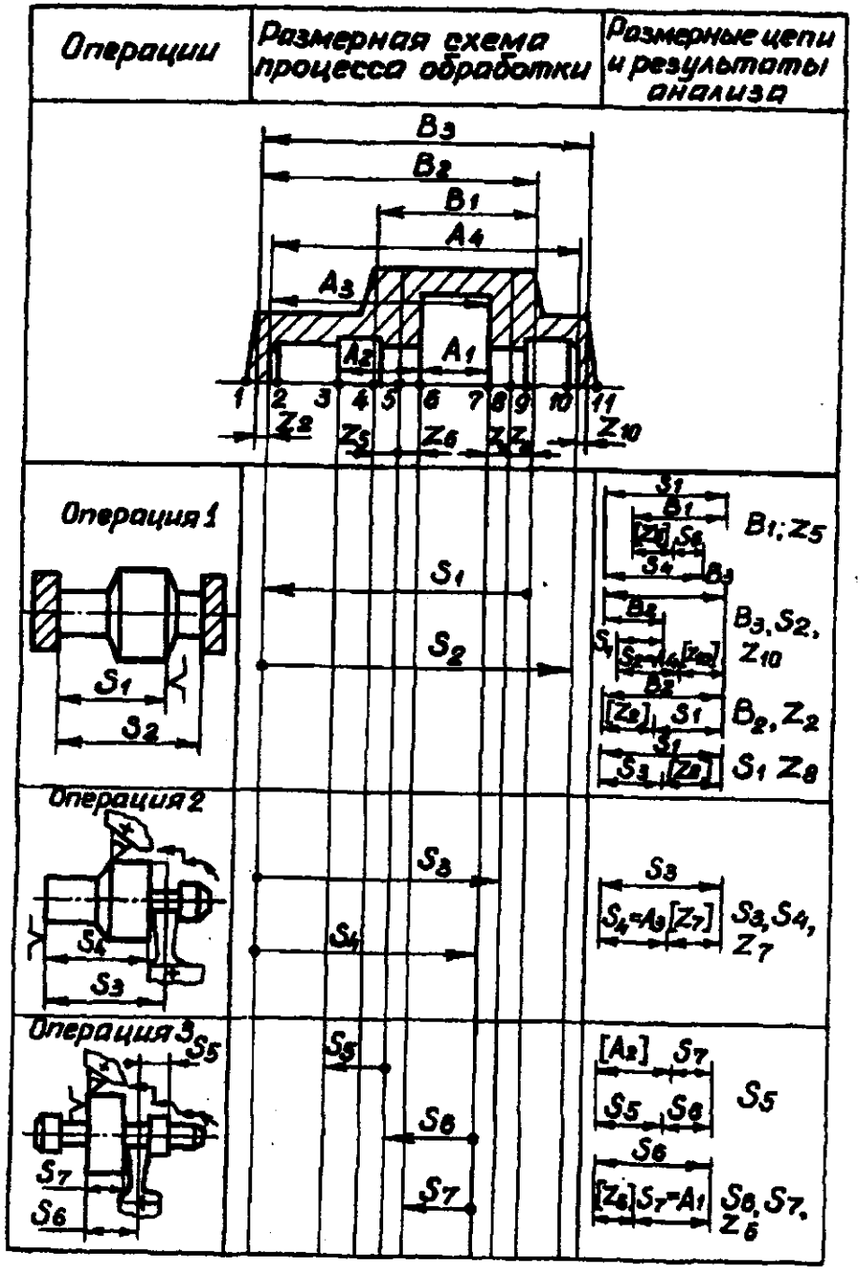


Рис. 106. Размерная схема процесса механической обработки заготовки ступенчатого валика

размеры деталей определяют, как показано в предыдущих разделах, исходя из расчета сборочных размерных цепей.

Способ простановки конструкторских размеров на чертежах деталей во многом предопределяет последовательность обработки отдельных поверхностей заготовок, которая не всегда может быть выдержана при их обработке на предварительно настроенных станках, поскольку технологические базы могут не совпадать с конструкторскими. Однако может оказаться, что принятая последовательность обработки является неприемлемой, так как допуски на технологические размеры окажутся трудновыполнимыми, превышающими среднеэкономическую точность принятых методов обработки. В этом случае необходимо пересмотреть последовательность обработки поверхностей заготовок, и, может быть, рассматриваемый вариант технологического процесса изготовления детали в целом.

Размерный анализ разработки технологического процесса механической обработки проводится в следующем порядке (рис. 106). Вычерчивается совмещенный эскиз детали и заготовки (в одной или нескольких проекциях), на котором указывают размеры детали A_i с допусками, заданными конструктором, и размеры заготовки B_j, подлежащие определению. В соответствии с предварительно разработанным технологическим процессом обработки заготовки на эскиз детали условно наносят припуски Z_n, где n – номер поверхности, к которой относится припуск. Все поверхности заготовок и деталей нумеруют по порядку, слева направо, и через них проводят вертикальные линии. Между вертикальными линиями указывают технологические размеры S_k, получаемые в результате выполнения каждого технологического перехода (при этом точка ставится на линии, соответствующей поверхности, которая используется в качестве базовой при установке заготовки или настройке инструмента).

Расчет размерных цепей начинают с последней операции, т.е. по размерной схеме снизу вверх. Для размерного анализа важно, чтобы в каждой новой цепи был известен только один размер. При этом замыкающим размером (на рис. 106 он заключен в квадратные скобки) может быть либо припуск, либо конструкторский размер детали.

Выявление технологических размерных цепей рекомендуют производить при помощи графов. Порядок построения графа технологических размерных цепей (рис. 107) следующий.

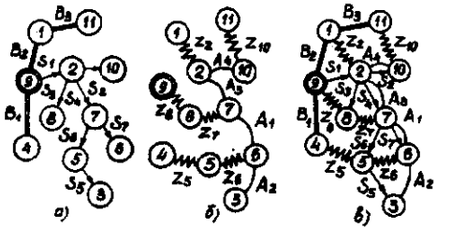


Рис. 107. Граф технологических цепей размерных связей процесса механической обработки заготовки ступенчатого валика:
а – производное дерево; *б* – исходное дерево; *в* – совмещенный граф

Вначале строят производное дерево, затем исходное и после этого производят совмещение деревьев. Для построения производного дерева в качестве корня (вершины) следует выбирать поверхность, от которой начинается обработка заготовки (в рассматриваемом примере в качестве вершины графа принята поверхность *9*). Такую вершину обычно вычерчивают в виде двойного кружка и из него проводят ребра, соответствующие выполняемым от этой вершины размерам. На ориентированных концах этих ребер указывают в виде кружков вершины (поверхности), в которые они упираются стрелками. Ребра производного дерева, изображающие размеры заготовки, можно не ориентировать (на рис. 107 они выполнены в виде двойных линий).

Аналогичным образом строится исходное дерево, ребра которого изображают неориентированными в виде дуг (конструкторские размеры) и ломаных линий (припуски на обработки).

Любой замкнутый контур совмещенного графа образует размерную цепь, у которой ребро исходного дерева является замыкающим звеном, а ребра производного дерева – составляющими звеньями.

Технологическая размерная цепь, таким образом, представляет собой совокупность размеров, образующих замкнутый контур и определяющих взаимное расположение поверхностей (или осей) заготовки. Любая технологическая размерная цепь (рис. 106 и 107) имеет одно замыкающие звено и два или более составляющих (увеличивающих или уменьшающих звеньев). В процессе обработки заготовки замыкающее звено получается последним, как результат выполнения составляющих размеров.

Свои особенности имеет размерный анализ технологических процессов механической обработки заготовок для корпусных деталей. При построении размерной схемы таких процессов следует учитывать, что размеры, определяющие, например, положение основных отверстий корпусной детали, обрабатываемых на нескольких операциях, имеют одинаковые номинальные значения, но выполняются с различной точностью. В этой связи на размерной схеме линия, определяющая положение оси основного отверстия выполняется прерывистой (рис. 108). На рис. 108 изображена размерная схема обработки заготовки корпусной детали за три операции, а на рис. 109 – граф размерных связей.

Технологические цепи обычно решают методом полной взаимозаменяемости.

Некоторые особенности имеет методика расчета размерных цепей, у которых замыкающим звеном является припуск на обработку. Вначале табличным способом или расчетом определяют его минимальную величину $Z_{\min}$. Затем определяют значение наименьшего предельного размера увеличивающего звена $S_{i_{\min}}$ или наибольшего предельного размера уменьшающего звена $S_{j_{\max}}$:

$$z_{\min} = \sum_{1}^{m} S_{i_{\min}} - \sum_{1}^{n} S_{j_{\max}},$$

где m и n – число увеличивающих и уменьшающих звеньев, соответственно.

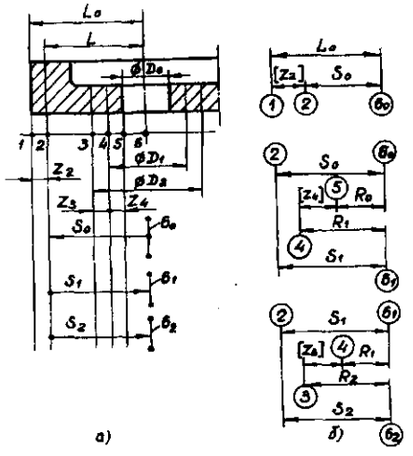


Рис. 108. Размерная схема (*а*) и технологические размерные цепи (*б*) процесса механической обработки заготовки корпусной детали

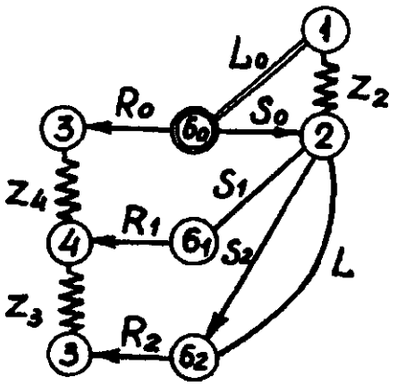


Рис. 109. Граф размерных связей процесса механической обработки заготовки корпусной детали

После чего для данного звена устанавливают допуск, назначают предельные отклонения (верхнее ES_s и нижнее EI_s) и определяют его номинальный размер

$$S_i = S_{i_{\min}} - EI_{S_i}$$

или

$$S_j = S_{j_{\max}} - EI_{S_j}.$$

Далее определяют номинальный размер припуска Z и его наибольшее значение $Z_{\max}$:

$$Z = \sum_{1}^{m} S_i - \sum_{1}^{n} S_j;$$

$$Z_{\max} = \sum_{1}^{m} S_{i_{\max}} - \sum_{1}^{n} S_{j_{\min}}.$$

Находят верхнее ES_Z и нижнее EI_Z предельные отклонения припуска:

$$ES_Z = Z_{\max} - Z;$$

$$EI_Z = Z_{\min} - Z.$$

Правильность расчетов проверяют по уравнениям

$$ES_Z = \sum_{1}^{m} ES_{S_i} - \sum_{1}^{n} EI_{S_j};$$

$$EI_Z = \sum_{1}^{m} EI_{S_i} - \sum_{1}^{n} ES_{S_j}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дальский А. М., Кулешова З. Г.** Сборка высокоточных соединений в машиностроении. М.: Машиностроение, 1988. 304 с.

2. **Ковалев М. П., Моржаков С. П., Терехова К. С.** Динамические и статические уравновешивание гироскопических устройств. М.: Машиностроение, 1974. 252 с.

3. **Матвеев В. В. и др.** Размерный анализ технологических процессов / В. В. Матвеев, М. М. Тверской, Ф. И. Бойков и др. М.: Машиностроение, 1982. 254 с.

4. **Мягков В. Д. и др.** Допуски и посадки. Справочник / В. Д. Мягков, М. А. Палей, А. Б. Романов и др. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. Т. 2. 448 с.

5. **Основы** балансировочной техники. В 2-х т. / Под ред. В. А. Щепетильникова. М.: Машиностроение, 1975. Т. 1, 528 с; Т. 2, 697 с.

6. **Солонин И. С., Солонин С. И.** Расчет сборочных и технологических размерных цепей. М.: Машиностроение, 1980. 110 с.

7. **Справочник** технолога-машиностроителя. В 2-х т. / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. М.: Машиностроение, 1985, Т. 2. 496 с.

8. **Стрелец А. А., Фирсов В. А.** Размерные расчеты в задачах оптимизации конструкторско-технологических решений. М.: Машиностроение, 1998. 120 с.

9. **Фридлендер И. Г. и др.** Размерный анализ технологических процессов обработки / И. Г. Фридлендер, В. А. Иванов, М. Ф. Барсуков и др.; Под общ. ред. И. Г. Фридлендера. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. 141 с.

10. **Щепетильников В. А., Козлянинов Т. П., Самсаев Ю. А.** Балансировка врезающихся тел: Учебное пособие. РИО МИИТа. 1976. 58 с.

Глава 13 НОРМИРОВАНИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

НОРМИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ

Ниже приведена методика нормирования станочных работ, основанная на применении последних изданий справочников общемашиностроительных нормативов времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на станках с ЧПУ, как более сложная по сравнению с универсальными станками.

НОРМА ВРЕМЕНИ И ЕЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ

Норма времени для выполнения операций на станках с ЧПУ при работе на одном станке $H_{вр}$ состоит из нормы подготовительно-заключительного времени $T_{пз}$ и нормы штучного времени $T_{шт}$:

$$H_{вр} = T_{шт} + T_{пз}/n, \qquad (1)$$

где n – количество деталей в партии запуска.

$$T_{шт} = \left(T_{ца} + T_{в}K_{тв}\right)\left(1 + \frac{a_{тех} + a_{орг} + a_{отл}}{100}\right), \qquad (2)$$

где $T_{ца}$ – время цикла автоматической работы станка по программе, мин;

$$T_{ца} = T_{о} + T_{мв}, \qquad (3)$$

где $T_{о}$ – основное (технологическое) время, на обработку одной детали, мин;

$$T_{о} = \sum_{1}^{i} \frac{L_i}{S_{мi}}, \qquad (4)$$

где L_i – длина пути, проходимого инструментом или деталью в направлении подачи при обработке i-го технологического участка (с учетом врезания и перебега), мм; $S_{м\,i}$ – минутная подача на данном технологическом участке, мм/мин; $i = 1, 2, ..., n$ – число технологических участков обработки; $T_{мв}$ – машинно-вспомогательное время (на подвод детали или инструмента от исходных точек в зоны обработки и отвод; установку инструмента на размер, смену инструмента, изменение величин и направления подачи, время технологических пауз и т.п.), мин;

$$T_{мв} = T_{мв.и} + T_{мв.х}, \qquad (5)$$

$$L_i = L + l_1 + l_2 + l_3, \qquad (6)$$

где L – длина пути (или траектории), проходимого инструментом или деталью в направлении подачи, мм; l_1, l_2 , l_3 – длина подвода, врезания и перебега инструмента соответственно, мм.

Величина L определяется исходя из параметров траектории детали. Так, при обработке участков детали с перемещением инструмента по двум координатам длину L определяют по формуле

$$L = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}, \qquad (7)$$

где Δx, Δy – превращения соответствующих координат на данном участке обработки. При перемещении инструмента по дуге окружности длину L определяют

$$L = 2R\arcsin\frac{a}{2R} \qquad (8)$$

или

$$L = \varphi R, \qquad (9)$$

где R – радиус дуги окружности, мм; a – длина хорды дуги окружности, мм; φ – центральный угол, опирающийся на конечные точки дуги окружности, рад; $T_{мв.и}$ – машинно-вспомогательное время на автоматическую смену инструмента, мин; $T_{мв.х}$ – машинно-вспомогательное время на выполнение автоматических вспомогательных ходов и технологические паузы, мин.

Для станков с револьверными головками время $T_{мв.и}$ можно определить по формуле

$$T_{мв.и} = K_{п}\,T_{ип} + T_{иф}, \qquad (10)$$

где $T_{ип}$ – время поворота револьверной головки на одну позицию, мин; $K_{п}$ – количество позиций, на которое необходимо повернуть револьверную головку для установки требуемого инструмента; $T_{иф}$ – время фиксации револьверной головки, мин.

Для станков с контурными системами управления время $T_{мв.х}$ можно определить по формуле

$$T_{мв.х} = \sum_{j=1}^{m} \frac{L_{xxj}}{S_{му}}, \qquad (11)$$

где L_{xxj} – длина пути j-го участка автоматического вспомогательного хода, мм; $j = 1, 2, ..., m$ – число участков автоматических вспомогательных ходов; $S_{му}$ – минутная подача ускоренного хода.

Для станков с позиционными и универсальными (контурно-позиционными) системами управления станками, в которых программирование обработки ведется стандартными циклами, аналитическим путем время $T_{мв.х}$ определить трудно в связи с тем, что конкретные станки в зависимости от их наладки имеют значительные разбросы значений $S_{мхх}$ и L_{xx} (связанные с уставками позиционирования). Для более точного определения времени $T_{мв.х}$ на этих станках рекомендуется проводить предварительный хронометраж с целью определения фактического времени $T_{мв.х}$ при перемещении стола или инструмента на мерное расстояние в направлении различных координат.

В том случае, когда нормирование ведется для уже спроектированного технологического процесса и имеется управляющая программа, время $T_{ц.а}$ определяют прямым хронометрированием цикла обработки детали.

Вспомогательное время на операцию рассчитывается по формуле

$$T_{в} = T_{в.у} + T_{в.оп} + T_{в.изм}, \qquad (12)$$

где $T_{в.у}$ – время на установку и снятие детали вручную или подъемником, мин; $T_{в.оп.}$ – вспомогательное время, связанное с операцией (не вошедшее в управляющую программу), мин; $T_{в.изм}$ – вспомогательное неперекрываемое время на измерения, мин; K_{tb} – поправочный коэффициент на время выполнения ручной вспомогательной работы в зависимости от партии обрабатываемых деталей; $a_{тех}$, $a_{орг}$, $a_{отл}$ – время на технологическое и организационное обслуживание рабочего места, на отдых и личные потребности при одностаночном обслуживании, процент от оперативного времени.

Нормативы вспомогательного времени на установку и снятие детали даются по видам приспособления вне зависимости от типов станков и предусматривают наиболее распространенные способы установки, выверки и крепления деталей в универсальных и специальных зажимных приспособлениях. В качестве главных факторов, влияющих на время установки и снятия детали, принимаются масса детали, способ установки и крепления заготовки, характер и точность выверки.

Нормативы времени на установку и снятие деталей предусматривают выполнение следующей работы:

– при установке и снятии вручную: взять и установить деталь, выверить и закрепить; включить и выключить станок; открепить, снять деталь и уложить в тару; очистить приспособление от стружки, протереть базовые поверхности салфеткой;

при установке и снятии мостовым краном: вызвать кран; застропить деталь; транспортировать деталь к станку; установить деталь; отстропить деталь, выверить и закрепить; включить и выключить станок; открепить деталь; вызвать кран; застропить деталь; снять со станка, транспортировать ее на место хранения; отстропить деталь; очистить приспособления или поверхность стола от стружки, протереть базовые поверхности салфеткой.

При установке и снятии детали подъемником при станке (или группе станков) выполняют ту же работу, что и при снятии детали мостовым краном, за исключением вызова крана.

При установке в специальных приспособлениях вспомогательное время определяют как сумму времени: на установку и снятие одной детали; на установку и снятие каждой последующей детали свыше одной в многоместных приспособлениях; на закрепление детали с учетом количества зажимов; на очистку приспособления от стружки и протирку базовых поверхностей салфеткой.

В случае применения для установки и снятия детали роботов, манипуляторов и сто-

лов-спутников вспомогательное время определяется с учетом их конструктивных особенностей.

Нормативы вспомогательного времени, связанного с операцией. Вспомогательное время, связанное с операцией, не вошедшее во время цикла автоматической работы станка по программе предусматривает выполнение следующей работы: включить и выключить лентопротяжный механизм; установить заданное взаимное положение детали и инструмента по координатам X, Y, Z и в случае необходимости произвести поднастройку; открыть и закрыть крышку лентопротяжного механизма, перемотать, заправить ленту в считывающее устройство; продвинуть перфоленту в исходное положение; проверить приход детали или инструмента в заданную точку после обработки; установить щиток от забрызгивания эмульсией и снять его.

Машинно-вспомогательное время, связанное с переходом, включенное в программу и относящееся к автоматической вспомогательной работе станка, предусматривает: подвод детали или инструмента от исходной точки в зону обработки и отвод; установку инструмента на размер обработки; автоматическую смену инструмента; включение подачи; холостые ходы при переходе от обработки одних поверхностей к другим; технологические паузы, предусмотренные при резком изменении направления подачи, для проверки размеров, осмотра инструмента и переустановки или перезакрепления детали.

Машинно-вспомогательное время, связанное с переходом, определяется по паспортным данным станков и входит в качестве составляющих элементов во время автоматической работы станка.

Нормативы вспомогательного времени на контрольные измерения. Необходимые размеры деталей, обрабатываемых на станках с числовым программным управлением, обеспечиваются в автоматическом цикле обработки.

В связи с этим время на контрольные измерения (после окончания работы по программе) должно включаться в норму штучного времени только в том случае, если это предусмотрено технологическим процессом и с учетом необходимой периодичности таких измерений в процессе работы, и только в тех случаях, когда оно не может быть перекрыто временем цикла автоматической работы станка по программе.

Нормативы времени на обслуживание рабочего места. Время на обслуживание рабочего места дается по типам и размерам оборудования с учетом одностаночного и многостаночного обслуживания в процентах от оперативного времени.

Технологическое обслуживание рабочего места предусматривает выполнение следующих работ:

смену инструмента (или блока с инструментом) вследствие его затупления;

регулировку и подналадку станка в процессе работы (изменение величины коррекции инструмента);

сметание и периодическую уборку стружки в процессе работы (кроме сметания стружки с базовых поверхностей установочных приспособлений, время на которое учтено во вспомогательном времени на установку и снятие детали).

Организационное обслуживание рабочего места включает работу по уходу за основным и вспомогательным оборудованием, технологической и организационной оснасткой, тарой, относящимся к рабочей смене в целом:

осмотр и опробование оборудования в процессе работы;

раскладку инструмента в начале и уборку его в конце смены;

смазку и чистку станка в течение смены;

уборку станка и рабочего места в конце смены.

Нормативы времени на отдых и личные потребности. Время на отдых и личные потребности для условий обслуживания одним рабочим одного станка отдельно не выделяется и учтено во времени на обслуживание рабочего места.

Для многостаночного обслуживания предусматривается время перерывов на отдых и личные потребности в зависимости от характеристики работ.

Нормативы подготовительно-заключительного времени. Норма времени на наладку станка представляется как время на приемы подготовительно-заключительной работы на обработку партии одинаковых деталей независимо от партии и определяется по формуле

$$T_{пз} = T_{пз1} + T_{пз2} + T_{пр.обр}, \qquad (13)$$

где $T_{пз}$ – норма времени на наладку и настройку станка, мин; $T_{пз1}$ – норма времени на организационную подготовку, мин; $T_{пз2}$ – норма времени на наладку станка, приспособления, инструмента, программных устройств, мин; $T_{пр\ обр}$ – норма времени на пробную обработку.

Время на приемы подготовительно-заключительной работы устанавливается в зависимости от вида и размерной группы оборудования, а также с учетом особенностей системы программного управления.

Состав работ по организационной подготовке является общим для всех станков с ЧПУ независимо от их группы и модели. Время на организационную подготовку предусматривает:

получение наряда, чертежа, технологической документации, программоносителя, режущего, вспомогательного и контрольно-измерительного инструмента, приспособлений, заготовок до начала и сдачу их после окончания обработки партии деталей на рабочем месте или в инструментальной кладовой;

ознакомление с работой, чертежом, технологической документацией, осмотр заготовки;

инструктаж мастера.

При бригадной форме организации труда, когда производится межсменная передача обрабатываемых деталей, организационная подготовка учитывает только время на ознакомление с работой, чертежом, технологической документацией, осмотр заготовок и инструктаж мастера.

В состав работ по наладке станка, инструмента и приспособлений включаются приемы работы наладочного характера, зависящие от назначения станка и конструктивных особенностей: установка и снятие крепежного приспособления; установка и снятие блока или отдельных режущих инструментов; установка исходных режимов работы станка; установка программоносителя в считывающее устройство и снятие его; настройка нулевого положения и др.

Время на пробную обработку деталей на станках токарной и револьверной групп включает затраты времени на обработку детали по программе плюс вспомогательное время на выполнение дополнительных приемов, связанных с измерением детали, вычислением коррекции, введением величин коррекции в систему ЧПУ, и вспомогательное время на приемы управления станком и системой ЧПУ.

Время на пробную обработку деталей на станках карусельной, фрезерной, расточной групп, многоцелевых станках включает затраты времени на обработку деталей методом пробных стружек плюс вспомогательное время на выполнение дополнительных приемов, связанных с измерением детали, вычислением величины коррекции, введением величин коррекций в систему ЧПУ, и вспомогательное время на приемы управления станком и системой ЧПУ.

Для расчета основного времени необходимо определить режимы резания для обработки каждой поверхности детали. Они определяются по общемашиностроительным нормативам.

ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Функционально-стоимостной анализ (ФСА) технологического процесса проводится с целью наиболее эффективного выполнения его главной функции – изготовить изделие (сборочную единицу, деталь) с заданными потребительскими свойствами и качеством при минимальных затратах используемых ресурсов.

В состав работ по ФСА технологического процесса входят две группы процедур: функционально-стоимостная диагностика процесса; поиск и выбор оптимального варианта процесса, исходя из целей анализа. Типовая схема целей и задач анализа приведена на рис. 1.

Необходимо предусмотреть следующие этапы ФСА технологического процесса: подготовительный, информационный, аналитический, творческий, исследовательский, рекомендательный, внедрения.

1. *Подготовительный этап* – определение объекта, целей и задач ФСА технологического процесса. Проведение ФСА ранее разработанных процессов следует начинать с процессов, имеющих наиболее высокую долю суммарных затрат в себестоимости изделия. Затем следует подвергать анализу процессы: наиболее материало- и энергоемкие; при выполнении которых возможно появление брака; имеющие относительно длительный производственный цикл изготовления отдельных деталей изделия; при выполнении которых используются дорогостоящие оборудование, оснастка и инструмент; с высоким уровнем ручного труда.

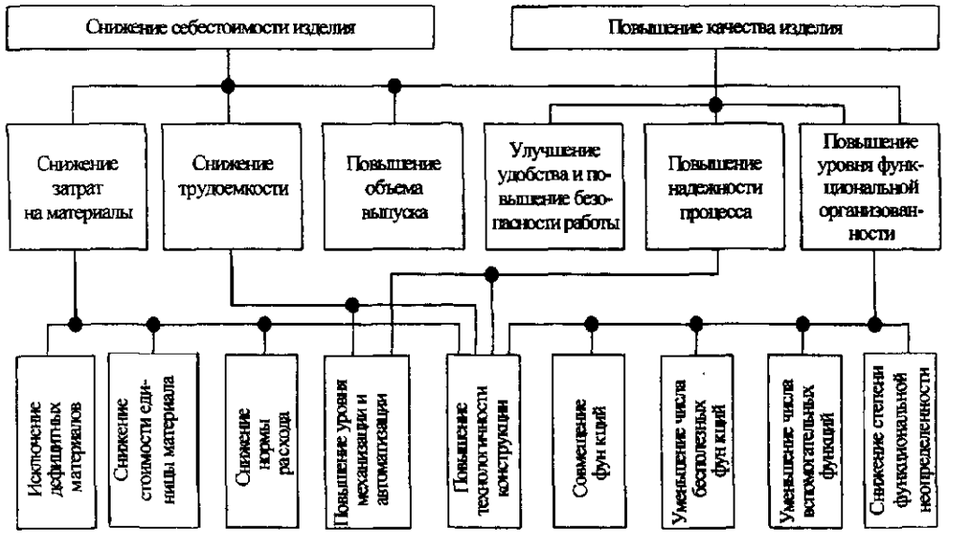


Рис. 1. Схема целей и задач функционально-стоимостного анализа технологического процесса

2. *Информационный этап* – получение технической и экономической информации об объекте анализа в соответствии с перечнем необходимой информации, указанной в табл. 1.

1. Перечень технико-экономической информации, необходимой для проведения ФСА технологического процесса

Информация	Подразделение предприятия, предоставляющее информацию
Комплект конструкторской документации (рабочие чертежи, технические условия на изделие)	Отдел главного конструктора
Карта технического уровня и качества продукции	Отдел главного конструктора
Комплект технологической документации (маршрутные, операционные карты, карты технологического процесса; сведения о применяемости оборудования, материалах, оснастке, технологические инструкции). Данные об аттестации уровня технологии (если на заводе проводилась аттестация). Планы технического перевооружения и внедрения передовой технологии	Отдел главного технолога
Объем выпуска, данные о трудоемкости изготовления изделия, себестоимость изготовления изделия по статьям калькуляции, цена, прибыль, рентабельность изделия	Планово-экономический отдел (бюро), отдел (бюро) труда и заработной платы
Амортизационные отчисления на оборудование и производственные площади, стоимость энергии	Отдел главного механика (энергетика), бухгалтерия
Данные о браке, рекламациях; сведения об эксплуатации, предложения по повышению качества	Отдел технического контроля, бюро надежности
Сведения о технологических процессах-аналогах, в т.ч. зарубежных, результаты проведения информационно-патентного поиска	Отдел технической информации
Информация о рационализаторских предложениях и изобретениях, в т.ч. отклоненных	Бюро рационализации и изобретательства
Заключения и предложения по конструкции, технологии, материалам, оборудованию, оснастке	Цехи-изготовители
Стандарты ЕСКД, ЕСТД, ЕСТПП, отраслевые стандарты, СТП, необходимые для проведения анализа	Служба стандартизации

Примечание. Перечень и объем информации зависят от особенностей объекта анализа и целей ФСА.

Предварительно изучают технологический процесс по собранным материалам и непосредственно в цехе с целью определения основных направлений анализа на последующих этапах. Итогом работ на этом этапе является построение структурно-элементной модели технологического процесса (табл. 2) в следующей последовательности: определяют материальные носители (предметы и средства труда), участвующие в реализации технологического процесса; определяют затраты по каждому материальному носителю – затраты на материалы, трудовые затраты, затраты на оборудование, оснастку, инструмент, производственные площади, электроэнергию (для энергоемких процессов).

2. Структурно-элементная модель технологического процесса

Номер операции	Наименование операции	Затраты, руб.				Себестоимость операции, руб.	Ранг по затратам
		материальные	трудовые	на оборудование, оснастку, инструмент	на производственные площади		
1							
2							
…							
n							
Итого							

3. *Аналитический этап* – разработка функциональной модели технологического процесса (рис. 2): находят функциональное выражение каждой технологической операции, учитывая, что операция может иметь несколько функций, и наоборот – одна функция может обеспечиваться несколькими операциями; каждой функции присваивают индекс, соответствующий номеру операции; устанавливают ранг и уровень исполнения функций на основании

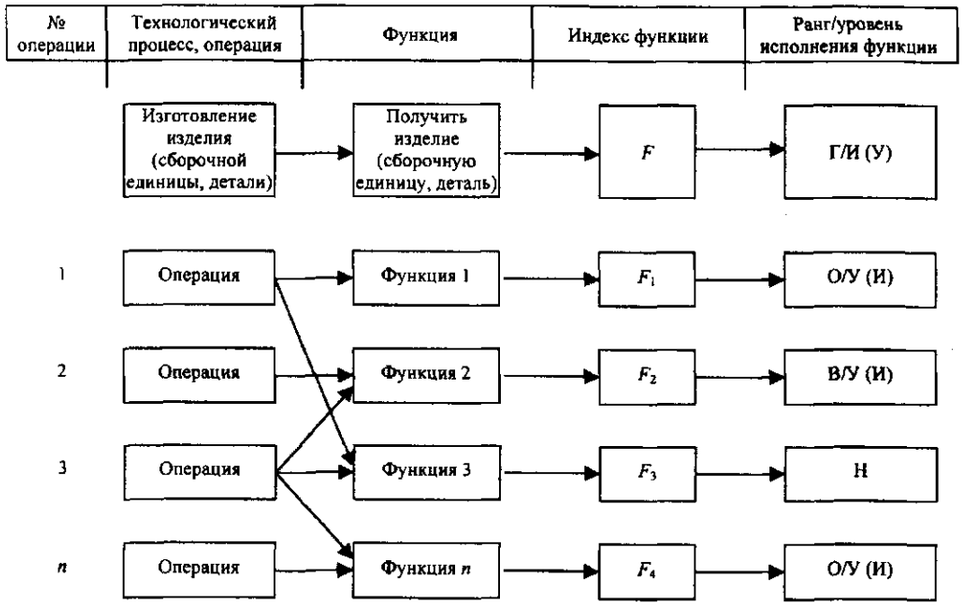


Рис. 2. Функциональная модель технологического процесса: Г, О, В, Н – ранг функции (главная, основная, вспомогательная, ненужная); *И*, *У* – уровень исполнения функции (избыточный, требующий усиления ресурсов)

сравнения значений ресурса фактически выполняемых функций с параметрами требуемых функций. При этом в результате экспертной оценки возможны три варианта результатов сопоставления: а) соответствие реальных и требуемых функций по ресурсу; б) недостаточный ресурс анализируемых функций; в) избыточный ресурс по отдельным параметрам, обусловленный условиями производства или неоправданными техническими требованиями, заложенными в технических условиях.

Если в процессе ФСА технологического процесса появилась необходимость внести изменения в конструкцию или технические условия на изготовление изделия (детали), то технолог должен согласовать эти изменения с ведущим конструктором и только после этого продолжить анализ, при этом каждая функция технологического процесса должна способствовать созданию (или сохранению) определенных свойств, заданных системой высшего порядка (требования к изделию, сборочной единице, детали и т.д.).

На основании формализованного подхода к классификации функций, все функции, осуществляющие перенос информации с чертежа на материальный объект, относятся к основным, остальные – к вспомогательным. С этой точки зрения, часть функций формообразования будут основными, а часть (например, предварительная обточка детали) – вспомогательными. При формулировании функций операций, переходов наряду с полезными указываются ненужные функции путем постановки, например, следующих вопросов: Необходима ли данная функция в реализации соответствующей основной? Можно ли обойтись без данной функции, не ухудшая качества процесса?

Разработку и построение функционально-структурной модели (ФСМ) технологического процесса (рис. 3) осуществляют совмещением структурно-элементной и функциональной модели. Анализ модели дает возможность установить функции и зоны сосредоточения (через материальные носители) наибольших затрат. Процедура совершенствования технологического процесса заключается в последовательном рассмотрении элементов его структурно-элементной модели с наибольшими избыточными функциональными затратами. Для каждой составляющей технологического процесса формулировка задачи по ее совершенствованию записывается следующим образом: изделие, элемент конструкции, точностные или качественные характеристики (указать) можно изготовить (получить) с меньшими затратами или не выполняя операцию (переход) – (указать), если (указать условия). При совершенствовании технологического процесса ставят целью ликвидировать или сократить затраты на носители не только ненужных и вспомогательных, а по возможности и основных функций. При этом полезные функции сокращенных операций (основные и вспомогательные) передаются оставшимся элементам процесса. При совершенствовании технологического процесса рассматриваемую технологическую операцию можно не выполнять: за счет предшествующих операций и переходов; за счет последующих операций и переходов. По результатам анализа формулируют задачи, которые необходимо решить на творческом этапе.

4. *Творческий этап* – решение задач, выдвинутых на аналитическом этапе и подготовка предложений, направленных на оптимизацию технико-экономических показателей технологического процесса.

Схема проведения работ на творческом этапе представлена на рис. 4.

По результатам оценки и анализа функций разрабатывают варианты их реализации с меньшими затратами с учетом использования более производительного оборудования, малооперационной и безотходной технологии. В ходе ФСА необходимо приблизить фактические функциональные затраты к минимально необходимым. Под минимально необходимыми затратами понимают такой нижний уровень затрат, который может быть достигнут при разработке наиболее экономичных технических решений, реализующих эту функцию. Фактические затраты на технологическую функцию (технологическую себестоимость) определяют аналитическим методом. При расчете затрат на функцию аналитическим методом необходимо не только правильно сформулировать содержание технологической функции, но и определить операции технологического процесса, обеспечивающие ее. Затраты на функцию можно выразить в виде функционально-технологической себестоимости, $C_{фт}$, руб., определяемой по формуле:

$$C_{фт} = \sum_{1}^{n} (M_o + З_o + C_{об} + C_{пм}), \quad (14)$$

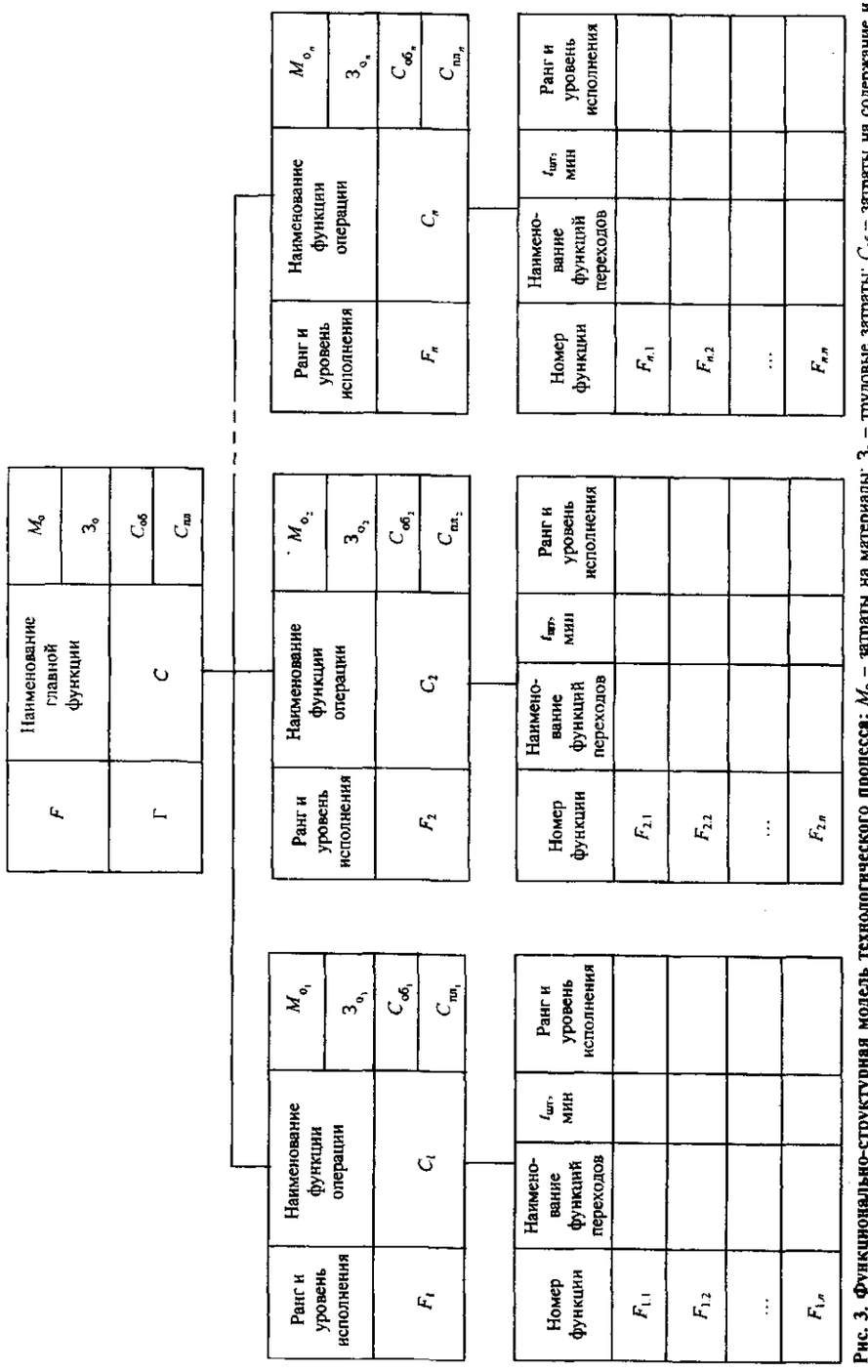


Рис. 3. Функционально-структурная модель технологического процесса: M_o – затраты на материалы; $З_o$ – трудовые затраты; $C_{об}$ – затраты на содержание и эксплуатацию оборудования; $C_{пм}$ – затраты на производственные площади; $C_1 = M_{o_1} + З_{o_1} + C_{об_1} + C_{пм_1}$ – стоимость функции, руб.; $C = C_1 + C_2 + C_3 + ... C_n$ – стоимость главной функции, руб.

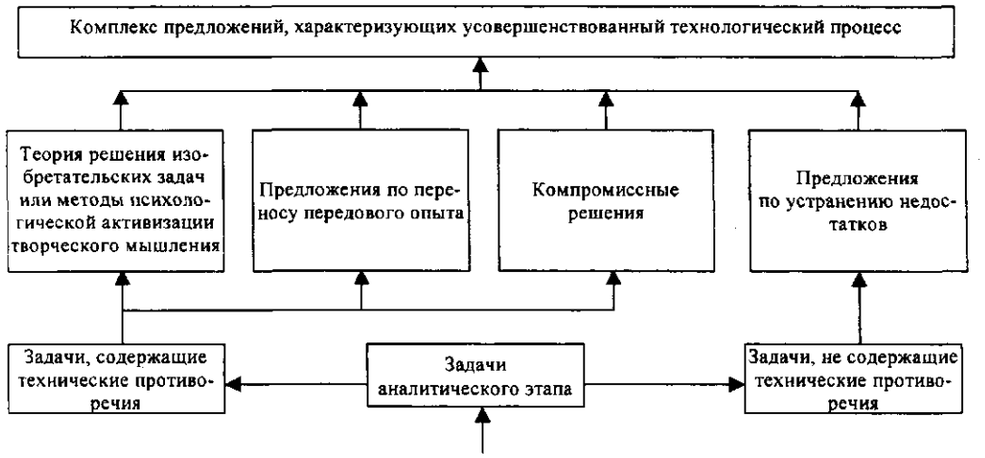


Рис. 4. Схема проведения работ на творческом этапе ФСА технологического процесса

где n – число технологических операций в технологическом процессе, обеспечивающем данную функцию; M_o – затраты на основные материалы без стоимости отходов, руб.; $З_o$ – пооперационные затраты на заработную плату основных рабочих, руб.; $C_{об}$ – пооперационные затраты на содержание и эксплуатацию оборудования, руб., определяются по формуле:

$$C_{об} = C^{б}_{м.ч} K_{м} \frac{T_{шт}}{60}, \qquad (15)$$

где $C^{б}_{м.ч}$ – часовые затраты на базовом рабочем месте руб.; $K_м$ – коэффициент машиночаса соответствующего станка; $T_{шт}$ – норма времени на выполнение операции, мин; $C_{пл}$ – пооперационные затраты на содержание производственной площади, руб.

Если в процессе проектирования или совершенствования технологического процесса требуются единовременные затраты на оснастку, инструмент, робототехнику, транспортное и складское оборудование, разработку и внедрение управляющих программ, то они должны быть учтены в затратах на функцию в соответствии с рекомендациями, изложенными в главе.

Затраты на главную функцию процесса в целом будут складываться из функционально-технологической себестоимости основных и вспомогательных функций. Итогом работ на творческом этапе является комплекс предложений, характеризующих усовершенствованный технологический процесс и его функционально-структурная модель.

5. *Исследовательский этап* – предварительный отбор и технико-экономический анализ наиболее целесообразных предложений, полученных на творческом этапе. Отбор производится экспертным путем с учетом следующих критериев: ожидаемого снижения технологической себестоимости; сложности внедрения (затраты на внедрение, дефицитность материалов, наличие необходимого оборудования, производственных площадей и др.). Выбор оптимального варианта технологического процесса осуществляется по результатам технико-экономического анализа, изложенного в главе.

6. *Рекомендательный этап* – окончательно отбирают и принимают решение о внедрении наиболее целесообразных разработок на основании расчета ожидаемого экономического эффекта.

7. *Этап внедрения* – контроль за внедрением мероприятий ФСА технологического процесса.

ПРИМЕР ПРОВЕДЕНИЯ ФСА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

1. *Подготовительный этап.*

Объектом ФСА является технологический процесс изготовления корпуса редуктора (черт. ТЭМ 2.85.10.201).

В процессе изготовления корпуса возникают вопросы, связанные с высокой трудоемкостью расточных операций, наличием ручных разметочной и слесарной операций, широкой номенклатурой используемого металлорежущего оборудования при выполнении однотипных операций (сверлильных, фрезерных и расточных). Кроме того, изделие имеет высокий уровень материальных затрат.

Все это делает необходимым, исходя из функционального назначения корпуса, ликвидировать отмеченные недостатки технологического процесса, снизить трудоемкость и себестоимость изготовления изделия.

2. *Информационный этап.*

В ходе подготовки к проведению анализа собрана необходимая информация по исследуемому технологическому процессу. Исходные данные и результаты расчетов материальных носителей по исследуемому технологическому процессу приведены в табл. 3.

В табл. 4 представлена структурно-элементная модель исследуемого варианта технологического процесса изготовления корпуса редуктора, на которой, наряду с числовыми значениями затрат по каждому материальному носителю для каждой технологической операции (числитель), указан удельный вес соответствующих затрат (знаменатель) в общих затратах на реализацию всего технологического процесса.

3. *Аналитический этап.*

На основании структурно-элементной модели определены затраты по зонам материальных носителей технологического процесса изготовления корпуса:

– зона материалов – 60,3 %;

– зона трудовых затрат – 6,7 %;

– зона затрат на эксплуатацию оборудования – 13,9 %;

– зона затрат в производственные площади – 19,1 %.

В соответствии с рекомендациями составлена функциональная модель технологического процесса и построена ФСМ технологического процесса изготовления изделия (рис. 5).

В результате анализа ФСМ выявлено, что технологические операции, реализуемые функциями F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8, F_9 требуют усиления ввиду малой концентрации операций и переходов на рабочих местах, наличия ручных операций, которые составляют 26 % от всей трудоемкости технологического процесса изготовления изделия. Операции, реализуемые функциями F_5 и F_7, являются наиболее трудоемкими и дорогостоящими. Весь технологический процесс (реализуемый функцией F) характеризуется высокой материалоемкостью.

Технологическая операция, реализуемая функцией F_1 "нанести разметку на заготовку", может стать ненужной, если на последних радиально-сверлильных операциях перемещение инструмента от одной обрабатываемой поверхности к другой будет осуществляться автоматически, по заранее введенным координатам (на станках с ЧПУ).

Трудоемкость технологических переходов, реализуемых функциями $F_{8.2}$, $F_{8.4}$, $F_{8.7}$, $F_{8.10}$, $F_{8.12}$, $F_{8.14}$, $F_{8.16}$, $F_{8.19}$ "повернуть заготовку на N градусов", может быть значительно сокращена при автоматизации переориентации изделия (использование поворотного стола на станке с ЧПУ или при одновременной обработке заготовки несколькими силовыми головками на агрегатных станках).

Снижение затрат по зоне материалов может быть достигнуто путем изменения способа получения заготовки при максимально возможном приближении размеров заготовки к размерам детали (использование литья в кокиль).

Таким образом, результаты анализа функций позволили сформулировать ряд задач по совершенствованию анализируемого технологического процесса:

– улучшить технологические операции, реализуемые функциями F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8, F_9, и, в первую очередь, самые трудоемкие и дорогостоящие, такие как операции, реализуемые функциями F_5 и F_7;

– снизить долю ручного труда в общей трудоемкости изготовления изделия для операций, реализуемых функциями F_1 и F_9;

– снизить затраты по зоне материалов, производственных площадей, на оборудование и трудозатрат.

4. *Творческий этап.*

По задачам, выдвинутым на аналитическом этапе, разработаны технические решения, позволяющие сократить трудоемкость технологического процесса в 7 раз при полной ликвидации ручных операций (разметочной и слесарной) и при сохранении всех необходимых полезных функций.

3. Исходные данные и результаты расчетов материальных носителей по исследуемому варианту технологического процесса

№ п/п	Операция	Модель оборудования / Балансовая стоимость, руб.	$T_{шт.к}$, ч	Разряд работ	Часовая тарифная ставка $C_т$, руб./ч	$З_о$, руб.	$C^б_{м.ч}$, руб./ч	$K_и$	$C_{об}$, руб.	Площадь станка S, м²	Коэффициент, учитывающий дополнительную площадь, γ	Число станков $C_{ср}$, шт.	η*	$C_{ст}$, руб.
1	Разметочная	Плита разметочная / 1200	0,8	5	1,78	3,43	3,56	0,2	0,57	1	5	1	0,138	1,15
2	Фрезерная ЧПУ	МС6310ФI / 181585	0,14	3	1,39	0,51	3,56	12	5,98	32,5	2,5	1	0,024	3,25
3	Радиально-сверлильная	2М57 / 19895	0,201	3	1,39	0,67	3,56	1,4	1,0	10,7	3,5	1	0,0342	4,1
4	Фрезерная ЧПУ	МС6310ФI / 181585	0,143	3	1,39	0,52	3,56	12	6,11	32,5	2,5		0,0246	3,33
5	Горизонтально-расточная	2622Г / 20700	0,607	4	1,56	2,28	3,56	3,1	0,67	19,6	3,0	1	0,102	1,0
6	Фрезерная	6625 / 12937	0,091	3	1,39	0,30	3,56	10	3,24	163,1	1,5	1	0,0156	6,36
7	Горизонтально-расточная	2622Г / 20700	1,33	5	1,78	5,70	3,56	3,1	14,68	19,6	3,0		0,228	23,34
8	Радиально-сверлильная	2М57 / 19895	0,389	4	1,56	1,46	3,56	1,4	1,94	10,7	3,5		0,066	4,12
9	Слесарная	Верстак / 3500	0,207	3	1,39	1,18	3,56	0,2	0,14	2	5	1	0,0354	0,6
	Итого		3,91	–	–	16,5	–	–	34,33	–		6	–	47,25

*η – коэффициент загрузки оборудования по времени данными деталями.

Примечание. Цена производственной площади 1000 руб./м².

4. Структурно-элементная модель исследуемого варианта технологического процесса

№ п/п	Операция	Затраты, руб./%				Себестоимость операции, руб./%	Ранг по затратам
		на материалы	трудовые	на эксплуатацию рабочего места	на производственные площади		
1	Разметочная	149,2 / 60,3	3,43 / 1,39	0,57 / 0,23	1,15 / 0,46	154,35 / 62,7	1
2	Фрезерная ЧПУ		0,51 / 0,21	5,98 / 2,43	3,25 / 1,31	9,74 / 3,9	5
3	Радиально-сверлильная		0,67 / 0,27	1,0 / 0,406	4,1 / 1,66	5,68 / 2,3	7
4	Фрезерная ЧПУ		0,52 / 0,21	6,11 / 2,48	3,33 / 1,35	9,96 / 4	3
5	Горизонтально-расточная		2,28 / 0,92	0,67 / 0,27	1,0 / 0,4	3,95 / 1,6	8
6	Фрезерная		0,30 / 0,12	3,24 / 1,32	6,36 / 2,57	9,9 / 4	4
7	Горизонтально-расточная		5,70 / 2,62	14,68 / 5,96	23,34 / 9,43	43,72 / 17,7	2
8	Радиально-сверлильная		1,46 / 0,59	1,94 / 0,79	4,12 / 1,66	7,52 / 3	6
9	Слесарная		1,18 / 0,48	0,14 / 0,06	0,6 / 0,24	1,92 / 0,8	9
	ИТОГО	149,2 / 60,3	16,5 / 6,7	34,33 / 13,9	47,25 / 19,1	247,28 / 100	

Техническое предложение, связанное с усилением функций F_2, F_3, F_4, F_6 заключается в реализации соответствующих операций на фрезерно-сверлильно-расточном станке с ЧПУ, что позволяет полностью отказаться от разметочной операции, реализуемой функцией F_1 и сократить суммарную трудоемкость перечисленных операций с 0,585 ч до 0,09 ч.

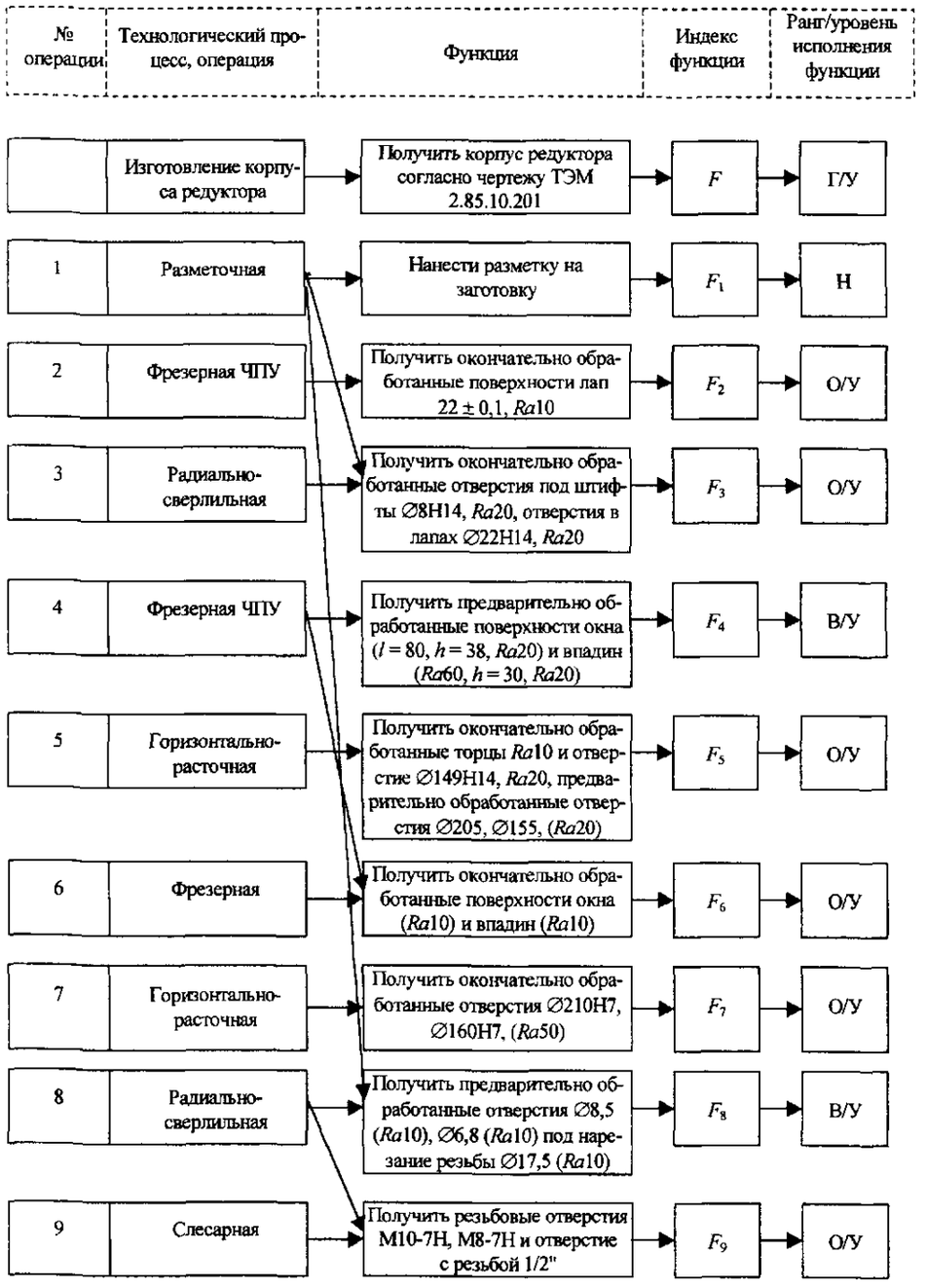


Рис. 5. Функциональная модель базового варианта технологического процесса

5. Исходные данные и результаты расчетов материальных носителей ФСМ усовершенствованного технологического процесса

№ п/п	Операция	Модель оборудования Балансовая стоимость, руб.	$T_{шт.к.}$, ч	Разряд работ	$C_ч$, руб. / ч	$З_о$, руб.	$C^{об}_{м.ч.}$, руб. / ч	$K_м$	$C_{об}$, руб.	S, м^2	γ	η	$C_{пл}$, руб.	$C_о$, руб.
1	Фрезерно-сверлильная	6560МФ3 250300	0,09	3	1,39	0,33	3,56	12	3,84	22,5	2,5	0,0138	1,29	154,66
2	Фрезерно-сверлильно-расточная	ЦР800ПМФ4 307885	0,471	3	1,39	1,73	3,56	13	21,8	28,5	2,5	0,078	9,26	32,79
	ИТОГО		0,561			2,06			25,64				10,55	38,25

Техническое предложение, связанное с усилением функций F_5, F_7, F_8, F_9, заключается в реализации соответствующих операций на станке типа "обрабатывающий центр", что позволяет отказаться от разметочной операции, реализуемой функцией F_1, автоматизировать (и тем самым значительно снизить трудоемкость) переходы, реализуемые функциями $F_{8.2}$, $F_{8.4}$, $F_{8.7}$, $F_{8.10}$, $F_{8.12}$, $F_{8.14}$, $F_{8.16}$, $F_{8.19}$ "повернуть заготовку на N градусов" и операцию, реализуемую функцией F_9 "получить резьбовые отверстия М10-7Н, М8-7Н и отверстие с резьбой 1/2", что позволило сократить суммарную трудоемкость перечисленных операций с 2,543 ч до 0,471 ч.

Техническое предложение, связанное с изменением способа получения заготовки с целью снижения затрат по зоне материалов, на данном этапе совершенствования технологического процесса оказывается неэффективным (для годовой программы выпуска изделий 600 шт.).

Все технические предложения по усовершенствованию имеющегося технологического процесса реализованы в виде технологии, исходные данные и результаты расчетов материальных носителей для которой представлены в табл. 5, а функционально-структурная модель – на рис. 6, 7.

5. *Исследовательский этап.*

Анализируя построенные ФСМ базового и предлагаемого вариантов технологического процесса, выберем и обоснуем наиболее эффективный из них. Технико-экономический анализ вариантов проведем по приведенным затратам B, руб.:

$$B = C_т + E_н K,$$

где $C_т$ – технологическая себестоимость детали по сравниваемым вариантам технологического процесса, руб.; $E_н$ – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений, 0,12; K – удельные капитальные вложения, руб.

В табл. 6 приведен расчет составляющих приведенных затрат.

Таким образом, использование предлагаемого варианта технологического процесса оказывается более эффективным, чем базового, так как приведенные затраты по усовершенствованному варианту технологии на 11,8 % ниже, чем по базовому, при этом ожидаемый годовой эффект от ее внедрения составит:

$$Э_{пр} = (B_б - B_{пр}) N = (212 - 187)\ 600 = 15000 \text{ руб.}$$

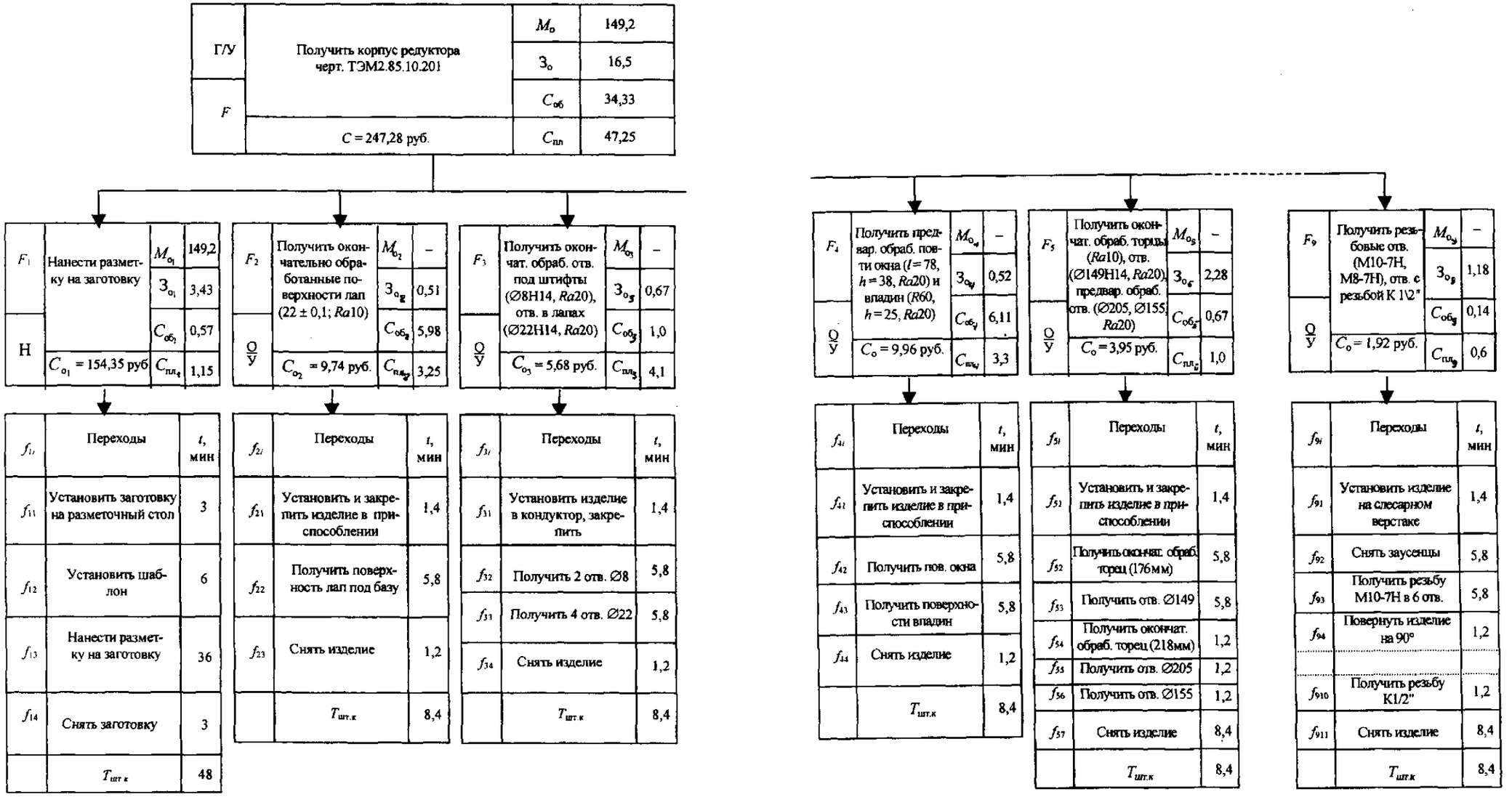


Рис. 6. Функционально-структурная модель базового варианта технологического процесса изготовления корпуса

Г	Получить корпус редуктора черт. ТЭМ2.85.10.201	M_o	149,2
		$З_o$	2,06
		$C_{об}$	25,64
F	C = 187,45 руб.	$C_{пл}$	10,55

F_1	Получить окончательно обработанные поверхности лап (22 ± 0,1; *Ra*20), отв. в лапах (Ø22Н14, *Ra*20) и под штифты (Ø8Н14, *Ra*20), пов-ти окна (l = 80, h = 40, *Ra*10) и впадин (*Ra*10)	M_{o_1}	149,29
		$З_{o_1}$	0,33
О		$C_{об_1}$	3,84
	C_o =154,66 руб.	$C_{пл_1}$	1,29

F_2	Получить окончательно обработанные поверхности торцев (*Ra*10), отв. (Ø149Н14 (*Ra*20), Ø210Н7, Ø160Н7, (*Ra*20)) и отв. с резьбой М10-7Н, М8-7Н, К1/2"	M_{o_2}	–
		$З_{o_2}$	1,73
О		$C_{об_2}$	21,8
	Co_2 = 32,79 руб.	$C_{пл_2}$	9,26

f_{1i}	Переходы	t,мин
f_{11}	Установить и закрепить заготовку	0,5
f_{12}	Получить поверхность лап под базу (22 мм)	0,4
f_{13}	Получить 4 отв.Ø22	0,6
f_{14}	Получить 2 отв.Ø8	0,4
f_{15}	Получить окончательно обработанную поверхность окна (l = 80, h= 40)	0,6
f_{16}	Получить окончательно обработанную пов-ти впадин (*R*60, h = 30)	1,8
f_{17}	Снять изделие	0,5
	$T_{шт.к}$	4,8

f_{2i}	Переходы	t,мин
f_{21}	Установить и закрепить заготовку	0,5
f_{22}	Получить окончат. обраб. торец (176 мм)	0,8
f_{23}	Получить отв.Ø205	2,5
f_{24}	Получить отв.Ø210	3,1
f_{25}	Получить 18 отв. Ø8,5	2,7
f_{26}	Получить фаски 0,5 × 45° в 18 отв. Ø8,5	1,8
f_{27}	Получить резьбу М10-7Н в 18 отв.	3,6
f_{28}	Получить предварительно обработ. отв. Ø16	0,8
f_{29}	Получить отв. Ø17,5	0,6
f_{210}	Получить резьбу К1/2"	0,5
f_{211}	Получить отв. Ø149	2,4
f_{212}	Получить отв. Ø155	2,0
f_{213}	Получить отв. Ø160	2,3
f_{214}	Получить отв. Ø8	0,3
f_{215}	Получить 2 отв. Ø6,8	1,0
f_{216}	Получить резьбу М8-7Н в 2 отв.	1,2
f_{217}	Получить окончат. обработанный торец (218 мм)	0,9
f_{218}	Получить окончат. обработанный торец (285 мм)	1,0
f_{219}	Снять изделие	0,5
	$T_{шт.к}$	28,3

Рис. 7. Функционально-структурная модель предлагаемого варианта технологического процесса изготовления корпуса

Кроме этого, использование усовершенствованного технологического процесса изготовления корпуса редуктора позволит:

1. Снизить технологическую себестоимость изделия на 11,6 %;

2. Снизить затраты по зоне трудозатрат в 8 раз, по зоне эксплуатации оборудования – на 25,4 %, по зоне производственных площадей – в 4,5 раза;

3. Полностью ликвидировать операции с ручным трудом.

6. Расчет приведенных затрат по анализируемым вариантам технологического процесса

№ п/п	Составляющие приведенных затрат	Варианты, руб.	
		базовый	предлагаемый
1	Капитальные вложения в оборудование	18148	27469
2	Затраты в производственные площади	28350	6630
3	Единовременные затраты в оснастку	6500	10100
4	Капитальные вложения в служебно-бытовые помещения	7504	1072
	Капитальные вложения	61404	51858
5	Технологическая себестоимость	200	177
6	Нормативный коэффициент экономической эффективности $E_н$	0,12	0,12
7	Годовая программа выпуска N, шт	600	600
	Приведенные затраты B, руб.	212	187

6. Рекомендательный этап.

Рассмотрев предложения по совершенствованию технологического процесса изготовления корпуса редуктора и их технико-экономическое обоснование, принимается решение рекомендовать к внедрению в производство следующее: заменить оборудование, реализующее базовый вариант технологического процесса, на два, имеющихся на участке, станка с ЧПУ и тем самым максимально сконцентрировать технологические переходы на двух операциях с полным сохранением их полезных функций, значительно снизить трудоемкость и себестоимость изготовления изделия, практически полностью ликвидировать ручной труд.

Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения усовершенствованного варианта технологического процесса составит 15000 руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Общемашиностроительные** нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым и программным управлением. Часть 1. Нормативы времени. М.: Экономика, 1990. 206 с.

2. **Общемашиностроительные** нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым и программным управлением. Часть 2. Нормативы времени. М.: Экономика, 1990. 273 с.

3. **Общемашиностроительные** нормативы режимов резания: О-28 Справочник: В 2-х т: Т. 1 /А. Д. Локтев, Н. Ф. Гущин, В. А. Батуев и др. М.: Машиностроение, 1991. 640 с.: ил.

4. **Общемашиностроительные** нормативы режимов резания: О-28 Справочник: В 2-х т: Т. 2 / А. Д. Локтев, Н. Ф. Гущин, В. А. Батуев и др. М.: Машиностроение, 1991. 304 с.: ил.

5. **Общемашиностроительные** нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного на работы, выполняемые на металлорежущих станках. Среднесерийное и крупносерийное производство. М.: Машиностроение, 1984.

6. **Карпунин М. Г.** Практика проведения функционально-стоимостного анализа в электротехнической промышленности. М.: Энергоатомиздат, 1987. 290 с.

7. **Моисеева Н. К., Карпунин М. Г.** Основы теории и практики функционально-стоимостного анализа. М.: Высшая школа, 1988. 190 с.

8. **Расчеты** экономической эффективности новой техники / Под. ред. К. М. Великанова. Л.: Машиностроение, 1989. 445 с.

Глава 14 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ВАРИАНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

В настоящее время существуют три основные методики оценки экономической эффективности технических решений, требующих для своего осуществления определенных денежных затрат.

А. Методика ЮНИДО. (Организация Объединенных Наций по экономическому и промышленному развитию). Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. М. 1994 г.

Б. Методика – 88. Комплексная оценка эффективности мероприятий, направленных на ускорение научно-технического прогресса. Методические рекомендации и комментарий по их применению. М. 1989 г.

В. Методика сравнительной экономической эффективности.

В условиях рыночной экономики Методика В применяется для государственных предприятий и оценки проектов на народнохозяйственном уровне. Методики А и Б применяются для частных и акционерных предприятий. Причем Методика Б рекомендуется для предприятий с собственностью работников.

Методика А. (Методика ЮНИДО)

Практика обоснования проектов использует несколько обобщающих показателей, позволяющих подготовить решение о целесообразности вложения средств. В их числе:

- чистая текущая стоимость;
- рентабельность;
- внутренний коэффициент эффективности;
- период возврата капитальных вложений;
- максимальный денежный отток;
- точка безубыточности.

Чистая текущая стоимость, называемая в отечественных источниках "***интегральным экономическим эффектом***", представляет собой разность совокупного дохода от реализации продукции, рассчитанного за период реализации проекта, и всех видов расходов, суммированных за тот же период, с учетом фактора времени (т.е. с ***дисконтированием разновременных доходов*** и расходов).

$$NPV = \sum_{t=0}^{N} \frac{S_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^{N} \frac{A_t}{(1+i)^t},$$

где NPV – приведенная чистая стоимость; S_t – чистые денежные доходы, получаемые в течение периода t; i – норма дисконтирования (требуемая норма прибыли; t – временный период (год); N – срок жизни проекта; A_t – денежные расходы в период t.

Этот показатель рассчитывается аналитически, а также отражается в таблице денежных потоков. Максимум чистой текущей стоимости выступает как один из важнейших критериев при обосновании проекта. Он обеспечивает максимизацию доходов собственников капитала в долгосрочном плане (за экономический срок жизни инвестиций). При прочих равных условиях метод расчета приведенной чистой стоимости ставит в более выгодное положение крупные инвестиционные проекты.

Рентабельность, понимаемая как отношение прибыли к капитальным вложениям, а также по отношению к акционерному капиталу, рассчитывается аналитически для каждого года реализации предпринимательского проекта и как среднегодовая величина (в том числе с учетом налогообложения).

Внутренний коэффициент эффективности определяется аналитически как пороговое значение рентабельности, которое обеспечивает равенство нулю интегрального эффекта, рассчитанного за экономический срок жизни инвестиций. На практике часто находится методом подбора, т.е. перебором различных пороговых значений рентабельности:

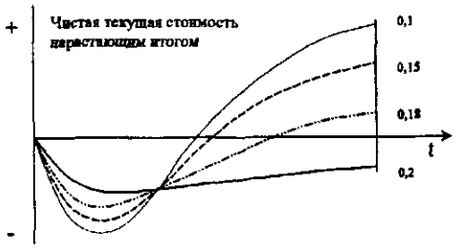


Рис. 1. Финансовый профиль проекта

$$\sum_{t=0}^{N} \frac{S_t - A_t}{(1+r)^t} = 0,$$

где r – внутренняя норма прибыли, которую нужно определить из формулы.

На рис. 1 приведен финансовый профиль некоторого проекта, рассчитанный для разных пороговых значений рентабельности. Как видно, внутренний коэффициент эффективности для рассматриваемого проекта равен приблизительно 0,18.

Проект считается рентабельным, если внутренний коэффициент эффективности не ниже исходного порогового значения. При ранжировке проектов преимущество получают проекты с более высокой внутренней нормой прибыли.

Поскольку альтернативой предпринимательскому проекту является вложение в ценные бумаги, банковские операции и пр., в зарубежной практике при выборе исходного порогового значения рентабельности часто в качестве ориентира используют уровень доходности ценных бумаг, ставки по долгосрочному кредиту и т.п.

Полагают, что различие целей и условий реализации проектов также сказывается на выборе минимального уровня доходности. Так, выделяют **шесть классов инвестиций**, для которых возможно использование различных процентных ставок:

1. Вынужденные капитальные вложения	требования к норме прибыли отсутствуют
2. Вложения с целью сохранения позиций на рынке ...	6 %
3. Обновление основных производственных фондов ..	12 %
4. Вложения с целью экономии текущих затрат	15 %
5. Вложения с целью увеличения доходов	20 %
6. Рисковые капитальные вложения	30 %

2/3 фирм используют *метод внутренней нормы прибыли.*

Если строго следовать размеру внутренней нормы прибыли в качестве критерия оценки, расчеты должны приводить к выводу о том, что приоритет должен быть отдан небольшим капиталовложениям, а не крупным проектам. Поэтому метод внутренней нормы прибыли обычно используют в случае наличия ограниченного капитала, который требуется наиболее выгодным образом разделить между различными проектами.

Период возврата капитальных вложений, иногда называемый *сроком окупаемости*, представляет собой количество лет, в течение которых доход от продаж за вычетом функционально-административных издержек возмещает основные капитальные вложения.

Этот показатель может быть рассчитан аналитически, указан в таблице денежных потоков или выделен на графике, изображающем финансовый профиль проекта (рис. 1).

Показателем рекомендуют пользоваться в следующих случаях:

- если ликвидность проекта имеет особую важность для фирмы;
- если рассматриваются проекты с неопределенными ожидаемыми доходами, особенно если эти доходы становятся все более неопределенными в будущем;
- если проект будет осуществляться в период очень высоких финансовых издержек в компании, что делает покрытие капитала очень важным;
- если рассматриваются проекты с очень высокой степенью катастрофического риска.

Максимальный денежный отток – это наибольшее отрицательное значение чистой текущей стоимости, рассчитанной нарастающим итогом. Показатель отражает необходимые размеры финансирования проекта и должен быть связан с источниками покрытия всех

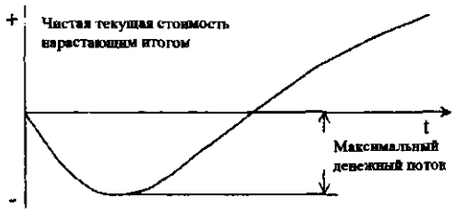


Рис. 2. Максимальный денежный поток

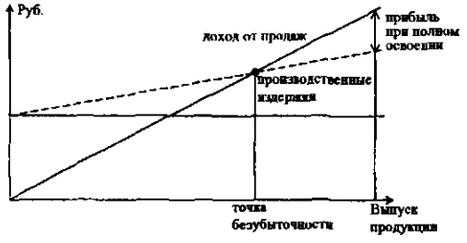


Рис. 3. К определению точки безубыточности

затрат. Он отражается в таблице денежных потоков и может быть выделен на графике финансового профиля проекта (рис. 2).

Точка безубыточности – это минимальный размер партии выпускаемой продукции, при котором обеспечивается "*нулевая прибыль*" (доход от продаж равен издержкам производства). Аналитически определяется по формуле

$$N_{\min} = \frac{A_{\text{const}}}{P_{\text{y}} - A_{\text{y var}}},$$

где A_{const} – постоянные издержки; P_{y} – удельная цена; $A_{\text{y var}}$ – удельные переменные издержки; $N_{\min}$ – точка безубыточности.

Точку безубыточности можно определить и графическим методом, как правило, из условий полного освоения проектной мощности (рис. 3).

Методика Б. (Методика – 88)

1. Общий подход к выбору наилучшего варианта реализации мероприятия НТП (научно-технического прогресса) на этапе ТЭО (технико-экономического обоснования) сводится к следующему:

- отбираются варианты из потенциально возможных, каждый из которых удовлетворяет всем заданным ограничениям: социальным стандартам, экологическим требованиям, по времени реализации и др. В число рассматриваемых вариантов обязательно включаются наиболее прогрессивные, технико-экономические показатели которых превосходят или соответствуют лучшим мировым достижениям (не только освоенным в производстве, но – при наличии информации – и намечаемым к выпуску в перспективе). При этом должны учитываться возможности закупки техники за рубежом в необходимом количестве, организации собственного производства на основе приобретения лицензий, организации совместного производства с зарубежными странами;
- по каждому варианту из числа допустимых определяются (с учетом динамики) затраты, результаты и экономический эффект;
- лучшим признается вариант, у которого величина экономического эффекта максимальна, либо – при условии тождества полезного результата – затраты на его достижение минимальны.

2. Экономический эффект мероприятий НТП рассчитывается по условиям использования продукции за расчетный период. Суммарный по годам расчетного периода экономический эффект рассчитывается по формуле:

$$Э_{\text{т}} = Р_{\text{т}} - З_{\text{т}}, \qquad (1)$$

где $Э_{\text{т}}$ – экономический эффект мероприятия НТП за расчетный период; $Р_{\text{т}}$ – стоимостная оценка результатов осуществления мероприятия НТП за расчетный период; $З_{\text{т}}$ – стоимостная оценка затрат на осуществление мероприятия НТП за расчетный период.

3. Расчет экономического эффекта проводится с обязательным использованием приведения разновременных затрат и результатов к единому для всех вариантов мероприятия НТП моменту времени – расчетному году $t_{\text{р}}$ (см. табл. 1). В качестве расчетного года обычно принимается наиболее ранний из всех рассматриваемых вариантов календарный год, предшествующий началу выпуска продукции или использования в производстве новой технологии, новых методов организации труда или управления.

Приведение разновременных затрат и результатов всех лет периода реализации мероприятия к расчетному году осуществляется путем умножения их величины за каждый год на коэффициент приведения α_t.

1. Коэффициент приведения разновременных затрат и результатов к расчетному году

А. Коэффициент приведения к расчетному году

$$\alpha_t = (1 + E_{\text{н}})^{t_{\text{р}} - t},$$

где $E_{\text{н}}$ – норматив приведения разновременных затрат и результатов, численно равный нормативу эффективности капитальных вложений ($E_{\text{н}} = 0{,}1$); $t_{\text{р}}$ – расчетный год; t – год, затраты и результаты которого приводятся к расчетному году

Число лет, предшествующих расчетному году	α_t	Число лет, следующих за расчетным годом	α_t	Число лет, следующих за расчетным годом	α_t
10	2,5937	1	0,9091	11	0,3505
9	2,3579	2	0,8264	12	0,3186
8	2,1436	3	0,7513	13	0,2897
7	1,9487	4	0,6830	14	0,2633
6	1,7716	5	0,6209	15	0,2394
5	1,6105	6	0,5645	20	0,1486
4	1,4641	7	0,5132	25	0,0923
3	1,3310	8	0,4665	30	0,0573
2	1,2100	9	0,4241	40	0,0221
1	1,1000	10	0,3855	50	0,0085
0	1,0000				

Б. Коэффициент реновации

$$k_{\text{р}} = \frac{E_{\text{н}}}{(1 + E_{\text{н}})^{t_{\text{сл}}} - 1},$$

где $t_{\text{сл}}$ – срок службы средств и орудий труда долговременного применения (техники)

$t_{\text{сл}}$	$k_{\text{р}}$	$t_{\text{сл}}$	$k_{\text{р}}$	$t_{\text{сл}}$	$k_{\text{р}}$	$t_{\text{сл}}$	$k_{\text{р}}$
1	1,0000	6	0,1296	11	0,0540	20	0,01750
2	0,4762	7	0,1054	12	0,0468	25	0,01020
3	0,3021	8	0,0874	13	0,0408	30	0,00610
4	0,2155	9	0,0736	14	0,0357	40	0,00226
5	0,1638	10	0,0627	15	0,0315	50	0,00086

Пример. Определение экономического эффекта от совершенствования технологии производства двигателей.

Для разработки в 1998 году более совершенной технологии производства двигателей требуется 100 тыс. рублей. Производственные единовременные затраты составят в 1999 году 9000 тыс. рублей. Срок службы нового оборудования 5 лет. Удельные текущие издержки при производстве

двигателя по новой технологии неизменны во времени и составляют 3500 р. Ежегодно (в течение 5 лет) завод будет выпускать 50 тыс. единиц продукции по цене 4500 рублей за один двигатель.

Рассматриваемое мероприятие характеризуется стабильностью показателей результатов и затрат по годам расчетного периода, поэтому расчет экономического эффекта проводится по формуле (8):

$$Э_т = \frac{Р_г - З_г}{k_р + Е_н} = 179\,430 \text{ тыс. р.},$$

где $Р_г$ = 4500 р. × 50 тыс. ед. = 225 000 тыс. р.;

$З_г$ = 3500 р. × 50 тыс. ед. + (1,638 + 0,1) × (1000 тыс. р. × 1,1 + 9000 тыс. р.) = 177 664,4 тыс. р.;

$k_р$ = 0,1638; $Е_н$ = 0,1.

Расчет экономического эффекта от совершенствования технологии производства двигателей

Показатели	Единица измерения	Годы						
		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
I Результаты:								
I.1 Стоимостная оценка основных результатов	тыс. р.	–	–	225 000	225 000	225 000	225 000	225 000
I.2. Стоимостная оценка сопутствующих результатов		–	–	–	–	–	–	–
I.3. Стоимостная оценка результатов нарастающим итогом с учетом фактора времени		–	–	204 550	390 490	559 530	713 210	859 910
II. Затраты:								
II.1. Единовременные затраты, включая затраты на НИОКР		1000	9000	–	–	–	–	–
II.2. Текущие издержки		–	–	175 000	175 000	175 000	175 000	175 000
II.3. Ликвидационное сальдо*		–	–	–	–	–	–	–
II.4. Затраты на мероприятие нарастающим итогом с учетом фактора времени		1100	10 100	169 190	313 810	445 290	564 820	673 480
III. Коэффициент приведения	–	1,1	1,0	0,9091	0,8264	0,7513	0,683	0,6209
IV. Экономический эффект мероприятия нарастающим итогом	тыс. р.	-1100	-10 100	35 360	76 680	114 240	148 390	179 430

* Ликвидационная стоимость оборудования незначительна, поэтому в расчетах не учитывается.

4. Стоимостная оценка результатов за расчетный период осуществляется следующим образом:

$$P_т = \sum_{t=t_н}^{t_к} P_t \alpha_t , \qquad (2)$$

где P_t – стоимостная оценка результатов в t-м году расчетного периода; $t_н$ – начальный год расчетного периода; $t_к$ – конечный год расчетного периода.

В качестве начального года расчетного периода принимается год начала финансирования работ по осуществлению мероприятия, включая проведение научных исследований.

Конечный год расчетного периода определяется моментом завершения всего жизненного цикла мероприятия НТП, включающего разработку, освоение, серийное производство, а также использование результатов осуществления мероприятий в народном хозяйстве. Конечный год расчетного периода может определяться плановыми (нормативными) сроками обновления продукции по условиям ее производства и использования или сроками службы средств труда (с учетом морального старения), при отсутствии таких нормативов конец расчетного периода устанавливается с учетом специфики отрасли.

Стоимостная оценка результатов определяется как сумма основных $(P_t^о)$ и сопутствующих $(P_t^с)$ результатов.

5. Стоимостная оценка основных результатов мероприятий определяется:

а) для новых предметов труда

$$P_t^о = \frac{A_t}{У_t} Ц_t , \qquad (3)$$

где A_t – объем применения новых предметов труда в году t; $У_t$ – расход предметов труда на единицу продукции, производимой с их использованием в году t; $Ц_t$ – цена единицы продукции (с учетом эффективности ее применения), выпускаемой с использованием нового предмета труда в году t;

б) для средств труда длительного пользования

$$P_t^о = Ц_t \cdot A_t \cdot В_t , \qquad (4)$$

где $Ц_t$ – цена единицы продукции (с учетом эффективности ее применения), производимой с помощью новых средств труда в году t; A_t – объем применения новых средств труда в году t; $В_t$ – производительность средств труда в году t.

6. Стоимостная оценка сопутствующих результатов включает дополнительные экономические результаты в разных сферах народного хозяйства, а также экономические оценки социальных и экологических последствий реализации мероприятия НТП.

Социальные и экологические результаты осуществления мероприятия НТП определяются при его оценке по степени отклонения социальных и экологических показателей от целевых нормативов, установленных в централизованном порядке, и масштабов воздействия на окружающую среду, и социальную сферу. Нарушение целевых нормативов при этом не допускается. Стоимостная оценка указанных результатов может приводиться с использованием формулы

$$P_t^с = \sum_{j=1}^{n} R_{jt} a_{jt} , \qquad (5)$$

где $P_t^с$ – стоимостная оценка социальных и экологических результатов осуществления мероприятия в году t; R_{jt} – величина отдельного результата (в натуральном измерении) с учетом масштаба его внедрения в году t; a_{jt} – стоимостная оценка единицы отдельного результата в году t; n – количество показателей, учитываемых при определении воздействия мероприятия на окружающую среду и социальную сферу.

7. Затраты на реализацию мероприятия НТП за расчетный период включают затраты при производстве и при использовании продукции:

$$З_т = З_т^п + З_т^и , \qquad (6)$$

где $З_т^п$ – затраты при производстве продукции за расчетный период; $З_т^и$ – затраты при использовании продукции (**без учета затрат на приобретение самой продукции**) за расчетный период.

Затраты при производстве (использовании) продукции рассчитываются единообразно:

$$З_{т}^{п(и)} = \sum_{t=t_н}^{t_к} З_t^{п(и)} \alpha_t = \sum_{t=t_н}^{t_к} (И_t + К_t - Л_t)\alpha_t , \quad (7)$$

где $З_t^{п(и)}$ – величина затрат всех ресурсов в году t (включая затраты на получение сопутствующих результатов); $И_t$ – текущие издержки при производстве (использовании) продукции в году t без учета амортизационных отчислений на реновацию; $К_t$ – единовременные затраты при производстве (использовании) продукции в году t; $Л_t$ – остаточная стоимость (ликвидационное сальдо) основных фондов, выбывающих в году t.

В тех случаях, когда на конец расчетного периода остаются основные фонды, которые можно использовать еще ряд лет, величина $Л_t$ определяется как остаточная стоимость указанных фондов.

8. Для мероприятий НТП, характеризующихся стабильностью технико-экономических показателей (объемов производства, показателей качества, затрат и результатов) по годам расчетного периода, расчет экономического эффекта проводится по формуле

$$Э_т = \frac{Р_г - З_г}{k_р + Е_н} , \quad (8)$$

где $Р_г$ – неизменная по годам расчетного периода стоимостная оценка результатов мероприятия НТП, включающая основные и сопутствующие результаты; $З_г$ – неизменные по годам расчетного периода затраты на реализацию мероприятия НТП

$$З_г = И + (k_р + Е_н)К , \quad (9)$$

где $И$ – годовые текущие издержки при использовании продукции (без учета амортизации на реновацию); $k_р$ – норма реновации основных фондов при использовании продукции, определяемая с учетом фактора времени; $Е_н$ – норматив приведения разновременных затрат и результатов, численно равный нормативу эффективности капитальных вложения ($Е_н = 0,1$).

9. После установления (в централизованном или договорном порядке) цен на каждый из видов продукции по всему циклу осуществления мероприятий НТП оценка его эффективности проводится раздельно по каждому звену: предприятию (объединению) и научной организации. При оценке эффективности каждого звена получает отражение лишь та часть общего эффекта по условиям использования, которая учтена при установлении цены на данный вид продукции.

10. Экономический эффект от создания продукции по мероприятию НТП на отдельном предприятии или в отдельной научной организации образует часть финансовых средств предприятия (организации), формируемых за счет прибыли, остающейся в их распоряжении за расчетный период. Общий размер прибыли за расчетный период определяется с учетом принятой процентной ставки при хранении этих средств в банке, предоставлении коммерческого кредита и т.п.

Выделение из совокупных экономических результатов деятельности и из затрат предприятий (научных организаций) долей, относимых на данное мероприятие, проводится самими предприятиями (научными организациями) в соответствии с плановыми заданиями (государственными заказами) и хозяйственными договорами.

11. Прибыль, остающаяся в распоряжении предприятия (научной организации), определяется по формуле

$$П_t = Р_t - С_t - Н_t , \quad (10)$$

где $П_t$ – прибыль, остающаяся в распоряжении предприятия (научной организации) в году t; $Р_t$ – выручка от реализации продукции (производственно-технического, научно-технического назначения) в году t по ценам, установленным в централизованном или договорном порядке: $С_t$ – себестоимость продукции в году t; $Н_t$ – общая сумма налогов и выплат из балансовой прибыли.

12. При сравнении текущих показателей деятельности предприятий (научных организаций) до и после реализации мероприятия НТП может использоваться метод выделения прибыли по данному мероприятию из общей величины прибыли, остающейся в распоряжении предприятия (научной организации):

$$\Delta П = П_t - П_0 , \quad (11)$$

где $П_0$, $П_t$ – общая величина прибыли, остающаяся в распоряжении предприятия (научной организации) до и после реализации мероприятия НТП.

При одновременном осуществлении нескольких мероприятий на одном предприятии выделение доли $\Delta П$ по каждому мероприятию осуществляется по принципу, принятому во внутрипроизводственном хозрасчете.

13. В тех случаях, когда при осуществлении мероприятия НТП не изменяются во времени цена и объем выпускаемой продукции и не меняется в зависимости от данного мероприятия величина выплат из балансовой прибыли, эффективность осуществления мероприятия характеризуется изменением (снижением) себестоимости продукции – аналогично формуле (11).

14. В целях анализа эффективности единовременных затрат, финансируемых предприятием (научной организацией) из собственных или заемных источников по данному мероприятию НТП, могут применяться следующие показатели:

- коэффициент эффективности единовременных затрат (e), рассчитываемый из соотношения:

$$\sum_{t=t_н}^{t_к} (Р_t - И_t - К_t)\,(1+e)^{t_р - t} = 0 . \quad (12)$$

Величина e позволяет проводить сопоставление с единым по народному хозяйству нормативом $Е_н$ (в целях обеспечения народнохозяйственного подхода должно выполняться условие $e \geq Е_н$);

- *период возврата* единовременных затрат, который определяется последовательным сложением величин $(Р_t - И_t)\alpha_t$ до момента, пока получаемая сумма не сравняется с величиной единовременных вложений, приведенных к расчетному году. Величина срока возврата позволяет проводить сопоставление с продолжительностью расчетного периода.

Весьма важным при расчетах экономической эффективности технологических новшеств *оказывается определение срока (в годах)*, на который интегрально должны ориентироваться специалисты. Если есть директивно установленные сроки, сколько лет будет действовать то или иное новшество, то принимают, конечно же, этот срок.

2. Периоды Яксарта, в годах

$Е_н$	*Погрешность расчетов, %*					
	0,5	1	2	3	4	5
0,12	26	21,5	14	10,5	8	6
0,11	28	22	15	11,5	9	6,5
0,10	33	24	17	12,5	9,5	7,5
0,8	39	30	21	15,5	12	9
0,5	25	28	16	12	10	8

Однако существует и *"естественный" период* (или *период Яксарта*), по прошествии которого производить расчеты нецелесообразно, так как результаты эффекта получаются меньше допустимой погрешности в экономических измерениях (табл. 2). Причиной этому служит наличие дисконтирующего уменьшающегося множителя, как это видно из табл. 1 (см. число лет, следующих за расчетным годом в будущее).

Например, через 40 лет абсолютные цифры затрат и результатов составят только 2,21 % от цифр расчетного года. А прибыль, которая равна приблизительно 10 % от затрат, составит 0,221 %.

Если экономические расчеты производятся с погрешностью 1 %, то прибыль "утонет" в неточностях учета.

Таким образом рассчитаны данные периоды, исходя из погрешности исчисления и $Е_н$ (см. табл. 1).

В **главе все цены в абсолютных значениях указаны по состоянию на 1 января 2000 года**. Относительные ценовые соотношения скорректированы с учетом сильного удешевления рабочей силы и удорожания материалов, инструмента и оборудования.

В последующие годы пользователям справочника придется вводить ***коэффициенты инфляции и дефляторы***. Пока они движутся, к сожалению, только в бóльшую сторону.

Методика В

Наиболее экономичный вариант из числа возможных вариантов технологических процессов, обеспечивающих изготовление определенной детали или изделия, выбирают на основании расчета экономической эффективности (табл. 3 и 4).

3. Формулы для определения экономических показателей

Показатель	Формула	Критерий оценки целесообразности принятия 2-го варианта
Коэффициент сравнительной экономической эффективности	$E_р = \frac{C_1 - C_2}{K_2 - K_1}$	$E_р > E_н$
Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений	$T_р = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2}$	$T_р < T_н$
Сумма приведенных затрат	$W_i = C_i + E_н K_i$	Принимается вариант с W_{min}
Абсолютная экономическая эффективность	$Э_а = \frac{Ц - C}{K}$	Принимается вариант с $Э_{а\,max}$

Условные обозначения: $C_1, C_2, ..., C_i$ – себестоимость годовой продукции по вариантам; $K_1, K_2, ..., K_i$ – капитальные вложения по i варианту (варианты упорядочены по возрастанию величины К); Ц – оптовая цена предприятия на годовой выпуск продукции; $T_н$ и $E_н$ см. табл. 4.

4. Значения экономических коэффициентов

Коэффициент	Обозначение	Для народного хозяйства	Для машиностроения
Нормативный абсолютной экономической эффективности	$E_а$	0,140	0,160
Нормативный сравнительной экономической эффективности	$E_н$	0,12	0,12
Нормативный срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, год	$T_н$	8,3	8,3
Учета полных затрат труда (средний)	$\varepsilon_{рт}$	1,4	1,35
Фондовооруженности труда на одного рабочего, тыс. руб.	$k_ф$	20	23
Приведения по времени	$E_{пр}$	0,08	0,08

Различают два показателя экономической эффективности – общий (абсолютный) и сравнительный.

Для технологических процессов *показателем абсолютной экономической эффективности* $Э_а$ является отношение разности между оптовой ценой Ц предприятия и себестоимостью С продукции к капитальным вложениям К, вызвавшим эту экономию. Значение $Э_а$ сопоставляют с соответствующим значением отраслевого норматива $E_а$, и если $Э_а > E_а$, то рассматриваемые капитальные вложения эффективны.

Для машиностроения в целом норматив абсолютной экономической эффективности $E_а = 0{,}160$. Этот норматив определяют дифференцировано по отраслям, подотраслям, объединениям, предприятиям.

Сравнительную экономическую эффективность одного варианта технического решения определяют при сопоставлении с другим вариантом технического решения по расчетному коэффициенту сравнительной экономической эффективности $E_р$ или по расчетному сроку окупаемости $T_р$ дополнительных капитальных вложений за счет экономии на себестоимости. Более капиталоемкий (2-й) вариант считается эффективным, если $E_р > E_н$ или $T_р < T_н$.

Если под C_1 и C_2 (см. табл. 3) подразумевают себестоимость единицы продукции, то под K_1 и K_2 – удельные капитальные вложения, отнесенные к единице продукции. Расчеты сравнительной экономической эффективности имеют смысл при полной сопоставимости вариантов по конечному результату.

При существенных различиях сравниваемые варианты приводят в сопоставимый вид по объему и качеству продукции, а также по срокам осуществления вариантов. Приведение вариантов к сопоставимому виду по объему продукции выполняют условным добавлением объема продукции в варианте с меньшим выпуском изделий и с соответствующим пропорциональным добавлением в этом варианте капитальных затрат.

Приведение вариантов в сопоставимый вид по качеству выпускаемых изделий осуществляют, как правило, пересчетом числа изделий лучшего качества на большее число изделий обычного качества.

Если на реализацию варианта требуется больше года, то затраты каждого года, кроме первого, приводят к затратам одного (начального) года умножением этих затрат на коэффициент α_t. Значения коэффициента приведены ниже (t – порядковый номер года; первый год – начало осуществления варианта):

t	1	2	3	4	5
α_t	1	0,93	0,86	0,79	0,73
t	6	7	8	9	10
α_t	0,68	0,63	0,58	0,53	0,50

Если число вариантов больше двух, то расчет сравнительной экономической эффективности следует проводить по величине так называемых приведенных затрат W_i для каждого сравниваемого варианта. Вариант с наименьшими приведенными затратами будет считаться наиболее эффективным.

Если капитальные вложения не меняются от варианта к варианту, то выбор наиболее эффективного варианта осуществляют по величине себестоимости продукции или только по величине технологической себестоимости, включающей сумму статей себестоимости, изменяющихся при переходе от одного технологического процесса к другому.

Так как замена одного технологического процесса другим, более эффективным, в большинстве случаев непосредственно ведет к экономии живого труда и высвобождению работников, в сумме затрат должны быть учтены полные затраты общества на воспроизводство рабочей силы, в том числе выплаты трудящимся через общественные фонды потребления – бесплатное обучение, лечение, предоставление бесплатных и льготных путевок, затраты на научную информацию и т.п.

Эти затраты учитываются с помощью коэффициента учета полных затрат труда $\varepsilon_{рт}$ (табл. 5).

В среднем $\varepsilon_{рт} = 1{,}35$ и зависит от доли заработной платы в себестоимости продукции.

Вследствие высвобождения (абсолютного или относительного) рабочих возникает экономия от уменьшения простоев оборудования. Эту экономию можно подсчитать с помощью фондовооруженности рабочих в данной отрасли промышленности или (как минимальную оценку) в целом по народному хозяйству – $k_ф$ $Ч_{высв}$, где $k_ф$ – фондовооруженность одного производственного рабочего (руб./чел.); $Ч_{высв}$ – число рабочих, высвобождающихся в результате введения новой технологии; $Ч_{высв} = \Delta T / 1850$; здесь ΔT – снижение трудоемкости, ч; значение $Ч_{высв}$ округляется до ближайшего меньшего целого числа; число высвобождающихся вспомогательных рабочих может быть определено непосредственно по технологическому процессу. И, наконец, принципиально должна быть учтена экономия $Э_{соц}$ капитальных вложений в основные фонды социального назначения по причине высвобождения рабочих.

5. Коэффициент учета полных затрат труда

Интервалы изменения отношения зарплата/себестоимость	$\varepsilon_{рт}$	Интервалы изменения отношения зарплата/себестоимость	$\varepsilon_{рт}$
Св. 0,91	1,72	0,50 – 0,41	1,46
0,90 – 0,81	1,66	0,40 – 0,31	1,15
0,80 – 0,71	1,59	0,30 – 0,21	1,18
0,70 – 0,61	1,50	0,20 – 0,11	1,22
0,60 – 0,51	1,53	0,10 – 0,01	1,06

Таким образом, общий годовой экономический эффект

$$Э_{год} = (С_1 + E_н К_1) - (С_2 + E_н К_2) + $$

$$+(\varepsilon_р - 1)\Delta З + E_н(k_ф Ч_{высв} + Э_{соц}),$$

где $\Delta З$ – экономия живого труда по второму варианту.

Расчеты сравнительной экономической эффективности выполняют, как правило, на стадии проектирования новой техники и технологических процессов в тех случаях, когда неизвестно и неопределенно конкретное место применения данного новшества (предприятие, цех конкретного предприятия) или когда область применения новшества очень обширна, т.е. невозможно однозначно указать экономические условия хозяйствования при эксплуатации данной новой техники. Этой ситуации соответствует точность расчетов, которая определяется точностью задания величины $E_н = 0{,}12$ – двумя значащими цифрами.

Если новые технологические процессы проектируют для конкретного предприятия, цеха или участка, расчеты выполняют по формуле абсолютной экономической эффективности. В этом случае расчет более точен, так как отраслевые нормативы рентабельности задаются тремя значащими цифрами.

Нередко в практике проектирования технологических процессов критерием выбора того или иного варианта становится не локальная экономическая эффективность данного усовершенствования, а экономический результат в более широком масштабе. Например, в автоматизированном производстве с высокой производительностью изготовление некоторых деталей не поддается автоматизации. Недостаточный выпуск этих деталей сдерживает общую пропускную способность по производству данного изделия, из-за чего не на полную мощность работает дорогое автоматизированное оборудование. В этом случае следует выбрать технологический процесс с максимальной производительностью или даже просто с максимальным выпуском лимитирующих деталей, несмотря на повышенные приведенные затраты по сравнению с другими технологическими процессами. Эти увеличенные затраты компенсируются экономией в масштабах цеха, завода, а иногда отрасли или даже народного хозяйства в целом.

Для экономических расчетов необходимо определить с достаточной точностью и достоверностью слагаемые текущих (С) и капитальных (К) затрат. Наибольшую точность расчетов обеспечивает поэлементный метод исчисления себестоимости, меньшую точность – нормативный метод. Ориентировочные значения себестоимости могут быть получены с помощью многофакторных корреляционных зависимостей ее от конструкторско-технологических параметров.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Определение себестоимости методом прямого калькулирования (поэлементный метод)

При технологических расчетах цеховой себестоимости детали $С_{цех}$ учитывают:

$М_о$ – стоимость основных материалов;

$М_{вс}$ – стоимость вспомогательных материалов;

$З_о$ – заработную плату основных производственных рабочих (основную и дополнительную) с отчислениями на социальное страхование;

$З_{вс}$ – заработную плату вспомогательных рабочих (основную и дополнительную) с отчислениями на социальное страхование;

$А_о$ – амортизационные отчисления от оборудования;

$А_{то}$ – амортизационные отчисления от технологического оснащения;

$Р_о$ – затраты на ремонт оборудования;

И – затраты на инструмент и малоценные приспособления;

$Л$ – затраты на энергию для технологических целей;

$П_л$ – затраты на амортизацию и содержание производственных площадей;

$Р_у$ – затраты на ремонт и обслуживание управляющих устройств и программ;

$Б_р$ – потери на технологический брак;

$С_{цех}$ и ее составляющие – в руб./шт.

Расчет отдельных составляющих себестоимости. Стоимость основных материалов (заготовок) с учетом утилизации отходов определяют по формуле

$$М_о = Ц_{заг} - g_{отх} Ц_{отх},$$

где $Ц_{заг}$ – цена заготовки, руб./шт.; $g_{отх}$ – масса отходов на одну деталь, кг/шт.; $Ц_{отх}$ – цена отходов, руб./кг.

Цены материалов, заготовок и отходов определяют по прейскурантам оптовых цен (табл. 6 – 14). Зная цены на материалы, можно вычислить цену заготовки:

$$Ц_{заг} = g_м Ц_м k_{т-з},$$

где $Ц_м$ – действующая оптовая цена единицы массы материала (руб./кг); $g_м$ – норма расхода материала на одну деталь, кг/шт.; $k_{т-з}$ – коэффициент транспортно-заготовительных расходов при приобретении материалов; $k_{т-з} = 1{,}04 \ldots 1{,}08$.

6. Коэффициенты α и β для вычисления оптовых цен на поковки, изготовляемые свободной ковкой из стали

Группа сложности поковки	Ст2пс				40ХС			
	Прокат и квадратные заготовки		Слитки		Прокат и квадратные заготовки		Слитки	
	α	β	α	β	α	β	α	β
I	5793,20	338,40	4917,20	117,20	6459,60	348,80	5599,60	131,60
II	6565,00	417,80	5512,60	141,70	7296,80	430,80	6174,60	169,00
III	7585,80	520,00	6156,40	197,40	8408,60	557,00	6778,40	209,40
IV	8823,40	643,00	7740,00	198,60	9639,60	681,80	7559,60	256,20
Группа сложности поковки	0,8, 10, ..., 60				35Х			
	Прокат и квадратные заготовки		Слитки		Прокат и квадратные заготовки		Слитки	
	α	β	α	β	α	β	α	β
I	7578,20	455,60	6404,40	158,80	8087,00	484,20	6846,40	180,60
II	8574,00	552,60	7108,60	206,40	9137,80	589,40	7512,40	221,80
III	9904,00	684,00	7957,20	258,00	10 574,00	731,40	8431,40	276,40
IV	11 554,80	848,80	9025,20	325,20	12 334,00	905,20	9594,80	344,6

6а. Коэффициенты α и β для вычисления оптовых цен на отливки из серого и высокопрочного чугуна, полученные в песчаных формах

Группа сложности отливки	СЧ 10, СЧ 15, СЧ 18		СЧ 20, СЧ 25, СЧ 30		СЧ 35, СЧ 40		ВЧ 36-17, ВЧ 42-12, ВЧ 45-15, ВЧ 50-2	
	α	β	α	β	α	β	α	β
I	5499,00	349,60	5756,40	357,60	5957,00	357,80	6619,00	388,00
II	6543,00	405,40	6890,60	412,40	7099,40	413,60	7877,00	460,40
III	7784,40	482,60	8215,80	500,60	8419,40	501,00	9248,00	544,40
IV	9066,00	544,40	9507,00	563,60	9706,80	563,60	10 560,00	602,00
V	10 499,00	587,80	10 956,40	610,40	11 161,00	610,60	12 098,00	640,60

7. Коэффициенты α и β для вычисления оптовых цен на горячие штампованные заготовки из стали

Группа сложности штампованной заготовки	Ст1сп, Ст2сп, ..., Ст6сп		0,8, 10, ..., 60		15Х, 20Х, ..., 50Х	
	α	β	α	β	α	β
I	8276,4	1120,0	9044,0	1273,6	10 123,6	1307,2
II	9392,4	1258,6	9884,4	1276,0	11 510,0	1492,8
III	10 455,4	1367,4	10 957,8	1378,0	12 739,4	1614,0
IV	11 559,6	1464,2	12 183,4	1488,4	14 103,2	1751,6

8. Число поковок в годовом заказе для различных групп серийности

Масса одной поковки, кг	Группа серийности			
	1	2	3	4
	Более:			Менее:
До 2,5	601	301 – 600	151 – 300	150
2,5 – 10	501	251 – 500	126 – 250	125
10 – 25	401	201 – 400	101 – 200	100
25 – 63	301	151 – 300	76 – 150	75
63 – 160	201	101 – 200	51 – 100	50
160 – 250	101	51 – 100	26 – 50	25
250 – 630	81	41 – 80	21 – 40	20
630 – 1000	61	31 – 60	16 – 30	15
1000 – 2500	41	21 – 40	11 – 20	10
2500 – 4000	30	16 – 30	8 – 15	7
4000 – 10 000	25	13 – 24	7 – 12	6
10 000 – 16 000	21	11 – 20	5 – 10	5
16 000 – 30 000	17	9 – 16	4 – 8	4
30 000 – 63 000	13	7 – 12	3 – 6	3
63 000 и более	11	6 – 10	3 – 5	1 – 2

Примечание. Для группы 1 приведены наименьшие значения, для группы 4 — наибольшие.

9. Доплаты (+) и скидки (–) к оптовой цене поковок за серийность, %

Группа серийности годового заказа	Стали легированные (св. 5 % Ni), быстрорежущие; специальные и цветные сплавы		Стали других марок	
	Масса поковок, кг			
	До 630*	От 630 и более	До 630*	От 630 и более
1	–8	–5	–13	–7
2	–6	–4	–10	–6
3	0	0	0	0
4	+18	+12	+25	+18

*Включительно.

10. Доплаты (+) и скидки (–) к оптовой цене для горячих штампованных заготовок

Группа серийности	Стали легированные (св. 3 % Ni), быстрорежущие; специальные и цветные сплавы	Стали других марок
1	–4	–10
2	0	0
3	+6	+15
4	+12	+30
5	По согласованию поставщика с покупателем	

Примечание. Для предприятий-изготовителей горячих штамповок автомобильного, тракторного и сельскохозяйственного машиностроения скидки за серийность штампованных заготовок увеличивают в 1,5 раза.

11. Доплаты (+) и скидки (–) к оптовой цене за серийность для отливок, изготовляемых в песчаные формы, %

Группа серийности	Чугун с содержанием св. 5 % Ni, высоколегированная и быстрорежущая стали; специальные и цветные сплавы			Другие марки чугуна и стали		
	Масса отливок, кг					
	До 160	От 160 до 1000	1000 и более	До 160	От 160 до 1000	1000 и более
1	–12	–10	–8	–25	–20	–15
2	–8	–6	–5	–18	–14	–10
3	–5	–4	0	–12	–9	–5
4	–3	0	0	–6	–4	–2
5	0	0	0	0	0	0
6	+3	0	0	+6	+4	0
7	+5	+3	0	+10	+8	+5
8	+7	+5	+3	+15	+12	+10
9	+10	+8	+6	+20	+17	+15
10	+15	+12	+10	+26	+23	+20

Примечание. Для предприятий-изготовителей отливок автомобильного, тракторного и сельскохозяйственного машиностроения скидки за серийность отливок, изготовляемых в песчаные формы, увеличивают в 1,5 раза.

Оптовые цены на заготовки (руб./т) рассчитывают по формуле

$$Ц_i = \alpha - \beta \ln m,$$

где m – масса заготовки, кг; i – группа сложности детали по прейскуранту; α и β – эмпирические коэффициенты в табл. 6 и 7.

Стоимость вспомогательных материалов $М_{вс}$ определяют по заводским нормам расхода и по соответствующим прейскурантам на материалы с добавлением транспортно-заготовительных расходов (8 – 10 %).

12. Число отливок, изготовляемых в песчаные формы, в годовом заказе по группам серийности

Масса отливки, кг	Группа серийности отливок				
	1	2	3	4	5
	Более:				
До 0,25	2 000 001	1 000 001–2 000 000	500 001–1 000 000	200 001–500 000	100 001–200 000
0,25–0,63	1 400 001	700 001–1 400 000	400 001–700 000	150 001–400 000	70 001 –150 000
0,63–1,0	1 000 001	500 001 –1 000 000	300 001–500 000	100 001–300 000	40 001–100 000
1,0–2,5	700 001	350 001–700 000	200 001–350 000	75 001–200 000	20 001–75 000
2,5–10,0	400 001	200 001 –400 000	100 001–200 000	30 001 –100 000	12 001–30 000
10–25	200 001	100 001–200 000	50 001–100 000	15 001–50 000	8001–15 000
25–63	120 001	60 001–120 000	30 001–60 000	10 001–30 000	6001–10 000
63–160	80 001	40 001–80 000	20 001–40 000	7501–20 000	4001–7500
160–630	50 001	25 001–50 000	12 001–25 000	5501–12 000	2501–5500
630–1000	30 001	15 001–30 000	7001–15 000	3501–7000	1501–3500
1000–2500	15 001	6001–15 000	2501–6000	1001–2500	401–1000
2500–10 000	3001	1501 –3000	701 –1500	351–700	181–350
10 000–25 000	601	401–600	251–400	151–250	91–150
25 000–40 000	251	181–250	131–180	91–130	61–90
40 000 и более	181	131–180	91–130	61–90	41–60

Масса отливки, кг	Группы серийности отливок				
	6	7	8	9	10
До 0,25	35 001–100 000	15 001–35 000	2501–15 000	501–2500	Менее 500
0,25–0,63	30 001–700 000	12 001–30 000	2001–12 000	401–2000	400
0,63–1,0	20 001–400 000	8001–20 000	1501–8000	301–1500	300
1,0–2,5	12 001–20 000	4001–12 000	1001 –4000	201 –1000	200
2,5–10,0	6001–12 000	2001 –6000	501–2000	121–500	120
10–25	3001–8000	1001–3000	301 –1000	71–300	70
25–63	2501 –6000	801–2500	201–800	56–200	55
63–160	1501–4000	601 –1500	101–600	46–100	45
160–630	1001 –2500	451 –1000	76–450	36–75	35
630–1000	601–1500	301–600	51–300	28–50	27
1000–2500	151–400	76–150	36–75	23–35	22
2500–10 000	91–180	46–90	26–45	18–25	17
10 000–25 000	51–90	31–50	19–30	13–18	12
25 000–40 000	36–60	23–35	13–22	8–12	7
40 000 и более	26–40	17–26	9–16	5–8	4

Примечание. Для группы 1 приведены наименьшие значения, для группы 10 – наибольшие.

13. Число горячих штампованных заготовок в годовом заказе для групп различной серийности

Масса штампованной заготовки, кг	Группы серийности				
	1	2	3	4	5
	Более:				Менее:
До 0,25	500 000	15 001 – 500 000	601 – 15 000	4001 – 6000	4000
0,25 – 0,63	300 000	8001 – 300 000	3001 – 8000	2001 – 3000	2000
Св. 0,63 до 1,6	150 000	5001 – 150 000	1501 – 5000	801 – 1500	800
» 1,6 » 2,5	120 000	4501 – 120 000	1401 – 4500	701 – 1400	700
» 2,5 » 4,0	100 000	4001 – 100 000	1251 – 4000	651 – 1250	650
» 4,0 » 10,0	75 000	3501 – 75 000	1001 – 3500	501 – 1000	500
» 10 » 25	50 000	3001 – 50 000	751 – 3000	401 – 750	400
» 25 » 63	30 000	2001 – 30 000	501 – 2000	301 – 500	300
» 63 » 160	1000	601 – 1000	401 – 600	301 – 400	300
» 160 » 400	600	401 – 600	301 – 400	–	300
400 и более	400	301 – 400	301 – 400	–	300

Примечание. Для группы 1 приведены наименьшие значения, для группы 5 – наибольшие.

Заработная плата основных производственных рабочих при сдельных работах определяется как сумма расценок по всем операциям технологического процесса изготовления детали:

$$З_о = \left(\sum_{i=1}^{m} g_i \right) \alpha\beta\gamma\delta ,$$

где g_i – сдельная расценка по операциям, руб./шт.;

$$g_i = l_i t_{шт-к_i} / 60 ,$$

[здесь l_i – часовая тарифная ставка рабочего данного разряда на операции, руб./ч (см. табл. 19); $t_{шт-к_i}$ – норма штучно-калькуляционного времени на операцию, мин];

m – число операций в технологическом процессе;

α – коэффициент, учитывающий премии и другие доплаты, увеличивающие фактический часовой заработок рабочего по сравнению с тарифной ставкой; $\alpha = 1{,}2 \ldots 1{,}4$;

β – коэффициент дополнительной заработной платы (оплата отпусков, льготных часов несовершеннолетних и т.п.); $\beta = 1{,}07 \ldots 1{,}09$;

γ – коэффициент социального страхования; $\gamma = 1{,}14$;

δ – коэффициент, учитывающий многостаночность работы и численность бригады, а также среднюю степень перевыполнения технически обоснованных норм; определяется как доля времени, приходящаяся на данную операцию в общем временном цикле работы рабочего, умноженная на средний коэффициент перевыполнения норм по данным завода; при отсутствии конкретных данных можно принять $\delta = 1$.

14. Единичные нормы амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов народного хозяйства

(процент к балансовой стоимости)

Группы и виды основных фондов	Шифр	Норма амортизационных отчислений
ЗДАНИЯ	1	
Здания производственные и непроизводственные	100	
Здания высотные (более 25 этажей), особокапитальные, каркасно-монолитные, повышенной прочности, фундамент – монолитная плита на свайном основании, стены – алюминиевые панели повышенной антикоррозионной защиты, перекрытия – железобетон, с облицовкой стилобата естественным камнем	10000	0,4
Здания многоэтажные (более двух этажей), за исключением многоэтажных зданий типа этажерок специального технологического назначения (обогатительных фабрик, дробильных, размольных, химических цехов и других аналогичных производств); здания одноэтажные с железобетонными и металлическими каркасами, со стенами из каменных материалов, крупных блоков и панелей, с железобетонными, металлическими и другими долговечными покрытиями с площадью пола свыше 5000 кв. м; здания ГЭС и ГАЭС бетонные и железобетонные: руслового несовмещенного, совмещенного и бычкового типов, приплотинные, подземные здания ГЭС; здания приливных ГЭС	10001	1,0
Здания двухэтажные всех назначений, кроме деревянных всех видов; здания одноэтажные с железобетонными и металлическими каркасами, со стенами из каменных материалов, крупных блоков и панелей, с железобетонными, металлическими и другими долговечными покрытиями, с площадью пола до 5000 кв. м	10002	1,2
РАБОЧИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ	41–46	
Металлорежущее оборудование	410	
Металлорежущее оборудование массой до 10 т отраслей машиностроения и металлообработки:		
станки с ручным управлением, включая прецизионные, классов точности А, В, С, Н, П (универсальные, специализированные и специальные)	41100	5,0
станки металлорежущие с ЧПУ, в том числе обрабатывающие центры, автоматы и полуавтоматы без ЧПУ (универсальные, специальные специализированные и агрегатные); автоматические (станочные) линии	41001	6,7
гибкие производственные модули, роботизированные технологические комплексы	41002	8,3

Продолжение табл. 14

Группы и виды основных фондов	Шифр	Норма амортизационных отчислений
гибкие производственные системы, включая сборочное, регулировочное и окрасочное оборудование	41003	7,1

Примечания:

1. Для металлорежущего оборудования, используемого на предприятиях, не входящих в отрасли машиностроения и металлообработки, применяется коэффициент 0,7.
2. Для металлорежущего оборудования массой выше 10 т применяется коэффициент 0,8, а массой выше 100 т – коэффициент 0,6.
3. Отнесение по массе гибких производственных модулей и систем, автоматических линий, роботизированных технологических комплексов осуществляется по наибольшей массе единицы технологического оборудования, входящего в их состав.
4. По станкам металлорежущим с ручным управлением применяются коэффициенты:
   по станкам классов точности Н, П – 1,3;
   по прецизионным станкам классов точности А, В, С – 2,0;
   по станкам металлорежущим с ЧПУ, в том числе обрабатывающим центром – 1,5.

Машины и оборудование для литейного производства	411	
Машины для изготовления формовочных материалов, форм и стержней, машины очистные	41100	11,1
Оборудование для изготовления оболочковых форм и стержней, для литья по выплавляемым моделям, ваграночные комплексы, заливочное оборудование, линии автоматические, полуавтоматические и комплексно-механизированные для литейного производства, гибкие производственные системы, модули и роботизированные технологические комплексы	41101	10,0
Машины для литья под давлением, кокильные, для центробежного литья	41102	7,1
Машины выбивные	41103	16,7
Кузнечно-прессовое оборудование	412	
Прессы механические, гидравлические, ножницы, правильные и гибочные машины, ковочные вальцы, молоты ковочные пневматические и выколоточные массой до 30 т	41200	7,7
Прессы механические, гидравлические, ножницы, правильные и гибочные машины, ковочные вальцы, горизонтально-ковочные машины, молоты штамповочные и ковочные массой свыше 30 т	41201	5,6
Автоматы кузнечно-прессовые, машины ротационно-ковочные	41202	10,0
Прессы для производства огнеупорных и формовочно-абразивных материалов и пресспорошков механические и гидравлические	41203	10,0
Прессы пакетировочные и брикетировочные, ножницы гидравлические аллигаторные	41204	10,0

Продолжение табл. 14

Группы и виды основных фондов	Шифр	Норма амортизационных отчислений
Прессы для пластмасс, термопласт-автоматы, ротационно-ковочные машины для заковки колец труб и прутков	41205	8,3
Уникальные кузнечно-прессовые машины массой свыше 100 т	41206	4,5
Установки прессовые для производства труб, прутков, профилей	41207	4,3
Машины и линии укрупнения рулонов, стыковой сварки, продольной и поперечной резки, перемоточные	41208	6,3
Гибкие производственные модули, автоматизированные, в том числе роботизированные комплексы, оборудование с ЧПУ, оснащенное средствами механизации и автоматизации, автоматические роторные и роторно-конвейерные линии	41209	10,0

Примечания:

1. Для кузнечно-прессового оборудования предприятий, не входящих в состав машиностроения и металлообработки, применяется коэффициент 0,7.
2. Для кузнечно-прессового оборудования массой свыше 100 т норма амортизации установлена исходя из трехсменного режима работы.
3. Для термопласт-автоматов, прессов для пластмасс, реактопласт-автоматов, используемых в электронной промышленности, применяется коэффициент 1,2.

Оборудование абразивного и алмазного производства	413	
Электропечи для плавки абразивных материалов	41300	14,3
Оборудование для механической обработки и контроля абразивных изделий	41301	10,0
Оборудование для производства шлифовальных дисков, полировальников, шлифовальной шкурки и изделий из нее	41302	9,1
Оборудование для механической, ультразвуковой и высокочастотной обработки алмазов	41303	8,3
Оптические квантовые генераторы	41304	10,0
Печи для обжига абразивных изделий на керамической связке и графитсодержащих изделий	41305	10,0

Примечание. Для электропечей плавки карбида кремния зеленого применяется коэффициент 0,8.

При повременной оплате труда

$$З_о = \tau l_{ср} \alpha\beta\gamma ,$$

где τ – трудоемкость изготовления детали, человеко-часы;

$l_{ср}$ – средняя часовая ставка по выполняемым работам.

Заработную плату вспомогательных рабочих рассчитывают либо прямым способом (по числу вспомогательных рабочих, указанному в технологическом процессе, и по формулам, аналогичным формулам для расчета заработной платы основных рабочих), либо косвенным способом – пропорционально сумме заработной платы основных рабочих.

Амортизационные отчисления от стоимости оборудования (руб.)

$$А_о = \frac{ФН_а}{100 N_{год}} \eta ,$$

где $Ф$ – первоначальная с учетом переоценок балансовая стоимость оборудования плюс затраты на необходимую модернизацию, руб.;

$Н_а$ – общая годовая норма амортизации, %;

$N_{год}$ – годовая программа выпуска данных деталей, шт.;

η – коэффициент загрузки данного оборудования по времени данными деталями, доли единицы.

Цены стандартного оборудования, выпускаемого серийно, находят по прейскурантам, а нормы амортизации – по табл. 14.

Годовую норму амортизации на нестандартное оборудование назначают исходя из срока его службы:

$$Н_а = \frac{1}{T_{сл}} 100\ \% ,$$

где $T_{сл}$ – реальный срок службы станка с учетом условий эксплуатации и выпуска данной продукции.

Амортизационные отчисления от стоимости технологического оснащения рассчитывают по формуле

$$А_{то} = \sum_{i=1}^{m} \frac{Ф_{то} n}{T_{сл.то} N_{год}} ,$$

где $Ф_{то}$ – стоимость технологического оснащения, руб.;

n – число одинаковых приспособлений, эксплуатируемых на данной операции;

m – число операций в технологическом процессе.

Расчетный срок службы оснастки можно принять равным двум годам (в случае отсутствия более точных данных).

Затраты на ремонт оборудования можно определить исходя из нормативов годовых затрат на все виды ремонта, осмотры и межремонтное обслуживание отдельных частей (механической или электрической) оборудования:

$$Р_о = (Н_м К_м + Н_э К_э) \eta К_т ,$$

где $Н_м$ – норматив годовых затрат на ремонт механической части оборудования, руб./год;

$Н_э$ – норматив годовых затрат на ремонт электрической части оборудования, руб./год;

$К_м$ и $К_э$ – категория сложности ремонта соответственно механической и электрической частей (см. табл. 22);

η – коэффициент загрузки оборудования по времени данными деталями, доли единицы;

$К_т$ – коэффициент, зависящий от класса точности обслуживаемого оборудования; значения коэффициента приведены ниже:

Класс точности станка	Н	П	В	А	С
$К_т$	1,0	1,2	1,5	1,8	2,2

Значения нормативов $Н_м$ и $Н_э$ приведены в табл. 15.

Ориентировочно затраты на ремонт и обслуживание оборудования составляют 10 – 11 % от стоимости оборудования и только в исключительных случаях поднимаются до 20 – 22 %.

Суммарные затраты на инструмент и малоценные приспособления:

$$И = И_р + И_п ;$$

$$И_р = \frac{Ф_и + П}{T_{сл.и}} t_{шт-к} \eta_м ,$$

где $Ф_и$ – цена единицы инструмента, руб.; $П$ – затраты на переточку инструмента, составляющие примерно 40 % от $Ф_и$; $T_{сл.и}$ – срок службы инструмента до полного износа, мин; $\eta_м$ – коэффициент машинного времени;

15. Нормативы затрат $H_м$ и $H_э$ на ремонт и обслуживание металлорежущих станков

Металлорежущие станки	Ремонтируемая или обслуживаемая часть станка	Годовые затраты, руб., на единицу ремонтной сложности при продолжительности ремонтного цикла, годы								
		4	5	6	7	8	9	10	11	12
Массой до 10 т	Механическая	523,6	449,9	400,4	365,2	338,8	316,8	301,4	287,1	276,1
	Электрическая	123,2	106,7	94,6	86,9	80,3	75,9	72,6	69,3	66,0
Массой от 10 до 100 т	Механическая	643,5	548,9	486,2	441,1	408,1	381,7	361,9	344,3	330,0
	Электрическая	135,3	116,6	103,4	94,6	86,9	82,5	78,1	75,9	72,6
Массой более 100 т	Механическая	867,9	732,6	641,3	576,4	529,1	491,7	460,9	434,5	414,7
	Электрическая	139,7	119,9	105,6	96,8	89,1	84,7	80,3	77,0	73,7
Малой ремонтной сложности	Механическая	339,9	300,3	273,9	255,2	240,9	228,8	220,0	213,4	206,8
	Электрическая	117,7	101,2	91,3	82,5	78,1	71,5	68,2	66,0	63,8

Металлорежущие станки	Ремонтируемая или обслуживаемая часть станка	Годовые затраты, руб., на единицу ремонтной сложности при продолжительности ремонтного цикла, годы							
		13	14	15	16	17	18	19	20
Массой до 10 т	Механическая	230,85	223,25	217,55	212,8	208,05	203,3	199,5	195,7
	Электрическая	55,1	54,5	52,25	51,3	50,35	49,4	48,45	46,55
Массой от 10 до 100 т	Механическая	274,55	266,0	258,4	251,75	245,1	239,4	235,6	230,85
	Электрическая	60,8	57,95	57	55,1	54,15	53,2	52,25	51,3
Массой более 100 т	Механическая	343,9	330,6	319,2	308,75	301,15	292,6	285,95	194,75
	Электрическая	61,75	58,9	57,95	56,05	55,1	54,15	53,2	52,25
Малой ремонтной сложности	Механическая	174,8	171	169,1	164,35	161,5	159,6	157,7	155,8
	Электрическая	52,25	51,3	49,4	48,45	47,5	46,55	45,6	45,6

Примечание. В состав затрат, приведенных в данной таблице, входят затраты на техническое обслуживание, капитальный и текущий ремонт оборудования.

$$И_п = \frac{Ф_п\,\alpha}{T_{сл.п}\,60}\,t_{шт-к},$$

где $Ф_п$ – цена одного приспособления, руб.; α – коэффициент, учитывающий стоимость ремонта оснастки, доли единицы; $T_{сл.п}$ – срок службы приспособления до полного износа, ч.

Укрупненно затраты на инструмент определяются по табл. 16, затраты на оснастку и приспособления – по табл. 17.

Затраты на технологическую электроэнергию для каждого станка

$$Л = N_э\,t_{шт-к}\eta_{з.в}\,\eta_{з.м}\,Ц_э / 6000,$$

где $N_э$ – установленная мощность электродвигателей, кВт; $\eta_{з.в}$ и $\eta_{з.м}$ – коэффициенты загрузки станков по времени и по мощности (табл. 18); $Ц_э$ – цена 1 кВт·ч электроэнергии 30 коп.

16. Укрупненные нормы расхода быстроизнашивающегося инструмента на один станок в год, руб.

Станок	Расход, руб., при типе производства	
	единичном	мелкосерийном
Автомат токарный	–	3500
Долбежный	1750	2000
Заточный	750	900
Зубодолбежный	5700	6600
Зубострогальный	3200	3600
Зубофрезерный	7400	8600
Отрезной (ножовочный)	650	800
Протяжной	–	12 900
Револьверный	–	2100
Резьбофрезерный	5300	6300
Сверлильный с диаметром сверления, мм:		
до 25	2800	2300
до 50	2400	3100
Поперечно-строгальный	1800	2100
Продольно-строгальный двухсуппортный	3200	3700
Токарный с высотой центров, мм:		
до 200	1600	1900
св. 200	2600	3100
Вертикально-фрезерный	3400	4300
Горизонтально-фрезерный	2800	3500
Продольно-фрезерный двухшпиндельный	4300	5600
Круглошлифовальный	3600	4300
Внутришлифовальный	1600	2000
Плоскошлифовальный (периферией круга)	3000	3600
Плоскошлифовальный (торцом круга)	2400	2900

17. Укрупненные нормативы стоимости специальных станочных приспособлений

Число наименований деталей	Стоимость приспособления, руб.	Число наименований деталей	Стоимость приспособления, руб.
До 3	До 8,5	40 – 45	3350 – 3600
3 – 5	8,5 – 17,0	45 – 50	3600 – 3900
5 – 10	17,0 – 30,0	50 – 55	3900 – 6400
10 – 15	30 – 62	55 – 60	6400 – 6900
15 – 20	62 – 80	60 – 65	6900 – 7350
20 – 25	80 – 145	65 – 70	7350 – 7650
25 – 30	145 – 197	70 – 80	7650 – 8500
30 – 35	197 – 252	80 – 90	8500 – 9250
35 – 40	252 – 335	90 – 95	9250 – 9650

Затраты на содержание и амортизацию производственных площадей можно подсчитать, исходя из норматива $H_п$ этих издержек на 1 м^2 площади в год. При работе в одну смену издержки составляют 7,5 р.; в две смены – 10,0 р.; в три смены – 12,5 р. Удельную площадь $П_у$ в расчете на единицу производственного оборудования можно получить, умножив габаритную площадь станка на коэффициент, учитывающий площадь, добавляемую по нормам техники безопасности и для удобства эксплуатации. Для металлорежущих станков значения этого коэффициента приведены ниже.

Габаритная площадь станка, м^2	20	10 – 20	6 – 10
Коэффициент	1,5	2	2,5

Габаритная площадь станка, м^2	4 – 6	2 – 4
Коэффициент	3	3,5

Тогда

$$П_л = \frac{H_п П_у}{Ф \cdot 60}\,t_{шт.-к},$$

где Ф – годовой фонд времени работы станка, ч; эту составляющую затрат следует учитывать только тогда, когда размеры площади значительно изменяются от варианта к варианту.

18. Коэффициенты, используемые при расчете стоимости электроэнергии для различных видов оборудования

Металлорежущие станки	Коэффициент загрузки электродвигателей					
	по мощности $\eta_{з.м}$		по времени $\eta_{з.в}$		общий	
	Производство					
	единичное и мелкосерийное	серийное	единичное и мелкосерийное	серийное	единичное и мелкосерийное	серийное
Расточные	0,40	0,50	0,35	0,40	0,18	0,26
Сверлильные	0,50	0,60	0,35	0,40	0,23	0,31
Токарные, лоботокарные, карусельно-строгальные, долбежные	0,50	0,60	0,40	0,50	0,26	0,39
Револьверные, токарно-револьверные, протяжные	0,60	0,70	0,35	0,40	0,27	0,36
Шлифовальные	0,40	0,50	0,50	0,60	0,26	0,39
Отделочные	0,40	0,50	0,60	0,70	0,31	0,45
Отрезные, зубообрабатывающие, резьбообрабатывающие	0,60	0,70	0,60	0,70	0,46	0,63
Фрезерные	0,60	0,70	0,40	0,50	0,31	0,45
Полуавтоматы, автоматы и агрегатные	0,70	0,80	0,60	0,70	0,68	0,90

Примечания: 1. Для металлорежущих станков повышенной точности, копировальных и с ЧПУ значения коэффициентов ниже на 0,05 по сравнению со значениями, указанными для соответствующих станков.

2. Для крупносерийного и массового производства значения $\eta_{з.м}$ и $\eta_{з.в}$ превышают на 0,1 значения, указанные для соответствующих станков.

Затраты на содержание и ремонт управляющих устройств определяют по формуле

$$P_{у} = \frac{350i}{n},$$

где i – число смен работы управляющих устройств в течение суток; n – число обработанных деталей по данной программе за год.

Затраты на брак учитывают по фактическим данным заводов. В проектировочных расчетах ими можно пренебречь.

Определение себестоимости нормативным методом

Сущность этого менее трудоемкого, но и менее точного метода заключается в определении основной части косвенных затрат (связанных с содержанием и эксплуатацией оборудования) по удельным затратам, приходящимся на 1 машино-час или на 1 станко-минуту работы соответствующего станка для выполнения данной операции, с последующим суммированием затрат по операциям технологического процесса. Расходы на основные материалы определяют прямым калькулированием.

Нормативную заработную плату основных рабочих (основную и дополнительную) с отчислениями на социальное страхование определяют по табл. 19, 20, 21, исходя из трудоемкости каждой операции и требуемого разряда рабочего.

19. Макет тарифной системы

Примерный перечень профессий рабочих и должностей служащих, специалистов, руководителей	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Квалификационный разряд																								
Тарифный коэффициент	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3
Минимальная часовая ставка, руб/час	3,546	3,90	4,255	4,61	4,964	5,32	5,67	6,03	6,38	6,74	7,09	7,45	7,80	8,16	8,51	8,87	9,22	9,58	9,93	10,29	10,64	11,00	11,35	11,71
Справочно, оклад, руб/мес	600	660	720	780	840	900	960	1020	1080	1140	1200	1260	1320	1360	1420	1460	1520	1580	1640	1700	1760	1820	1880	1940
1. Генеральный директор																		×	×	×	×	×	×	×
2. Менеджер																		×	×	×	×	×	×	×
3. Главный инженер предприятия																	×	×	×	×	×	×	×	×
4. Главный конструктор												×	×	×	×	×	×	×	×					

Продолжение табл. 19

5. Главный технолог									
6. Главный экономист									
7. Начальники отделов									
8. Руководители производственных служб									
9. Высококвалифицированные специалисты									
10. Техники всех специальностей									
11. Технические исполнители									
12. Рабочие по 8-ми разрядной сетке:									
- слесарь-инструментальщик									
- станочник по обработке металла									

22. Структура усредненных затрат на содержание и эксплуатацию оборудования для различных групп станков, %

Группа станков	Элементы затрат									$K_м$	$K_з$	Коэффициент машино-часа
	Заработная плата наладчиков	Электроэнергия	Вспомогательные материалы	Инструмент		Амортизация оборудования	Ремонт оборудования	Приспособления	Заработная плата вспомогательных рабочих, % от заработной платы основных рабочих			
				режущий	мерительный							
Отрезные, работающие:												
круглой пилой	–	14,5	2,4	29,0	7,7	3,3	34,7	8,4	4,0	6,0	2,0	0,5
ножовочным полотном	–	12,5	4,5	7,3	12,4	11,0	49,5	2,8	4,0	4,0	2,0	0,4
Токарно-винторезные при наибольшем диаметре обрабатываемой детали, мм:												
300	–	12,4	2,8	14,5	13,8	11,0	35,8	9,7	6,8	11,0	8,5	1,0
800	–	18,0	2,3	6,4	11,4	15,7	36,0	10,2	6,5	20,0	10,5	1,3
2000	–	23,7	0,9	1,6	3,1	42,6	24,8	3,3	4,0	61,0	18,5	3,1
4000	–	14,6	0,4	0,7	1,3	65,7	15,8	1,5	3,0	178	18,5	6,7
Токарно-револьверные при наибольшем диаметре обрабатываемого прутка, мм:												
18	–	4,3	2,5	28,6	13,7	5,0	32,2	13,7	36,0	8,5	5,0	1,0
100	–	17,4	2,1	18,5	10,2	11,2	28,0	12,6	35,0	21,0	5,0	1,9
Токарные многорезцовые полуавтоматы при наибольшем диаметре обрабатываемой детали, мм:												
300	32,7	15,6	2,0	15,1	6,5	5,9	13,2	9,0	96,0	8,0	7,5	1,3
600	23,4	11,9	1,7	14,1	4,8	18,6	18,6	6,9	95,0	17,0	18,0	2,0
Многошпиндельные токарные полуавтоматы:												
шестишпиндельные	36,4	12,2	2,8	14,3	1,5	6,6	19,8	6,4	67,0	23,0	4,5	2,1
четырехшпиндельные	15,3	15,1	3,3	11,1	2,2	29,6	10,8	12,6	67,0	21,0	14,0	2,0

Продолжение табл. 22

Группа станков	Элементы затрат									$K_м$	$K_з$	Коэффициент машино-часа
	Заработная плата наладчиков	Электроэнергия	Вспомогательные материалы	Инструмент		Амортизация оборудования	Ремонт оборудования	Приспособления	Заработная плата вспомогательных рабочих, % от заработной платы основных рабочих			
				режущий	мерительный							
Токарно-револьверные многошпиндельные автоматы при наибольшем диаметре прутка, мм:												
40	48,1	9,8	1,9	7,8	0,8	11,0	12,0	8,4	68,0	15,0	11,0	1,1
100	36,0	14,5	2,1	9,3	0,8	12,9	14,0	10,4	68,0	23,5	18,5	2,2
Токарно-карусельные при наибольшем диаметре обрабатываемой детали, мм:												
650	–	18,5	1,9	16,5	2,6	10,5	46,1	4,1	39,0	17,0	5,5	1,5
2000	–	22,7	1,9	11,7	3,6	22,4	36,1	2,6	11,0	33,0	7,0	2,4
5000	–	23,4	1,2	4,4	1,8	43,0	23,4	2,8	10,0	74,0	11,0	4,5
10 000	–	6,8	0,4	1,5	1,0	77,0	12,2	1,1	8,0	110	18,5	11,0
Расточные с диаметром выдвижного шпинделя, мм:												
60	–	6,9	3,4	9,7	9,7	28,0	40,0	2,3	9,0	16	5,5	1,7
100	–	4,5	1,6	4,5	6,7	25,2	56,2	1,3	8,0	28	11,0	2,4
200	–	8,4	0,9	1,8	2,6	63,0	22,1	1,2	5,0	40	18,0	4,0
Сверлильные с наибольшим диаметром сверления, мм:												
18	–	4,8	2,1	41,5	10,3	6,2	27,5	7,6	40,0	5,5	5,5	0,8
75	–	11,2	2,6	22,6	6,3	15,5	36,5	5,3	22,0	12,0	8,0	1,4
Фрезерные с размерами рабочей поверхности стола, мм:												
320 × 1250	–	13,0	2,5	18,7	5,9	9,8	33,1	17,0	5,3	13,0	8,0	1,2
1830 × 3965	–	27,7	1,2	9,8	2,9	20,6	31,0	6,8	6,2	64,0	14,0	9,2
2500 × 8500	–	21,5	1,2	8,0	1,2	34,1	29,0	5,0	6,0	106	22,0	11,0

Продолжение табл. 22

Группа станков	Элементы затрат											
	Заработная плата наладчиков	Электроэнергия	Вспомогательные материалы	Инструмент: режущий	Инструмент: мерительный	Амортизация оборудования	Ремонт оборудования	Приспособления	Заработная плата вспомогательных рабочих, % от заработной платы основных рабочих	$K_м$	$K_э$	Коэффициент машино-часа
Продольно-строгальные с размерами рабочей поверхности стола, мм:												
1250 × 6000	–	36,2	1,9	12,9	1,0	14,0	32,2	1,8	10,0	43	66	4,2
3600 × 12000	–	26,7	0,8	3,0	0,4	46,3	21,2	1,6	5,0	129	66	18,0
Поперечно-строгальные	–	13,7	2,8	21,9	6,4	13,7	34,3	7,2	9,0	13,0	6,0	1,0
Долбежные	–	14,1	1,8	25,5	4,9	25,5	26,0	2,2	11,0	9,0	3,5	1,1
Протяжные:												
мелкие	–	7,5	3,3	55,4	5,2	7,5	15,0	6,1	11,0	9,0	6,5	1,5
крупные	–	23,6	2,0	24,1	2,2	24,3	20,7	3,1	10,0	18,5	18,5	2,3
Зубообрабатывающие при наибольшем диаметре обрабатываемых колес, мм:												
80	–	2,4	3,9	33,0	22,4	13,8	29,6	5,6	40,0	9,0	5,0	1,9
600	–	9,1	4,0	35,7	6,2	14,1	21,7	9,2	40,0	15,0	8,0	3,6
8000	–	8,2	7,0	5,4	2,0	50,0	25,1	2,3	31,0	40,0	18,5	8,3
Плоскошлифовальные	–	5,1	3,2	18,4	4,2	32,2	35,5	1,4	23,0	24,0	16,0	1,9
Бесцентрово-шлифовальные	–	15,9	1,9	34,0	8,3	5,7	27,0	7,2	21,0	11,0	11,0	1,6
Круглошлифовальные при наибольшем диаметре обрабатываемой детали, мм:												
200	–	14,5	2,0	25,0	9,8	11,3	29,2	8,2	12,0	8,5	10,0	0,7
800	–	13,1	1,1	10,1	4,9	35,7	27,2	7,9	12,0	29,0	2,5	3,0
Заточные	–	5,8	1,8	30,4	5,8	10,3	40,5	5,4	4,3	8,0	5,5	0,9

работы. Для станка, принятого за эталон, коэффициент машино-часа считают равным единице и определяют нормативную величину затрат на содержание и эксплуатацию этого станка за 1 ч или за 1 мин работы в рублях и копейках. Абсолютные значения затрат для станка-эталона приведены в табл. 23 и 24. Всем остальным станкам могут быть поставлены соответствующие коэффициенты машино-часа. Приблизительные значения этих коэффициентов по группам металлорежущего оборудования указаны в табл. 22.

Отнесение расходов к отдельным статьям цеховой себестоимости (без стоимости основных материалов и заработной платы основных рабочих) можно выполнить укрупненно на основании данных табл. 22.

Пример расчета себестоимости приведен в табл. 25.

Расчет капитальных вложений

Общая сумма капитальных затрат (К) для осуществления технологического процесса включает стоимости: $К_о$ – технологического оборудования; $К_{пл}$ – производственной площади; $К_{осн}$ – технологической оснастки и $К_{пр}$ – комплекта управляющих программ, а также затраты на техническую подготовку производства $К_{т.п}$ и капитальные вложения в оборотные средства $К_{об}$.

23. Средние затраты (руб./ч) на содержание и эксплуатацию оборудования в течение 1 ч работы для групп оборудования с коэффициентом машино-часа, равным единице

Сменность	Производство				
	единичное	мелкосерийное	среднесерийное	крупносерийное	массовое
1	440,3	497,9	563,2	637,4	665,6
2	378,9	399,4	455,7	518,4	553,0
3	322,6	359,7	407,0	457,0	464,6

24. Средние затраты (коп./мин) на содержание и эксплуатацию оборудования в течение 1 мин работы для групп оборудования с коэффициентом машино-часа, равным единице

Сменность	Производство				
	единичное	мелкосерийное	среднесерийное	крупносерийное	массовое
1	7,35	8,30	9,40	10,60	11,08
2	6,32	6,65	7,60	8,64	9,21
3	5,38	5,99	6,80	7,61	7,75

25. Пример расчета себестоимости по нормативному методу

Показатель	Технологический процесс А	Технологический процесс Б	
	Токарно-револьверная обработка	Сверление	Токарная обработка
	Исходные данные		
Станкоемкость, станко-минуты	8,0	2,5	4,2
Трудоемкость, нормо-минуты	10,0	3,0	5,0
Разряд работы станочника	3	2	2
Сменность	2	2	2
Станок	1К37	2А150	1720
Коэффициент машино-часа	1,7	0,7	1,0
Годовая программа (крупносерийное производство), шт.	10 000	10 000	10 000
Стоимость заготовки, коп.	750	820	–

Продолжение табл. 25

Показатель	Технологический процесс А	Технологический процесс Б	
	Токарно-револьверная обработка	Сверление	Токарная обработка
Расчет себестоимости, коп.			
Заработная плата станочника с начислениями (см. табл. 21)	21,17 × 10 = 211,7	19,28 × 3,0 = 57,84	19,28 × 5,0 = 96,4
Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования (см. табл. 24)	8,640 × 1,7 × 8,0 = = 117,50	8,640 × 0,7 × 2,5 = = 15,12	0,840 × 1 × 4,2 = = 3,5
Итого:		72,96	99,9
себестоимость обработки +	329,2	172,86	
стоимость заготовки	750,0	820,00	
Технологическая себестоимость детали	1079,0	992,86	

Стоимость стандартного оборудования определяют по прейскурантам. Стоимость нестандартного оборудования укрупненно можно рассчитать по среднестатистической стоимости 1 кг массы станка данного класса и типа (табл. 26 и 27) или по числу оригинальных деталей и по массе оборудования (табл. 28).

Капитальные затраты на оборудование, отнесенные к одной детали,

$$К_о = \sum_{i=1}^{m} \frac{Ф}{N_{год}} \eta ,$$

где m – число операций технологического процесса; $Ф$ – балансовая стоимость оборудования (первоначальная с учетом переоценок) плюс затраты на необходимую модернизацию, руб.; η – коэффициент загрузки оборудования по времени данными деталями, доли единицы: для специального оборудования, предназначенного для обработки только данной детали, $\eta = 1$; $N_{год}$ – годовая программа выпуска данных деталей.

При определении стоимости производственного задания размеры площади рассчитывают по удельным площадям, приходящимся на единицу оборудования, или по данным технологических планировок с учетом, что 1 м^2 общей производственной площади стоит 1250 – 1800 р.

26. Цена станков средних размеров

Станок	Цена, руб./кг
Токарный	5 – 7
Сверлильный	3 – 8
Фрезерный	10 – 15
Автомат и полуавтомат	12 – 15
Координатно-расточный	55 – 90

27. Стоимость оборудования автоматических линий, руб./кг

Оборудование	Специализированная линия для комплексной обработки изделий	Линия из агрегатных станков
Металлообрабатывающее	27	12
Транспортно-загрузочное	21	10
Контрольное	68	20
Упаковочное	55	20
Электротехническое	26	20
Прочее	32	20

28. Усредненные показатели стоимости единицы нестандартного оборудования

Масса оборудования, т	Число оригинальных деталей	Стоимость* единицы оборудования, руб.
До 0,5	До 300	18 660 / 29 860
	300 – 700	21 500 / 34 400
	До 300	56740 / 91 860
	300 – 700	63 980 / 102 360
	До 700	138 640 /221 820
	700 – 1500	156 920 / 251 080
0,5 – 1,0	До 300	26 380 / 42 200
	300 – 700	29 200 / 46 680
	До 300	74 700 / 115 920
	300 – 700	81 920 / 130 680
	До 700	209 880 / 335 800
	700 – 1500	231 800 / 370 880
1,0 – 2,0	До 300	34 260 / 54 820
	300 – 700	44 580 / 71 320
	До 300	91 620 / 146 600
	300 – 700	98 920 / 158 280
	До 300	91 620 / 146 600
	300 – 700	98 920 / 158 280
	До 700	248 900 / 398 240
	700 – 1500	270 820 / 433 320

* В числителе дроби приведен усредненный показатель стоимости без стоимости проектных работ и комплектующих изделий, в знаменателе – с учетом этих стоимостей.

Капитальные вложения в здания, отнесенные к одной детали,

$$К_{пл} = \frac{Ф_{пл}}{N_{год}} \eta .$$

Из затрат на техническую подготовку наиболее существенные составляющие: затраты на проектирование технологических процессов и затраты на проектирование приспособлений. Эти затраты рассчитывают по трудоемкости, считая, что 1 человеко-час работы разработчиков составляет примерно 18 р. Нормы времени на указанные технологические и конструкторские работы приведены в табл. 29 и 30.

Укрупненно стоимость технологической оснастки определяют по табл. 17 с учетом требуемого числа экземпляров дублирующей оснастки.

Капитальные вложения в оборотные средства целесообразно учитывать только в случаях применения станков с высокой концентрацией операций или когда используется вариант с большим числом накопителей, бункеров и других форм накопления деталей.

Затраты X (руб.) на составление программ для станков с программным управлением, роботов и подобных устройств приближенно могут быть определены по эмпирическим формулам, связывающим эти затраты с конструкторскими параметрами детали.

Так, например, для тел вращения

$$X = 41 + 2{,}9 Y_1 ,$$

где Y_1 – число поверхностей в детали.

Для деталей типа кронштейнов, балок и т.п., обрабатываемых на фрезерных станках,

$$X = 102 + 15{,}5X_1 + 54{,}6X_2 + 276X_3 + $$

$$+ 29X_4 + 0{,}5X_5 ,$$

где X_1 – число прямых линий в контурных поверхностях; X_2 – число окружностей; X_3 и X_4 – число теоретически заданных сложных линий и открытых сторон детали; X_5 – размер большей стороны, мм.

При разработке программ машинным способом полученные значения затрат для простых деталей умножают на коэффициент 0,5, для сложных деталей – на коэффициент 0,2.

29. Нормы времени на разработку и внедрение технологических процессов (для предприятий и организаций станкостроительной и инструментальной промышленности)

Виды работ	Единица измерения	Группа сложности детали	Норма времени (час) по видам технологических процессов				
			Литейные	Сварочные	Термообработка	Механическая обработка	Сборка
Проверка конструкции деталей, сборочных единиц на технологичность	Деталь, сборочная единица Деталь, сборочная единица	I	0,3	1,5	0,25	0,60	1,5
		II	0,8	2,0	0,50	0,90	2,0
		III	1,9	3,0	0,70	1,30	2,9
		IV	3,7	4,0	1,50	2,00	4,0
		V	7,0	5,0	2,50	3,00	5,2
		VI	8,8	6,0	–	4,20	6,2
		VII	13,0	9,0	–	6,50	9,3
		VIII	–	12,0	–	8,80	13,5
Разработка маршрутного технологического процесса		I	0,9	1,4	0,60	0,7	1,5*1
		II	1,6	2,1	0,80	1,3	2,0
		III	2,5	3,2	1,20	2,2	2,9
		IV	3,2	3,8	1,60	3,0	4,4
		V	4,4	5,5	1,90	4,6	6,5
		VI	5,7	8,0	–	7,6	8,8
		VII	6,3	–	–	11,0	12,0
		VIII	–	–	–	16,5	16,0
Разработка операционного технологического процесса		I	1,5	2,8	1,3	1,6	2,9*1
		II	2,6	4,2	2,6	2,6	4,1
		III	3,2	6,4	3,3	4,2	5,8
		IV	4,9	7,5	4,5	5,5	8,7
		V	5,5	11,0	6,8	8,8	13,0
		VI	6,0	16,0	–	14,5	17,5
		VII	8,3	24,0	–	21,0	24,0
		VIII	–	35,0	–	33,0	32,0
Нормирование технологического процесса		I	0,8*2	0,30*3	0,15	0,30*4	–
		II	1,2	0,40	0,18	0,45	–
		III	2,0	0,60	0,20	0,70	–
		IV	2,8	0,75	0,40	1,00	–
		V	4,8	1,10	0,50	1,60	–
		VI	5,6	1,60	–	2,30	–
		VII	8,0	2,40	–	3,40	–
		VIII	–	3,50	–	5,20	–
Внедрение технологического процесса	Технологический процесс	I	–	–	3,9	4,6	–
		II	–	–	6,5	7,2	–
		III	–	–	13,0	12,0	–
		IV	–	–	28,0	16,8	–
		V	–	–	48,0	22,0	–
		VI	–	–	–	29,0	–
		VII	–	–	–	36,0	–
		VIII	–	–	–	45,0	–

*1 Предусмотрено нормирование технологического процесса.
*2 Формовочные работы.
*3 Операционный технологический процесс.
*4 Маршрутный технологический процесс.

30. Нормы времени на конструирование технологической оснастки

Оснастка	Группа оснастки	Нормы времени по видам работ, ч	
		Проектирование	Контроль чертежей
Специальные универсально-наладочные и контрольные приспособления	I	4,0	1,05
	II	6,1	1,75
	III	8,3	2,56
	IV	12,6	4,0
	V	18,5	7,6
	VI	21,5	10,8
	VII	25,7	12,8
	VIII	35,9	18,0
	IX	46,7	22,5
Сборочно-сварочные приспособления	I	3,0	0,8
	II	4,8	1,4
	III	6,6	2,0
	IV	9,7	2,9
	V	14,2	4,3
	VI	16,6	6,2
	VII	20,4	7,6
	VIII	23,8	9,9
	IX	24,0	10,4
Режущий и вспомогательный инструмент	I	1,7	–
	II	2,8	
	III	3,2	
	IV	4,3	
	V	5,8	
	VI	8,7	
	VII	13,2	

Затраты на составление управляющих программ, приходящиеся на одну деталь,

$$П_р = \frac{11X}{N_{год} T_{дет}},$$

где $T_{дет}$ – срок выпуска данной детали, год.

Стоимость управляющих программ для станков с ЧПУ дана в табл. 31 и 32.

Затраты на жилищное и культурно-бытовое обеспечение одного рабочего можно принять равными 7000 р. Тогда капитальные вложения (руб./год) в основные фонды социального назначения

$$К_{соц} = \frac{7000}{N_{год}}.$$

31. Примерная стоимость разработки и внедрения управляющих программ для станков с ЧПУ при ручном программировании по группам сложности деталей

Группа сложности деталей	Стоимость, ПУ, руб.	Класс деталей	Модели станков с ЧПУ	Обработка
1	17,84	Крышки, планки, фланцы	2К135Ф2; 2И135Ф2	Отверстий одним инструментом: число отверстий – не более четырех
2	30,96	Валы	1К62ПУ	Поверхностей одним инструментом; число поверхностей – не более четырех
3	38,88	Крышки, планки, фланцы	6Н13Ф3	Поверхностей одним инструментом по трем координатам; число поверхностей – не более трех
4	89,60	Крышки, планки, фланцы, плиты	654РФ3	Комплексная обработка до десяти отверстий по трем координатам с автоматической сменой инструмента и фрезерование поверхностей (не более трех); число инструментов – не более шести
5	98,40	Крышки, планки, фланцы	2Р135Ф2	Комплексная обработка до 20 отверстий по трем координатам с автоматической сменой инструмента; число инструментов – не более шести
		Втулки, фланцы, шестерни	1П717Ф3; РТ725Ф3	Поверхностей (не более восьми) с автоматической сменой инструмента
6	104,80	Втулки, фланцы, шестерни	1П717Ф2; РТ725Ф3	До 20 поверхностей с автоматической сменой инструмента
7	117,60	Крышки, планки, плиты, клинья, корпуса гидроцилиндров и т.п.	654РФ3	Комплексная обработка до 20 отверстий по трем координатам с автоматической сменой инструмента и фрезерованием поверхностей (не более пяти)
8	148,80	Валы, шпиндели	16К20Ф3; 1Б732Ф3	До 20 поверхностей, включая обработку резьбы с автоматической сменой инструмента
9	432,00	Корпусные детали	6306Ф4	Комплексная обработка двух плоскостей при расточке пазов с двумя осями; крепеж с автоматической сменой инструмента
10	596,00	То же	68906МФ4	Комплексная обработка двух плоскостей при расточке пазов с шестью осями; крепеж с автоматической сменой инструмента
11	1240,00	»	2А622Ф4	Комплексная обработка четырех плоскостей при расточке пазов с пятью осями; крепеж с автоматической сменой инструмента

Примечание. Значения стоимостей ориентировочные и могут изменяться (в большую сторону) в 1 – 2,5 раза в зависимости от сложности обрабатываемых криволинейных поверхностей.

32. Примерная стоимость разработки управляющих программ (ПУ) машинным способом для станков с ЧПУ

Назначение ПУ	Постоянная составляющая стоимости ПУ, руб.	Стоимость одного кадра ПУ, руб.	Среднее число кадров на одну ПУ	Средняя стоимость одного кадра ПУ с учетом постоянной составляющей, руб.
Для токарной обработки в центрах	35,0	2,6	120	2,9
Для токарной обработки в патроне	40,0	3,1	120	3,4
Для фрезерной обработки (до трех координат)	30,0	3,0	230	3,1
Для фрезерной обработки (три и более координат)	45,0	4,5	240	4,7
Для сверления	20,0	1,7	75	2,0
Для растачивания	45,0	5,0	140	5,3
Для обработки на многоинструментальных станках типа ОЦ	90,0	8,8	600	8,9

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Комплексная оценка** эффективности мероприятий, направленных на ускорение научно-технического прогресса. Методические рекомендации и комментарий по их применению. М.: Информэлектро, 1989. 104 с.

2. **Методические рекомендации** по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. М.: 1994. 152 с.

3. **Экономическая эффективность** новой техники и технологии в машиностроении / Под ред. К. М. Великанова. Л.: Машиностроение. 1981. 256 с.

4. **Абрамов Ю. А.** Оперативное управление производством. М.: Знание. 1991. 40 с.

5. **Абрамов Ю. А.** и др. Экономика машиностроительного производства. М.: Высшая школа. 1988. 304 с.

6. **Методические рекомендации** по оценке эффективности инвестиционных проектов. Официальное издание. М.: Экономика, 2000. 421 с.

7. **Валенский Г. П., Лившиц В. Н.** и др. Экономическая оценка инвестиционных проектов. М.: Дело. 2001. 624 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Абразивно-отрезные станки и автоматы – Технические характеристики 94
– **Автоколлиматоры** 732
– **Адсорбция** физическая 444, 450
– химическая – см. *Хемосорбция*
Азотирование 632
– лазерное 572
Алитирование 632
Алмаз природный 337
– синтетический 338
Алмазы – Марки 328
Алмазы в оправах 355
Аморфизация лазерная 573
Анализ размерный технологических процессов сборки – Выбор метода обеспечения точности замыкающего звена 863–866
– Пример расчета сборочных размерных цепей 866–869
– Размерный анализ технолог. процессов мех. обр. 869–872
Анализ функционально-стоимостного технологического процесса – Аналитический этап 879, 880
– Задачи 887, 888
– Информационный этап 878, 879
– Исследовательский этап 882
– Подготовительный этап 877
– Пример проведения 882–891
– Рекомендательный этап 882
– Творческий этап 880–882
– Этап внедрения 882
Аэрозоли – Технология производства 469

Б

База – Понятие 657
Базы установочные – см. *Установка заготовок*
Балансировка – Структура технологического процесса 851, 852 – Точность 858–862
– динамическая – Механические системы балансировочных станков 856
– статическая 852–855
Балансировочные станки 853, 856, 857
Бесцентрово-шлифовальные полуавтоматы 48, 49
Биение в заданном направлении 671
– радиальное 671
– торцевое 671
Борирование лазерное 572, 574
Бочкообразность – Понятие 664
Бруски алмазные 356

В

Вал – Оправки 168
Вальцовка 824
Вертикально-сверлильные станки – Технические характеристики 28,29
Вертикально-фрезерные станки консольные – Технические характеристики 75, 76
– с крестовым столом – Технические характеристики 77,78
Вертикальные отделочно-расточные станки – Технические характеристики 41, 42
Вибронакатывание 509–515

Винты нажимные – Форма конца винта 119, 120
Вложения капитальные – Расчет 921–927
Внутришлифовальные станки – Технические характеристики 50, 51
Волнистость поверхностей – контроль параметров 704, 705
– кондукторные 111, 112
– промежуточные 112
Выглаживание алмазное – Инструмент 506, 507
Качество обработанной поверхности 507
Режимы обработки 506–508 – Сущность процесса 506 – Точность обработки 507 – Условия процесса 508

Г

Гайконарезные автоматы – Технические характеристики 74
Гидроприводы 126, 127
Гидроцилиндры 127
Глубина резания при долблении 380
– при нарезании резьбы 428, 429
– при развертывании 381
– при рассверливании и зенкеровании 381
– при сверлении 381
– при строгании 380
– при точении 363
– при черновой обработке 358
Глубина фрезерования 402
Головки винторезные самооткатывающиеся с круглыми гребенками 299
– вихревые 315
– зуборезные 292, 293, 294
– оптические делительные (ОДГ) 732
– резцовые зубонарезные с острозаточенными резцами 297, 298 – см. также *Зуборезные головки. Головки-протяжки резцовые для нарезания конических колес*
– резьбонакатные – см. *Резьбонакатные головки*
– резьбонарезные самооткрывающиеся с тангенциальными плоскими плашками 299, 300
– шлифовальные 351, 352, 354
Головки-протяжки резцовые для нарезания конических колес 293, 294
Гониометры 732
Горизонтально-расточные станки – Технические характеристики 35–37
Горизонтально-фрезерные консольные станки универсальные – Технические характеристики 80–82
Горизонтальные полуавтоматы отделочно-расточные с подвижным столом – Технические характеристики 37, 38
– протяжные для внутреннего протягивания – Технические характеристики 92
Гранат 337
Гребенки зуборезные 277
– резьбонарезные плоские (тангенциальные) 301, 302

Д

Детали закаленные – Отпуск 629
Деформирование поверхностное пластическое 481
Диск шлифовальный – Понятие 346
– Длина свинчивания 677
Долбежные станки – Технические характеристики 87, 88, 91
Долбяки зуборезные чистовые – Геометрические и условия нарезания 293 – Назначение, типы, классы точности 283
– дисковые косозубые типа 2 с номинальным диаметром 100 мм 284
– дисковые прямозубые типа 1 283
– хвостовые косозубые типа 5 с номинальным делительным диаметром 38 мм 286
– хвостовые прямозубые типа 4 286

– чашечные прямозубые типа 3 285
Допуск – Понятие 659
– посадки – Понятие 659
Допуски – Числовые значения 661
– углов 673, 674
Допуски и посадки гладких элементов деталей и соединений 659–664
– деталей из пластмасс 660
– резьбовых деталей и соединений 665
Допуски формы и расположения – Знаки 665 – Обозначение на чертежах 666–668

З

Зазор – Понятие 659–664
– межэлектродный 537, 538
Закалка 627–629
– лазерная 566
Заточные станки – Классификация
Зенкеры – Геометрические параметры 231, 232 – Основные типы и размеры 230, 231
Зенковки – Основные типы и размеры 230, 232
Зубодолбежные полуавтоматы – Технические характеристики 63
Зубообрабатывающие полуавтоматы для прямозубых конических колес – Технические характеристики 65, 66
– станки – см. под их названиями
Зубопритирочные станки для конических колес – Технические характеристики 68
Зуборезные головки – сборные черновые 294– 296
– сборные чистовые 294–296
– типа Хардак 297
– цельные 294, 296
– чистовые 295
Зубофрезерные полуавтоматы для цилиндрических колес – Технические характеристики 63–65
Зубохонинговальные полуавтоматы для цилиндрических колес – Технические характеристики 67
Зубошевинговальные полуавтоматы для цилиндрических колес – Технические характеристики 67
Зубошлифовальные станки – Технические характеристики 68–70

И

Иглы алмазные 356
Измерения – Методы 685, 686 – Обработка результатов наблюдений 705–715
– косвенные 685
– прямые 685
Инструмент для пригоночных работ 787–798
– для сборки клепаных соединений 801
– для сборки резьбовых соединений 798–801
Инструменты абразивные – Классы точности 345 – Правка 355–357 – Рекомендации по выбору номера структуры 344, 345 – Связка 342, 343 – Структура 344 – Твердость 343, 344
– на гибкой основе 345, 346
– различной зернистости 350
– различной твердости 343
Инструменты для накатывания резьб внутренних 326
– наружных 318–320
Инструменты зубообрабатывающие – Материалы 275
– многоэлементные для обкатывания и раскатывания 487
– резьбонарезные – Геометрические параметры 317
– комбинированные для обработки отверстий 242–245
Инструмент лезвийный из искусственных алмазов и сверхтвердых материалов 328–336 – Номенклатура – 330–336
Инструменты металлорежущие – Геометрические и конструктивные элементы 179–180 – Износ 177–179 – Инструментальные материалы 177–186 – Крепление 274

К

Калибрование – Виды инструментов 496–500 – Качество обработанных поверхностей 500– 502 – Режимы обработки 503–506 – Понятие 495 – Сущность процесса 495, 496 – Точность обработки 502, 503
Карандаши алмазные 355, 356
Карбид бора 337
– кремния 337
Квадранты оптические 732
Квалитет 660
Клеймение методом накатывания
Колеса зубчатые – Контроль точности 735 – Нормирование точности 681–684
Кольцо шлифовальное – Понятие 346
Комплексы робототехнические (РТК) – Применение в сборочных процессах 750–756 – Компоновка сборочных РТК 780, 781
Конвейеры карусельные 812
– ленточные 811, 812
– подвесные 813, 814
– рамные (шагающие) 813
– роликовые 810
– тележечные приводные 812
– цепные напольные 812, 813
Контроль – Виды и методы 686–688 – Средства автоматизации и механизации 732–735
Конус шлифовальный – Понятие 346
Конусообразность – Понятие 664
Конусы наружные для инструментов 273
Координатно-шлифовальные станки – Технические характеристики 30–32
Копировально-фрезерные станки – Технические характеристики 83, 84
Корунд 337
Кран-балки мостовые однобалочные 815
Краны консольные поворотные 815
Критерий согласия Пирсона 711, 72
Круги шлифовальные 343–351 – Классификация и обозначения форм 346 – Классы неуравновешенности 345 – Назначение 344 – Основные размеры и характеристики 350
Круги шлифовальные алмазные 351 – Формы 352
– общего применения – Типы 347
– эльборовые 351 – Основные размеры и характеристики 349 – Тип и форма круга 353
Кругломеры 704, 705
Круглопильные станки и автоматы – Технические характеристики 94
Круглошлифовальные станки 42–48
Кулачки эксцентриковые круглые 143
Кулачки – Типы 141, 167

Л

Легирование лазерное 570–577
Ленточно-отрезные станки – Технические характеристики 95
Ленты-бобины – Понятие 346
Линейки синусные 732

М

Магнитопроводы 128
Магниты постоянные 129, 131
Материал абразивный – Понятие 337
– инструментальный 337
Материалы неметаллические – Лазерная резка 580
Материалы шлифовальные 337–339
– Зернистость и зерновой состав 339–342
– Области применения 337–339
Машина резьбонарезная пневматическая 796, 798
Машины резьбозавертывающие 800
– сверлильные 788–792
– шлифовальные 793–796
Меры длины концевые 715

– длины штриховые 716
– угловые 715, 716
Метод наименьших квадратов 713
Методики оценки экономической эффективности – Методика А (методика ЮНИДО) 892–894 – Методика Б (методика – 88) 894–899 – Методика В 899–902
Метчики бесстружечные – Условия накатывания внутренних резьб 326, 327
– гаечные (крупные шаги) 311
– машинно-ручные 311
Метчики гаечные 311
– автоматные 312, 313
– для нарезания метрических и дюймовых резьб (крупные шаги) 312
– с изогнутым хвостовиком (крупные шаги) 313
Метчики для нарезания трубной и дюймовой резьб 310, 311
– конические 314
Метчики машинные для нарезания метрической резьбы диаметром 0,25–0,9 мм 312
– короткие с проходным хвостовиком для метрической резьбы 309
– с усиленным хвостовиком для метрической резьбы 308
– с шейкой для метрической резьбы 308
Метчики ручные комплектные с нешлифованным профилем 311
Механизмы зажимные 113 – Определение сил закрепления (расчетные схемы и формулы) 113–117
Механизмы зажимные элементарные 118
– винтовые – Определение КПД 118–121 – Основные параметры 118 – Расчет 118, 119
– клиновые 119 – Передаточные отношения сил и перемещений 119
– клиноплунжерные 119, 121 – Передаточные отношения сил и перемещений 119–122
– реечные 125
– рычажно-шарнирные 121 – Схемы и расчетные значения передаточных отношений 122
– рычажные 121–124
– с круглыми стандартными эксцентриковыми кулачками 119
Микрошлифпорошок – Зернистость 341
Многоцелевые станки вертикальные 32–34
– горизонтальные 38–41
Момент крутящий при зенкеровании, сверлении и рассверливании 385, 386
– при фрезеровании 411
Монокорунд 337
Мощность резания при нарезании резьбы 432–435
– при сверлении, рассверливании, зенкеровании и развертывании 386
– при строгании 381
– при точении 371
– при фрезеровании 411
– при шлифовании 438, 441

Н

Наждак 337
Накатывание рифлений 525 – Режимы 525
Наладки кулачков 106
Наплавка лазерная 573
Натяг – Понятие 659
Нитрид бора кубический 337
Нитроцементация 631, 632
Ножницы 796–798
Ножовочные станки – Технические характеристики 95
Нормы времени и ее составляющие 874–877

О

Обкатывание поверхностей – Инструмент и приспособления 482–490 – Номограмма для определения усилий 493 – Режимы обработки 490–495 – Способы обработки переходных поверхностей 483 – Сущность процесса 482 – Точность обработки 490 – Шероховатость поверхности 490
Оборудование сборочное, оснастка и подъемно-транспортные средства 743, 744
Обрабатываемость сплавов при ЭХО 541
Обработка абразивная – Подача СОТС 475– 479
– виброударная 521, 522
– гидролучевая 571
– дробью 515–520
– лазерная материалов 562, 564
– лазерно-плазменная 571
– лезвийная – Подача СОТС 472, 474
– лопатки с длиной пера ЭХО 542, 543
– неподвижными электродами 543, 546
– плазменных и электроэрозионных покрытий 574
Обработка термическая конструкционных легированных сталей 635–650
– конструкционных углеродистых качественных сталей 633–635
– цветных сплавов 650–655
Обработка термомеханическая 633
– ударно-импульсная 523, 524
– упрочняющая 558
– химико-термическая – Виды 630–632
– электромеханическая – Аппаратные средства 555 – Влияние на эксплуатационные свойства деталей 560 – Износостойкость 561 – Инструмент и приспособления 556 – Глубина упрочнения 558, 559 – Параметры шероховатости 560 – Применение 562 – Режимы обработки 557 – Упрочнение 558
– электрохимическая – Точность 537 – Утилизация вторичных продуктов 536 – Электроды 536, 542 – Электролиты 539, 542, 543
– электроэрозионная (электрофизическая) – Выбор технологических показателей и режимов 545, 550 – Производительность 546 – Технологическая среда – 467 – Точность изготовления деталей 547 – Шероховатость поверхности 546, 549 – Электроды 547–549
Овальность – Понятие 664
Огранка – Понятие 664
Опоры постоянные стандартизованные 100, 101
– постоянные стандартизованные для установки заготовок плоскими поверхностями 99–102
– плоские 102
– самоустанавливающиеся 98
Оправки 159–171 – Выбор в зависимости от точности обработки 160, 161, 163, 164 – Классификация 159
– гидропластмассовые 106
– калибрующие 496
– кулачковые – Методика проектирования 165–170 – Примеры конструкции 171, 172 – Точность обработки заготовок 170
– типовые – Характеристики 106, 108, 109
– фланцевые и шпиндельные 160
– центровые 159, 160
Оснастка универсально-сборная и переналаживаемая (УСПО) 157–159
Ось реальная 668
Отжиг 626, 627
Отклонение – Понятие 657
– верхнее 659
– взаимного расположения поверхностей 697, 698
– действительное 659
– нижнее 659
– основное 660 – Числовые значения 662, 663
– предельное 660
– наклона осей (или прямых) относительно оси (прямой) 670
– наклона плоскости относительно плоскости 670
– от круглости 664 – Методы измерения 693–697
– от параллельности 669
Отклонение от параллельности оси и

плоскости 669
– от параллельности плоскостей 669
– от параллельности прямых в плоскости 669
– от пересечения осей 670
– от перпендикулярности плоскостей 669
– от перпендикулярности плоскости оси 669
– от плоскостности – Технология измерения 693
– от прямолинейности 689–692
– от прямолинейности оси в пространстве 668
– от симметричности относительно базового элемента 670
– от соосности относительно общей оси 670
– от соосности относительно общей оси 670
Отклонение позиционное 670
– профиля продольного сечения 664
– расположения – Параметры 664
– расположения поверхностей 664
– формы заданного профиля 671
– формы заданной поверхности 671, 672
– формы и расположения суммарные 664
– формы поверхностей 657
– формы профилей 657
Отрезные станки 92–95

П

Пайка – Методы 827 – Составы флюсов 826 – Применение при сборке 825
Пальцы установочные срезанные 100
– стандартизованные 104
– с упорами 99, 100
Пассивация ювенильных поверхностей 444
Патрон поводковый 142, 143, 144
– инерционный 143, 144
– штырьковые – Конструкции 145–147
Патроны 105 – Характеристики 107
– двухкулачковые 107
– магнитные 131 – Определение функциональной пригодности 132
Патроны для завинчивания шпилек резьбовые реверсивные 136
– роликовые 134
Патроны самоцентрирующие 137, 138
– быстропереналаживаемые 139, 140
– комбинированные 140
Передачи зубчатые – Нормирование точности 681–684
Перекос осей (или прямых) 669
Пилы дисковые сегментные для металла 267
Плашки – Режимы накатывания 529–532
– резьбонакатные плоские 320, 321, 527
Плашки круглые для нарезания резьбы – Область применения 303–306
– диаметром 0,25–0,9 мм 308
– дюймовой конической с углом профиля 60° и трубной конической 307
– метрической 308
– трубной цилиндрической 306
Плита адаптерная базовая 151
– квадратная 156
Плиты с постоянными магнитами 129–131 – Управление плитой 129
– электромагнитные прямоугольные 131
Плоскошлифовальные станки со столом крестовым 53–55
– круглым 55
Пневмоприводы мембранные
– поршневые 125
Пневмоцилиндры вращающиеся 125, 126
– встроенные 126
– мембранные 126 – Сила на штоке 126
– поршневые одностороннего действия – Определение диаметра 125, 126
– поршневые стационарные 125
Поверхность номинальная 657
– прилегающая 657
– реальная 657
Погрешности измерений 685, 686
– предельные 716–732
Подача при зенкеровании 381, 382
– при прорезании пазов и отрезании 366

– при протягивании 435
– при развертывании 381, 382
– при разрезании 424, 425
– при резьбонарезании 428, 429
– при рассверливании 381
– при сверлении 381
– при строгании, долблении 380
– при точении 363, 366
– при фасонном точении 367
– при черновом наружном точении 364
– при черновом растачивании 365
– при чистовом точении 366
Подшипники качения – Демонтаж 841 – Монтаж 834–839
– Регулирование осевых зазоров 839, 840
– Сборка узлов 832–841 – Требования к сопрягаемым деталям по точности обработки и шероховатости поверхности 833
Подшипники скольжения – Виды 841, 842
– Обеспечение соосности 844, 845 – Приработка 845, 846 – Приспособление для запрессовки втулок 842 – Сборка с тонкостенными и толстостенными вкладышами 842–845
Показатели экономической эффективности 900
Покрытия – Классификация 585–589 – Лазерное оплавление 574 – Назначение 584–589 – Свойства 585–589 – Способы нанесения 584
– диффузионно-пористые антифрикционные – Технология нанесения 598, 599
– защитные и жаропрочные – Вид и толщина 617–619 – Методы нанесения 616, 617, 619
– износостойкие – Назначение 600–611 – Способы нанесения 600–615 – Типы порошковых материалов 600–611
– приработочные и антифрикционные – Условия нанесения 590–595
– твердосмазочные 596, 597
– электролизные 575, 576
Поле допуска – Понятие 659
Полуцентры вращающиеся 105
– стандартизованные 105
Поля допусков – Примеры обозначения на чертежах 660
– валов при номинальных размерах от 1 до 500 мм 664
– конусов 673, 675
– отверстий при номинальных размерах от 1 до 500 мм 664
Поперечно-строгальные станки 89, 90
Посадки 659 – Образование 660 – Понятие 659 – Примеры обозначения на чертежах 660
– в системе вала 660
– в системе отверстия 660
– коническая 675, 676
Предел максимума материала 659 – минимума материала 659
Прессы винтовые ручные 815
– гидравлические 816
– пневматические 815
– пневмогидравлические 816
– реечные верстачные 815
– электромагнитные 816
Приводы приспособлений – Типы 125–127
Призмы 103
Приспособления для станков с ЧПУ 137–158
– сборно-разборные 154–157
– специализированные наладочные 151, 152
– токарной группы 137–147
– универсально-безналадочные 148
– универсально-сборные 152–154
– фрезерно-сверлильно-расточной группы 148–157
Приспособления магнитные 127–136 – Расчет условий равновесия заготовки 134–136 – Сила магнитного притяжения заготовки 132 – Удельная сила притяжения 132, 133
Приспособления сборочные – Назначение и типы 802–804 – Схемы к расчету точности сборки 806, 807 – Схемы

размерных цепей 808 – Установочные элементы 804–806
– для запрессовки диска на вал 804
– для изменения положения собираемого изделия 810
– для крепления корпусной детали узла 802
– для надевания колец на поршень 803
– с вертикальной осью поворота 802
– специальные 806–810
– с пневматическим зажимом 803
Приспособления специализированные наладочные
– станочные – Классы точности 98 – Составные части и механизмы 98 – Корпус 112 – Механизмы вспомогательные 111 – Термины и определения 96, 97 – Элементы приспособлений для установки инструмента на размер 110
– электромагнитные 131
Продольно-фрезерные станки 85, 86
Протягивание 435–438
Протяжки – Геометрические параметры 252 – Подачи 255 – Рекомендуемые форма и размеры профиля зубьев 245, 253–255 – Схемы резания 245
– для внутреннего протягивания 246, 247
– для внутреннего протягивания нестандартные 247–250
– для наружного протягивания 255
– для наружного протягивания типовые нестандартные секционные 250–252
Протяжные вертикальные полуавтоматы для внутреннего и наружного протягивания 92, 93
Профиль – Понятие 657
Прошивки 245

Р

Радиально-сверлильные станки 29, 30
Развертки – Геометрические параметры 236, 238 – Допуски на диаметр 241 – Износ и заточка 241, 242 – Основные типы и размеры 233, 234
– котельные 235
– машинные цельные, оснащенные пластинами из твердого сплава – Форма заточки и область применения 237
– разжимные 239
– сборные 239–241
– цилиндрические – Элементы лезвий 236, 238
– цилиндрические с торцовыми зубьями (для обработки глухих отверстий) – Элементы лезвий 237, 238
Размер действительный 659
– предельный 658
– номинальный 657
Размеры предельные 658
Разрезание металла 424–427
Раскатки двухроликовые 486, 487
– многороликовые с упругими элементами 486
– многошариковые жесткие 488
– регулируемые для обработки отверстий 486
– ударного действия 490
– шариковые копирующие 485
Раскатывание глубоких отверстий 487
– поверхностей – Номограмма для определения усилий 493 – Режимы обработки 490–495 – Сущность процесса 482–490 – Точность обработки 490 – Шероховатость поверхности 490
– резьб 533
Резка лазерная 578, 579
Резьба наружная – Способы накатывания 527, 528
– цилиндрическая – Контроль 735
Резьбонакатные головки – Накатывание резьбы 323–325, 328, 527, 528
Резьбонарезание 315, 428–435
Резьбонарезные станки 73
Резьбофрезерные полуавтоматы 73, 74
Резьбошлифовальные станки 70–72
Резцы зубострогальные 291, 292

Резцы резьбовые для нарезания резьбы
– метрической наружной 317
– метрической внутренней 317
Резцы с лезвиями из композита
– проходные 211, 213
– подрезные 211
– расточные 212, 213
Резцы токарные из быстрорежущей стали и с пластинами из твердого сплава отрезные 188
– отрезные сборные 189
– подрезные 188
– проходные отогнутые 186 – упорные 187
– проходные прямые 186 – упорные 187
– расточные 190–194
– резьбовые 189
– специальные автоматные 194
– строгальные 188
– чистовые 195
Резцы токарные с механическим креплением многогранных пластин из твердого сплава и керамики – Номенклатура резцов 196, 198, 200, 201, 204 – Условное обозначение способов крепления 196
– отрезные 208
– проходные 197, 198, 200, 205
– расточные 206
– резьбовые 207, 208, 209
– сборные контурные 197
– сборные проходные 202, 205
– сборные подрезные 203
– со ступенчатой пластиной 210, 211
Режимы резания при разрезании 426
– при точении закаленной стали резцами с пластинами из твердого сплава 370
– при точении и растачивании резцами, оснащенными композитом на основе нитрида бора 371
– при тонком точении и растачивании 369
Роботы промышленные – Захваты 756
– Компоновки РТК 780, 781
– Основные операции сборки 762, 763
– Построение технологических процессов сборки 757–762
– Примеры применения на сборочных работах 781–786
– Приспособления для сборочных работ 756, 757
– Размеры рабочей зоны 771–779
– Сборочный инструмент 763–770
–Технические характеристики 772–778
Ролики алмазные прямого профиля 336
– резьбонакатные 321, 322
Рольганги 810
Ротор – Способы устранения дисбалансов 857, 858

С

Сборка машин – Документация, фиксирующая технологические разработки 745
– Испытание собранных изделий 750
– Контроль качества 749, 750
– Критерии технико-экономической оценки различных вариантов технологических процессов 746, 747
– Методы достижения точности замыкающего звена, применяемые при сборке 737–739
– Нормирование времени сборочных операций 743
– Организационная форма 741, 742
– Разработка операционной технологии 744, 745
– Сборочный чертеж 740
– Составление маршрутной технологии 742, 743
– Составление технологических схем 740, 741
– Схемы базирования изделий при узловой и общей сборке 743
– Типовые и групповые технологические процессы 747–749
– Упругие деформации 846–851
Сварка – Применение при сборке 825

Сверла – Геометрические параметры 227, 228 – Основные типы и размеры 214, 215
– для станков с ЧПУ – Форма заточки 228, 229
Сверла спиральные – Углы в статической и кинематической системах координат 227
– Формы заточки 228
– с коническим хвостовиком 223–227
– с цилиндрическим хвостовиком 219–223
Сверление, зенкерование труднообрабатываемых материалов 386–401
Сверлильные и расточные станки – Классификация 10
Себестоимость – Определение поэлементным методом 902–914 – Определение нормативным методом 914–921 – Расчет отдельных составляющих 902
Седлообразность 664
Сила резания – Понятие 361 – Поправочные коэффициенты 362, 363
– при протягивании 436–438
– при строгании 380
– при точении – Значение коэффициента C_p и показателей степени в формулах 372–373 – Поправочные коэффициенты в формуле 374 – Формула 371
– при фрезеровании 406, 411–413
Силицирование 572, 574, 632
Система магнитная элементарная 127
Системы регулирования ЭХО 540
Склеивание – Применение 829–832
Скорость резания 358–361 – Формула общего вида 358
– при зенкеровании 382–384
– при протягивании 435, 436
– *при развертывании* 382–384
– при разрезании 424, 425, 427
– при рассверливании 382–384
– при резьбонарезании 429–432
– при сверлении 382, 383
– при точении 363, 367, 368
– при фрезеровании 406–411
Скрайбирование лазерное 581
Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) – Давление струи 448 – Место подвода 448 – Области применения основных способов подачи 474 – Присадки 453 – Распыление 448 – Смазывающие свойства 445, 446 – Температура 448
– водные 455 – Технология производства 463
– для обработки металлов резанием 464–467
– масляные (углеводородные) 453, 454, 462, 464, 465 – Технология производства 469
– полимерсодержащие 456
– полусинтетические 455, 464–467
– синтетические 455, 464–467
– эмульсии 455
Смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС) – Замена 479 – Защитное действие 450 – Классификация 461 – Контроль функциональных свойств 470, 471 – Коэффициент, характеризующий свойства СОТС 447 – Моющее действие 450 – Основные виды 452 – Охлаждающее действие 447, 449 – Подача в зону резания 472 – Проникающая способность 451 – Регенерация 479 – Режущее и пластифицирующее действия 449 – Рекуперация 479 – Смазывающее действие 443 – Смачивающее свойство 451 – Температура работоспособности компонентов 445 – Теплоотвод 447, 448 – Теплофизические свойства 447 – Технология производства 469 – Утилизация 479 – Факторы выбора 446 – Физико-химические свойства 470, 471
Смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС) водосмешиваемые 463 – Методы оценки качества 471
– газообразные 452, 460, 461
– жидкие газы 459
– масляные 462
– пасты 460
– пластичные 459, 461 – Температура применения 460 – Технология производства 469
– расплавы 456, 457, 461 – Виды 458
– твердые 459, 461 – Технология производства 469
Соединения, выполняемые развальцовкой и отбортовкой 824, 825
– клепаные – Выполнение 827–829
– клиновые (конические) – Сборка 820
– конические – Примеры указания посадок 676
– неразъемные – Сборка 822, 823
– профильные 822
– разъемные – Сборка 816
– резьбовые – Допуски и посадки 676–680
Сборка 816–820
– сборочные – Технология выполнения 816–832
– с гарантированным зазором 822
– с гарантированным натягом 823
– с упругими элементами 822
– шлицевые – Допуски 661–663, 681
Сборка 821, 822
– шпоночные – Допуски 661–663, 680 – Сборка 821
– штифтовые – Сборка 820, 821
Сплавы алюминиевые – Лазерное упрочнение 569 – Сверление с расплавами 458 – Способы подачи СОЖ при шлифовании 478
– медные – Лазерное упрочнение 569 – Сверление с расплавами 458 – Способы подачи СОЖ при шлифовании 478
– твердые – Выбор марок 180–185
– титановые – Лазерное упрочнение 569
Средства измерений универсальные 716–732
Стали быстрорежущие – Выбор марок 178, 179
– конструкционные – Упрочнение 558, 568
Станки металлорежущие – Классификация и система обозначения 9–11 – Классы точности 9 – См. также под их названиями, например: *Токарные станки, Строгальные станки* и др.
Старение 629, 630
Стекло техническое 337
Стенды сборочные 814
Строгальные станки – Технические характеристики 87–91
Строгально-фрезерные станки – Технические характеристики 87, 88
Сферокорунд 337

Т

Тележки сборочные 810, 811
Термоупрочнение сталей и чугунов лазерное 566, 567
Тиски пневматические 148
Токарно-винторезные станки 21–23
Токарно-карусельные станки 19, 20
Токарно-револьверные одношпиндельные прутковые автоматы 12, 13
– станки и полуавтоматы 18, 19
Токарные многорезцовые копировальные полуавтоматы 23–25
Токарные многоцелевые станки 26, 27
Токарные многошпиндельные вертикальные полуавтоматы 17
– горизонтальные патронные полуавтоматы 16, 17
– горизонтальные прутковые автоматы 14–16
Токарные одношпиндельные автоматы продольного точения 13, 14
Токарные станки – Классификация 10, 21
Точение 363
– труднообрабатываемых материалов 374–380

У

Угол клина 166
Универсально-заточные станки 52
Упрочнение лазерное поверхностное 566–570
Установка заготовок внутренними цилиндрическими поверхностями с пересекающимися (скрещивающимися) осями 110
– комбинированная 110
– наружной поверхностью вращения и перпендикулярной к ее оси плоской поверхностью 101

– *наружными цилиндрическими поверхностями* с пересекающимися осями 106
– плоскими поверхностями 99
– поверхностью вращения и перпендикулярной к ее оси плоской поверхностью 106
– по двум цилиндрическим отверстиям с параллельными осями и перпендикулярной к ним плоской поверхностью 99
– центровыми отверстиями 101
– фасками 101

Установки лазерные 563

Установы для фрез 110, 111

Устройства балансирующие управляемые (УБУ) 862, 863
– зажимные 805
– поворотные 806
– подъемные 814, 815
– установочные 804, 805

Ф

Фрезерные станки – Классификация 9–11 – Технические характеристики 75–86
– широкоуниверсальные (инструментальные) 79

Фрезерование – Виды 402 – Подачи 402–406
– труднообрабатываемых материалов 413–424

Фрезы гребенчатые резьбовые 314, 316

Фрезы дисковые
– двусторонние со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом 271
– двухголовые несимметричные 267
– *модульные 275 – Наборы 276 – Размеры* 276
– пазовые 262, 263
– резьбовые для трапецеидальной резьбы 315, 317
– трехсторонние 263, 264

Фрезы *для обработки* Т-образных пазов 261, 262
– для пазов сегментных шпонок 262

Фрезы концевые конические с коническим хвостовиком 258, 259
– обдирочные с коническим хвостовиком 257
– с коническим хвостовиком 256
– с коническим хвостовиком, оснащенные прямыми пластинами из твердого сплава 257
– с цилиндрическим хвостовиком 256
– твердосплавные 258

Фрезы одноугловые 267
– отрезные 264–266
– пазовые затылованные 263
– пальцевые модульные 277
– полукруглые 268
– прорезные (шлицевые) 264–266

Фрезы торцовые насадные 271
– оснащенные пластинами из композита 273
– с механическим креплением пластин из твердого сплава 272, 273

Фрезы червячные – Основные размеры 278, 279
– для нарезания червячных колес 281
– многозаходные 281
– сборные с поворотными вставными рейками 280
– сборные типа 3 классов точности A, C и D 280
– с нешлифованным профилем повышенной точности 281
– твердосплавные 281
– черновые 281, 282
– чистовые 281, 282
– чистовые для шлицевых валов с прямобочным профилем 283

Фрезы шпоночные 259, 260
– немерные 260
– оснащенные твердосплавными пластинами 260
– цельные твердосплавные 261

Х

Хемосорбция 444, 450

Хоны зубчатые 290, 291

Хромирование 632

Хрупкость отпускная 629

Ц

Цековки – Основные типы 230–232

Цементация 571, 630, 632

Центры вращающиеся 105
– для установки заготовок фасками 101
– стандартизованные 105
– упорные 104

Цианирование 631, 632

Ч

Червячно-шлифовальные станки 70–72

Ш

Шеверы дисковые 287–289

Шероховатость поверхности – Контроль параметров 698–704

Шкурка шлифовальная – Понятие 345

Шлифовальные стайки –Классификация 10 – Технические характеристики 42–56

Шлифование 438–441
– алмазно-эльборное – Подача СОЖ 478

Шлифпорошки алмазные 338, 339
– зерновой состав 340, 341

Шлицешлифовальные станки 51

Э

Электрод-инструмент 541, 547

Электроды 536, 542, 550

Электрокорунд 337

Электрофизические станки – Классификация 10

Электрохимические станки – Классификация 10
– для маркирования 59
– для обработки турбинных лопаток 60
– для удаления заусенцев 59
– заточные 52
– копировально-прошивочные – Технические характеристики 57, 58
– шлифовальные 56

Электроэрозионные копировально-прошивочные станки – Технические характеристики 61, 62
– вырезные 61

Эмульгаторы 455

Эмульсии 455

Эмульсол – Технология производства 469

Эффект Ребиндера 450

Эффект экономический годовой – Расчет 900

Эффективность экономическая – Методики оценки 892–902

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Колонка, строка	Напечатано	Должно быть
6	Левая, 19-я сверху	М.А. Рождественский	Л.А. Рождественский
13	Табл. 2, 1-я графа, 4-я снизу	шфкафа	шкафа
42	Табл. 20, 1-я графа, 3-я снизу	устанадливаемой	устанавливаемой
104	Табл. 4, примечания, 10-я сверху	но	по
121	Табл. 15, 2-я графа, 1-я снизу	28	2,8
142	Левая, 2-я сверху	панели	пиноли
156	Права, 6-я сверху	цент-	–
176	Рис. 3, подрис. подпись	системы	в системе
179	Табл. 2, 4-я графа, 3-я и 24-я сверху	шлифовальных	шлифованных
180, 182, 183, 185	Табл. 3, 6-я графа	Элемаш	КЗТС
185	Табл. 3, примечания, 5-я снизу	Элемаш	КЗТС (Кировоградский завод твердых сплавов)
231	Табл. 51, 1-я графа, 8-я сверху	Ценовки	Цековки
232	Табл. 52, примечание, 6-я снизу	*a*	α
232	Левая, 1-я снизу	ВК8В	ВК8М
240	Табл. 61, 2-я графа, 9-я снизу	рифам	рифлям
272	Табл. 106, примечание, 2-я снизу	9 мм	до 9 мм
274	Табл. 111, эскиз	*b*	*h*
297	Левая, 1-я сверху	табл. 139	табл. 133
328	Левая, 19 – 18-я снизу	режимные	разжимные
331	Табл. 166, пункт 7, 2-я сверху	круглой	треугольная
396	Табл. 58, название	из титановых	титановых
413	Табл. 85, пункт 2	Чистое	Чистовое
457	Табл. 6, 2-я графа	Эмульсоол	Эмульсол

Продолжение

Стр.	Колонка, строка	Напечатано	Должно быть
468	Табл. 12, 2-я графа, 2-я сверху	ГОСТ 20799–75	ГОСТ 20799–88
490	Табл. 5, название, 1-я сверху	Измерение	Изменение
493	Рис. 17, подрис. подп. 1-я сверху	обкатываиня	обкатывания
502	Рис. 27, подрис. подп. 1-я снизу	калибрировании цилиндров	калибрование отверстий
524	Левая, 2-я сверху	15 … 30 мм	15 – 30 мкм
534	Табл. 33, название, 1-сверху	ГОСТ 9150–81	ГОСТ 9150–2002
545, 547, 549, 551	Колонтитул	Электрфизическая	Электрофизическая
547	Левая, 14-я снизу	контору	контуру
565	Левая, 1-я снизу	сульфитация	сульфатация
616	Табл. 24, 1-я графа, 7-я снизу	ВК520	ВК20
631	Левая, 3-я сверху	газовый состав	газового состава
653	*Табл. 28, 1-я графа, 2-я снизу*	*АцгМг*	АЦчМг
803	Левая, 8-я снизу	фазовых	базовых
805	Левая, 1-я снизу	пазовых	базовых
828	Правая, 2-я сверху	быть не менее	быть численно не менее
841	Правая, 3-я сверху	Заполнитель	Наполнитель
922	Левая, 5-я сверху	задания	здания
929	Правая, 10 – 11-я снизу	геометрические и условия нарезания 293	геометрия и условия нарезания 283
940	Левая, 7-я снизу	двухголовые	двухугловые
941	Левая, 5-я снизу	стайки	станки

СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Дальский Антон Михайлович, Суслов Анатолий Григорьевич,
Косилова Александра Григорьевна и др.

СПРАВОЧНИК ТЕХНОЛОГА – МАШИНОСТРОИТЕЛЯ

Том 2

Лицензия ИД № 05672 от 22.08.01 г.

Редакторы: **И. Н. Жесткова, П. Е. Клейзер Н. М. Кущ-Жарко**
Корректор **М. Я. Барская**
Оформление художника **Т. Н. Галицыной**
Инженеры по компьютерному макетированию: **И. В. Евсеева, Г. Ю. Кораблева,**
М. Н. Рыжкова, М. А. Филатова

Сдано в набор 29.08.03 г. Подписано в печать 3.10.03 г.
Формат 70 × 100 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Times New Roman. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 76,7. Усл. кр.-от. 76,7. Уч.-изд. л. 82,0.
Заказ 8835

"Издательство Машиностроение-1", 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4

Оригинал-макет подготовлен в ИПЦ
Тамбовского государственного технического университета,
392032, г. Тамбов, ул. Советская, 106

Отпечатано в ГУП ППП "Типография "Наука" РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6