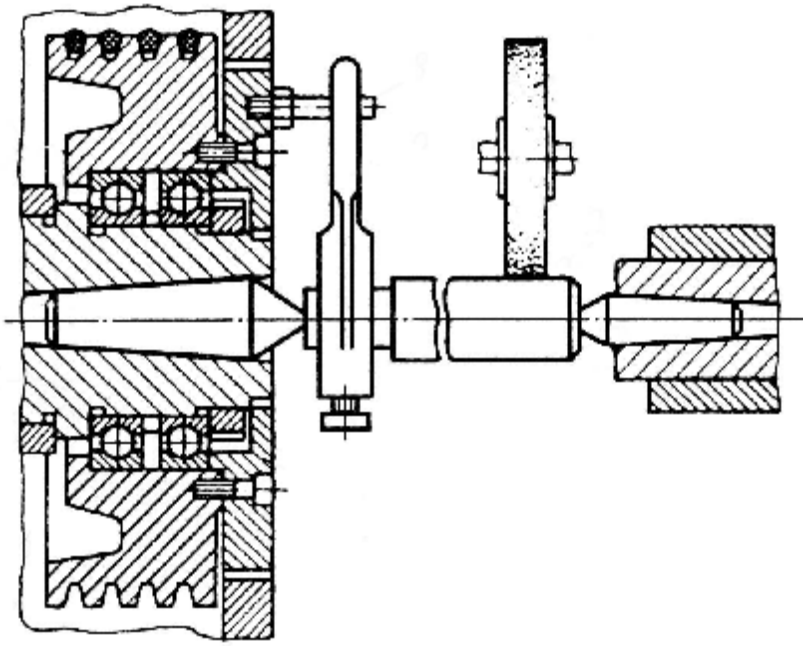
В.В. Евстифеев, М.С. Корытов

ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ: МЕТОДЫ, СТАНКИ, ИНСТРУМЕНТЫ



Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия
(СибАДИ)»

В.В.Евстифеев, М.С. Корытов

ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ: МЕТОДЫ, СТАНКИ, ИНСТРУМЕНТЫ

Учебное пособие

Омск
СибАДИ
2012

УДК 621.9
ББК 34.722
Е 17

Рецензент: канд. техн. наук О.М. Кирасиров

Евстифеев, В.В.
Е 17 Обработка материалов резанием: **методы, станки, инструменты**: Учебное пособие / В.В. Евстифеев, М.С. Корытов. – Омск: СибАДИ, 2012. – 76 с.

Изложены сведения о наиболее распространенных методах обработки материалов резанием, типовых операциях, выполняемых на универсальном и специальном технологическом оборудовании, применяемом режущем инструменте. Пособие может быть использовано при прохождении студентами учебной практики в механических мастерских, при изучении дисциплин «Технология конструкционных материалов», «Производственное оборудование и инструменты», «Технология автомобиле- и тракторостроения», «Технология и организация производства продукции и услуг» и др. в соответствии с ФГОС ВПО. Может использоваться при подготовке магистров.

Табл. 10. Ил. 94. Библиогр.: 8 назв.

© ФГБОУ ВПО «СибАДИ», 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение..... 4
1. Классификация металлорежущих станков..... 4
2. Особенности технологии резания металлов……. 6
3. Обработка точением…… 9
4. Способы и инструмент обработки отверстий…….. 29
5. Способы и инструмент обработки фрезерованием……. 38
6. Способы и инструмент строгания поверхностей……. 49
7. Способы и инструмент обработки шлифованием…… 56
8. Отделочные методы обработки поверхностей…….. 65
Контрольные вопросы …… 71
Библиографический список …… 74

ВВЕДЕНИЕ

Понятие «технология машиностроения» имеет широкое и узкое значения. В узком смысле оно включает преимущественно вопросы механической обработки деталей и сборки машин.

Дисциплины «Технология автомобиле- и тракторостроения», «Производственное оборудование и инструменты», «Технология и организация производства продукции и услуг» и др. рассчитаны на студентов, обучающихся на технических направлениях и специальностях. Они базируются на таких дисциплинах, как «Материаловедение», «Технология конструкционных материалов», «Метрология, стандартизация, сертификация», «Детали машин». На основе знаний, полученных при изучении этих дисциплин, производится сравнительная оценка различных методов изготовления деталей с целью выбора их эффективного производства с учетом конкретных условий.

Автомобильному, тракторному, дорожно-строительному машиностроению присущи некоторые характерные особенности: большая номенклатура изделий (тракторы, автомобили, катки, грейдеры, копры, экскаваторы, подъемные механизмы и др.); машины работают в тяжелых условиях при значительных и неравномерных нагрузках, воздействии пыли и влаги.

Это предопределяет высокие требования к совершенству конструкций и качеству изготовления техники. Инженеры, связанные с разработкой, ремонтом и эксплуатацией автотракторной и дорожной техники, должны хорошо знать общие принципы рациональной механической обработки заготовок деталей машин, полученных литьем, штамповкой, прокаткой и другими методами; должны ориентироваться в технологическом универсальном оборудовании и оборудовании с числовым программным управлением; должны владеть методами выбора рациональных схем базирования заготовок, определяющих высокую точность механической обработки и обеспечивающих получение заданных параметров качества деталей при их минимальной себестоимости.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Металлорежущим станком (или просто станком) называют технологическую машину, на которой путем снятия стружки с заготовки получают деталь с заданными размерами, формой, шероховатостью и взаимным расположением поверхностей.

Станки классифицируются по признакам: степень универсальности; степень точности; степень автоматизации; масса; расположение шпинделя (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. **Классификация станков**

Наименование	Группа	Тип станка								
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Токарные	**1**	Автоматы и полуавтоматы: одношпиндельные	Автоматы и полуавтоматы: многошпиндельные	Токарно-револьверные	Сверлильно-отрезные	Карусельные	Токарные и лоботокарные	Многорезцовые и копировальные	Специализированные	Разные токарные
Сверлильные и расточные	**2**	Настольно- и вертикально-сверлильные	Полуавтоматы: одношпиндельные	Полуавтоматы: многошпиндельные	Координатно-расточные	Радиально- и координатно-сверлильные	Расточные	Отделочно-расточные	Горизонтально-сверлильные	Разные сверлильные
Шлифовальные, полировальные, доводочные, заточные	**3**	Круглошлифовальные, бесцентровошлифовальные	Внутришлифовальные, координатно-шлифовальные	Обдирочно-шлифовальные	Специализированные шлифовальные	Продольно-шлифовальные	Заточные	Плоскошлифовальные	Притирочные, полировальные, хонинговальные	Разные абразивные
Электрофизические и электрохимические	**4**	–	Светолучевые	–	Электрохимические	Электроискровые	–	Электроэрозионные, ультразвуковые	Анодно-механические отрезные	–
Зубо- и резьбообрабатывающие	**5**	Зубодолбежные для обработки цилиндрических колес	Зуборезные для обработки конических колес	Зубофрезерные для обработки цилиндрических колес и шлицевых валов	Для нарезания червячных колес	Для обработки торцов зубьев колес	Резьбофрезерные	Зубоотделочные, проверочные и обкатные	Зубо- и резьбошлифовальные	Разные зубо- и резьбообрабатывающие
Фрезерные	**6**	Вертикально-фрезерные, консольные	Фрезерные непрерывного действия	Продольные одностоечные	Копировальные и гравировальные	Вертикально-фрезерные бесконсольные	Продольные двухстоечные	Консольно-фрезерные операционные	Горизонтально-фрезерные консольные	Разные фрезерные
Строгальные, долбежные, протяжные	**7**	Продольные: одностоечные	Продольные: двухстоечные	Поперечно-строгальные	Долбежные	Протяжные горизонтальные	–	Протяжные вертикальные	–	Разные строгальные
Разрезные	**8**	Отрезные, оснащенные: токарным резцом	Отрезные, оснащенные: шлифовальным кругом	Отрезные, оснащенные: гладким или насеченным диском	Правильно-отрезные	Ленточно-пильные	Отрезные с дисковой пилой	Отрезные ножовочные	–	–
Разные	**9**	Муфто- и трубообрабатывающие	Пилонасекательные	Правильно- и бесцентрово-обдирочные	–	Для испытания инструментов	Делительные машины	Балансировочные	–	–

Универсальные станки предназначены для выполнения разнообразных операций на деталях широкой номенклатуры; используются главным образом в единичном или мелкосерийном производстве и на ремонтных работах; специализированные станки предназначены для изготовления группы деталей, сходных по конфигурации, но отличающихся размерами; на специальных станках изготавливают деталь только одной определенной конфигурации.

Специализированные и специальные станки используются в крупносерийном и массовом производствах.

По степени автоматизации различают механизированные и автоматизированные станки, в том числе автоматы и полуавтоматы. Механизированные станки имеют одну автоматизированную операцию, например зажим заготовки или подачу инструмента. Автоматы, осуществляя обработку, производят все рабочие и вспомогательные движения цикла и повторяют их без участия рабочего. Полуавтоматы – станки, работающие по автоматическому циклу, для повторения которого требуется вмешательство рабочего. Например, рабочий должен снять деталь и установить заготовку, а затем включить станок для автоматической работы в следующем цикле.

По расположению шпинделя станки делятся на горизонтальные, вертикальные, наклонные и комбинированные.

2. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Обработка резанием заключается в срезании с обрабатываемой заготовки *4* инструментом *1* с режущей кромкой некоторой массы металла, специально оставленной на обработку и называемой припуском (рис. 1).

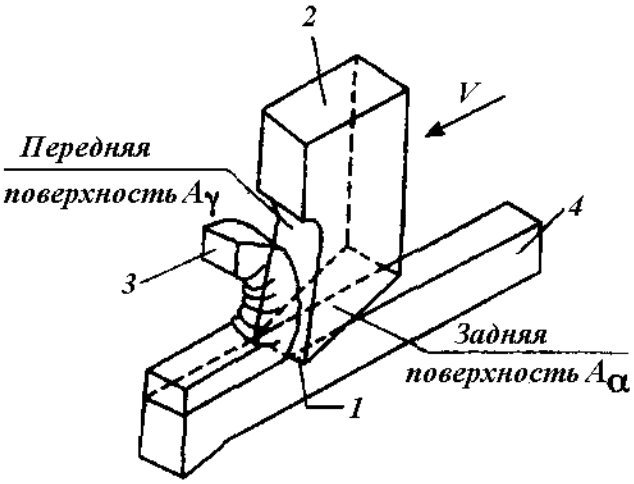


Рис. 1. Схема снятия стружки резанием

Припуск может удаляться одновременно с нескольких поверхностей заготовки или последовательно друг за другом с каждой обрабатываемой поверхности. Слой материала заготовки, деформированный и отделенный в результате обработки резанием, называется стружкой *3*. Лезвие инструмента представляет собой клинообразный элемент *2*.

Режущий инструмент с заданным числом (1, 2, 3 и т.д.) лезвий установленной формы называют лезвийным инструментом, а обработку таким инструментом – лезвийной обработкой.

В процессе обработки резанием с заготовки, слой за слоем, срезается припуск на обработку, происходит обновление поверхности. Поверхности заготовок, срезаемые за каждый очередной проход инструмента, принято называть ***обрабатываемыми поверхностями***. Поверхности, вновь образуемые во время очередного прохода инструмента, называют ***обработанными поверхностями***. Промежуточную поверхность, временно существующую в процессе резания между обрабатываемой и обработанной поверхностями, принято называть ***поверхностью резания***.

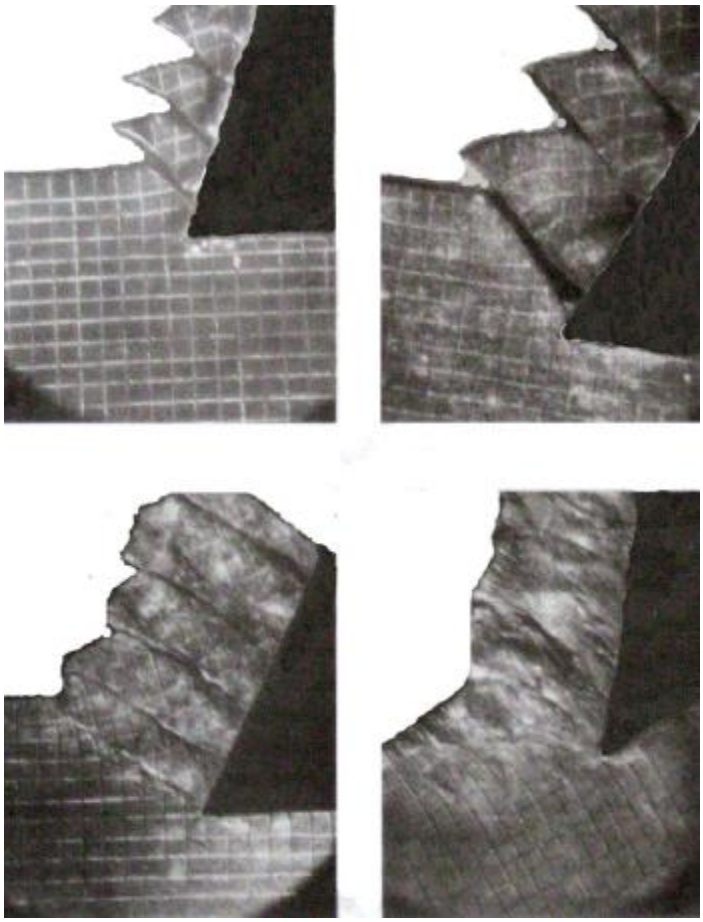


Рис. 2. Картина формирования стружки при резании металла

Процесс отделения стружки от заготовки зависит от характеристик обрабатываемого материала (твердость, прочность, пластичность) и термомеханических условий резания. На рис. 2 представлены возможные варианты снятия слоя металла с обрабатываемой заготовки: от пластической деформации сдвигом с разрушением по плоскости сдвига (фрагмент левый верхний) до «чистой» пластической деформации (фрагмент правый нижний).

Величину *t*, мм (проникновение лезвий инструмента в материал заготовки во время каждого прохода) принято называть ***глубиной резания***.

Режимы резания устанавливаются совокупностью значений глубины резания, подачи (или скорости движения подачи) и скорости резания, а также геометрических параметров и стойкости инструментов, силы резания. Параметры режима резания взаимосвязаны, поэтому нельзя произвольно изменять значение одного из них, не изменяя соответственно всех прочих.

Выбор режимов резания начинают с определения глубины резания. Она связана с припуском. На операциях окончательной обработки припуск составляет не более 0,5 мм. На промежуточных операциях припуск на обработку изменяется в пределах (0,5 – 5) мм. На операциях предварительной обработки заготовок в зависимости от их размеров и способа изготовления припуск может быть более 5 мм.

Значение подачи S, как и глубины резания, определяется видом технологической операции. Операции окончательной обработки ведут с подачами S_O < 0,1 мм. При операциях промежуточного формообразования подачу назначают в пределах S_O = (0,1 – 0,4) мм. На тяжелых станках обработку можно вести с глубиной резания до 30 мм и с подачей до 1,5 мм. Предварительное значение скорости резания V вычисляют по формулам [3] при известных глубине резания и выбранном интервале подач S.

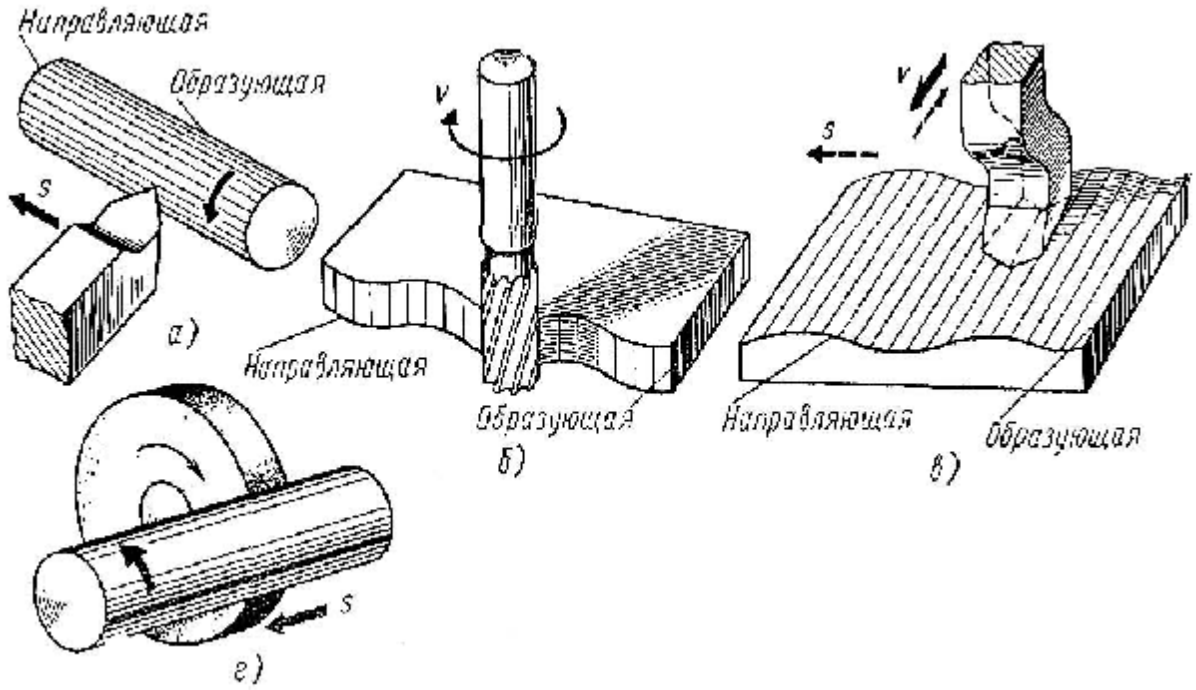


Рис. 3. Методы обработки поверхностей резанием: *а* – точение; *б* – фрезерование; *в* – строгание; *г* – шлифование [6]

На практике используются разнообразные методы обработки заготовок лезвийным инструментом (рис. 3).

Методы обработки различных групп могут осуществляться при одних и тех же сочетаниях прямолинейных и/или вращательных движений [6]. Отличительным признаком каждой группы являются вид и направление главного движения (т.н. движения резания), в процессе которого происходит срезание припуска. Главное движение, определяющее скорость резания, является либо вращательным, либо прямолинейным. Оно сообщается заготовке или режущему инструменту, а в ряде случаев одновременно заготовке и режущему инструменту.

3. ОБРАБОТКА ТОЧЕНИЕМ

Точение является главным способом обработки поверхностей тел вращения.

Процесс резания производится при вращении обрабатываемой заготовки (главное движение, обозначается символом *V*) и перемещении резца (движение подачи, обозначается символом *S*).

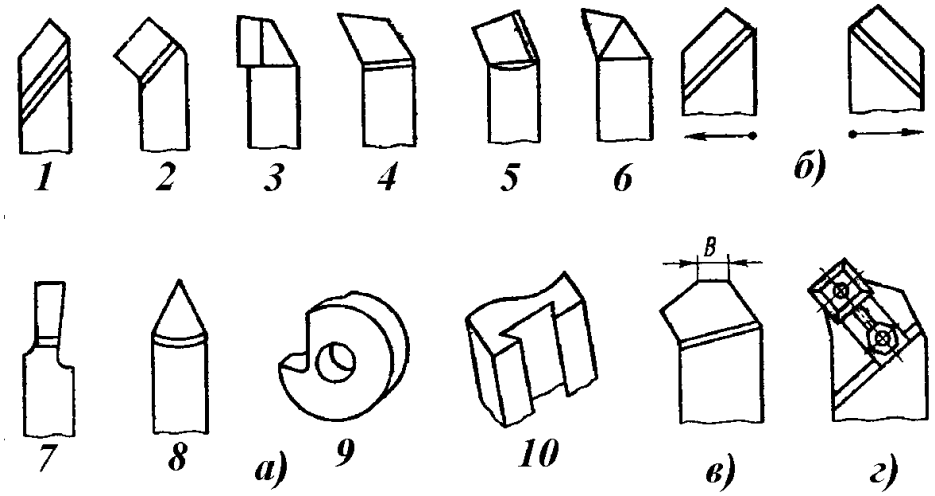


Рис. 4. Токарные резцы: проходные для наружных поверхностей (*1-3*); подрезные(*4*); расточные (*5,6*); отрезные (*7*); резьбовые (*8*); фасонные круглые (*9*) и призматические (*10*)

Режущими инструментами при точении являются токарные резцы различного технологического назначения (рис. 4 – 6). По форме рабочей части резцы подразделяются (см. рис. 4, *а*) на прямые *1*, отогнутые *2*, оттянутые *7*, а по направлению подачи – на правые (справа налево) и левые (с подачей слева направо), (см. рис. 4, *б*). По способу изготовления различают резцы цельные, с приваренной встык рабочей частью, с приваренной или припаянной пластинкой инструментального материала, со сменными пластинками режущего материала.

Для высокопроизводительного точения с большими подачами используют резцы с дополнительной режущей кромкой (см. рис. 4, *в*).

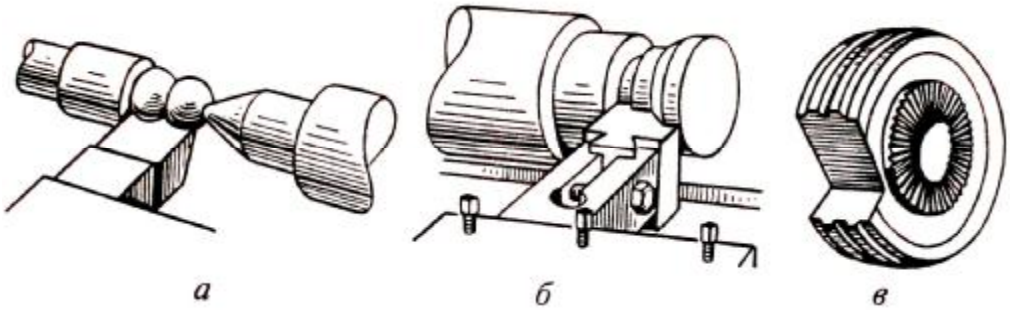


Рис. 5. Резцы фасонные

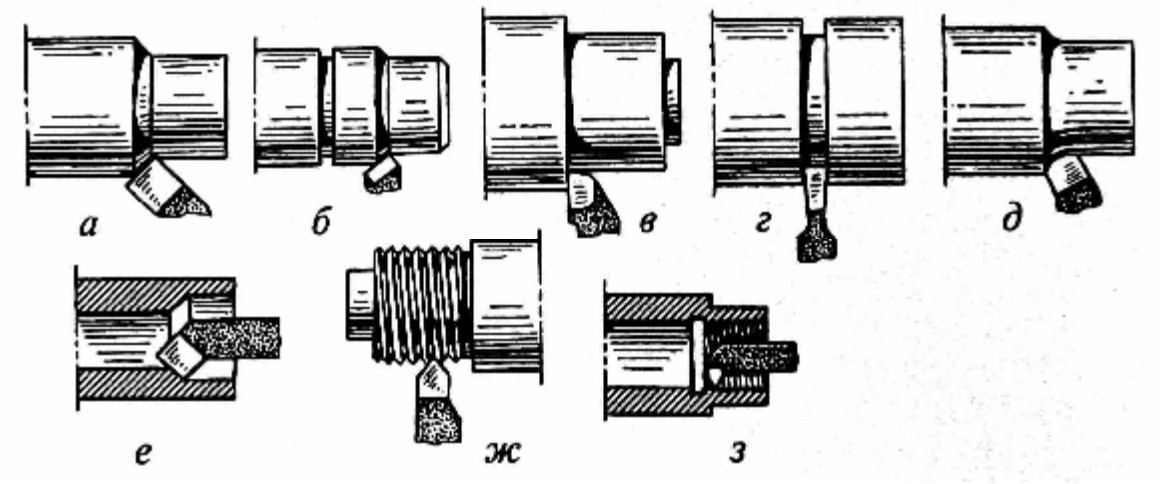


Рис. 6. Токарные резцы для различных видов обработки: *а* – наружное обтачивание проходным отогнутым резцом; *б* – наружное обтачивание проходным прямым резцом; *в* – обтачивание с подрезанием уступа под прямым углом; *г* – прорезание канавки; *д* – обтачивание радиусной галтели; *е* – растачивание отверстия; *ж, з* – нарезание наружной и внутренней резьбы

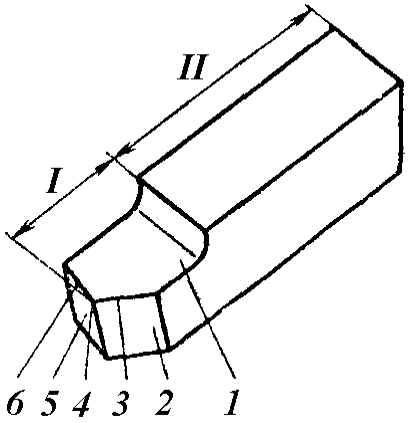


Рис.7. Элементы токарного прямого резца

При обработке отверстий и полостей используются также сверла, развертки, зенкеры, метчики.

Токарный прямой проходной резец (рис. 7) имеет головку – рабочую часть *I* и тело – стержень *II*. Головка резца имеет следующие элементы: переднюю поверхность *1*, по которой сходит стружка; главную заднюю поверхность *2*; вспомогательную заднюю поверхность *5*; главную режущую кромку *3* и вспомогательную *6*; вершину *4*. Инструмент затачивают по передней и задним поверхностям.

Точением выполняют следующие основные операции:

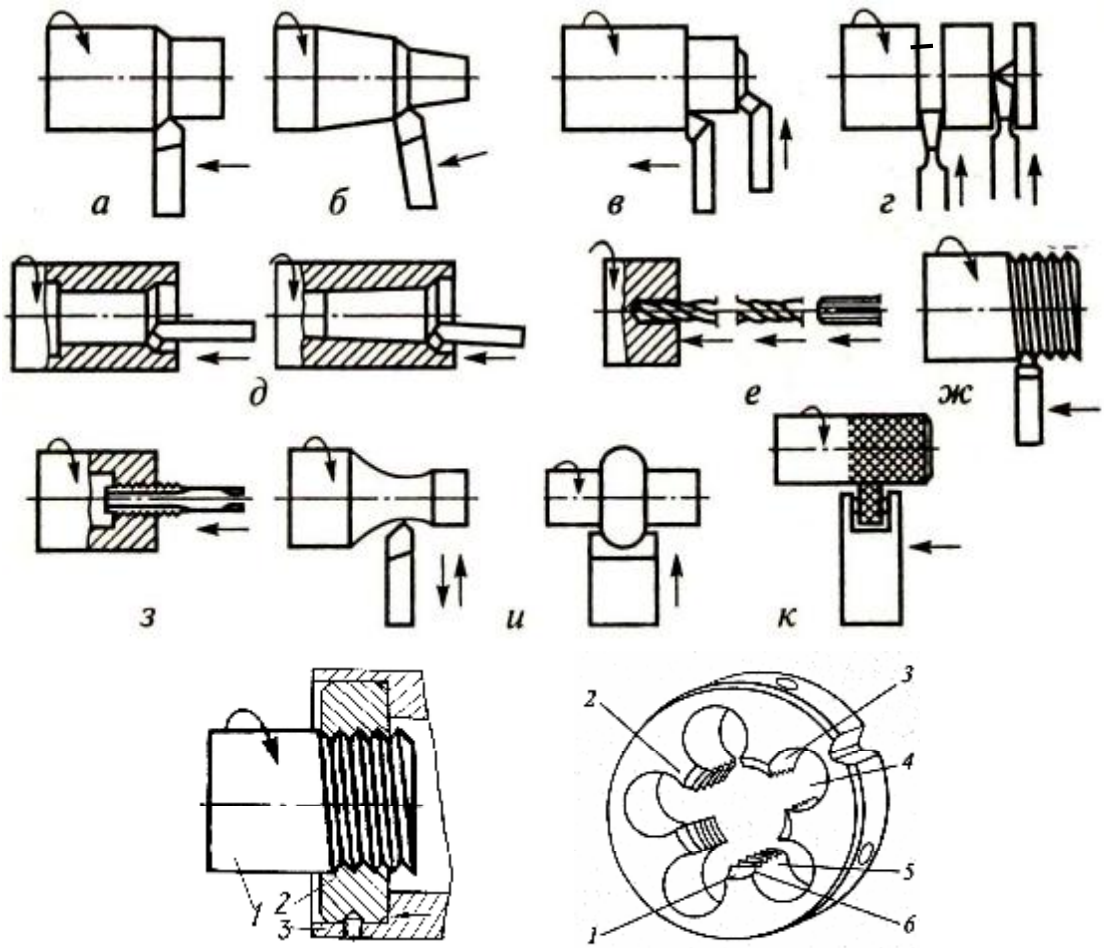
1) ***обтачивание*** – обработка наружных цилиндрических гладких, цилиндрических ступенчатых, конических (рис. 8, *а, б*), фасонных (рис. 8, *и*) поверхностей;

2) ***растачивание*** – обработка внутренних поверхностей (рис. 8, *д*);

3) ***подрезание*** – обработка торцевых поверхностей (рис. 8, *в*);

4) ***резьбонарезание*** – нарезание резьбы резцом (рис. 8, *ж*) или метчиком (рис. 8, *з*). В первом случае резьбу нарезают с продольной подачей резца. Форма режущей кромки определяется профилем и размерами поперечного сечения нарезаемой резьбы. Во втором случае в заготовке сначала сверлится отверстие определенного диаметра;

5) ***резка*** – разрезание заготовок на части (рис. 8, *г*). Выполняется отрезными резцами с поперечной подачей;



л

Рис. 8. Основные виды токарных работ (стрелками показаны направления перемещения инструмента и заготовки)

6) ***накатывание*** **–** формирование рельефа (рис. 8, *к*).

Кроме того, к токарным операциям относятся протачивание канавок, обтачивание поверхностей заготовок фасонными резцами (или проходными резцами с применением копирных устройств), и нарезание наружных резьб плашками (рис. 8, *л*).

Основные задачи, которые решает технолог – найти такие режимы резания, при которых сочетание всех факторов обеспечит наилучшие условия обработки конкретной заготовки и минимальную стоимость продукции. Такие режимы называют оптимальными.

Обязательные элементы режима резания при любом виде лезвийной обработки следующие: ***глубина резания t, скорость резания V, скорость подачи S*** [2].

Рассмотрим элементы режима резания при точении (рис. 9):

1. ***Глубина резания t*** **(мм)** – толщина слоя материала, срезаемая за один рабочий ход резца. При точении цилиндрической поверхности глубина резания равна полуразности диаметров до и после обработки: $t = (D - d)/2$; при подрезке канавок и отрезке глубина резания равна ширине

отрезного резца. Рекомендуется глубину резания назначать равной расчетному максимально возможному значению [3, 4].

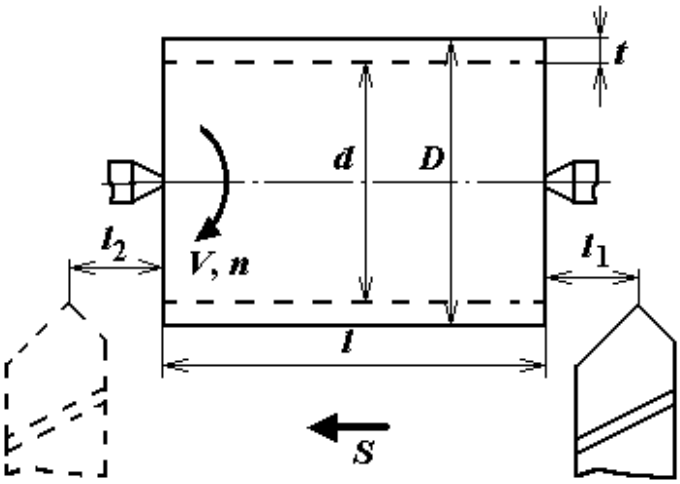


Рис. 9. Эскиз операции продольного точения цилиндра

2. ***Скорость резания V*** **(м/мин)** – расстояние, пройденное точкой режущей кромки инструмента относительно заготовки в единицу времени.

3. ***Подача S*** **(мм/об)** – при точении это путь точки режущей кромки инструмента относительно заготовки в направлении движения подачи за один оборот заготовки.

При назначении элементов режима резания учитываются: характер обработки (точение, сверление, развертывание, фрезерование и т.д.); тип и размеры инструмента (резцы, сверла, фрезы и т.д.); материал режущей части инструмента (быстрорежущая сталь, твердый сплав и т. д.); материал заготовки и его состояние (вязкость, твердость и т. д.); состояние поверхности заготовки (без корки, с коркой на прокате, поковке или отливке); тип и состояние оборудования (мощность, жесткость и точность станка и т.д.).

Назначение режимов резания начинается с установления размеров снимаемых слоев припуска, т. е. глубины резания, в зависимости от класса точности размеров и шероховатости обрабатываемой поверхности. Глубину резания t при черновой (предварительной) обработке назначают по возможности максимальную (до 70 % размера припуска) вплоть до полного снятия припуска на обработку за один проход при точности размера детали в пределах квалитета IT13–12 и шероховатости данной поверхности R_z80 и более [2, 3].

При более высоких требованиях по точности размеров и шероховатости обрабатываемой поверхности назначают чистовые переходы (получистовое, чистовое или тонкое точение), вплоть до отделочных операций – шлифование, полирование, хонингование, суперфиниширование.

На каждом последующем переходе назначается меньшая глубина резания, чем на предыдущем, с оставлением минимального слоя припуска для окончательной обработки. Например, при чистовой окончательной обработке при требуемой шероховатости R_a3,2 глубина резания может составлять t = (0,5 – 5,0) мм, а при $R_a \leq 0{,}63$ глубина резания не может быть более t = (0,1 – 4,0) мм.

Ориентировочные данные по точности обработки наружных и внутренних поверхностей на станках токарной группы приведены в табл. 2 [7].

Данные табл. 2 позволяют рационально планировать необходимое число перехода (черновое точение, получистовое, чистовое и т.д.) Для достижения заданной точности размеров и шероховатости обрабатываемой поверхности детали. При этом число рабочих ходов перехода не должно превышать необходимое, т.к. это уменьшит производительность труда, увеличит себестоимость деталей.

Подача S (мм/об) при черновом точении принимается максимально допустимой по мощности оборудования, жесткости системы СПИД (станок – приспособление – инструмент – деталь), прочности твердосплавной пластины резца и прочности его державки. Обычно эти значения при черновом точении для небольших размеров деталей составляют: для сталей S = (0,3 – 3,0) мм/об; для чугунов S = (0,4 – 5,0) мм/об.

Рекомендуемые подачи при черновых и чистовых точениях приведены в табл. 2 – табл. 5.

Среднее значение стойкости резца f (период работы режущего инструмента до затупления) при одноинструментальной обработке составляет 30 – 60 мин. При проведении расчета скорости резания стойкость резца f принимается ориентировочно в зависимости от прочности обрабатываемого материала.

Т а б л и ц а 2. **Точность обработки поверхностей на токарных станках**

Вид обработки	Квалитет точности размеров	Параметр шероховатости, мкм	
		R_z	R_a
Точение:			
черновое	13-12	80	
получистовое	11-9	40-20	
чистовое	8-7		2,5
тонкое	7-6		1,25-0,63
Сверление	12-11	40-20	
Зенкерование:			
черновое	12-11	40	
получистовое	11	20	
чистовое	9-8		2,5
Развертывание:			
черновое	9-8		2,5
чистовое	7-6		0,63-0,32
тонкое	6		0,16
Растачивание:			
черновое	13-12	80-40	
получистовое	11-10	40-20	
чистовое	9-7		2,5-0,63
тонкое	6-5		0,32-0,08

Т а б л и ц а 3. **Подачи при черновом точении**

Диаметр	Размер	Обрабатываемый материал

детали, мм.	державки резца, мм.	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	До 3	Св.3 до 5
До 20	От 16 х 25 о 25 х 25	0,3 – 0,4			
Св. 20 до 40	От 16 х 25 до 25 х 25	0,4 – 0,5	0,3 – 0,4	0,4 – 0,5	
Св. 40 до 60	От 16 х 25 до 25 х 40	0,5 – 0,9	0,4 – 0,8	0,6 – 0,9	0,5 – 0,8
Св. 60 до 100	От 16 х 25 до 25 х 40	0,6 – 1,2	0,5 – 1,1	0,8 – 1,4	0,7 – 1,2
Св. 100 до 400	От 16 х 25 До 25 х 40	0,8 – 1,3	0,7 – 1,2	1,0 – 1,5	0,8 – 1,9

Примечание: нижние значения подач соответствуют прочным обрабатываемым материалам, верхние значения подач – менее прочным обрабатываемым материалам.

Т а б л и ц а 4. **Подачи при растачивании резцами из твердого сплава**

Резец или оправка		Обрабатываемый материал					
Диаметр круглого 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	2	3	5
10	50	0,08			0,12-0,16		
12	60	0,1	0,08		0,12-0,20	0,12-0,18	
16	80	0,1-0,2	0,15	0,10	0,2-0,3	0,15-0,25	0,1-0,18
20	100	0,3-0,5	0,15-0,25	0,12	0,3-0,4	0,25-0,35	0,12-0,25
25	125	0,35-0,50	0,15-0,40	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-	0,5-0,8	0,4-0,6	0,25-0,45
40	200		0,25-0,60	0,15-0,4		0,6-0,8	0,3-0,8
40х40	150 300		0,6-1,0 0,4-0,7	0,5-0,7 0,3-0,6		0,7-1,2 0,6-0,9	0,5-0,9 0,4-0,7
60х60	150 300		0,9-1,2 0,7-1,0	0,8-1,0 0,5-0,8		1,0-1,5 0,9-1,2	0,8-1,2 0,7-0,9

Т а б л и ц а 5. **Подачи при чистовом точении, мм/об**

Параметр шероховатости поверхности,	Радиус при вершине резца *r*, мм

мкм		0,4	0,8	1,2	1,6
R_a	R_z				
0,63		0,07	0,10	0,12	0,14
1,25		0,10	0,13	0,165	0,19
2,5		0,144	0,20	0,246	0,29
	20	0,25	0,33	0,42	0,49
	40	0,35	0,51	0,63	0,72
	80	0,47	0,66	0,81	0,94

Примечание: подачи даны для обработки сталей с $\sigma_в$ = (700 – 900) МПа и чугунов; для сталей с $\sigma_в$= (500 – 700) МПа значения подач умножить на коэффициент k_S=0,45; для сталей с $\sigma_в$= (900 – 1100) МПа значения подач умножить на коэффициент k_S=1,25.

Скорость резания V, м/мин при наружном продольном и поперечном точении и растачивании рассчитывают по эмпирической формуле.

$$V = c_v \cdot f_v / f^m \cdot f^x \cdot s^y. \quad (1)$$

Значения коэффициента c_v, показателей степени x, y и m приведены в табл. 6 в зависимости от вида обработки и факторов, характеризующих условия обработки (качество обрабатываемого материала, состояния поверхности заготовки, качество материала режущего инструмента и т. д.).

Т а б л и ц а 6. **Значения коэффициента c_v, x, y, m**

Вид обработки	Материал режущей части резца	Характеристика подачи S, мм/об	Коэффициент и показатели степени			
			C_v	X	Y	M
Обработка конструкционной углеродистой стали, $\sigma_в$=750 МПа						
Наружное продольное точение проходными резцами	Т15К6*	S до 0,3	420	0,15	0,20	0,20
		S свыше 0,3 До 0,7	350	0,15	0,35	0,20
		Свыше 0,7	340	0,15	0,45	0,20
Обработка серого чугуна, НВ190						
Наружное продольное точение проходными резцами	ВК6*	S≤0,40	292	0,15	0,20	0,20
		S>0,40	243	0,15	0,40	0,20

* без охлаждения.

Примечание: 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.

Поправочный коэффициент k_v определяется по формуле:

$$K_v = k_{mv} \cdot k_{nv} \cdot k_{uv},$$

где k_{mv} – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала; k_{nv} – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки; k_{uv} – коэффициент, учитывающий качество материала инструмента.

Значения указанных коэффициентов и их составляющих приведены в табл. 7 – табл. 10, заимствованных из справочника.

Т а б л и ц а 7. **Поправочный коэффициент k_{mv}**

Обрабатываемый материал	Расчетная формула
Сталь	$K_{mv} = k_r \cdot (750/\sigma_в)^{nv}$
Серый чугун	$K_{mv} = (190/hb)^{nv}$

Примечания: 1. $\Sigma_в$ и hb – фактические параметры, характеризующие обрабатываемый материал, для которого рассчитывается скорость резания.
2. Коэффициент k_r, характеризующий группу стали по обрабатываемости и показатель степени n_v приведены в табл. 8.

Т а б л и ц а 8. **Значения коэффициента k_r и показатели степени n_v**

Обрабатываемый материал	K_r для инструмента		n_v при обработке резцами	
	Из быстрорежущей стали	Из твердого сплава	Из быстрорежущей стали	Из твердого сплава
Сталь углеродистая (C≤0,6%): $\sigma_в$ < 450 МПа	1,0	1,0	-1,0	1,0
$\sigma_в$ = 450 – 550 МПа	1,0	1,0	1,75	1,0
$\sigma_в$ > 550 МПа	1,0	1,0	1,75	1,0
Серый чугун			1,7	1,25

Т а б л и ц а 9. **Поправочный коэффициент k_{nv}**

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

Т а б л и ц а 10. **Поправочный коэффициент κ_{uv}**

Обрабатываемый материал	Значения коэффициента κ_{uv} в зависимости от марки инструментального материала

Сталь конструкционная	Т5К12 0,35	Т5К10 0,65	Т14К8 0,8	Т15К6 1,0	Т15К6 1,15	Т30К4 1,4	ВК8 0,4
Серый чугун	ВК8 0,83	ВК6 1,0	ВК4 1,1	ВК3 1,15	ВК3 1,25		

Установив все необходимые данные, по формуле (1) определяется расчетная скорость резания $v_{расч}$ для конкретного рабочего хода перехода.

По полученному значению расчетной скорости резания $v_{расч}$ определяется расчетная частота вращения детали (обрабатываемой заготовки):

$$N_{расч} = 1000 \cdot v_{расч} / \pi \cdot d_{заг}, \qquad (2)$$

где $d_{заг}$ – наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм.

По расчетной частоте вращения ($n_{расч}$) определяют фактическую частоту вращения шпинделя станка $n_ф$ (меньшую или равную означенной в паспорте станка): $n_ф \leq n_{расч}$

После установления $n_ф$ вычисляется фактическая скорость резания $v_ф$ (м/мин):

$$v_ф = \pi \cdot d \cdot n_ф / 1000. \qquad (3)$$

Режимы резания устанавливаются и рассчитываются для каждого перехода механической обработки.

В технологической документации на изготовление деталей обрабатываемая при переходе поверхность выделяется утолщенной линией.

Точность механической обработки зависит от базирования, то есть установления положения заготовки относительно траектории подачи режущего инструмента. Поэтому надо иметь четкое представление о функциональном назначении поверхностей деталей и размерной взаимосвязи между ними.

Технологическими базами называются поверхности, линии или точки заготовки (детали), служащие для ее установки на станке и ориентации относительно режущего инструмента.

Контактными технологическими базами (основными или вспомогательными) являются поверхность или система поверхностей, определяющие положение закрепленной заготовки (детали) относительно станка и режущего инструмента.

Вспомогательной контактной технологической базой называют поверхность, которая служит только для установки детали при механической обработке (например, центровые отверстия).

Основной контактной технологической базой называют поверхности заготовки (детали), которые служат для их установки на станке при выполнении операций механической обработки.

Назначение основных контактных баз начинается с выбора базы для выполнения первой операции – **черновой базы**. **Она используется только один раз, так как закрепление заготовки производится за необработанную поверхность.**

При выборе черновых баз необходимо руководствоваться следующим:

1. Поверхности, принимаемые за базовые, должны быть по возможности ровными и чистыми; не следует использовать поверхности, на которых располагались литники, выпоры, облой и т.п. При обработке валов (осей) предпочтительно за технологические базы принимать центровые отверстия.

2. Базовые поверхности должны располагаться стабильно относительно других поверхностей; не следует, например, принимать за базу отверстия в отливках.

3. В качестве черновых баз следует использовать поверхности с минимальными припусками или не подвергаемые обработке.

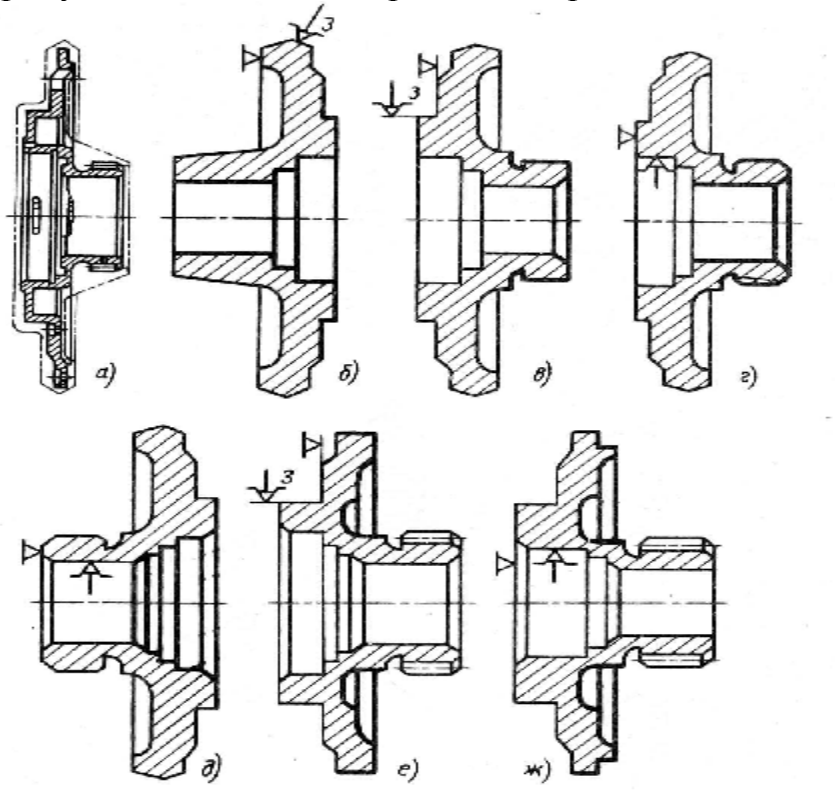


Рис. 10. Контактные технологические базы при обработке фасонной детали: *а* – деталь; *б, в, е* – закрепление заготовки и полуфабрикатов в трехкулачковом самоцентрирующемся патроне при наличии опоры; *г, д, ж* – закрепление полуфабрикатов на оправке при наличии опоры; толстыми линиями указаны обрабатываемые поверхности на данной операции

Выбранная технологическая база должна использоваться, по возможности, во всех операциях технологического процесса, т.е. должен соблюдаться принцип единства баз. Если это условие невозможно выполнить, то за последующую базу необходимо принимать обработанную поверхность детали, которая размерно связана с обрабатываемой поверхностью.

Все следующие технологические базы называются чистовыми базами. При каждой установке базовые поверхности закрепляются так, чтобы лишить заготовку шести степеней свободы.

При выборе чистовых баз необходимо руководствоваться следующим:

1. Базы должны, по возможности, являться одновременно конструкторскими и измерительными, что есть принцип совмещения баз.

2. Необходимо принимать такие базы, при использовании которых можно за одну установку обработать все основные и вспомогательные поверхности (или максимальное их количество).

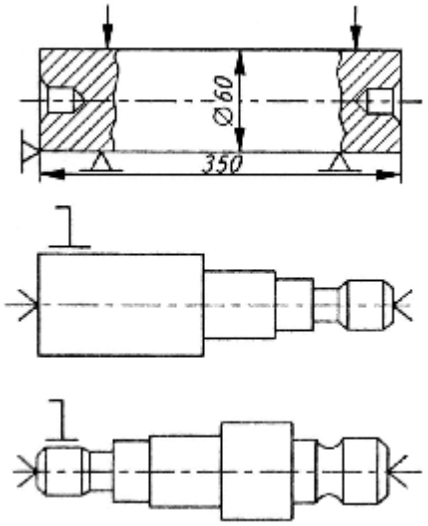


Рис. 11. Черновое и чистовое базирование при изготовлении вала из проката

3. При выборе баз необходимо обеспечить невозможность появления деформаций полуфабриката под действием давления зажимов или сил резания.

4. Обработку особо точных поверхностей следует вести при использовании постоянных баз – принцип единства баз.

5. В качестве технологических баз следует принимать поверхности детали, которые изготовлены с повышенной точностью.

Использование контактных технологических баз различного рода показано для обработки фасонной детали (рис. 10) и валов (рис. 11, рис. 12).

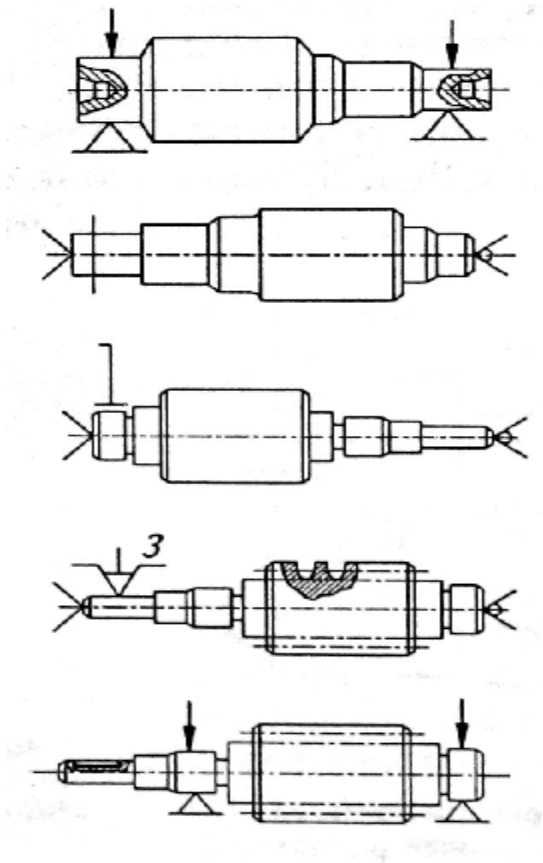


Рис. 12. Черновое и чистовое базирование при изготовлении вала из поковки

При использовании вспомогательной контактной технологической базы при обработке длинных валов (l/d > 4) торцы заготовок из проката подрезают на токарных, фрезерных или фрезерно-центровальных станках. После подрезки торцов производится их центровка на таких же станках. Центровые отверстия выполняются по ГОСТу 14034-74 специальными центровочными сверлами. Геометрия центровых отверстий приведена на рис. 13.

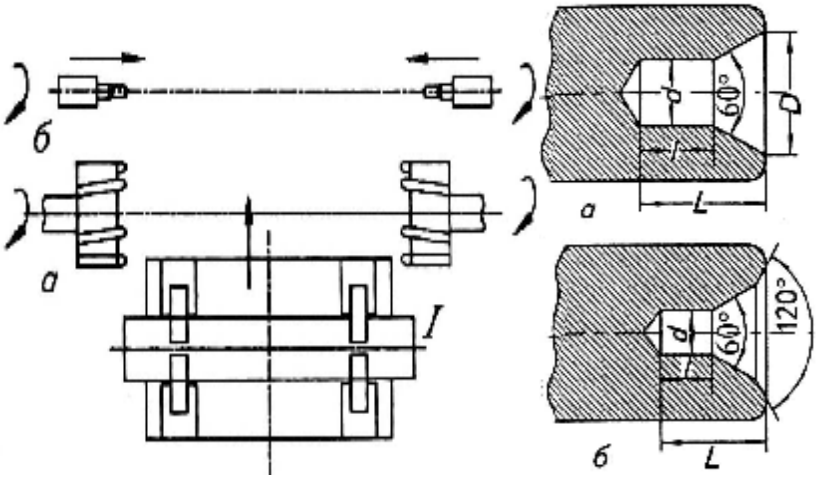


Рис. 13. Схема организации торцевания
и зацентровки заготовки и геометрия
центровых отверстий с цилиндрическим
отверстием под смазку

Приспособления, на которые обрабатываемая заготовка устанавливается своими центровыми отверстиями, называются центрами. Центры могут быть жесткими не вращающимися (рис.14, *а*) и вращающимися (рис.14, *б*), их контактная поверхность может быть гладкой (рис. 14, *а* и *б*), а у жесткого не вращающегося центра может быть рифленой (рис. 14, *в*), что обеспечивает не только закрепление, но и вращение заготовки.

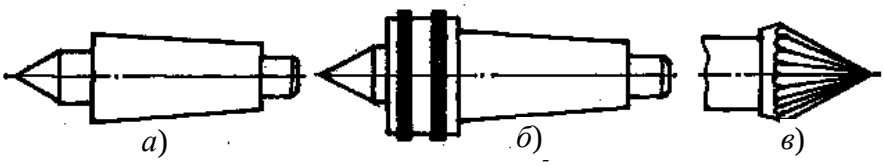


Рис. 14. Виды центров и формы их контактных поверхностей:
а – жесткие не вращающиеся; *б* – вращающиеся; *в* – рифленые

В документации технологических проектов вспомогательные контактные технологические базы обозначаются (при $4 < l/d < 10$) как на рис. 15:

- закрепление в трехкулачковом самоцентрирующемся патроне токарного станка (*а*, *б*), либо с опорой на не вращающийся (*в*) или рифленый (*г*) центр с передачей крутящего момента на деталь поводковым патроном с хомутиком (*в*, *г*);

- для предохранения длинных заготовок ($l/d > 10$) от прогиба в процессе их обработки резанием применяются люнеты: неподвижные (крепятся на станине станка); подвижные (крепятся на суппорте станка и перемещаются вместе с резцом, с опорами вблизи от места резания).

При каждом установе должны закрепляться все виды базовых поверхностей (установочные, направляющие и опорные), лишающие заготовку шести степеней свободы. Например, при консольном закреплении заготовки в токарном трехкулачковом самоцентрирующемся патроне или цанговой оправке, обязательным является не только закрепление цилиндрических поверхностей, сочетающих установочные и направляющие, но и наличие опоры на опорную поверхность заготовки (рис. 16), что обеспечивает более высокие точность установки и жесткость закрепления и стабильность точности получаемых размеров.

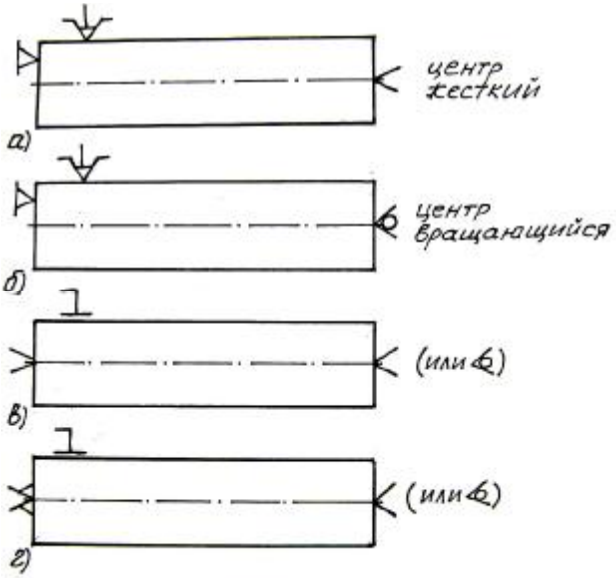


Рис. 15. Варианты закрепления левого торца вала

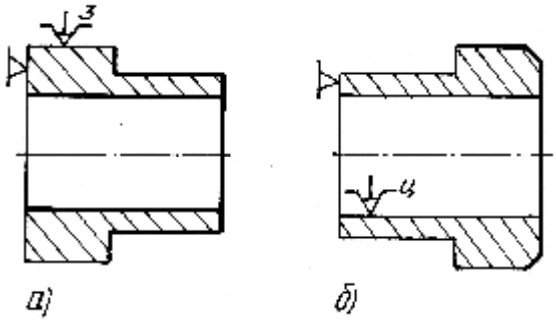


Рис. 16. Условное обозначение закрепления заготовки при обработке на токарном станке: *а* – в патроне; *б* – на цанговой оправке

После чернового базирования, когда подготовлены поверхности для чистовых баз, начинаются операции по формообразованию детали вплоть до стадии чистовой обработки (точность 7 – 9 квалитета). Проектирование технологических процессов начинается с разработки маршрута обработки, когда выбираются технологические базы и схемы базирования для всего технологического процесса механической обработки.

Для достижения заданных размеров детали и требуемой геометрической точности и шероховатости поверхностей обработку заготовки ведут путем поэтапного снятия слоя припуска. При черновой обработке снимается максимальный слой припуска (до 70 %), а при чистовой – оставшийся слой припуска (рабочих ходов может быть несколько (например, получистовое точение, чистовое, тонкое). Оставление минимального слоя припуска для чистовой обработки (до 0,2 мм и менее) значительно снижает динамические параметры резания, способствует резкому повышению качества обрабатываемой поверхности детали.

Для мелкосерийного производства рекомендуется сначала провести черновую обработку всех поверхностей, а затем выполнить чистовую обработку тех поверхностей, для которых она необходима. Кроме технологиче-

ских баз в производственном процессе используются конструкторские и измерительные базы.

Конструкторскими базами называются поверхности, линии или точки, определяющие положение детали относительно других деталей при ее работе в машине

Измерительными базами называются поверхности, линии или точки, от которых производится отсчет выполняемых размеров при обработке или измерении заготовок.

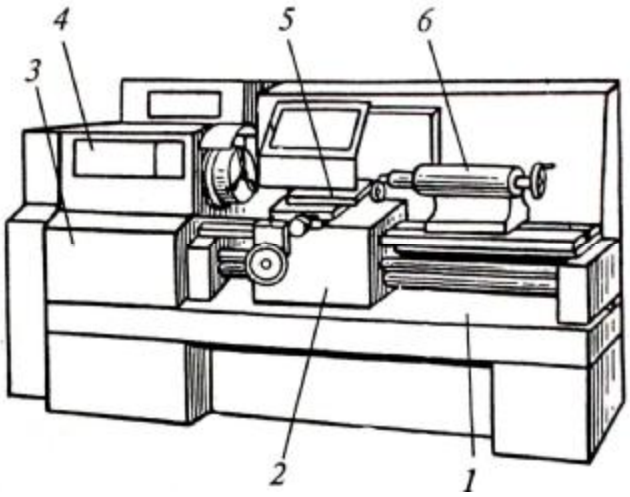


Рис. 17. Токарно-винторезный станок (основные узлы): *1* – станина; *2* – фартук; *3* – коробка подач; *4* – передняя бабка; *5* – резцовая каретка; *6* – задняя бабка

Процесс резания осуществляется на токарных станках различного назначения (токарно-винторезных, токарно-револьверных, лоботокарных, токарно-карусельных и др.). Заготовки закрепляются в кулачковых патронах, на планшайбах, на оправках или в центрах различных конструкций и приводятся во вращение.

На рис. 17-20 показаны универсальные токарно-винторезные станки, на которых можно выполнять разнообразные операции при единичном и серийном типах производства.

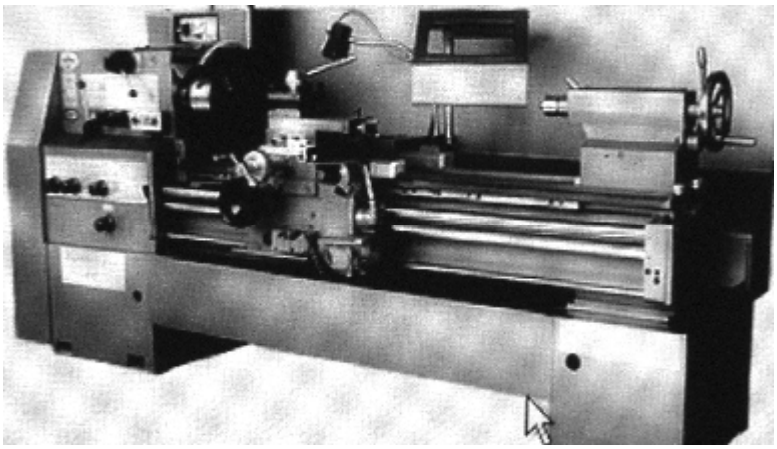


Рис. 18. Современный токарно-винторезный станок

Токарно-револьверные станки (рис. 21) применяются в серийном производстве деталей сложной формы, для формирования которых требуется несколько инструментов.

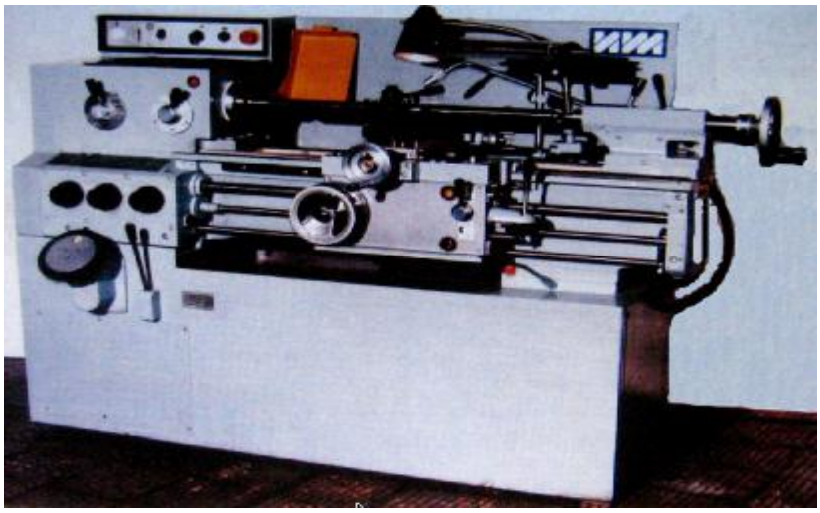


Рис. 19. Универсальный токарно-винторезный
станок 250ИТВМ01

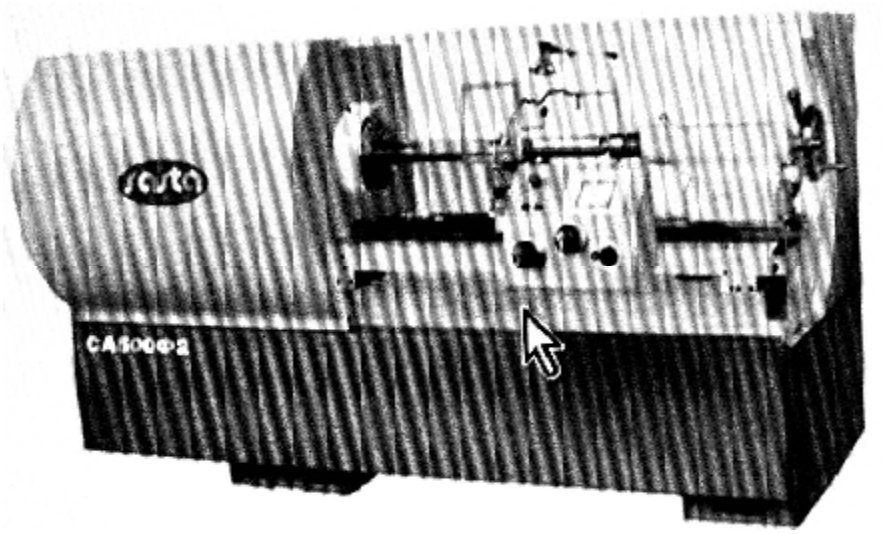


Рис. 20. Универсальный токарный станок
СА 500Ф2 с оперативной системой управления

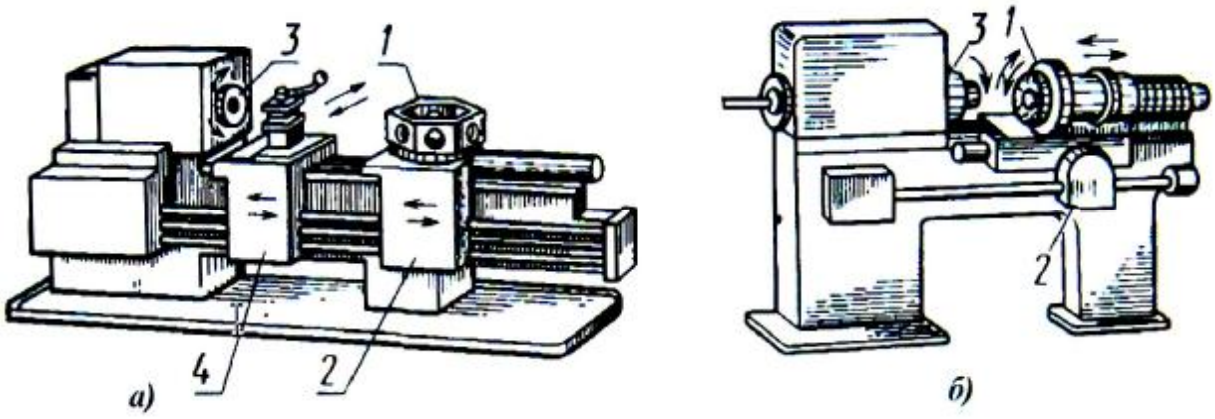
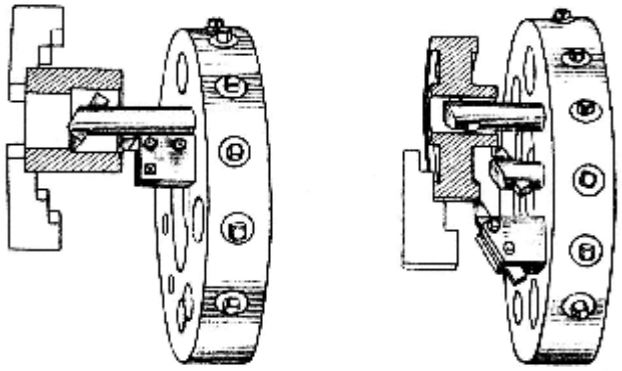


Рис. 21. Токарно-револьверные станки: *а* – с вертикальной осью вращения
револьверной головки (*1* – револьверная головка; *2* – суппорт продольный; *3* – патрон;
4 – суппорт поперечный); *б* – с горизонтальной осью вращения револьверной головки
(*1* – револьверная головка; *2* – суппорт продольный; *3* – патрон)

Наружные поверхности обрабатываются резцами, а внутренние – резцами, сверлами, развертками зенкерами, зенковками, метчиками и т.п. Все инструменты устанавливаются в гнездах поворотной револьверной головки *1*, размещенной на продольном суппорте *2*, и при наладке станка выставляются в необходимое положение относительно чистовой контактной базы. При повороте (индексировании) головки инструменты последовательно вводятся в работу. Скорость вращения шпинделя *3* и величина подачи автоматически изменяются в соответствии с видом операций. Резцы для обработки наружных поверхностей (торцевание, прорезка, отрезка и др.) крепятся также в резцедержателе суппорта *4*, получающего продольное и поперечное перемещения.



а) *б)*

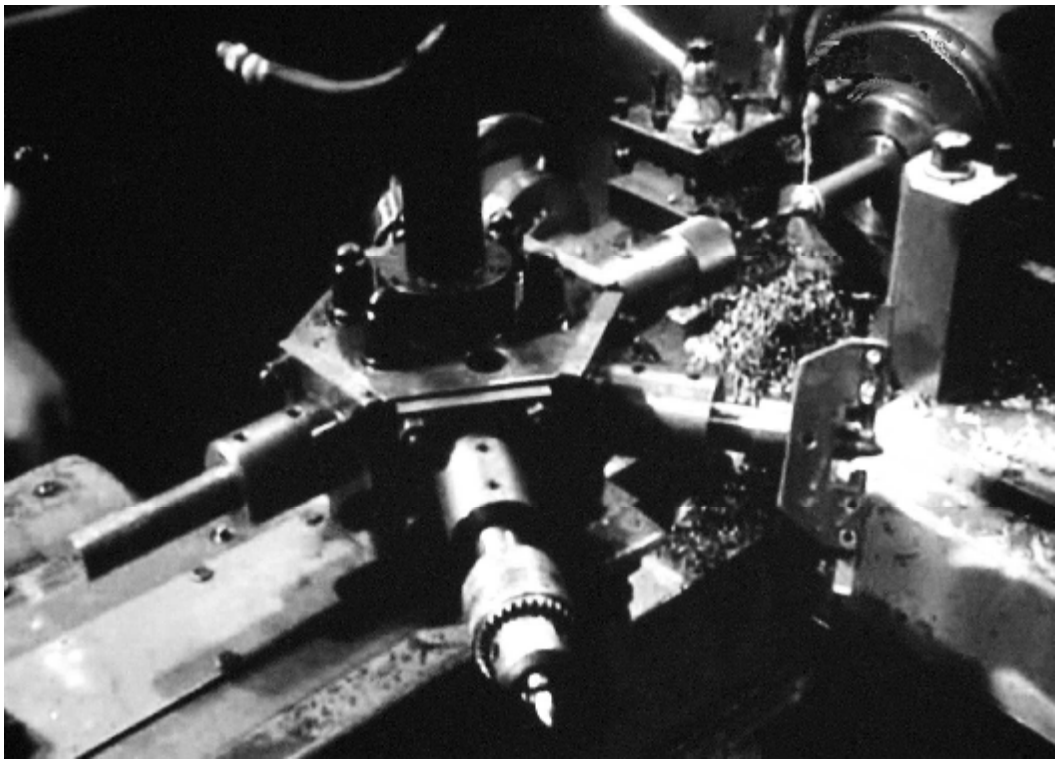
Рис. 22 . Наладки инструментов токарно-револьверного станка с горизонтальной осью вращения головки: *а* – растачивание отверстия и снятие фаски; *б* – растачивание отверстия и снятие фасок на ступице и ободе

Станки с горизонтальной осью вращения револьверной головки (рис. 22) менее распространены. Головки могут иметь до 16 гнезд под инструмент; их применяют в легких и средних станках. При необходимости отрезке детали от прутка поперечная подача осуществляется за счет медленного поворота револьверной головки.

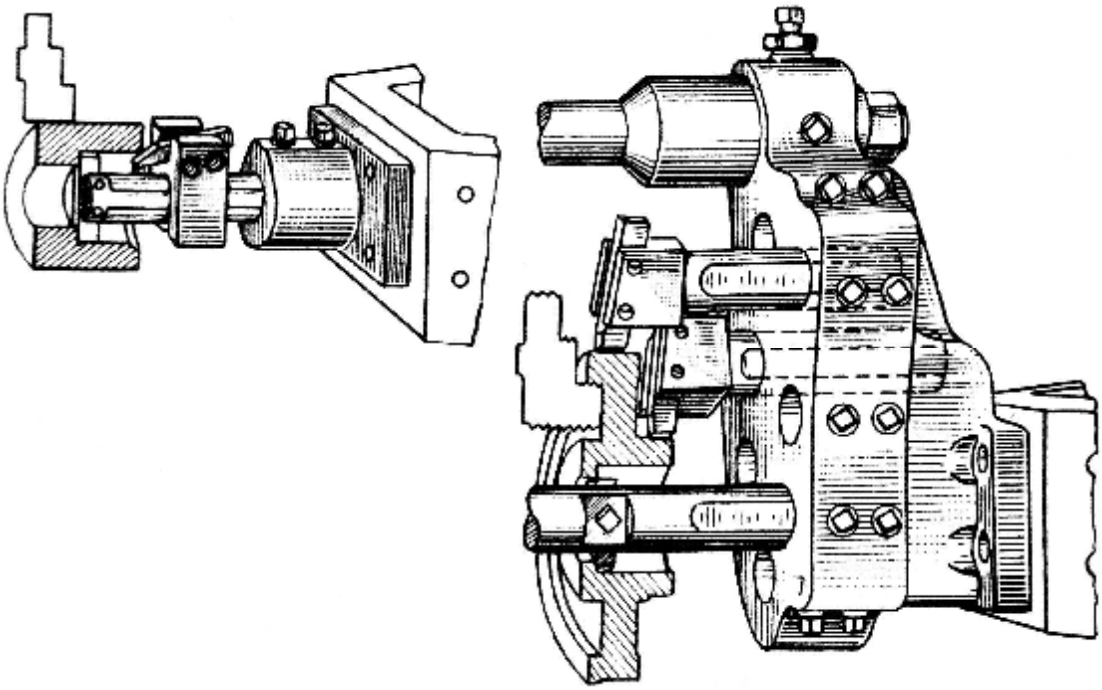
Станки, у которых револьверная головка имеет вертикальную ось вращения (рис. 23), более универсальны.

В зависимости от вида обрабатываемой заготовки револьверные станки могут быть «прутковыми» и «патронными». На первых заготовкой служит пруток различного профиля, проходящий через центральное отверстие в шпинделе; его зажим и подача осуществляются с помощью специальных устройств с механическим, пневматическим или гидравлическим приводом. В станках второго типа штучная заготовка зажимается в патроне, закрепленном на переднем конце шпинделя.

Токарно-револьверные станки значительно производительнее обычных токарных, так как в них существенно сокращается как вспомогательное время (за счет автоматической смены инструмента, предварительной настройки его на размер, автоматического изменения скоростей резания и подач, автоматической подачи и зажима прутка), так и основное (за счет использования многоинструментальных державок, одновременной работы инструмента револьверной головки и поперечного суппорта).



а)



б) *в)*

Рис. 23. Наладки инструментов станков с вертикальной осью вращения головки:
а – общий вид; *б* – растачивание отверстий и снятия фаски; *в* – растачивания отверстия и обработки ступицы и обода заготовки зубчатого колеса

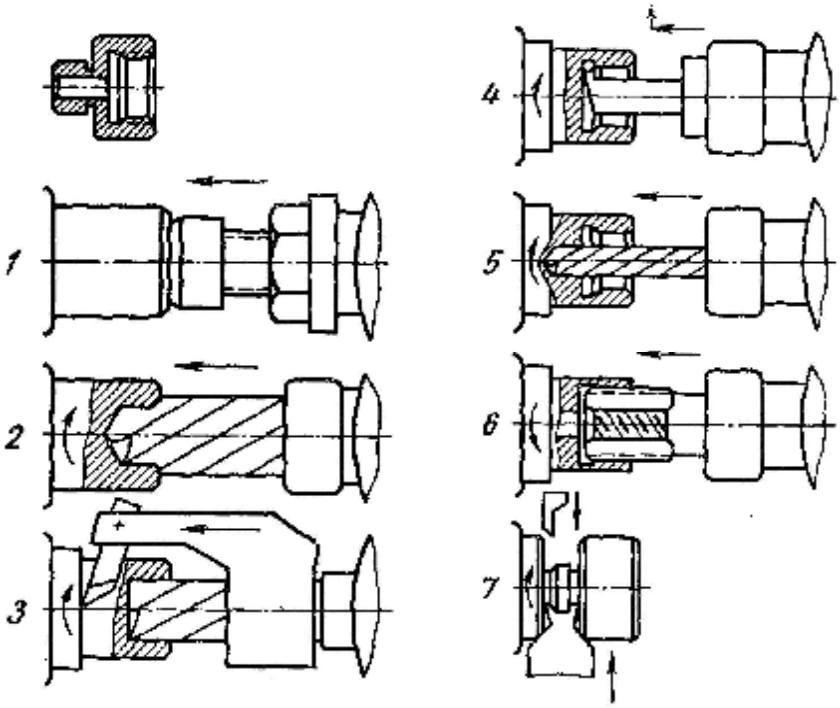


Рис. 24. План (последовательность) обработки детали на токарно-револьверном автомате с использованием поперечных и револьверного суппортов

На рис. 24 показана последовательность обработки детали типа накидной гайки на токарно-револьверном автомате за семь переходов: подача материала на требуемую длину, зацентровка и сверление ступенчатым сверлом, зенкерование и наружная обточка, проточка внутренней канавки при радиальной подаче резца поперечным суппортом, сверление отверстия, нарезание резьбы метчиком, обтачивание хвостовика фасонным резцом (закрепленным на поперечном суппорте). После каждого перехода револьверная головка поворачивается для установки нового инструмента на рабочую позицию.

Крупногабаритные детали сложной конфигурации обрабатывают на карусельных станках. На одностоечных токарно-карусельных станках (рис. 25) деталь устанавливается на планшайбе *2* (карусель), получающей вращательное движение от коробки скоростей *10*, расположенной в станине. По стойке перемещается траверса *7* с горизонтальными направляющими *6*. По ним двигается от коробки подач суппорт *5* с резцедержателем *4* револьверного типа. Кроме этого, станок имеет еще и боковой суппорт *11*, который используется, например, при прорезке канавок. Двухстоечные карусельные станки (рис. 26) предназначены для обработки больших по размерам заготовок (до 25 м) и отличаются высокой жесткостью за счет рамной компоновки. Два вертикальных суппорта перемещаются по направляющим поперечины, которая устанавливается при наладке по высоте за счет

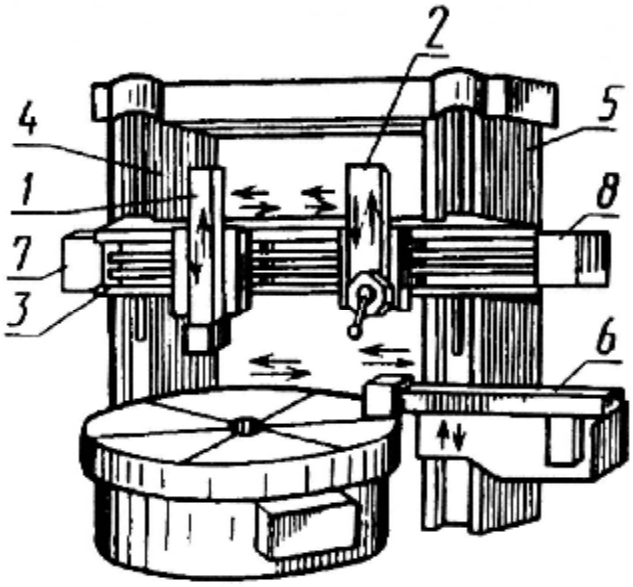


Рис. 26. Токарно-карусельный станок двухстоечный:
1, 2 – суппорты вертикальные; *4, 5* – стойки;
3 – поперечина; *6* – боковой суппорт; *7, 8* – коробки подач

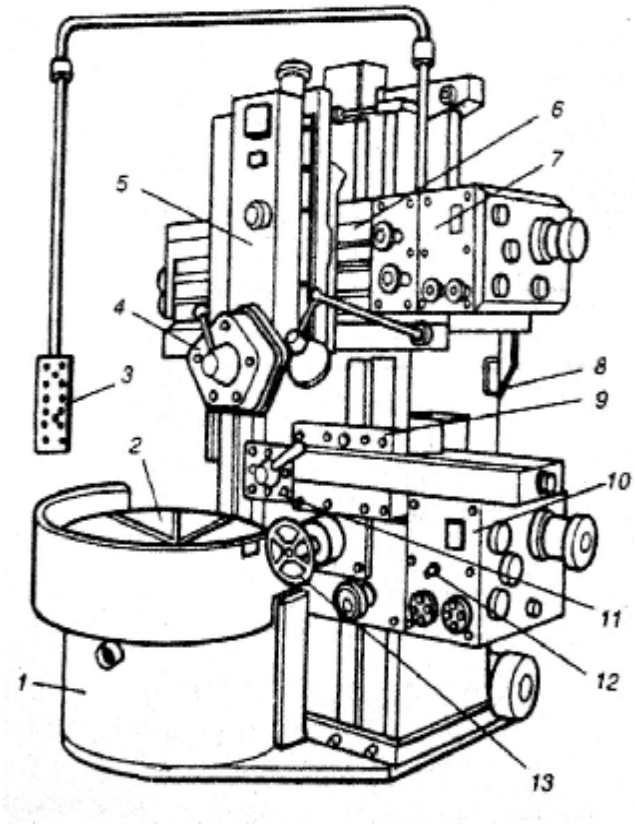


Рис. 25. Токарно-карусельный станок одностоечный: *1* – станина; *2* – планшайба; *3* – пульт управления; *4* – револьверная пятипозиционная головка; *5* – суппорт; *6* – траверса; *7, 12* – коробки подач; *8, 13* – маховички; *9* – стойка; *10* – суппорт боковой; *11* – резцедержатель четырехпозиционный

перемещения по направляющим стоек. Станки могут оснащаться также одним или двумя боковыми суппортами. Это позволяет одновременно выполнять несколько операций (рис. 27).

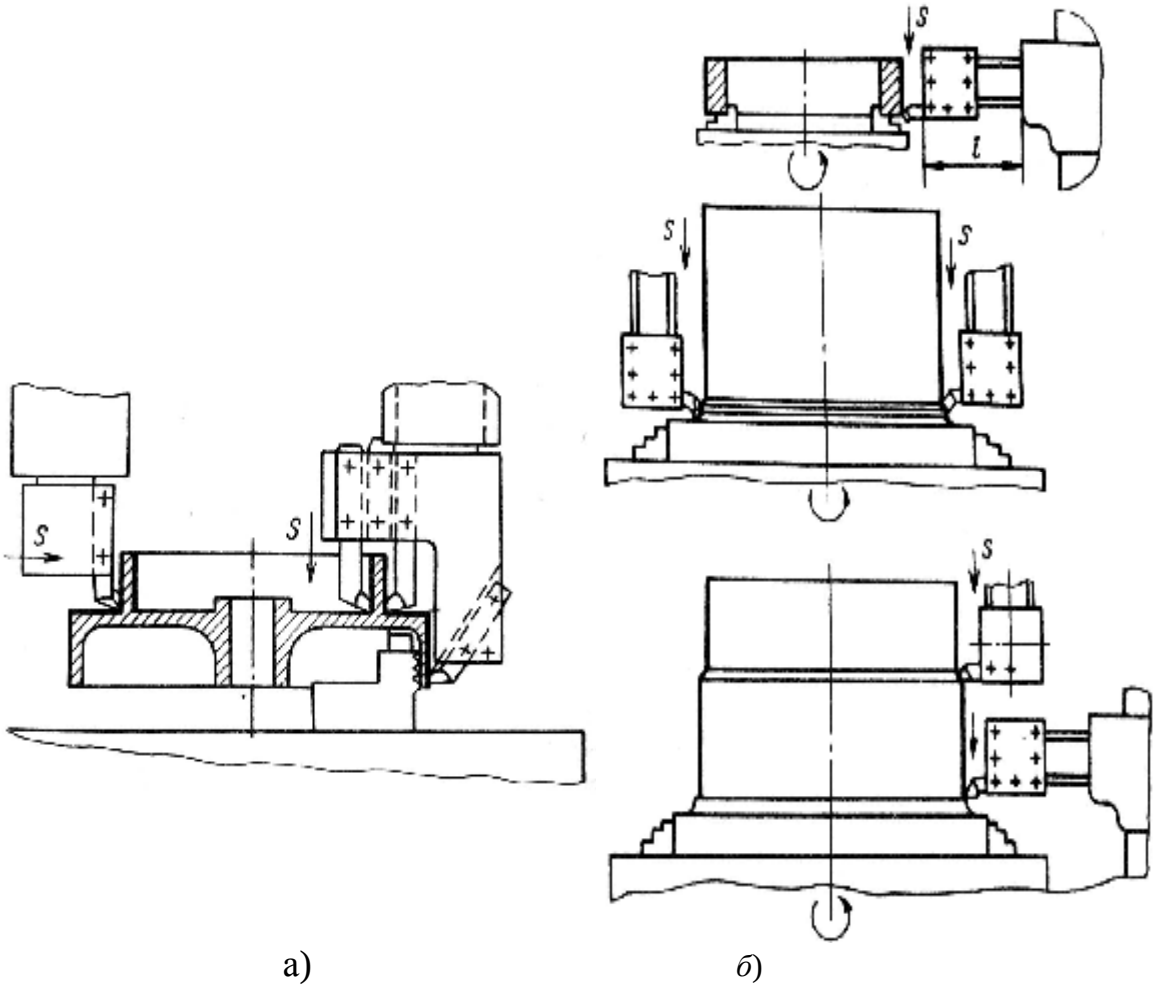


Рис. 27. Схемы многоинструментальной обработки крупногабаритной заготовки (*а*) и обтачивания цилиндрических поверхностей (*б*)

Для обработки крупногабаритных деталей и узлов строятся уникальные станки, например, станки моделей « Leonard» L-70 (рис. 28) (диаметр над столом от 3000 до 6000 мм, вес заготовки – до 50 т.) или модели «Cybermill» компании «Safop» (рис. 29) (расстояние между центрами от 2 до 6 м, диаметр точения до 1000 мм).

Для обработки заготовок большого диаметра с небольшой относительной высотой используются лоботокарные станки. Они имеют планшайбу, на которой заготовки могут закрепляться для расточки эксцентрично расположенных отверстий или точения смещенных относительно центра бобышек.

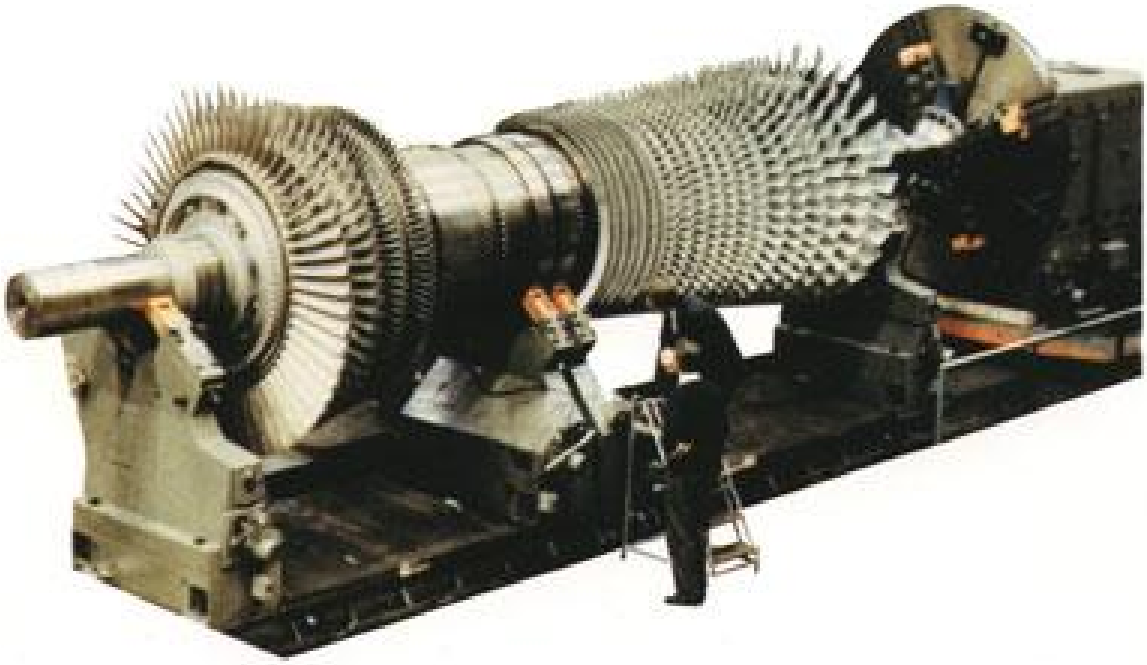


Рис. 28. Тяжелый горизонтальный токарный станок

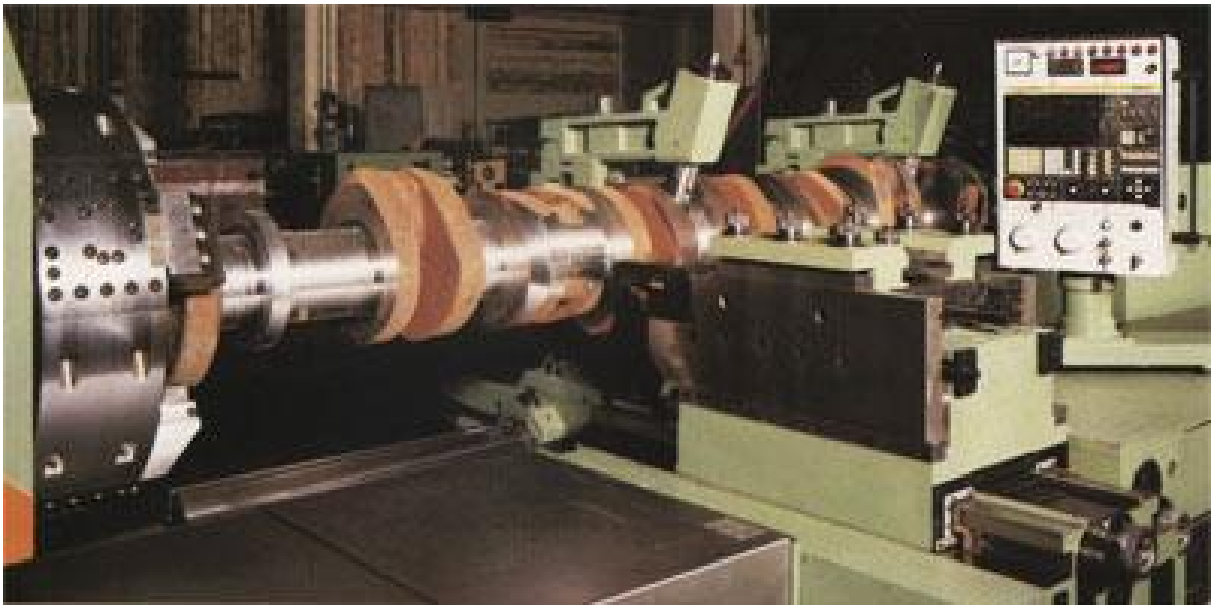


Рис. 29. Тяжелый токарный станок. Обработка коленчатого вала судового двигателя

4. СПОСОБЫ И ИНСТРУМЕНТ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

Отверстия с различной формой боковой поверхности обрабатывают ***сверлами***, ***зенкерами***, ***развертками*** и ***метчиками***.

1. ***Сверла*** по конструкции и назначению подразделяют на спиральные (рис. 30), центровочные (рис. 31) и специальные (рис. 32). Наиболее распространенный для сверления и рассверливания инструмент – спиральное сверло, состоящее из рабочей части, шейки (с проточкой или без проточки), хвостовика и лапки (оформленной в виде лыски). На рабочей части сверла различают режущую коническую (с определенным углом заточки) или режущую фасонную часть (исключающую вырыв материала и деформацию заготовки) и направляющую часть с винтовыми канавками. Сверло спиральное служит для сверления отверстий в сплошном материале и рассверливания уже имеющихся отверстий.

При обработке некоторых материалов применяются сверла специальных конструкций (см. рис. 32), исключающие скол кромок отверстий.

Центровочные сверла предназначены для обработки центровых отверстий с предохранительной фаской (см. рис. 31, *в*) и без фаски (см. рис. 31, *а*, *б*, *г*).

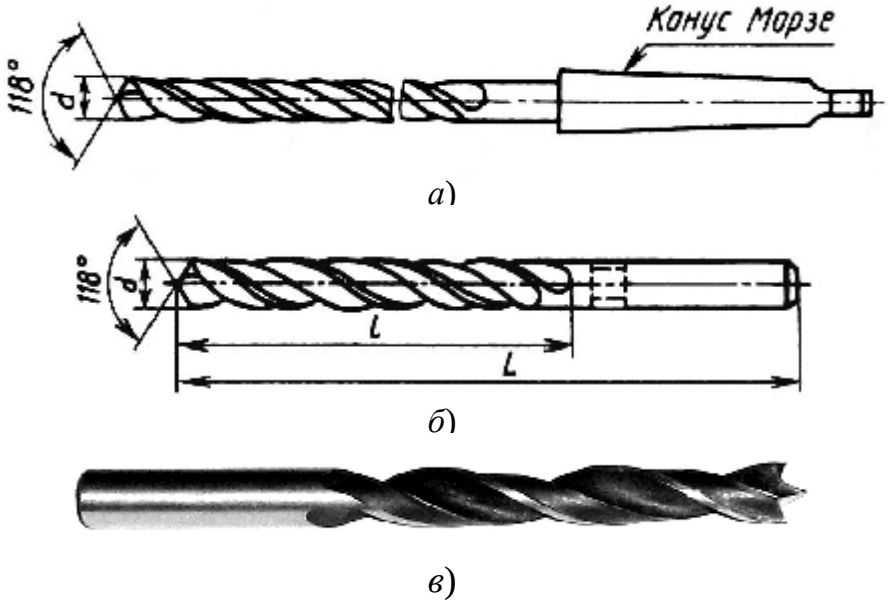


Рис. 30. Конструкции сверл: *а* – спиральное с коническим хвостовиком (для металла); *б* – спиральное с цилиндрическим хвостовиком (для металла); *в* – спиральное с цилиндрическим хвостовиком для сверления дерева, пластмасс, гипсокартона

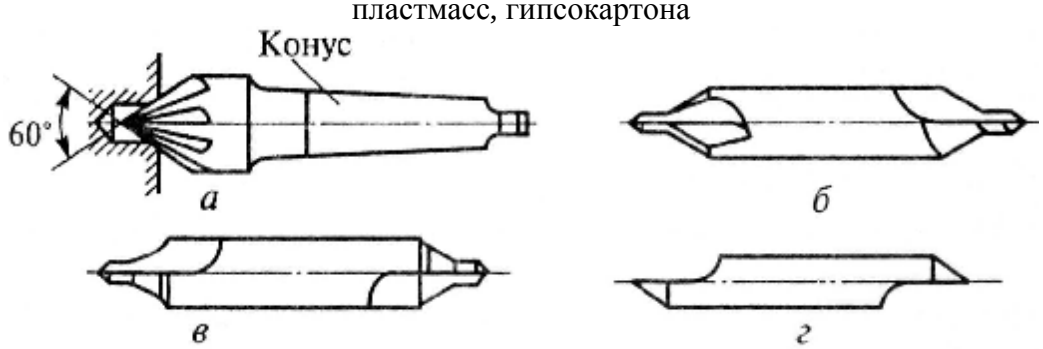


Рис. 31. Центровочные сверла: *а* – многозубая зенковка; *б* – комбинированное сверло; *в* – комбинированное сверло с предохранительной фаской; *г* – однозубая зенковка

Рис. 32. Конструкции сверл: клинообразное и трубчатое (с напыленной алмазной крошкой) для сверления керамики и стекла

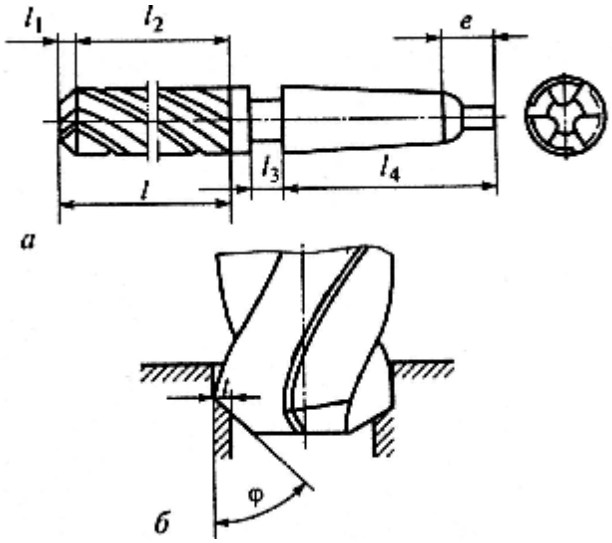
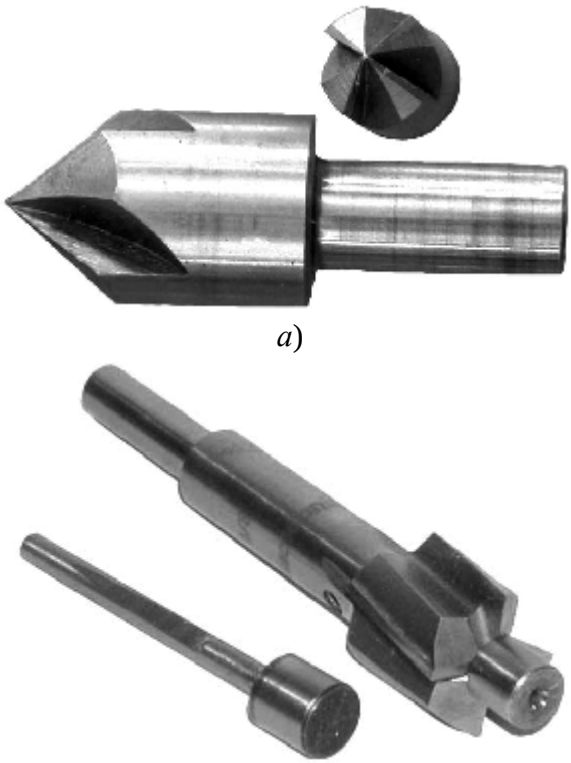


Рис. 33. Зенкер: *а* – элементы: l – рабочая часть; l_1 – режущая часть; l_2 – калибрующая часть; l_3 – шейка; l_4 – хвостовик; e – лапка



а)

б)

Рис. 34. Зенковки: *а* – конические; *б* – торцовые

2. ***Зенкерами*** и ***зенковками*** обрабатывают отверстия в литых или штампованных заготовках, предварительно просверленные отверстия. Отличие зенкера (рис. 33) от сверла состоит в том, что у него отсутствует поперечная режущая кромка и он имеет не две, а три или четыре режущие кромки (зуба). Это обеспечивает получение более высокой производительности и чистоты по сравнению с рассверливанием. Режущая часть выполняет основную работу резания.

Зенковки (рис. 34) предназначены для обработки конических и цилиндрических отверстий под головки стержневых деталей.

3. ***Развертками*** (рис. 35, 36) окончательно обрабатывают отверстия после сверления или зенкерования. По форме обрабатываемого отверстия различают сплошные цилиндрические и конические развертки, а также развертки со вставными режущими пластинами. Развертки имеют до 12 режущих кромок, расположенных на режущей части *1* с направляющим конусом (рис. 35). Калибрующая часть *2* направляет развертку в отверстии

и обеспечивает высокую точность размера и малую шероховатость поверхности.

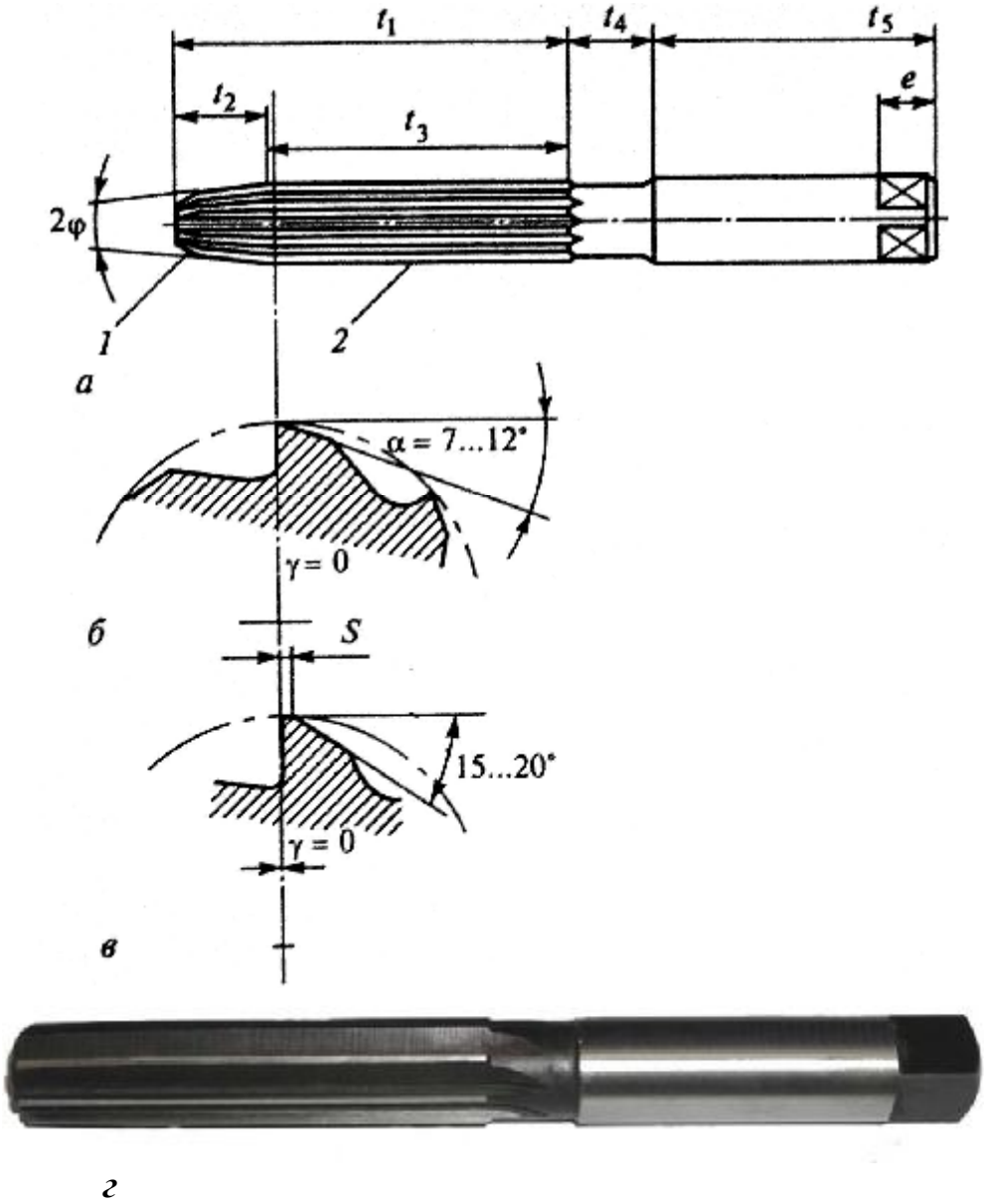


Рис. 35. Развертка цилиндрическая: *а* – элементы развертки: l_1 – рабочая часть; l_2 – режущая часть; l_3– калибрующая часть; l_4 – шейка; l_5 – хвостовик; *е* – квадрат; *б* – зубья в поперечном сечении (режущая часть); *в* – зубья в поперечном сечении (калибрующая часть); *s* – ленточка; *г* – развертка цилиндрическая

4. ***Метчики*** применяют для нарезания внутренних резьб. Метчик (рис. 37) представляет из себя винт с заходным конусом (с углом при вершине $2j$) и прорезанными прямыми или винтовыми канавками, образующими режущие кромки. Рабочая часть метчика l имеет режущую l_1 и калибрующую l_2 части. Профиль резьбы метчика должен соответствовать профилю нарезаемой резьбы.

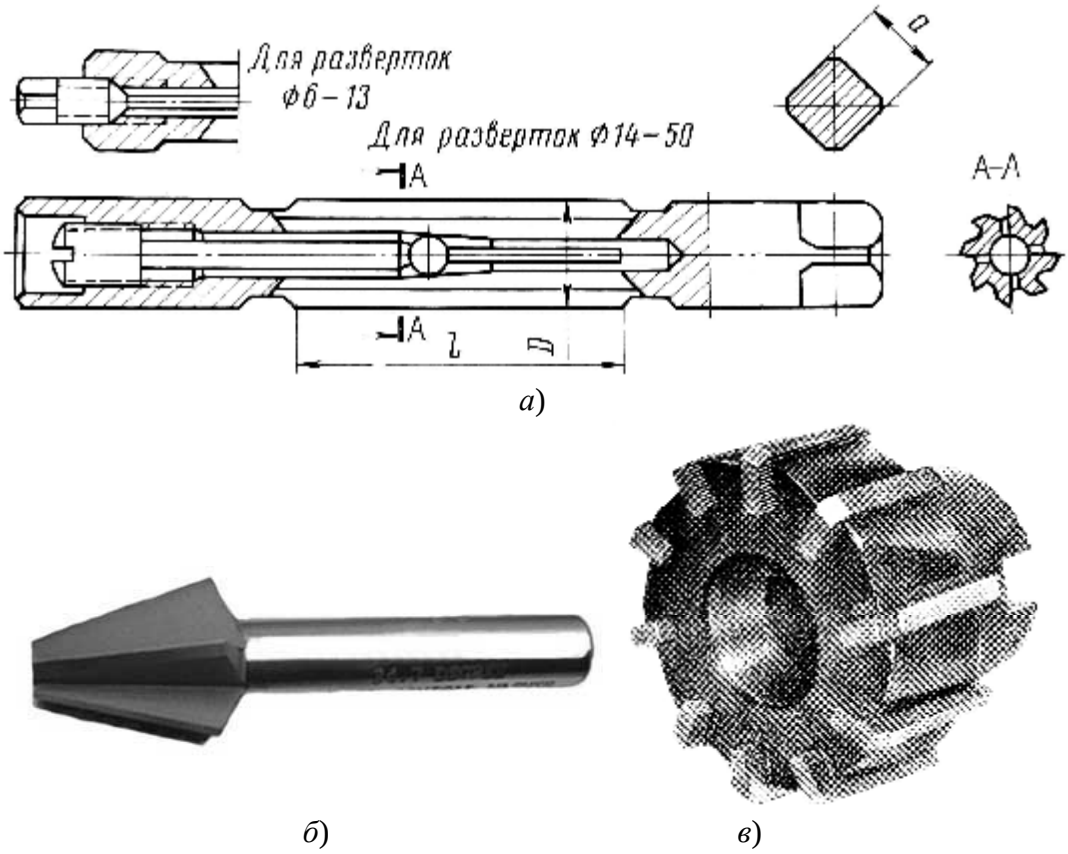


Рис. 36. Развертки: *а* – ручная разжимная; *б* – коническая; *в* – машинная насадная со вставными ножами из быстрорежущей стали

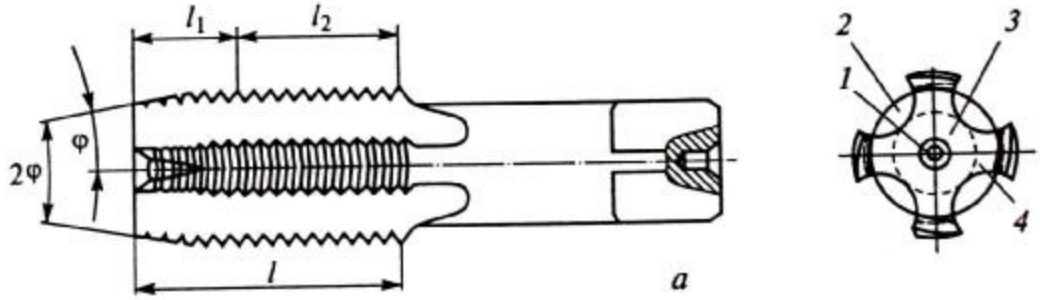


Рис. 37. Метчик для нарезания внутренней резьбы: *1* – центровое отверстие; *2* – канавки; *3* – сердцевина; *4* – зуб

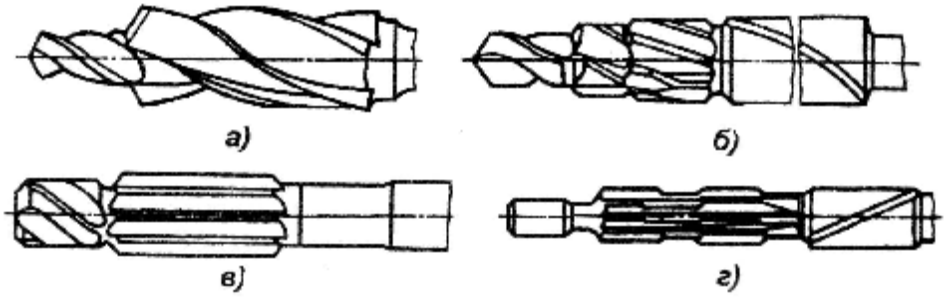


Рис. 38. Комбинированные инструменты: *а* – сверло – зенкер; *б* – сверло – зенкер – развертка; *в* – зенкер – развертка; *г* – развертка – развертка

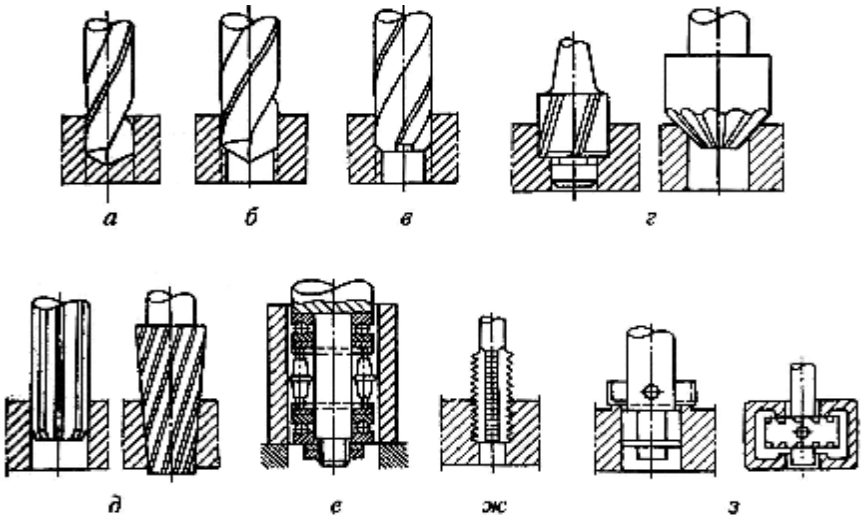


Рис. 39. Виды обработки отверстий в заготовках: *а* – сверление; *б* – рассверливание; *в* – зенкерование; *г* – зенкование; *д* – развертывание; *е* – раскатывание; *ж* – нарезание внутренней резьбы; *з* – подрезание (цекование) торцев

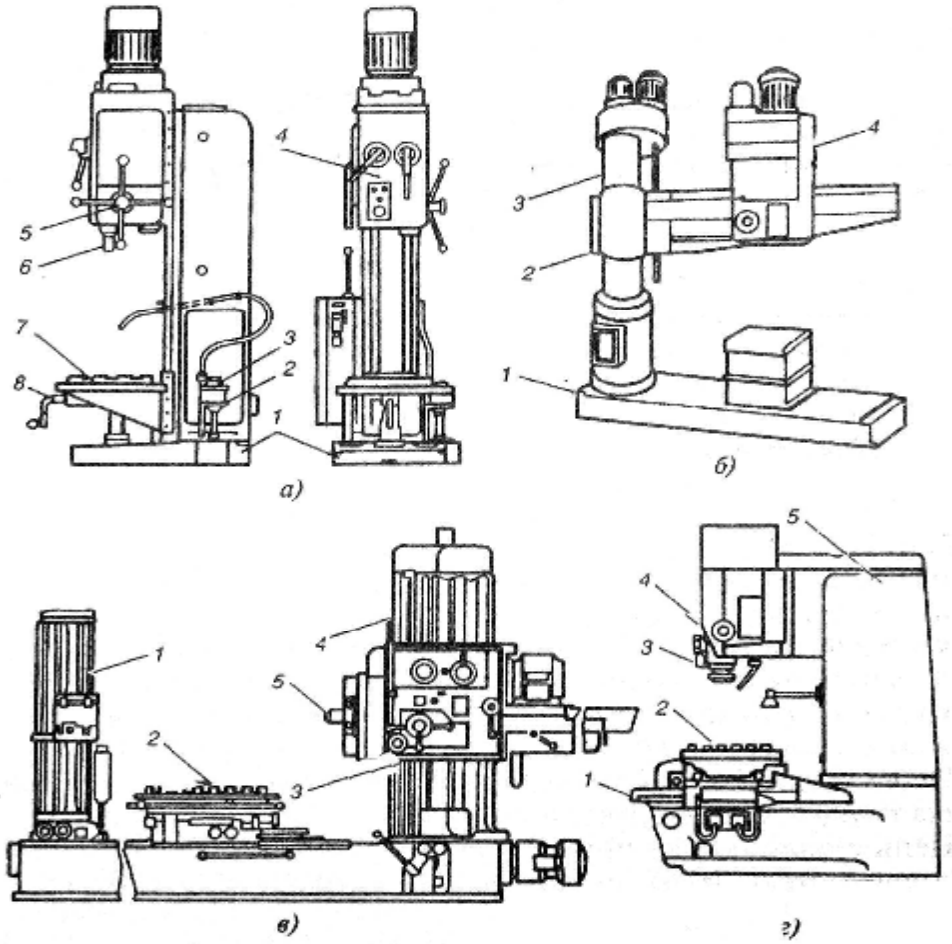


Рис. 40. Станки сверлильно-расточной группы: *а* – вертикально-сверлильный (*1* – станина; *2* – насос; *3* – фильтр; *4* – головка сверлильная; *5* – рукоятка; *6* – шпиндель; *7* – стол; *8* – привод подъема стола); *б* – радиально-сверлильный (*1* – станина; *2* – траверса поворотная; *3* – колонна; *4* – головка сверлильная); *в* – горизонтально-расточной (*2* – суппорт с поворотным столом; *3* – бабка шпиндельная; *4* – стойка; *5* – шпиндель расточной); *г* – координатно- расточной (*1* – крестовый стол; *2* – стол; *3* – контрольное устройство; *4* – головка шпиндельная; *5* – станина)

5. ***Цековками*** обрабатывают торцовые поверхности отверстия для достижения перпендикулярности к оси отверстия.

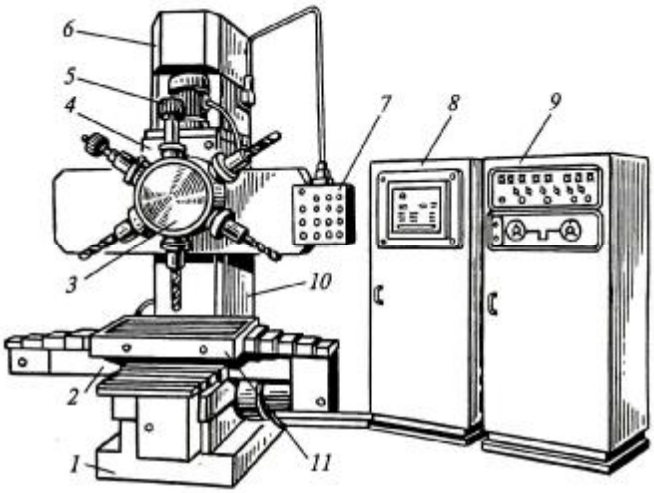


Рис. 41. Станок вертикально-сверлильный с ЧПУ:*1* – основание; *2* – стол крестовый; *3* – головка револьверная; *4* – стойка; *5* – инструмент; *6* – электродвигатель поворота револьверной головки; *7* – пульт управления; *8* – шкаф электрооборудования; *9* – шкаф с ЧПУ

6. Комбинированным инструментом (рис. 38) за один проход сверлят, рассверливают, зенкеруют, развертывают отверстия (в различной последовательности).

Сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание, цекование, зенкование, нарезание резьбы (рис. 39) выполняют на сверлильных (рис. 40, *а*, *б*, рис. 41), расточных (рис. 40, *в*, *г*), агрегатных (рис. 42), фрезерных, токарных и др. станках.

Приспособления для закрепления инструментов на сверлильных станках показаны на рис. 43.

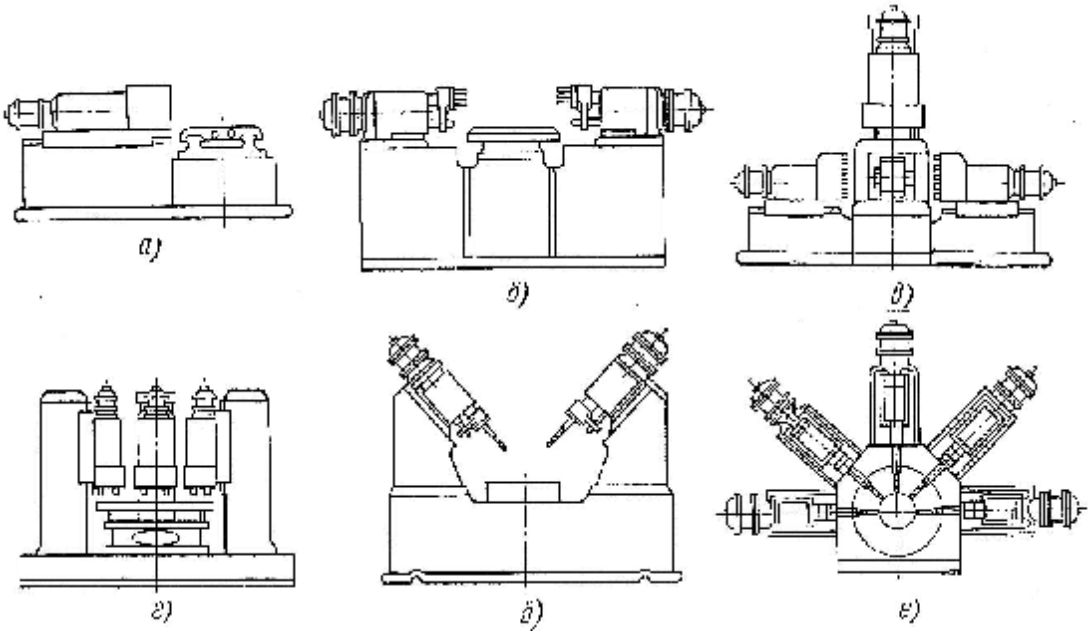


Рис. 42 . Схемы компоновки агрегатных станков

Для одновременного (параллельного) выполнения многошпиндельной и многосторонней обработки с несколькими технологическими переходами предназначены агрегатные станки, создаваемые на базе стандартных узлов: станин, стоек, кронштейнов, делительных столов, коробок скоростей, силовых головок и других элементов станков различных типов.

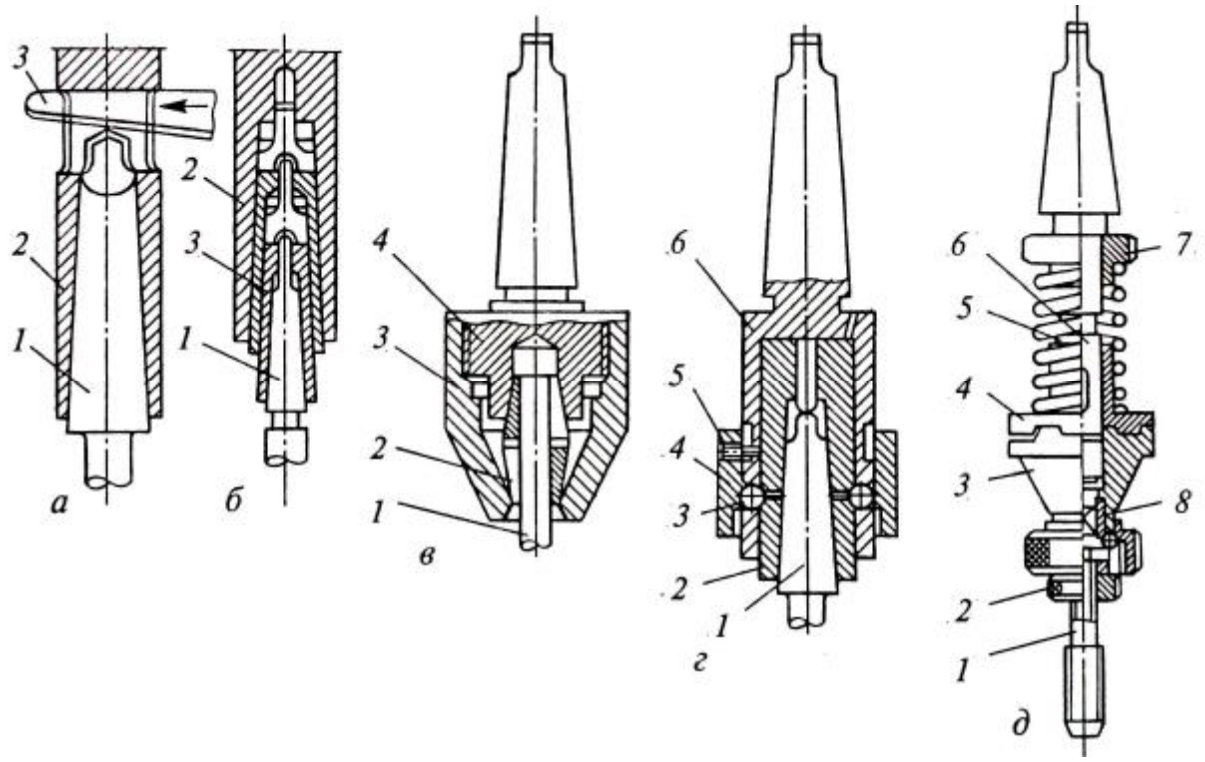


Рис. 43. Приспособления для закрепления на сверлильных станках: *а, б* – инструментов с коническим хвостовиком (*1* – инструмент; *2* – шпиндель; *3* – клин); в - инструментов с цилиндрическим хвостовиком (*1* – инструмент; *2* – цанга; *3* – гайка; *4* – корпус); *г* – быстросменный патрон (*1* – инструмент; *2* – втулка; *3* – шарики; *4* – кольцо; *5* – винт стопорный; *6* – корпус); *д* – реверсивный патрон (*1* – инструмент; *2* – гайка; *3, 4* – полумуфты; *5* – пружина; *6* – оправка; *7* – гайка)

Возможности агрегатных станков обусловлены их компоновкой, предусматривающей размещение силовых головок с индивидуальными приводами вокруг стационарных или вращающихся столов. Силовые головки могут быть одно- или многошпиндельными, т.е. производить одновременно несколько операций; наличие поворотных столов с позициями загрузки позволяет совмещать вспомогательное время на снятие и установку заготовок с машинным временем.

На агрегатных станках производятся операции сверления, зенкерования, развертывания, растачивания отверстий, точения гладких и ступенчатых поверхностей, нарезания наружных и внутренних резьб, фрезерования лысок, пазов и т.д.

Компоновка агрегатных станков зависит от габаритов обрабатываемой детали, выполняемых операций, требуемой производительности и технико-экономических показателей.

При назначении режима сверления отверстий в сплошном материале за глубину резания (t, мм) принимают половину диаметра сверла:

$$T = D/2,$$

а при рассверливании

$$t = (D - d)/2,$$

где d – диаметр обрабатываемого отверстия, мм (рис. 44); за скорость резания при сверлении принимают окружную скорость точки режущей кромки, наиболее удаленной от оси сверла.

Скорость резания связана с диаметром сверла и частотой его вращения зависимостью:

$$V = p\,D\,n\,/\,1000,$$

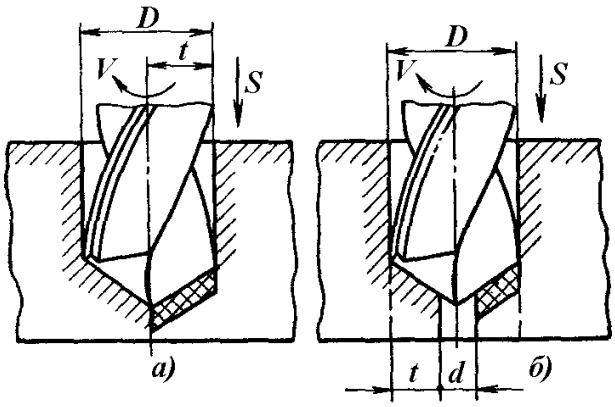


Рис. 44. Схемы сверления (*а*) и рассверливания (*б*)

где D – наружный диаметр сверла, мм; n – частота вращения сверла, об/мин.

Скорость резания при сверлении назначается по эмпирической зависимости:

$$V = C \cdot \frac{D^q}{S^y \cdot T^m} \cdot K,$$

где C – коэффициент, учитывающий конкретные условия обработки (обрабатываемый материал, вид обработки, и т. д.); T – стойкость сверла, мин; коэффициент K определяется по формуле $K = K_1\,K_2\,K_3$, где K_1 – учитывает качество обрабатываемого материала; K_2 – учитывает вид инструментального материала; K_3 – учитывает глубину сверления. Значения коэффициентов K, C, и показателей степени q, y, m приводятся в справочниках.

При рассверливании, а также зенкеровании и развертывании скорость резания назначается по формуле, в которой учитывается глубина резания:

$$V = C \cdot \frac{D^q}{t^x \cdot S^y \cdot T^m} \cdot K.$$

При сверлении подачу на оборот назначают в зависимости от диаметра сверла и диаметра обрабатываемого отверстия D:

$$S = 0{,}02\,D.$$

Подача на зуб определяется по формуле:

$$S_z = S\,/\,z,$$

где z – число зубьев сверла.

Проверка элементов режима резания по мощности электродвигателя станка производится следующим образом.

Равнодействующую силы резания, действующей на отдельное режущее лезвие сверла, можно разложить по координатным осям на три составляющие: P_x, P_y и P_z. Составляющая P_x действует вдоль оси сверла. В этом же направлении действует сила P_n на поперечную режущую кромку, а также сила трения $P_л$ ленточки об обработанную поверхность.

Сумма указанных сил, действующих вдоль оси сверла, называется осевой силой P_o. Радиальные силы P_y, действующие на два лезвия сверла, взаимно уравновешивают друг друга, поскольку они равны по величине и про-

тивоположны по направлению. Крутящий момент $M_к$, преодолеваемый шпинделем станка, создается тангенциальной силой P_z, а вернее, парой сил, действующих на две режущие кромки сверла (рис. 45).

Значение осевой силы P_o, [Н] и крутящего момента $M_к$, [Н·м] определяют по эмпирическим формулам:

$$P_o = C_p \cdot D^x \cdot S^y \cdot K_p;\ M_K = C_м \cdot D^x \cdot S^y \cdot K_м,$$

где C_p, $C_м$ – постоянные коэффициенты, характеризующие обрабатываемый материал и условия резания; x, y – показатели степеней; K_p, $K_м$ – поправочные коэффициенты на измененные условия резания (отличные от табличных). Все показатели и коэффициенты определяются из справочников.

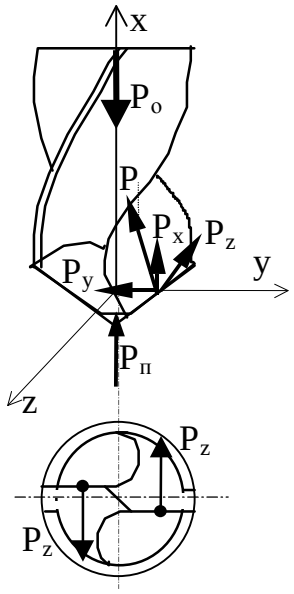


Рис. 45. Силы, действующие на сверло

Осевая сила и крутящий момент являются исходными данными для расчета сверла на прочность, а также узлов станка на жесткость.

Крутящий момент, кроме того, позволяет определить эффективную мощность, затрачиваемую на резание при сверлении:

$$N_e = M_к n / (60 \cdot 10^3).$$

Мощность электродвигателя станка потребуется большего значения с учетом КПД механизмов станка:

$$N_{эл} > N_e / h.$$

Нормирование сверлильной операции производится аналогично токарной операции и по тем же формулам.

5. СПОСОБЫ И ИНСТРУМЕНТ ОБРАБОТКИ ФРЕЗЕРОВАНИЕМ

Фрезерование – один из высокопроизводительных и распространенных методов обработки поверхностей заготовок многолезвийным режущим инструментом – фрезой.

Технологический метод формообразования поверхностей фрезерованием характеризуется главным вращательным движением инструмента и поступательным движением заготовки.

Цилиндрическое и торцовое фрезерование в зависимости от направления вращения фрезы и направления подачи заготовки можно осуществлять двумя способами: 1) против подачи (встречное фрезерование), когда направление подачи противоположно направлению вращения фрезы; 2) по подаче (попутное фрезерование), когда направления подачи и вращения фрезы совпадают.

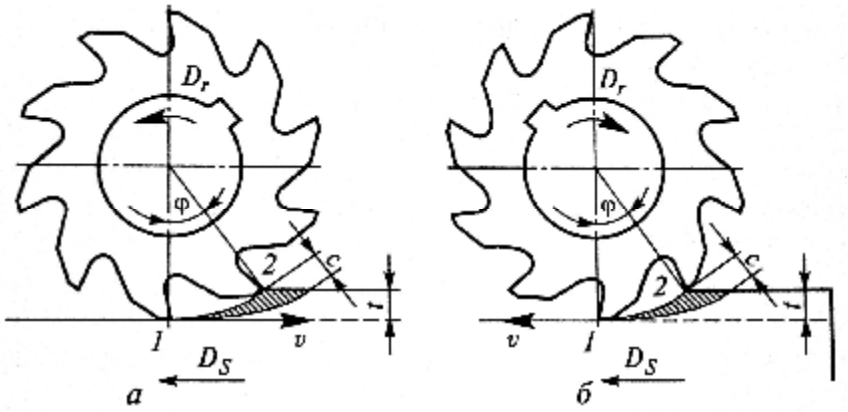


Рис. 46. Схемы фрезерования: *а* – встречного; *б* – попутного

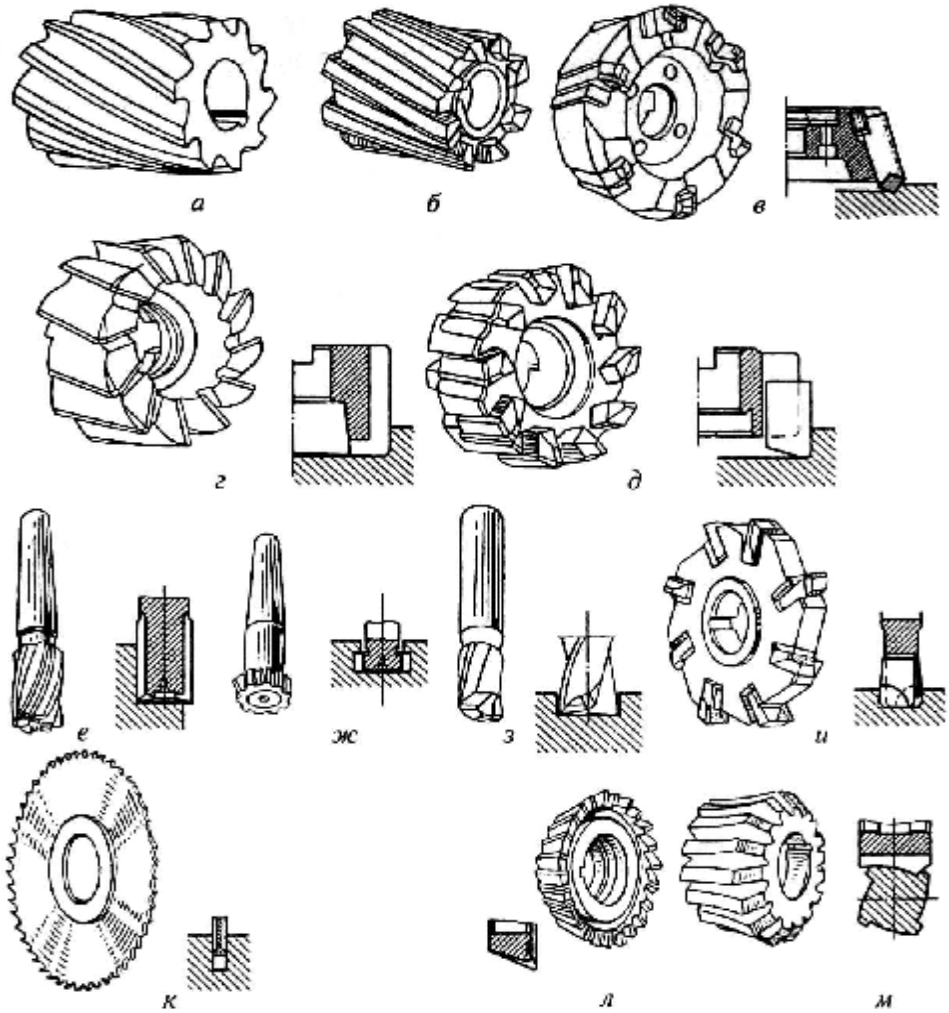


Рис. 47. Типы фрез: *а*, *б* – цилиндрические; *в*, *г*, *д* – торцовые; *е*, *ж* – концевые; *з* – шпоночные; *и* – дисковые; *к* – отрезные и прорезные; *л* – угловая; *м* – фасонная

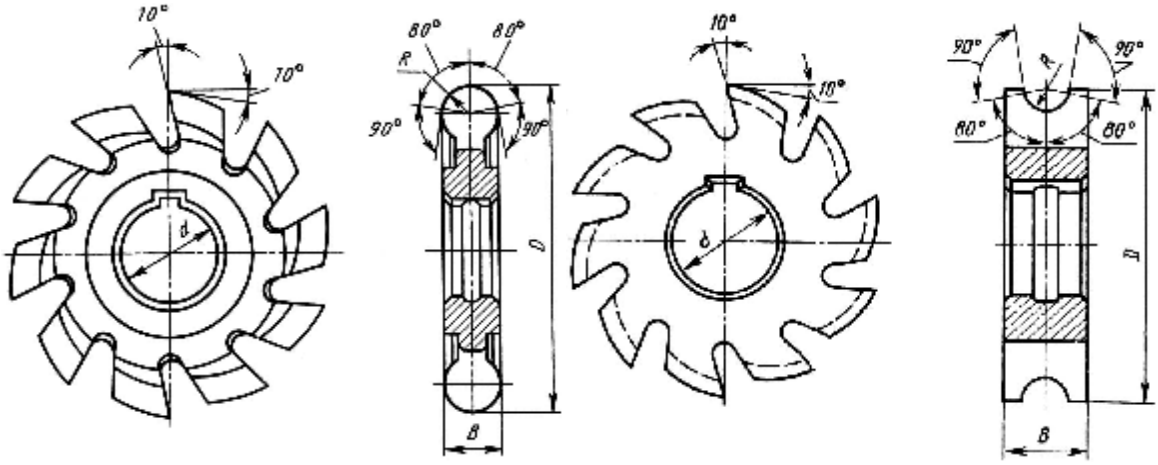
Преимуществом фрезерования против подачи (рис. 46, *а*) является работа зубьев фрезы «из-под корки», т.е. когда фреза подходит к твердому поверхностному слою снизу и отрывает стружку. При фрезеровании по подаче (рис. 46, *б*) зуб фрезы сразу начинает срезать слой максимальной толщины и подвергается максимальной нагрузке. Это исключает начальное

проскальзывание зуба, уменьшает износ фрезы и шероховатость обработанной поверхности. Сила, действующая на заготовку, прижимает ее к столу станка, что уменьшает вибрации.

Указанные особенности обуславливают целесообразность применения попутного фрезерования при чистовой, а встречного – при черновой обработке.

Обработку заготовок производят фрезами: цилиндрическими, торцовыми, концевыми, дисковыми, фасонными, червячными, резьбовыми, прорезными и др. (рис. 47, рис. 48, рис. 49). Фрезы изготавливаются цельными (рис. 47, *а*, *б*, *г*, *е*, *ж*, *з*, *к*, *л*, *м*; рис. 49) и сборными (рис. 47, *в*, *д*, *и*; рис. 48). Последние чаще всего оснащаются сменными режущими элементами (пластинами) из твердых сплавов или из сплавов Duratomic компании Seco (MP 1500, MP 2500, MK 1500, MK 3000).

Рис. 48. Торцовая фреза со вставками из сверхтвердых материалов



а) *б*)

Рис. 49. Фрезы фасонные для выполнения: *а* – канавок радиусных; *б* – выступов радиусных

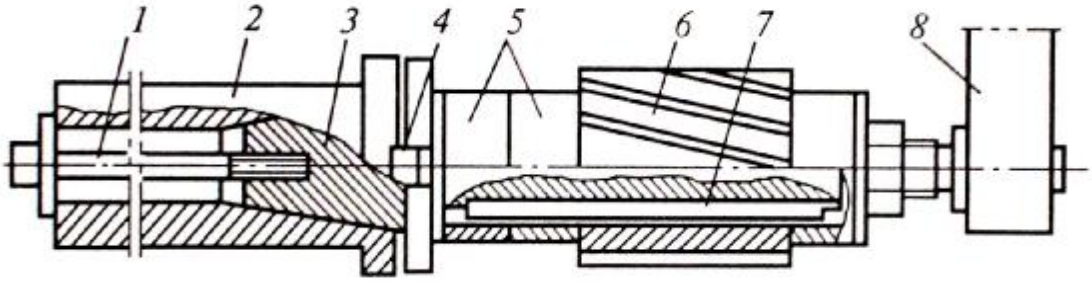


Рис. 50. Установка цилиндрической фрезы на длинной оправке: *1* – шомпол; *2* – шпиндель; *3* – оправка; *4* – сухарь; *5* – проставочные кольца; *6* – фреза; *7* – шпонка; *8* – подвеска [1]

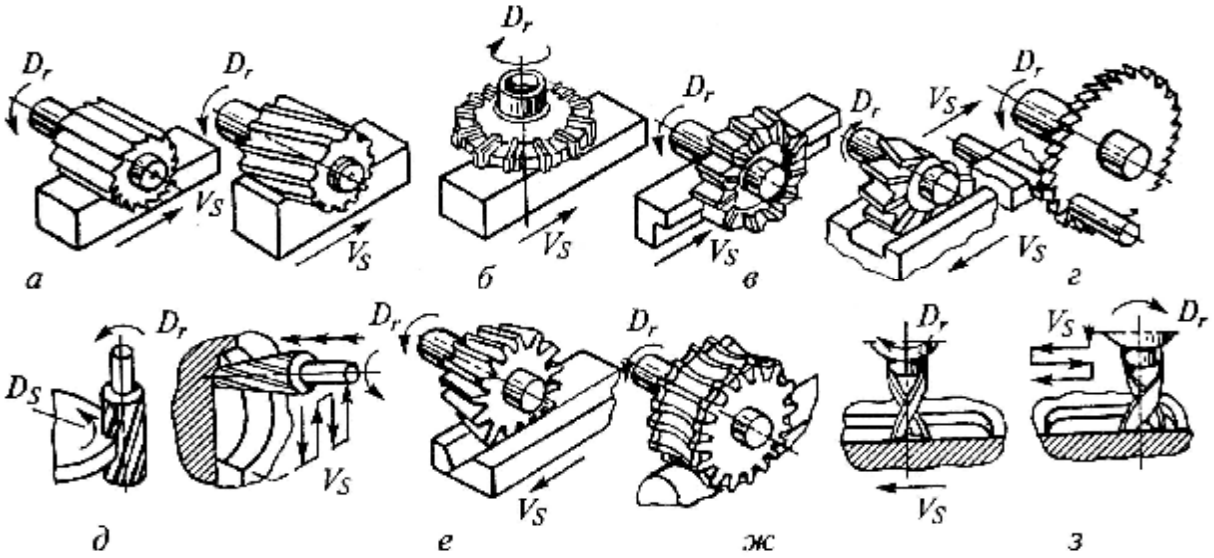


Рис. 51. Схемы обработки заготовок фрезерованием

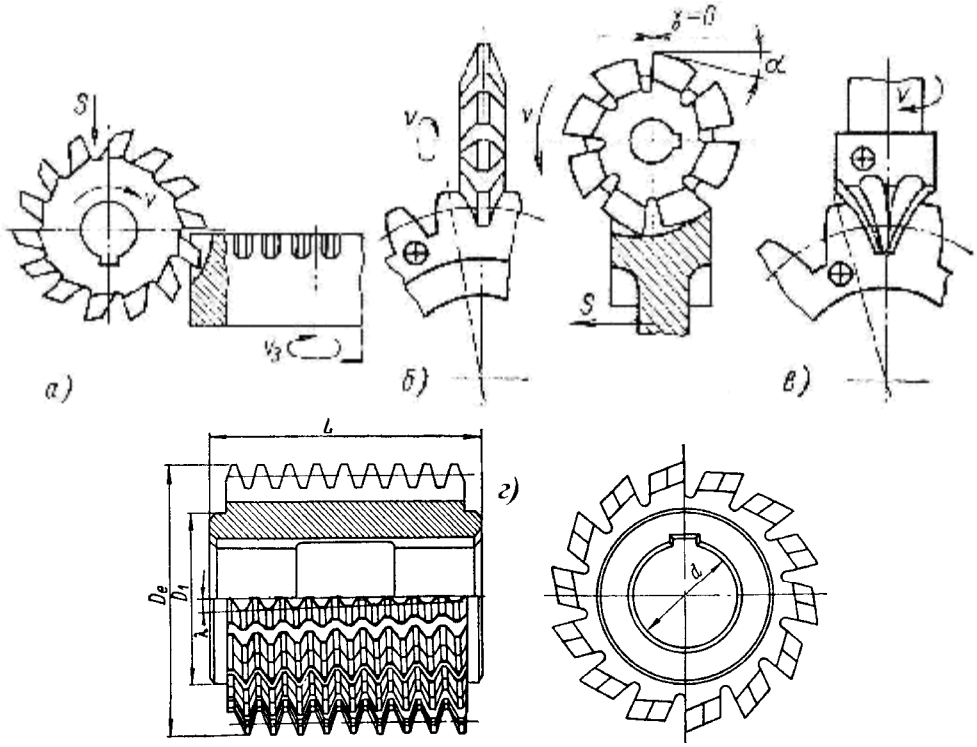


Рис. 52. Фрезы для нарезания зубчатых колес методом копирования:
а, *б* – дисковая модульная фреза; *в* – пальцевая модельная фреза;
методом обката: *г* – червячная модульная фреза

Фрезы закрепляются на станках в патронах (если имеют конические или цилиндрические хвостовики) или на оправках. Например, цилиндрические, дисковые фасонные фрезы устанавливаются так, как показано на рис. 50. Некоторые схемы обработки фрезерованием приведены на рис. 51. С помощью модульных фрез нарезают также зубчатые колеса методами копирования и обката (рис. 52).

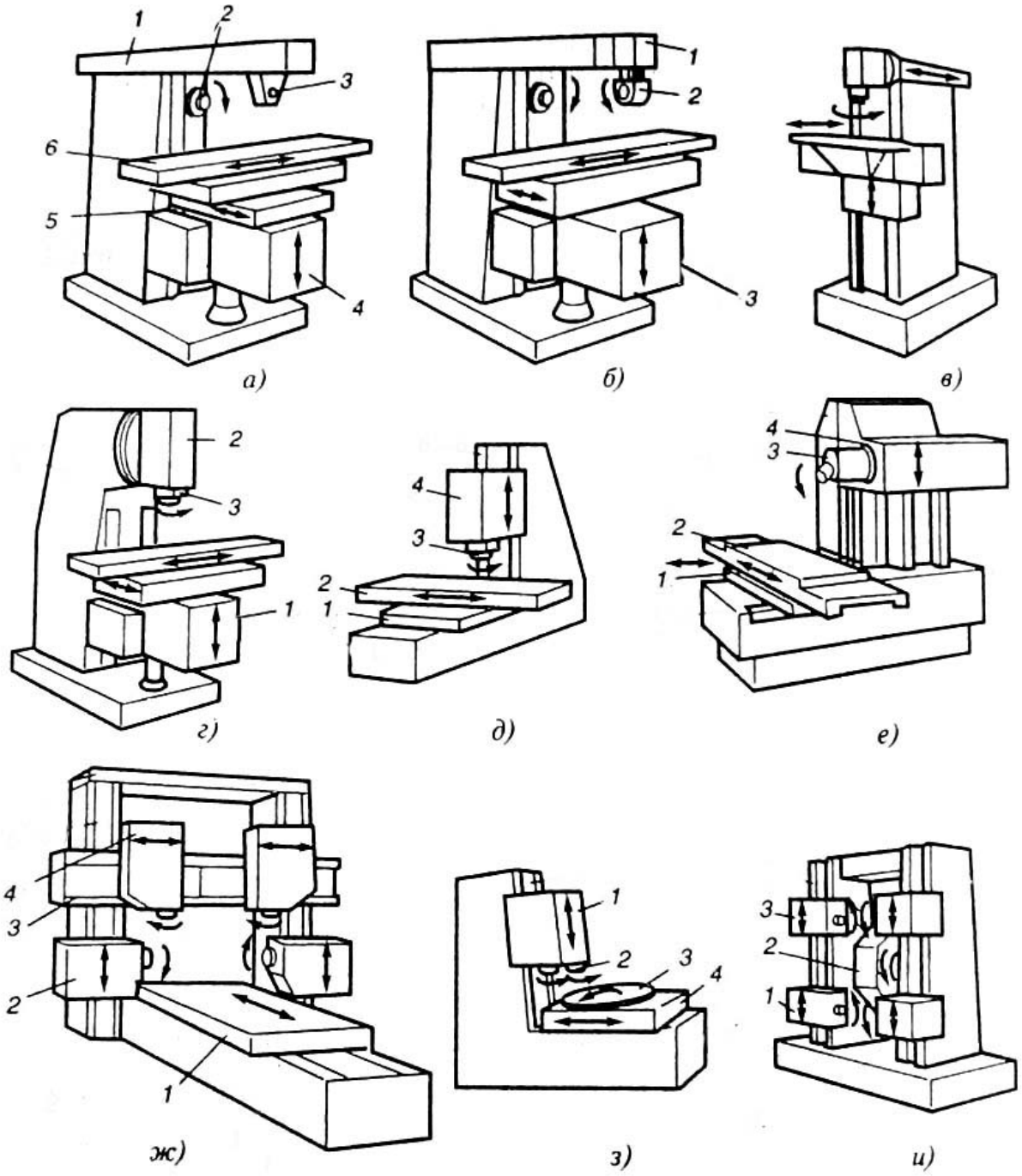


Рис. 53. Станки фрезерные: *а* –консольный горизонтально-фрезерный: *1* – хобот выдвижной, *2* – шпиндель горизонтальный, *3* – серьга-опора, *4* – консоль, *5* – салазки, *6* – стол; *б* - широкоуниверсальный горизонтально-фрезерный: *1* – головка шпиндельная, *2* – головка накладная, *3* – консоль; *в* – широкоуниверсальный бесконсольно-фрезерный; *г* – консольный вертикально-фрезерный: *1* – консоль, *2* – головка шпиндельная, *3* – шпиндель; *д* – бесконсольный вертикально-фрезерный: *1* – салазки, *2* – стол, *3* – шпиндель, *4* – головка шпиндельная; *е* – бесконсольный горизонтально-фрезерный; *ж* – продольно – фрезерный; *з* – карусельно- фрезерный; *и* – барабанно-фрезерный

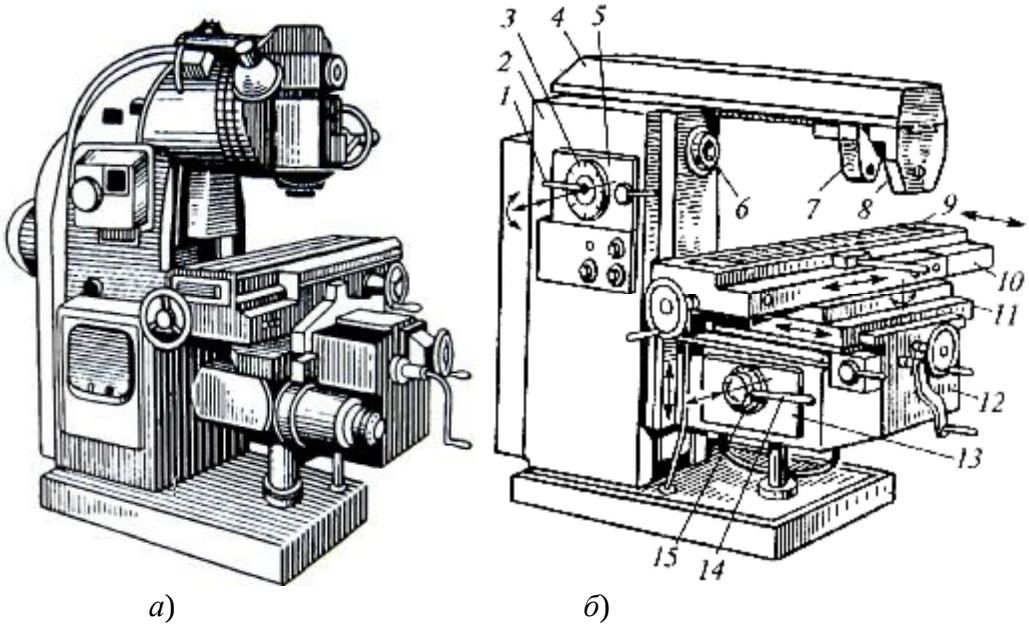


Рис. 54. Вертикально-фрезерный (*а*) и горизонтально-фрезерный станки (*б*):
1 – рукоятка переключения скоростей; *2* – станина; *3* – лимб; *4* – хобот;
5 – коробка скоростей; *6* – шпиндель; *7, 8* – подвески (опоры) оправки
с фрезой; *9* – стол; *10* – плита поворотная; *12* – консоль; *13* – коробка
подач; *14* – рукоятка; *15* – лимб

Рис. 55. Вертикальный фрезерно-сверлильный станок FRU 251M

Рис. 56. Вертикальный фрезерно-сверлильный станок FRU 251M

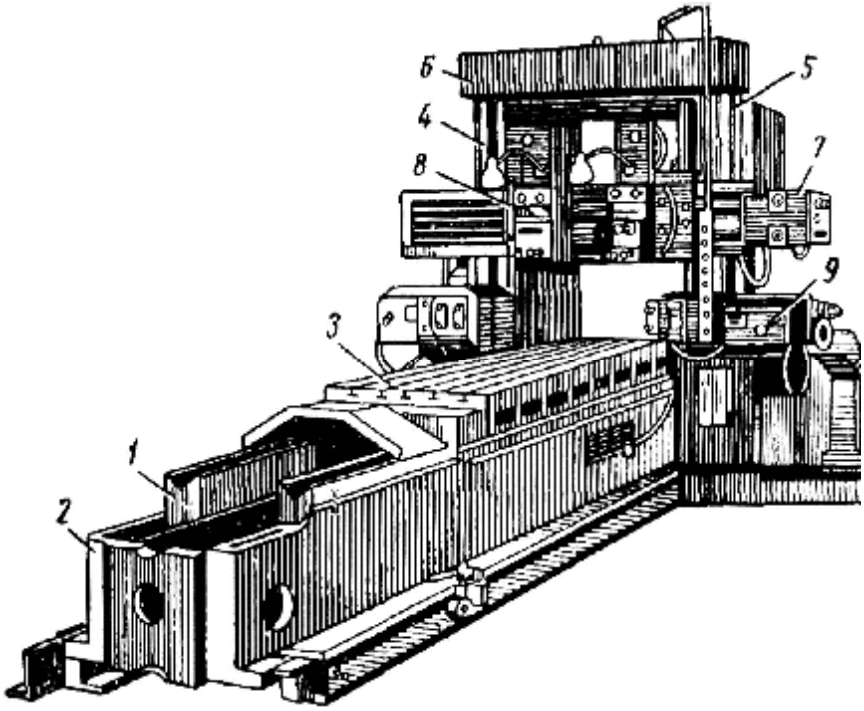


Рис. 57. Станок продольно-фрезерный для обработки крупногабаритных деталей: *1, 2* элементы станины; *3* – стол; *4, 5* – стойки; *6* – поперечина; *7* – траверса; *8* – фрезерные головки с вертикальными шпинделями; *9* – фрезерные головки с горизонтальными шпинделями

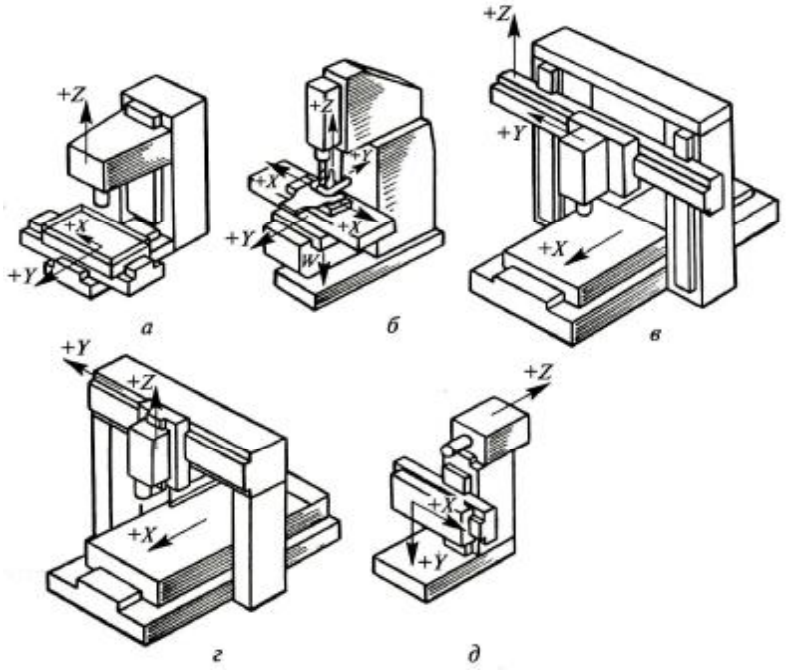


Рис. 58. Фрезерные станки с ЧПУ (*X, Y, Z, W* – оси координат): *а* – вертикальный с крестовым столом; *б* – консольно-фрезерный; *в* – продольно-фрезерный; *г* – продольно-фрезерный с неподвижной поперечиной; широкоуниверсальный инструментальный

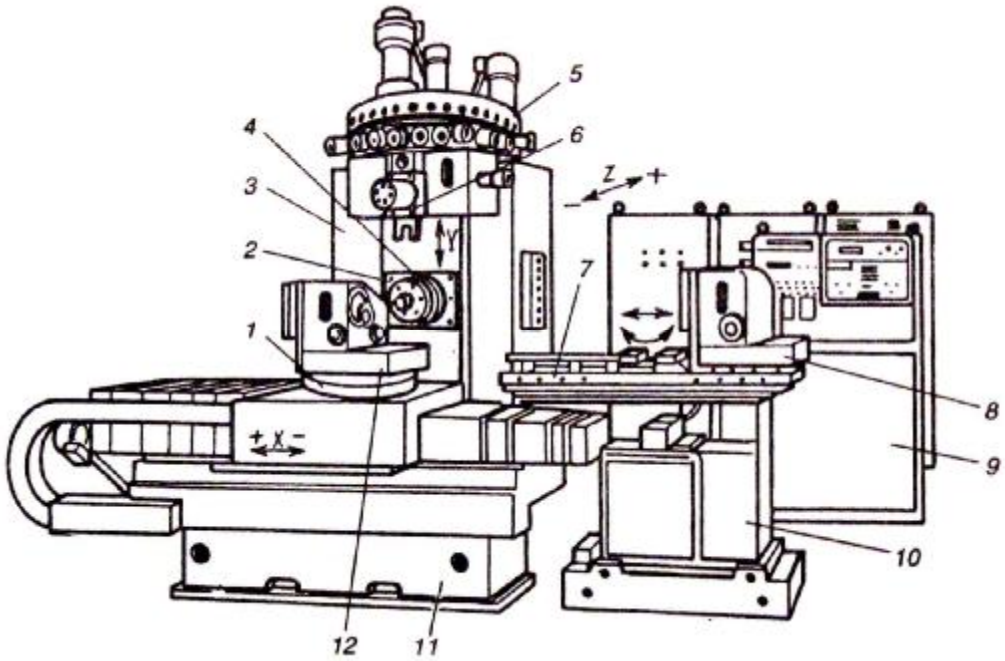


Рис. 59. Многоцелевой станок сверлильно-фрезерно-расточный ИР500МФ4: *1* – стол поворотный; *2* – бабка шпиндельная; *3* – стойка; *4* – шпиндель; *5* –магазин инструментов; *6* – автооператор двухзахватный; *7* – стол двухпозиционный; *8* – спутник (на загрузке); *9* – УЧПУ; *10* – станина дополнительная; *11* – станина; *12* – спутник (под обработкой)

Рис. 60. Фрезерование полостей квадратных, прямоугольных

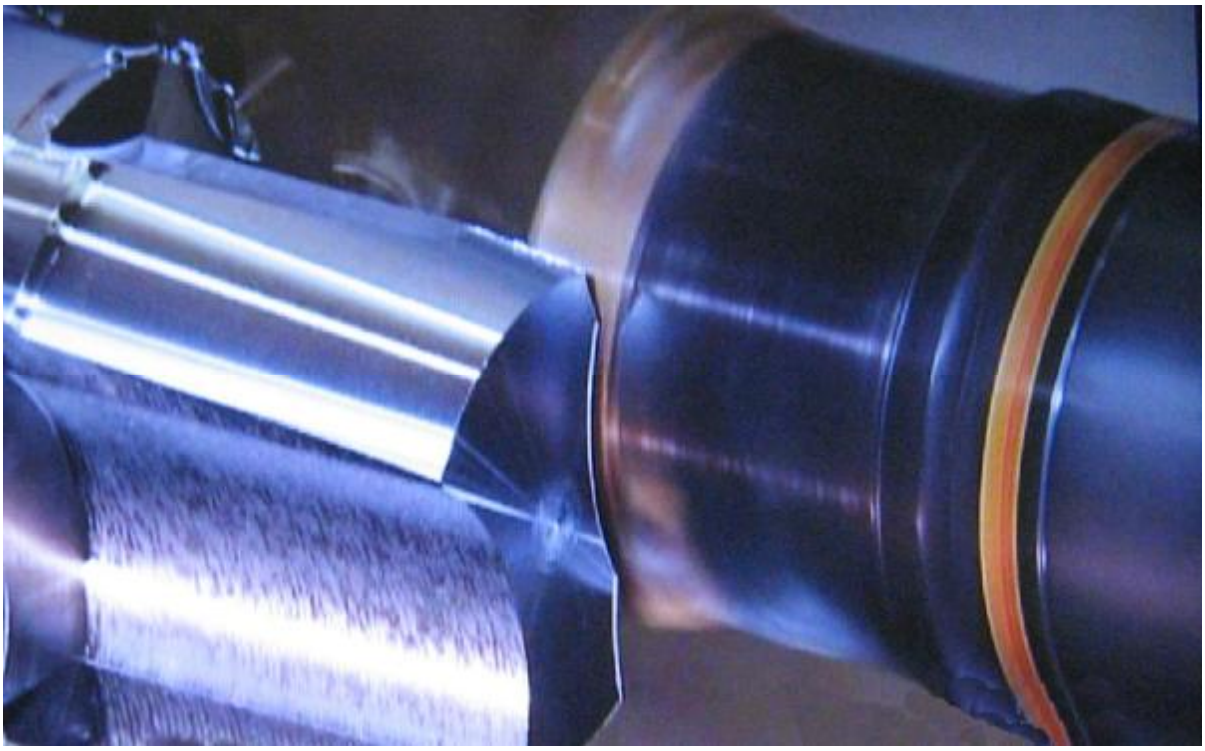
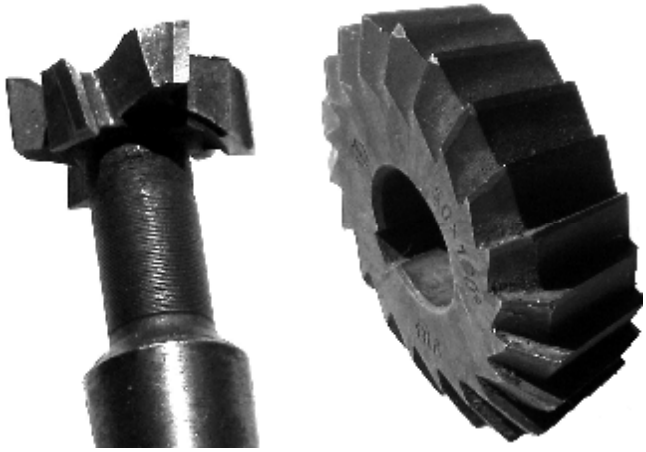


Рис. 61. Фрезерование «в торец» для получение элементов типа плоских отростков, лопаток, лысок и т.д.

Рис. 62. Нарезание вихревым фрезерованием резьбы на поверхности цилиндрического отверстия

Рис. 63. Растачивание фрезерованием цилиндрического отверстия перпендикулярно наклонной (к продольной оси детали) поверхности

На фрезерных станках (рис. 53-57) можно выполнять разнообразные работы, особенно если они оснащены ЧПУ (рис. 58, рис. 59). Некоторые виды работ, иллюстрирующие возможности современных фрезерных станков с ЧПУ, приведены на рис. 60-63. Специальные фрезы для обработки Т-образных пазов и фрезерования широких канавок приведены на рис. 64.



а) *б*)

Рис. 64. Фрезы специальные: *а* – для обработки Т-образных пазов; *б* – фреза двухугловая

К режиму резания при фрезеровании относят скорость резания *V*, подачу *S*, глубину резания *t*, ширину фрезерования *B*:

- ***глубина резания t,*** [мм]. Это толщина слоя металла, измеренная перпендикулярно к обрабатываемой поверхности. Припуск выгодно снимать за один проход, если позволяет мощность станка. Обычно t = (2 – 6) мм. Если требуется высокая точность обработки, то фрезерование может проводиться в два прохода – черновой и чистовой. Для чистовых проходов обычно t = (0,75 – 2,0) мм.

- ***подача S.*** При фрезеровании используется три размерности подачи:

- м*инутная подача* $\boldsymbol{S_M}$ (мм/мин) – величина перемещения обрабатываемой заготовки относительно фрезы за одну минуту;

- *подача на один оборот фрезы* $\boldsymbol{S_O} = S_M / n$, (мм/об) – величина перемещения обрабатываемой заготовки относительно фрезы за время одного оборота фрезы;

- *подача на один зуб фрезы* $\boldsymbol{S_Z} = S_O / z = S_M / (n \cdot z)$, (мм/зуб), где z – число зубьев фрезы. Это величина перемещения обрабатываемой заготовки относительно фрезы за время углового поворота фрезы на один зуб.

Величина подачи выбирается по справочным нормативам в зависимости от шероховатости обработанной поверхности, прочности материала и других условий резания.

- ***ширина фрезерования B*** – ширина обрабатываемой поверхности в направлении, параллельном оси фрезы. При ее увеличении возрастает суммарная площадь поперечного сечения среза, работа резания и тепловыделение. В результате снижается допускаемая скорость резания и возрастает износ фрезы.

- ***скорость резания V***, (м/мин) – это окружная скорость вращения фрезы. Она связана с диаметром фрезы и частотой ее вращения зависимостью:

$$V = p\,D\,n / 1000,$$

где D – наружный диаметр фрезы, мм; n – частота вращения фрезы, об/мин.

Скорость резания при фрезеровании назначается по эмпирической зависимости:

$$V = C \cdot \frac{D^q}{t^x \cdot S_Z^y \cdot T^m \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K,$$

где C – коэффициент, характеризующий конкретные условия обработки; K – общий поправочный коэффициент, учитывающий отличные от табличных условия резания; T – стойкость фрезы, мин; D – диаметр фрезы; z – число зубьев фрезы. Значения показателей степени x, y, m, u, p, q и коэффициентов приводятся в справочниках.

Производительность обработки Q и время изготовления одной детали $T_{шт}$ при фрезеровании определяются также, как для нормирования токарной операции.

Отличие состоит лишь в том, что основное технологическое время T_o (время, которое тратится непосредственно на срезание припуска) при фрезеровании определяется зависимостью:

$$T_o = \frac{L}{S_м} \cdot i,$$

где i – число проходов; $S_м$ – минутная подача заготовки; L – расчетная длина обработки за один проход:

$$L = l + l_1 + l_2,$$

где l – длина обрабатываемой заготовки; l_1 – длина врезки; l_2 – длина выхода фрезы.

6. СПОСОБЫ И ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ СТРОГАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Строгание применяется при обработке плоских и фасонных линейчатых поверхностей и различных канавок в условиях единичного и мелкосерийного производства.

Главное движение V при строгании – возвратно-поступательное прямолинейное, а движение подачи S – шагообразное, направленное перпендикулярно главному движению (рис. 65). Обработку выполняют на строгальных станках. Инструмент – *строгальные резцы*, конструкция которых сходна с конструкцией токарных резцов.

Процесс резания при строгании имеет прерывистый характер, и срезание стружки происходит только при встречном относительном движении резца и заготовки. Во время обратного (вспомогательного) хода резец работу не производит. Врезание резца в заготовку в начале каждого рабочего хода сопровождается ударом. За время холостого хода резец остывает,

поэтому при строгании в большинстве случаев не применяются смазочно-охлаждающие жидкости. Ударные нагрузки на режущие кромки и циклический характер их нагрева существенно снижают стойкость резцов в сравнении с непрерывным резанием, поэтому строгание производят при умеренных скоростях резания. Головки и державки строгальных резцов выполняют более массивными, чем у токарных.

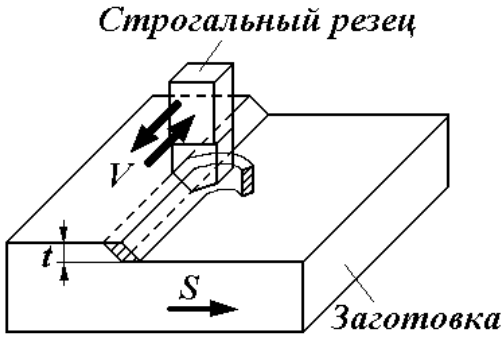


Рис. 65. Схема строгания

Строгание производится на поперечно-строгальных (рис. 66) и продольно-строгальных станках.

На рис. 67 представлены резцы для выполнения основных видов работ: *1* – строгание вертикальных поверхностей подрезными резцами; *2* – строгание фасонных поверхностей; *3* – строгание горизонтальных поверхностей проходными резцами; *4* – прорезка или отрезка: *5* – подрезка наклонных поверхностей.

При строгании параметрами режима резания, так же как и при точении, являются скорость резания *V*, подача *S* и глубина резания *t*.

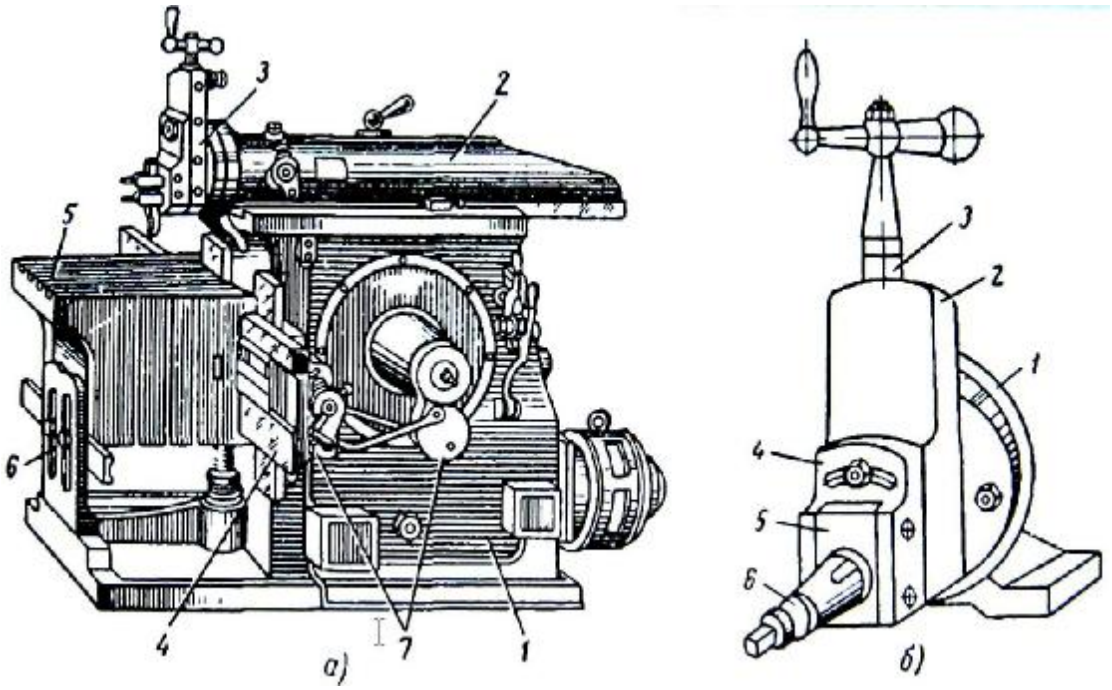


Рис. 66. Станок поперечно-строгальный (*а*): *1* – станина; *2* – ползун; *3* – суппорт; *4* – направляющие поперечного перемещения стола *5; 6* – стойка-опора; *7* – кулисный механизм; суппорт (*б*) в сборе: *1* – основание; *2* – головка; *3* – винт вертикальной подачи; *4* – головка поворотная; *5* – резцедержатель; *6* – гайка

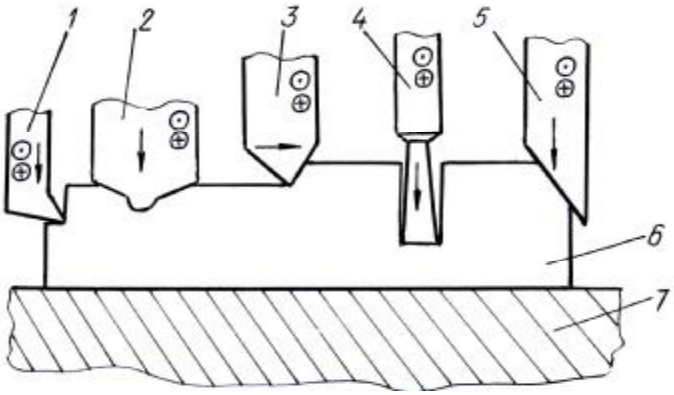


Рис. 67. Схемы обработки заготовок строганием: *1-5* – резцы; *6* – заготовка; *7* – стол строгального станка

Строгание зубьев шестерен, шпоночных пазов, отверстий с огранкой и др. производится на одно- или двухстоечных долбежных станках (рис. 68-70), которые часто называют вертикально-строгальными. На рис. 71 представлены инструменты-долбяки насадного типа (*в*) и с конусом Морзе (*г*).

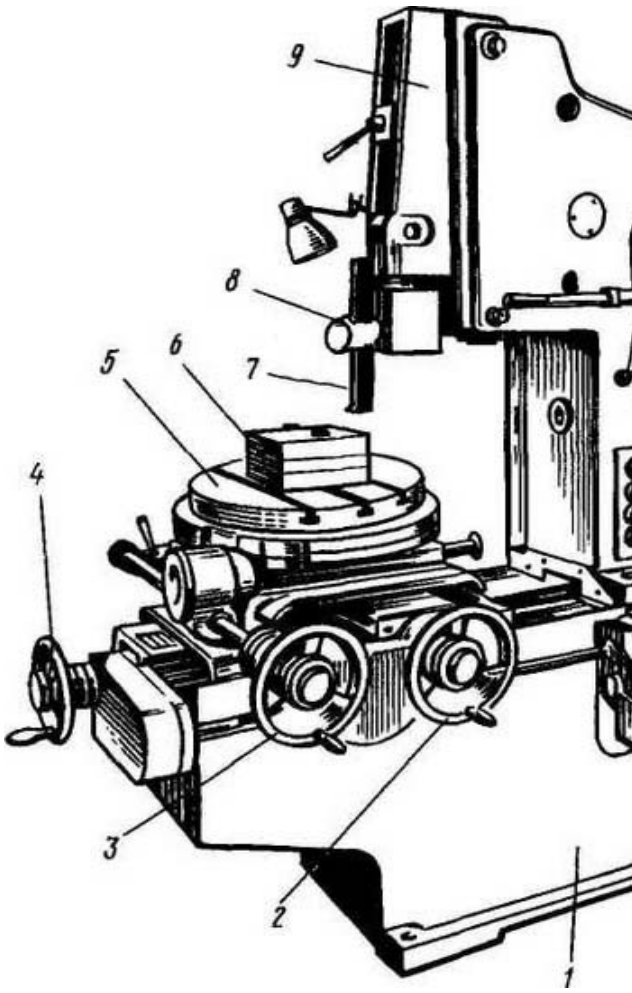


Рис. 68. Станок долбежный одностоечный: *1* – станина; *2* – ручной привод продольной подачи стола; *3* – ручной привод поворота стола; *4* – ручной привод поперечной подачи стола; *5* – стол; *6* – заготовка; *7* – инструмент-долбяк; *8* – резцедержатель; *9* – ползун

Рис. 69. Станок долбежный одностоечный

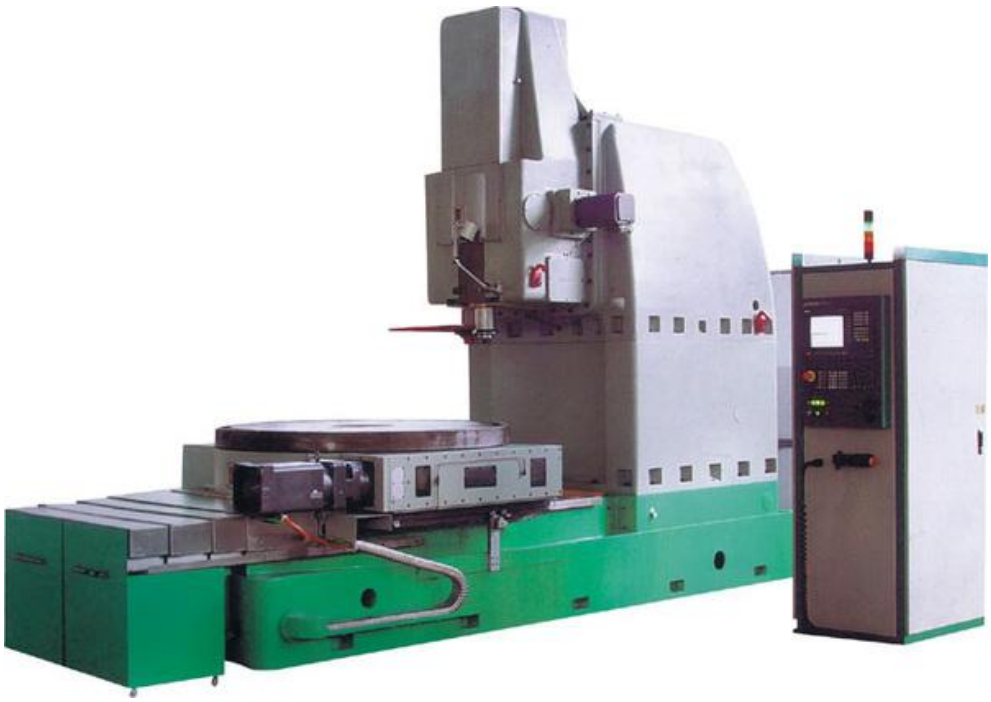


Рис. 70. Станок долбежный двухстоечный YK (M) 51250
с ЧПУ: диаметр заготовки (max) 2800 мм; модуль до 20 мм;
ширина венца колеса до 400 мм

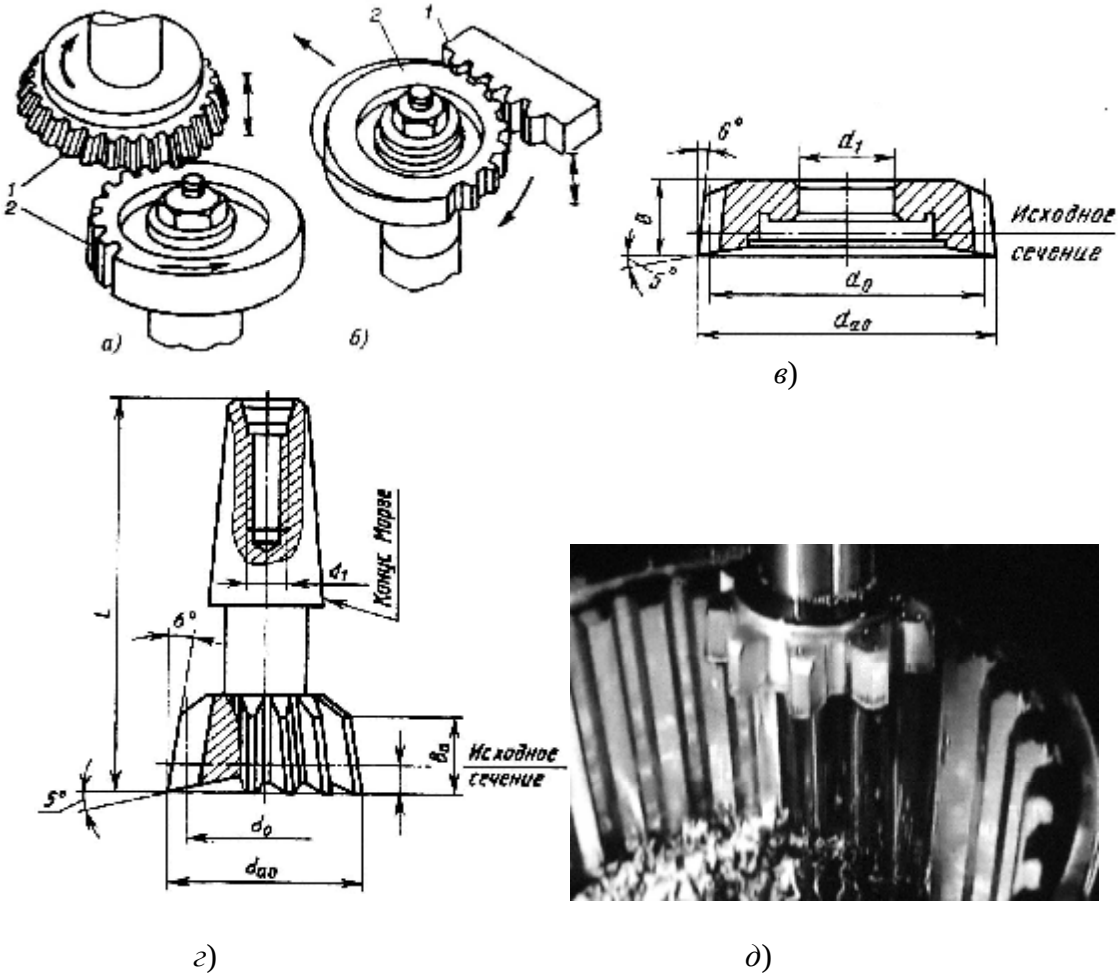


Рис. 71. Строгание зубьев шестерен: *а* – долбяком; *б* – гребенкой; *в* – долбяк насадной; *г* – долбяк с конусом Морзе; *д* – долбление зубьев внутреннего зацепления

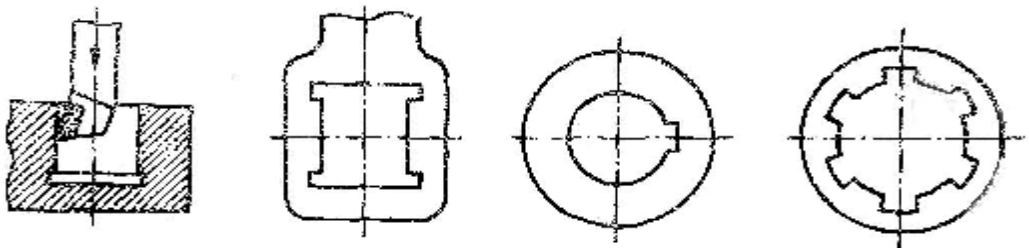


Рис. 72. Обработка долблением фасонных отверстий: *а* – глухих; *б* – сквозных; *в* – шпоночных пазов: *г* – шлицевых втулок [8]

При обработке заготовок на зубодолбежных станках используется метод обката, когда режущий инструмент *1* и заготовка *2* обкатываются подобно звеньям зубчатой передачи (рис. 71, *а*). Если заготовка была бы пластичной, то долбяк выдавил бы впадины. Для удаления металла с заготовки по всему контуру торца долбяка затачивают режущие кромки. Инструменту сообщают возвратно-поступательное движение, согласованное с вращением

заготовки. Цилиндрические колеса можно нарезать также режущей рейкой (рис. 71, *б*).

Некоторые элементы деталей машин (шлицевые отверстия, шпоночные пазы, многогранные и фасонные отверстия и др., см. рис. 72) практически можно выполнить только строганием или с использованием протяжек (рис. 73, 74). В некоторых случаях целесообразно обрабатывать протягиванием наружные элементы (лыски, зубья шестерен, пазы, рифления). Протяжками обрабатывают все виды материалов, допускающих обработку резанием.

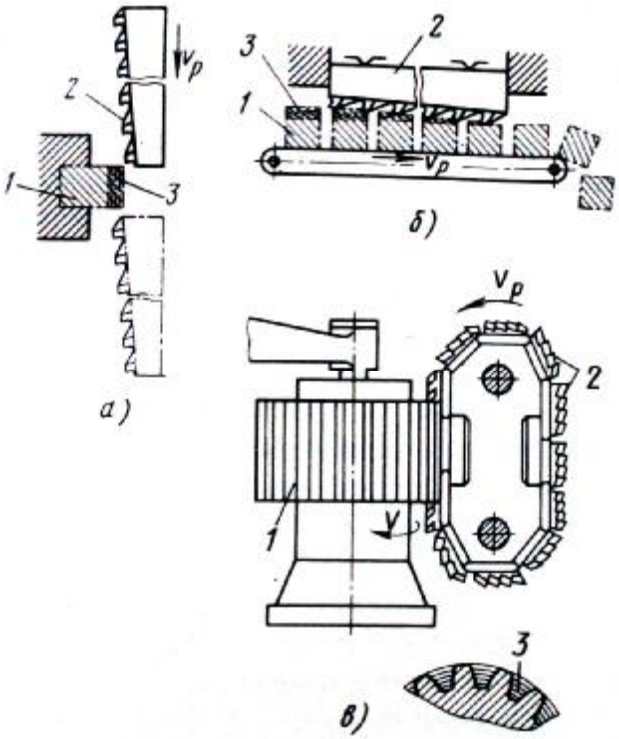
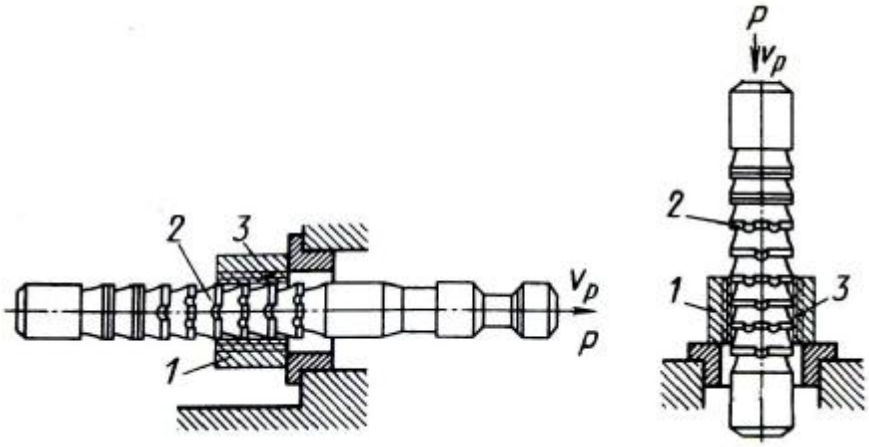


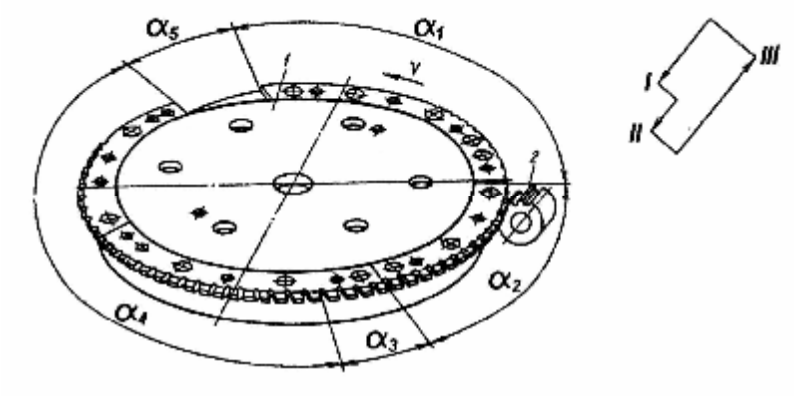
Рис. 73. Схемы наружного протягивания: *1* – деталь; *2* – протяжка (инструмент); *3* – срезаемый слой металла: *Vр* – направление рабочего хода инструмента

Схемы наружного протягивания представлены на рис. 73. Непрерывное протягивание, например, осуществляется на конвейерных станках, когда протяжка закреплена неподвижно, а детали движутся непрерывно и прямолинейно (закрепленные на конвейерной ленте, цепи), (рис. 73, *б*). В другом случае заготовка закрепляется неподвижно (иногда с возможностью вращения), а протяжка перемещается.

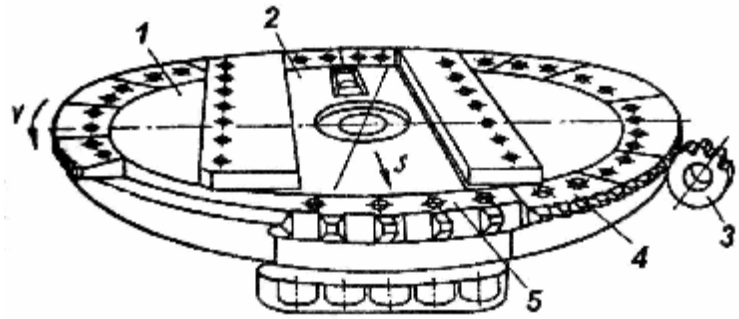


а) *б*)

Рис. 74. Схемы внутреннего протягивания: *а* – протягивание в горизонтальном положении (работа инструмента на растяжение; *б* – протягивание сверху вниз (работа инструмента на сжатие); *1* – деталь; *2* – протяжка; *3* – срезаемые слои



а)



б)

Рис. 75. Инструменты для фрезопротягивания прямозубых и косозубых зубчатых колес (*а*): цикл *1* – черновое протягивание на всю глубину впадины; цикл *2* – завершение черновой протяжки при встречном фрезеровании; цикл *3* – чистовая обработка; цикл *4* – чистовое протягивание при попутной подаче заготовки; цикл *5* – поворот заготовки на один зуб; и для кругодиагонального протягивания зубчатых колес (*б*): *1* – корпус; *2* – ползун; *3* – заготовка; *4* – блок резцов чернового протягивания; *5* – блок резцов (на ползуне) чистовой протяжки

К прогрессивным технологиям строгания (протяжки) можно отнести и процессы фрезопротягивания и кругодиагонального протягивания [5].

Фрезопротягивание одной из впадин зубчатого колеса *2* осуществляется за один оборот диска *1*, на периферии которого расположены блоки резцов для чернового и чистового резания (рис. 75). Диск вращается с равномерной угловой скоростью, а заготовка перемещается из положения *I* в положение *II*, а затем перемещается в противоположном направлении из положения *II* в положение *III*, и, наконец, в исходное положение *I*.

Кругодиагональное протягивание зубчатых колес производится устройством, которое состоит из корпуса *1* с закрепленными по его периферии режущими элементами *4*. В процессе протягивания протяжка вращается с равномерной угловой скоростью и резцы *4* постепенно прорезают впадину зуба колеса периферийными кромками. Причем каждый последующий зуб располагается выше предыдущего. Чистовая протяжка производится резца-

ми *5* ползуна *2*, который перемещается специальным механизмом в сторону заготовки.

7. СПОСОБЫ И ИНСТРУМЕНТ ОБРАБОТКИ ШЛИФОВАНИЕМ

Шлифование *– процесс обработки заготовок деталей машин резанием с помощью абразивных кругов.*

Абразивные зерна расположены в шлифовальном круге беспорядочно и удерживаются связующим материалом (рис. 76). При вращательном движении круга в зоне его контакта с заготовкой часть зерен срезает материал на очень больших скоростях (от 30 до 80 м/с) в виде очень большого числа тонких стружек (до 10^7 стружек в минуту). При этом глубина резания *t* составляет (0,005 – 0,05) мм. Процесс резания каждым зерном осуществляется почти мгновенно.

Все большее применение находят силовое и врезное шлифование для обработки труднообрабатываемых резанием материалов. При этом глубина резания может достигать (10 – 12) мм.

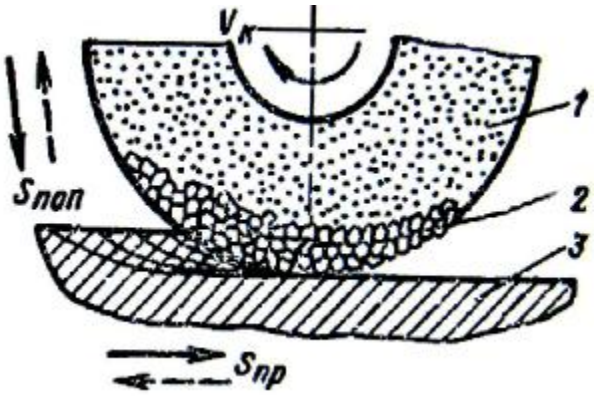


Рис. 76. Схема срезания металла абразивным кругом

Шлифование сопровождается выделением большого количества тепловой энергии (значительная часть абразивных зерен в шлифовальном круге расположена так, что не режет заготовку, а пластически деформирует ее, естественно, с выделением тепла). Это приводит к образованию на поверхности детали дефектного слоя. Поэтому в зону обработки должна обильно подаваться смазочно-охлаждающая жидкость.

Обработанная поверхность представляет собой совокупность микроследов абразивных зерен и имеет малую шероховатость.

Шлифование применяют для чистовой и отделочной обработки деталей с высокой точностью. Для заготовок из закаленных сталей шлифование является одним из наиболее распространенных методов формообразования.

В зависимости от формы обрабатываемой поверхности шлифование делится на следующие виды:

1. *Плоское шлифование*.

Шлифование *плоских* поверхностей может производиться периферией (рис. 77, *а*) или торцом круга (рис. 77, *б*).

Шлифование периферией круга менее производительно, чем шлифование торцом круга, но более точное.

При шлифовании торцом круга одновременно в работе участвует большее число абразивных зерен, чем при шлифовании периферией круга. Но шлифование периферией круга с использованием прямоугольных столов позволяет выполнить большее число разнообразных видов работ.

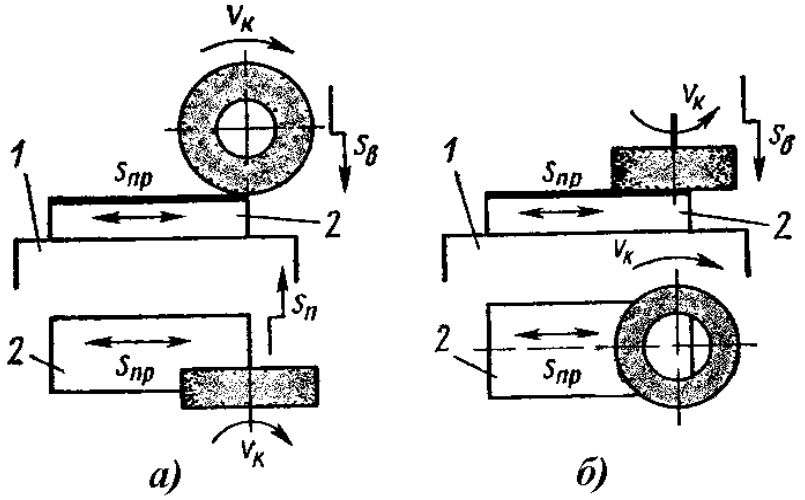


Рис. 77. Схемы обработки заготовок плоским шлифованием: *а* – периферией круга; *б* – торцом круга; *1* – стол станка; *2* – обрабатываемая деталь

Главным движением резания V_K (м/с) для всех технологических способов шлифовальной обработки является вращение круга. Прямолинейное поступательное движение подачи при плоском шлифовании совершает заготовка вместе со столом станка. Последовательность подач при плоском шлифовании – продольная $S_{ПР}$ (м/мин), затем поперечная $S_П$ (мм/дв. ход), затем вертикальная $S_В$. Поперечная подача $S_П$ необходима в тех случаях, когда ширина круга меньше ширины заготовки (рис. 77, *а*). Движение $S_П$ происходит прерывисто (периодически) при крайних положениях заготовки в конце продольного хода. Периодически происходит и подача $S_В$ на глубину резания. Это перемещение осуществляется также в крайних положениях заготовки, но в конце поперечного хода.

Небольшие детали шлифуют на высокопроизводительных шлифовальных станках непрерывного действия с круглым столом (рис. 78).

2. *Круглое шлифование*.

Применяется для шлифования *цилиндрических* и *конических* поверхностей вращения, отсюда его название. Круглое шлифование делится на следующие подвиды: наружное, внутреннее, внутреннее планетарное, бесцентровое наружное и бесцентровое внутреннее.

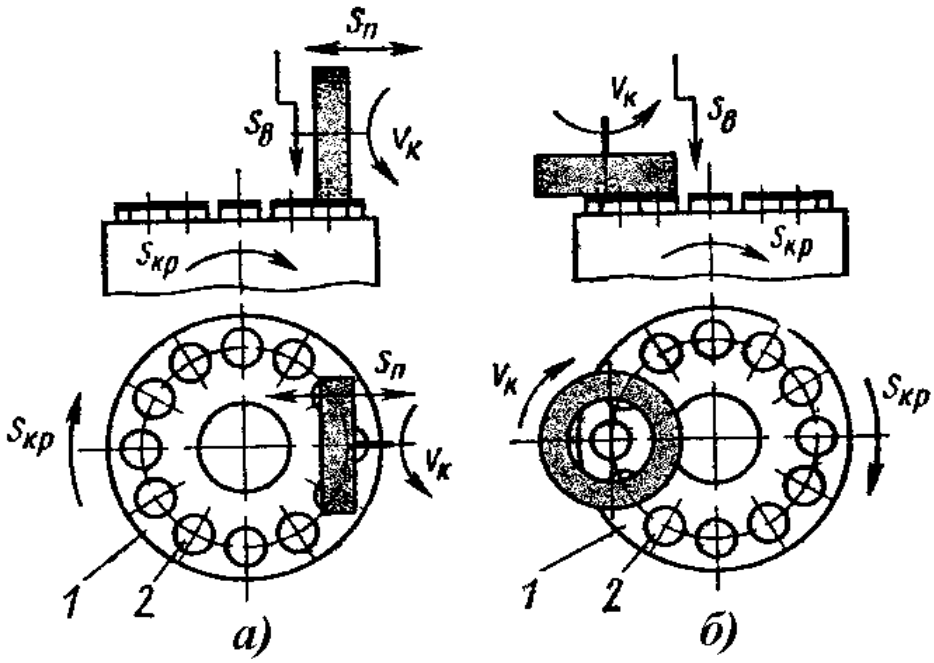


Рис. 78. Схемы непрерывной обработки заготовок на плоско-шлифовальных станках с круглым столом: *а* – периферией круга; *б* – торцом круга

Рассмотрим схемы круглого шлифования.

При *круглом наружном* шлифовании (рис. 79) обрабатывается *наружная* цилиндрическая поверхность. Продольная подача $S_{ПР}$ происходит за счет возвратно-поступательного перемещения заготовки. Подача $S_{ПР}$ (мм/об) равна осевому перемещению заготовки за один ее оборот. Вращение заготовки является круговой подачей $S_{КР}$ (м/мин). Подача $S_П$ (глубина резания) для приведенной схемы обработки происходит при крайних положениях заготовки.

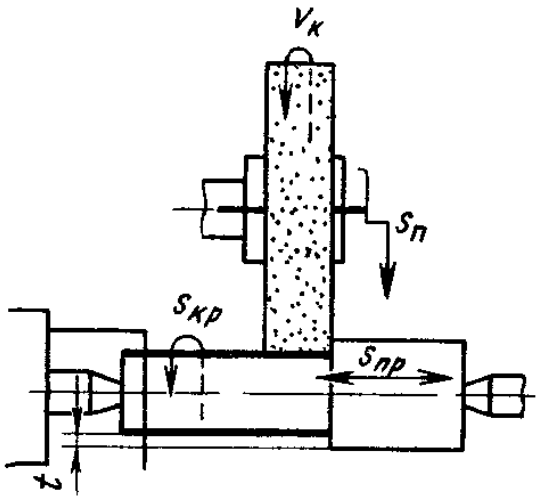


Рис. 79. Схема круглого наружного шлифования

При *круглом внутреннем* шлифовании (рис. 80, *а*) характер движений инструмента и заготовки и последовательность подач те же, что и при круглом наружном шлифовании, только обрабатывается *внутренняя* цилиндрическая поверхность.

Внутреннее планетарное шлифование (рис. 80, *б*) применяют при обработке заготовок больших размеров и массы, которые шлифовать описанными выше способами нерационально. Заготовку закрепляют на столе станка неподвижно. Шлифовальный круг вращается не только вокруг своей

оси, но также вокруг оси отверстия заготовки (планетарная подача $S_{ПЛ}$), что аналогично круговой подаче заготовки при обычном внутреннем шлифовании (положение круга, совершившего в планетарном движении полоборота, показано на схеме штриховой линией).

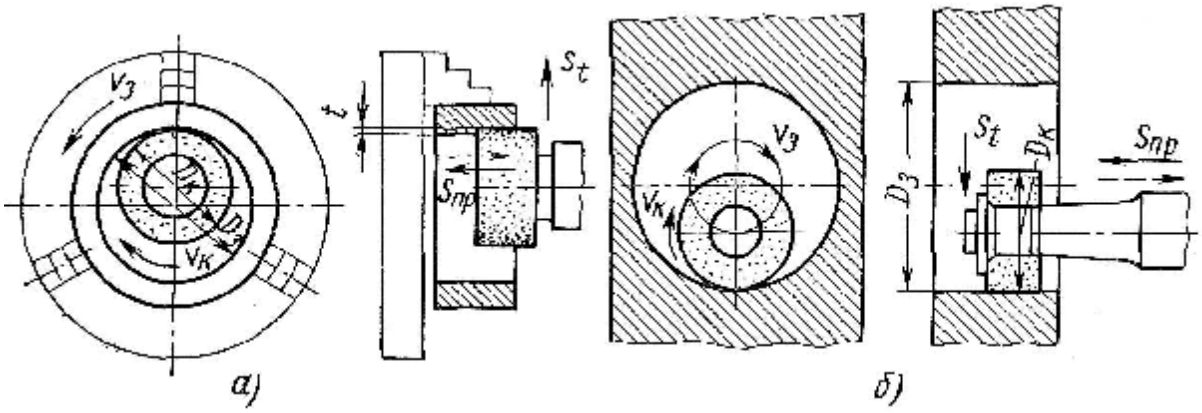


Рис. 80. Схемы процессов внутреннего шлифования

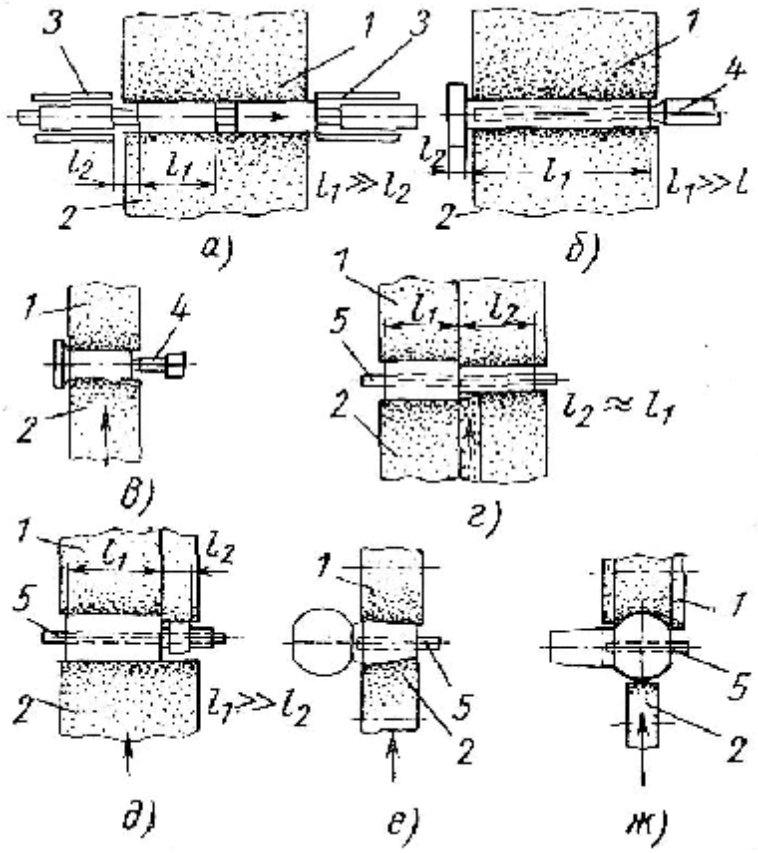


Рис. 81. Схемы процессов бесцентрового шлифования с поперечной подачей: *1* – шлифовальный круг; *2* – ведущий круг; *3* – направляющая линейка; *4* – упор; *5* – опорный нож, [6]

Бесцентровое наружное шлифование (рис. 81) *наружных* цилиндрических поверхностей производится в незакрепленном состоянии обрабатываемых заготовок, и для них не требуется центровых отверстий. Поэтому

данный способ шлифования характеризуется высокой производительностью.

Заготовку *3* (рис. 82) устанавливают на нож *2* между двумя кругами – рабочим *1* и ведущим *4*. Эти круги вращаются в одном направлении, но с разными скоростями. Трение между ведущим кругом и заготовкой больше, чем между ней и рабочим кругом. Вследствие этого заготовка увлекается во вращение со скоростью, близкой к окружной скорости ведущего круга.

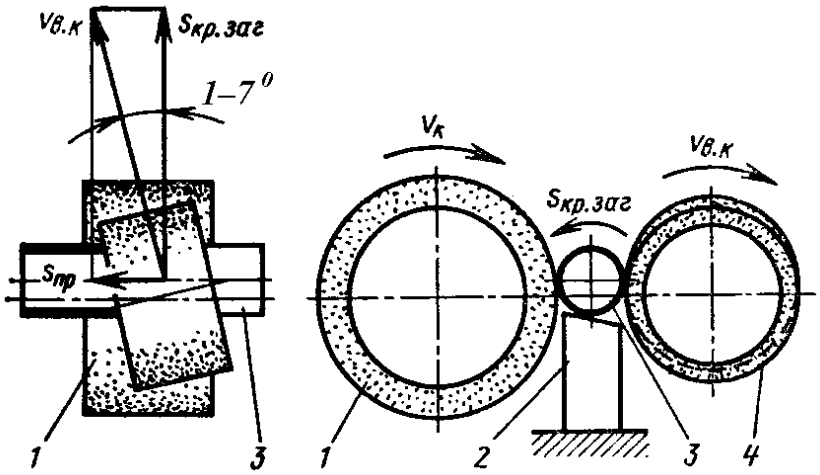


Рис. 82. Схема бесцентрового наружного шлифования:
1 – шлифовальный круг; *2* – нож опорный;
3 – деталь; *4* – круг ведущий

Перед шлифованием ведущий круг устанавливают наклонно под углом $(1 – 7)^0$ к оси вращения заготовки. Вектор скорости этого круга разлагается на составляющие, и возникает продольная подача $S_{ПР}$. Поэтому заготовка перемещается по ножу вдоль своей оси и может быть прошлифована на всю длину. Чем больше угол наклона ведущего круга, тем больше подача $S_{ПР}$. Процесс легко автоматизировать, установив наклонный лоток, по которому заготовки будут сползать на нож, проходить процесс шлифования и падать в тару.

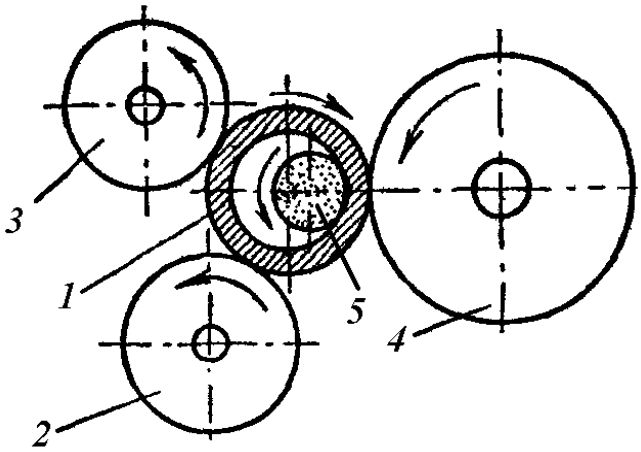


Рис. 83. Схема бесцентрового внутреннего шлифования

Аналогичный принцип работы используют при *бесцентровом внутреннем* шлифовании для обработки цилиндрических и конических *отверстий* в заготовках, имеющих наружную цилиндрическую поверхность (рис. 83). Заготовку *1* устанав-

ливают по наружной поверхности между тремя вращающимися элементами: опорным роликом *2*, прижимным роликом *3* и ведущим барабаном *4*. Шлифующий круг *5* располагают в отверстии консольно, он движется возвратно-поступательно вдоль оси отверстия.

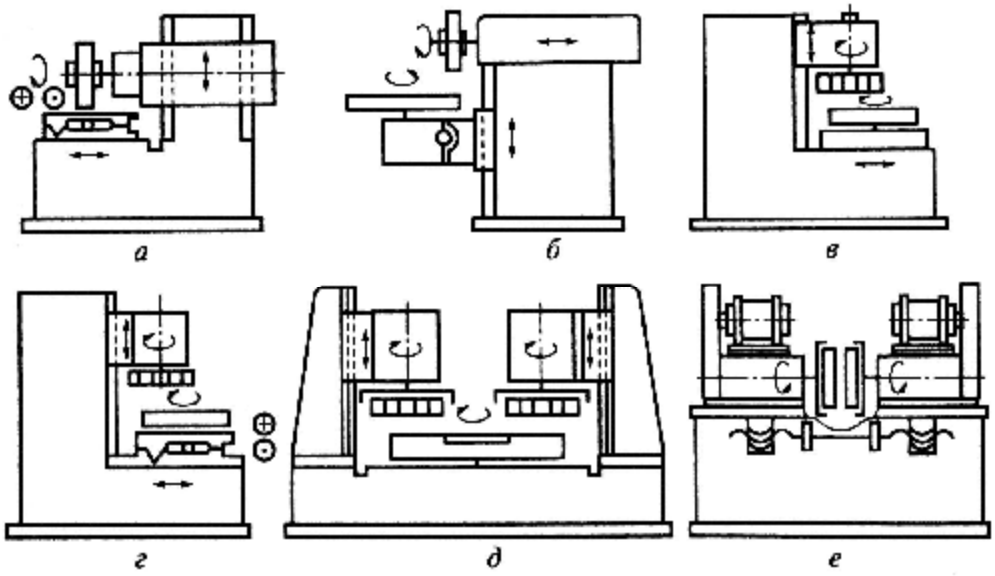


Рис. 84. Схемы движения рабочих органов плоскошлифовальных станков: *а, б* – с горизонтальными шпинделями; *в, г* – с вертикальными шпинделями; *д, е* – двухшпиндельные для шлифовки торцами кругов (с вертикальными и горизонтальными шпинделями)

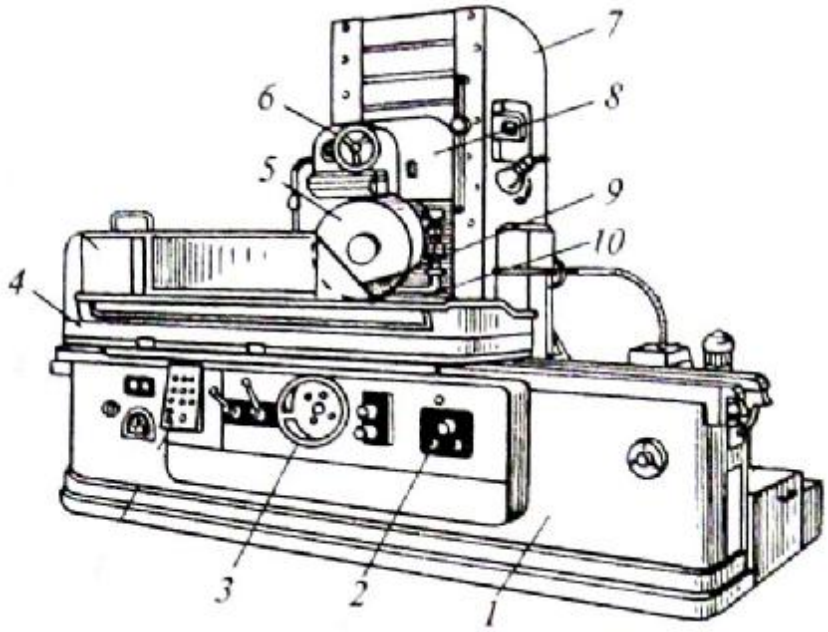


Рис. 85. Станок плоскошлифовальный: *1* – станина; *2* – пульт управления; *3* – маховик ручного перемещения стола; *4* – стол; *5* – кожух шлифовального круга; *6* – маховик перемещения (вертикального) шлифовальной бабки *8;* *7* – стойка; *9* – круг шлифовальный; *10* – плита магнитная

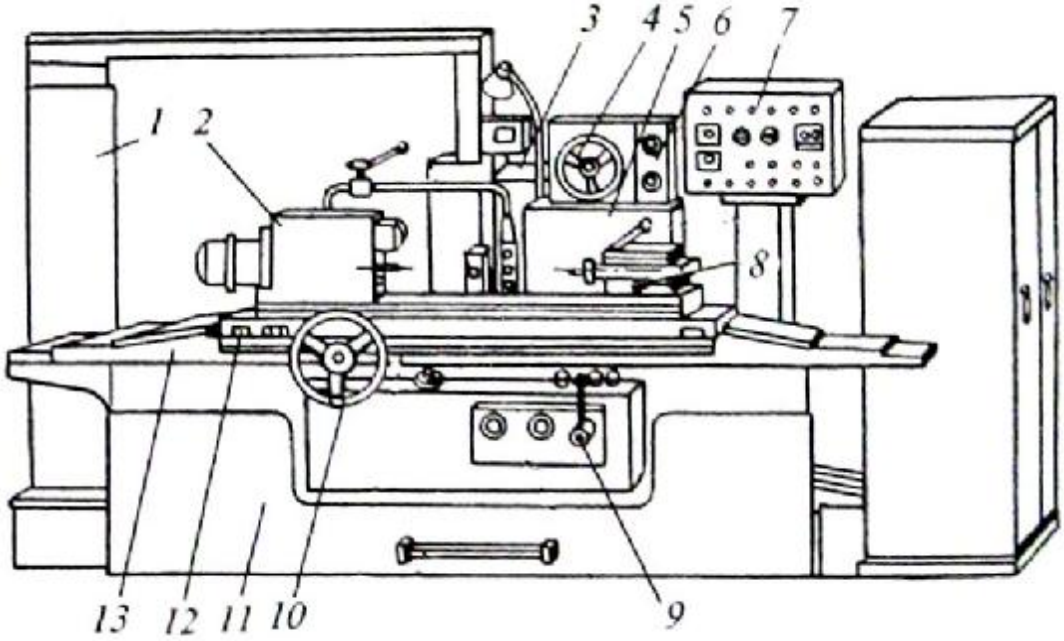


Рис. 86. Станок круглошлифовальный: *1* – электрошкаф; *2* – бабка передняя; *3* – механизм автоматической правки круга; *4* – маховик поперечного движения подачи; *5* – бабка шлифовальная; *6* – механизм поперечных подач; *7* – пульт управления; *8* – бабка задняя; *9* – рукоятка подвода-отвода шлифовальной бабки; *10* – маховик; *11* – станина; *12* – стол верхний; *13* – стол нижний

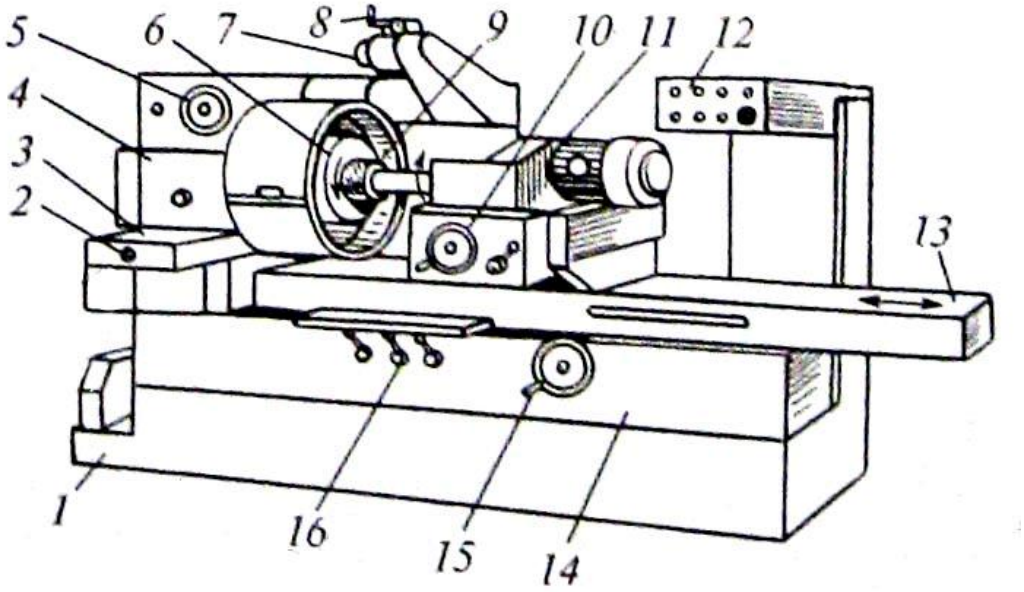


Рис. 87. Станок внутришлифовальный; *1* – станина; *2* – механизм поперечной подачи изделия; *3* – подвижная плита; *4* – бабка изделия; *5* – маховик ручной подачи изделия; 6 – изделие; *7* – абразивный круг для торцового шлифования; *8* – рукоятка перемещения круга торцового шлифования; *9* – круг для обработки внутренней поверхности изделия; *10* – рукоятка поперечного перемещения шлифовального суппорта; *11* – суппорт шлифовального круга; *12* – пульт управления станком; *13* – стол; *14* – кожух стола; *15* – рукоятка продольного перемещения стола; *16* – упоры продольного перемещения

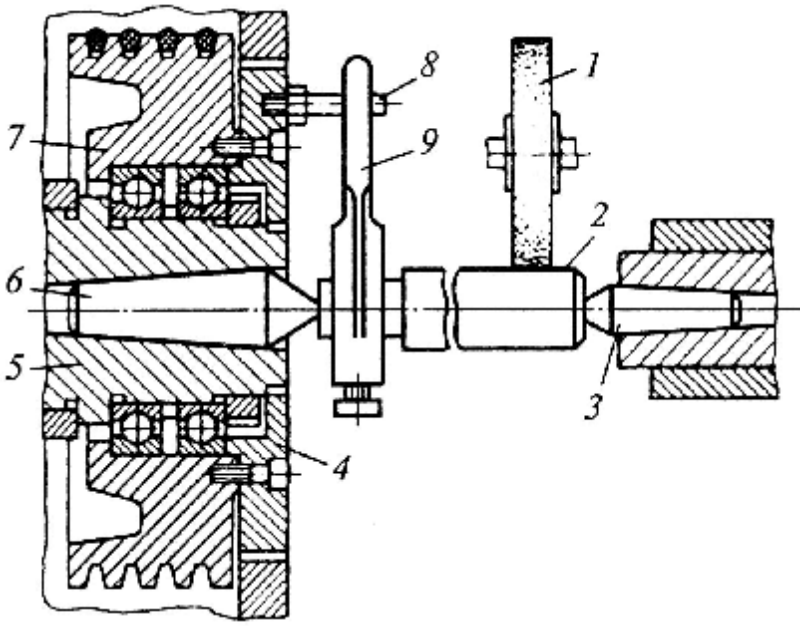


Рис. 88. Установка заготовки в неподвижных центрах круглошлифовального станка: *1* – шлифовальный круг; *2* – заготовка; *3* – задний центр; *4* – поводковый диск; *5* – шпиндель; *6* – передний центр; *7* – шкив; *8* – палец; *9* – хомутик, [1]

Осуществляют шлифование деталей различных конфигураций на плоскошлифовальных (рис. 84 и рис. 85), круглошлифовальных (рис. 86), внутришлифовальных (рис. 87) и бесцентровых круглошлифовальных станках с использованием специальных устройств и кругов.

Заготовки устанавливаются на станках различными способами в зависимости от вида обработки, конфигурации заготовки. Например, заготовки типа валов *2* (рис. 88) с центровыми отверстиями устанавливаются в центрах *3*, *6* и приводятся во вращение поводком *8* через хомутик *9*, закрепленный на детали.

Плоские заготовки устанавливают и закрепляют на электромагнитных плитах. Кроме того, широко используются лекальные тиски, прижимы, прокладки, установочные планки, делительные головки и др.

Основные элементы режима резания при шлифовании – скорость резания V_K, круговая подача заготовки при круглом шлифовании $S_{кр}$ (продольная подача стола с заготовкой при плоском шлифовании $S_{пр}$) и глубина резания t.

Порядок их выбора: назначают глубину резания t. На черновых проходах t = (0,05 – 0,1) мм; на чистовых проходах t = (0,005 – 0,02) мм; при обработке неметаллов t = (0,4 – 0,8) мм; выбирают круговую подачу заготовки $S_{кр}$ (скорость продольной подачи стола при плоском шлифовании $S_{пр}$) и корректируют ее по кинематическим данным станка; выбирают скорость реза-

ния V_K в зависимости от прочности круга, которая равна окружной скорости точки на периферии шлифовального круга:

$$V_K = \frac{p \cdot D \cdot n}{1000},$$

где n – частота вращения круга, об/мин; D – наружный диаметр шлифовального круга, мм. Обычно V_K = (30 – 50) м/с. При скоростном шлифовании V_K > 50 м/с.

Оптимальные значения элементов режима резания выбирают по справочным данным.

На шлифовальных станках обрабатывают детали сложной конфигурации (с коническими поверхностями, резьбы и червяки, шлицевые валы, шестерни, рис. 89) и весьма тяжелые детали на специальных станках (рис. 90 и рис. 91).

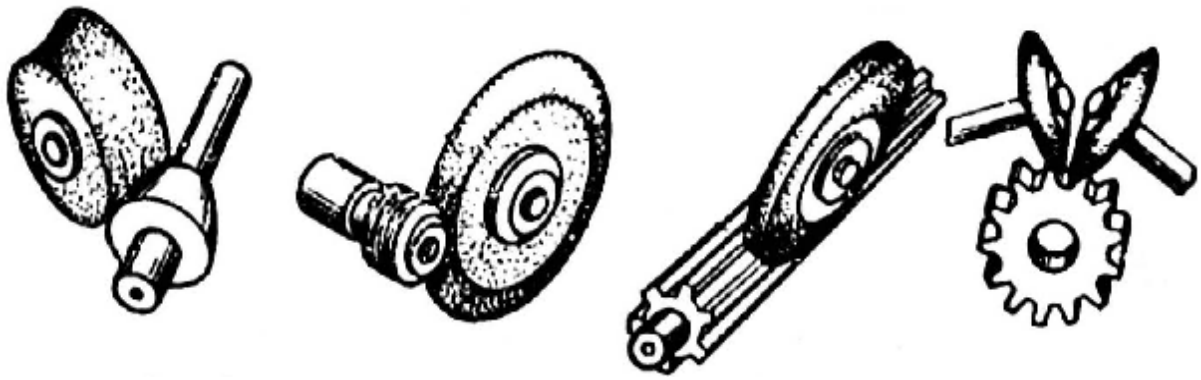


Рис. 89. Схемы обработки фасонных деталей

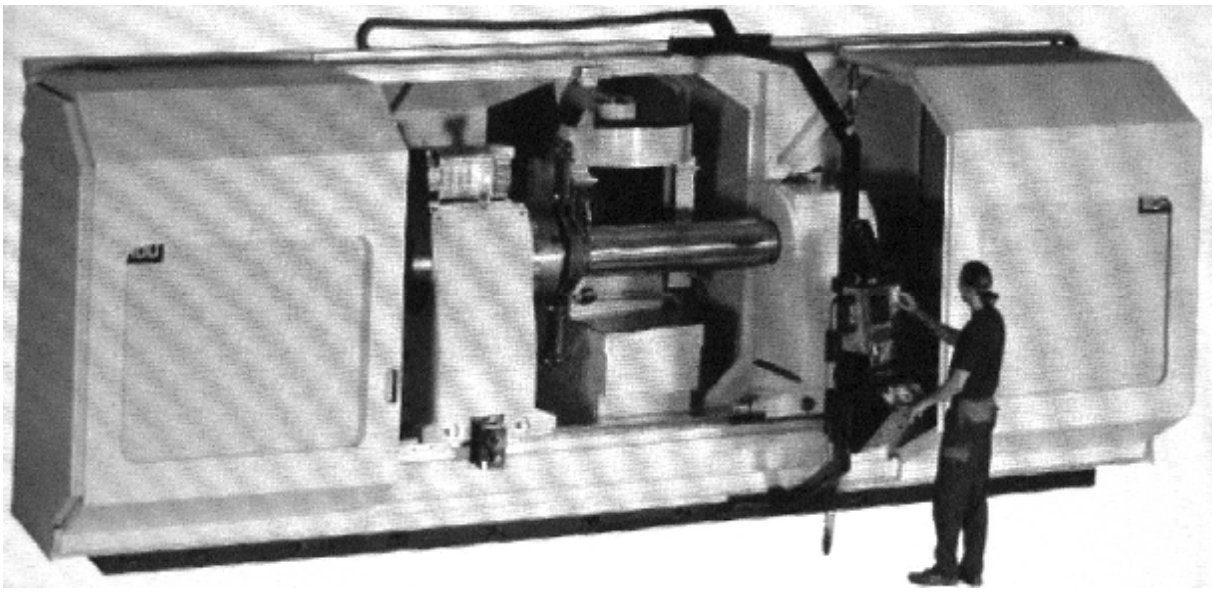


Рис. 90. Уникальный тяжелый обрабатывающий центр с ЧПУ для врезного и цилиндрического шлифования типа CNC – B; угловая точность расположения бабки – 0,0001 град.

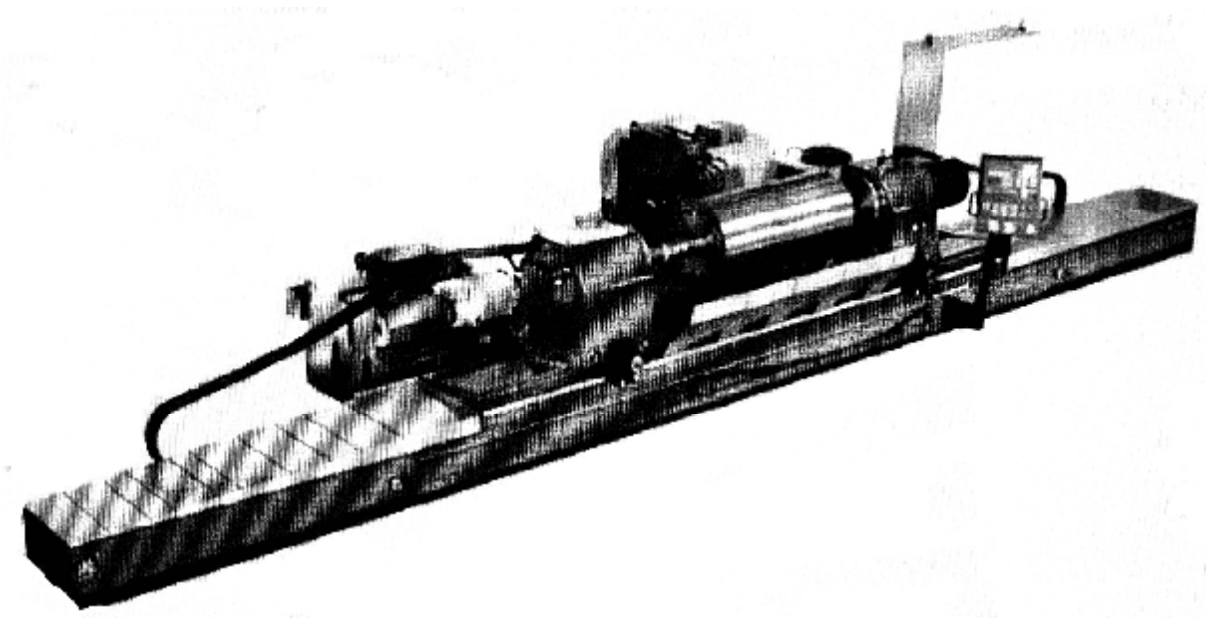


Рис. 91. Круглошлифовальный станок CNC Heavy Duty с ЧПУ
для обработки тяжелых деталей

К конструкциям деталей, обрабатываемых шлифованием, предъявляется ряд требований, обеспечивающих их технологичность. Технологичной является конструкция деталей, у которых:

– необрабатываемые и обрабатываемые поверхности, находящиеся в одной плоскости, разделены канавкой;

– предусмотрены центровые отверстия для ступенчатых валов и установочные фаски у пустотелых валов для их фиксации при обработке;

– предусмотрены технологические канавки для входа и выхода шлифовального круга;

– обрабатываемые поверхности должны располагаться в одной плоскости;

– все плоские обрабатываемые поверхности располагаются параллельно или перпендикулярно базовой поверхности детали.

Шлифованием обрабатываются только жесткие детали, не деформирующиеся в процессе обработки. Способ не допускает обработки малых отверстий.

8. ОТДЕЛОЧНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

К отделочным методам обработки поверхностей относятся: притирка, хонингование, суперфиниширование, полирование.

1. ***Притирка*** *относится к отделочным методам обработки поверхностей.*

Сущность метода притирки: на поверхность инструмента (т.н. *притира*), копирующего форму обрабатываемой поверхности, наносится мелко-

зернистый абразивный материал вместе со смазкой (абразивная паста). Паста или порошок внедряется в поверхность притира и удерживается ею. При относительном движении притира и заготовки абразивные зерна снимают стружку малой толщины с поверхности заготовки.

Материал притира должен быть мягче обрабатываемого материала заготовки (используют серый чугун, бронзу, красную медь, дерево).

Состав притирочной пасты: а) абразивный материал (электрокорунд, карбид кремния, карбид бора, оксид хрома и др.); б) материал смазки (масло, керосин, вазелин); в) химически активные вещества (олеиновая, стеариновая и другие кислоты).

Траектория движения каждого абразивного зерна притира не должна повторяться (это дает наилучшие результаты по шероховатости). Для выполнения данного условия необходимо совместить несколько простых движений притира относительно заготовки, например возвратно-поступательное и возвратно-вращательное движения.

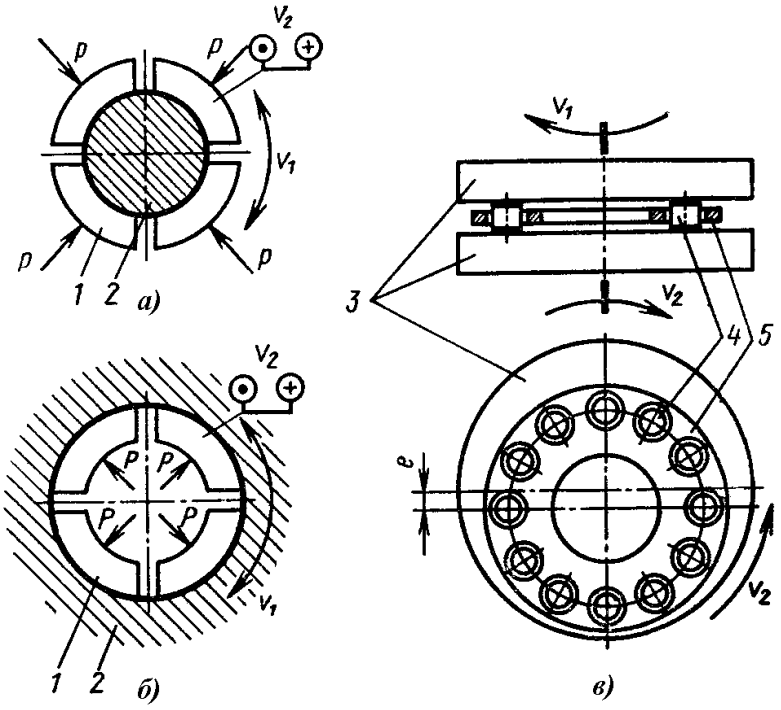


Рис. 92. Схемы притирки поверхностей

Схема притирки наружной цилиндрической поверхности приведена на рис. 92, *а*. Притир *1* представляет собой втулку с прорезями, которые необходимы для полного его прилегания под действием сил *P* к обрабатываемой заготовке *2* по мере ее обработки. Притиру сообщают возвратно-поступательное движение V_2 и одно временно возвратно-вращательное движение V_1. Аналогичные движения осуществляются при притирке отверстий (рис. 92, *б*), однако притир должен равномерно разжиматься под действием сил *P*. Приведенные схемы осуществляются вручную и на металлорежущих станках. Плоские поверхности притирают вручную или на специальных доводочных станках (рис. 92, *в*). Заготовки *4* располагаются между двумя чугунными дисками *3* в окнах сепаратора *5*. Диски-притиры имеют плоские торцовые поверхности и вращаются в противоположных направлениях с разными частотами вращения. Сепаратор относительно дисков расположен эксцентрично на величину *e*. Поэтому при вращении дисков при-

тираемые детали совершают сложные движения со скольжением и металл снимается одновременно с их параллельных торцов. Глубина припуска на притирку составляет 0,01 – 0,05 мм.

2. ***Хонингование*** *– метод отделочной обработки цилиндрических сквозных или глухих отверстий (иногда наружных цилиндрических поверхностей).*

Инструмент называется *хоном*. Это особая головка, в которой закреплены мелкозернистые абразивные бруски. Бруски совершают (вместе с головкой) вращательное V_1 и одновременно возвратно-поступательное V_2 движения вдоль оси обрабатываемого цилиндрического отверстия высотой. При сочетании таких движений на обрабатываемой поверхности появляется сетка микроскопических винтовых царапин – следов перемещения абразивных зерен. На рис. 93, *б* приведены развертка внутренней цилиндрической поверхности заготовки и схема образования сетки. Такой профиль может быть необходим для удержания смазочного материала при работе машины (например, двигателя внутреннего сгорания) на поверхности ее деталей.

Крайние нижнее и верхнее положения абразивных брусков устанавливают так, что создается перебег (рис. 93, *б*). Он необходим для того, чтобы образующие отверстия получались прямолинейными даже при неравномерном износе брусков.

Абразивные бруски *1* всегда контактируют с обрабатываемой поверхностью, так как раздвигаются в радиальном направлении механически (пружинами), гидравлически или пневматически. В данном случае шток *2* с конической частью раздвигают бруски. Давление брусков на обрабатываемую поверхность контролируется. Корпус головки *3* закрепляется в патроне станка через хвостовик *4*. В зону обработки обильно подается смазочно-охлаждающая жидкость (керосин, веретенное масло).

Хонингование по сравнению с внутренним шлифованием имеет преимущества: отсутствует упругий отжим инструмента, реже наблюдается вибрация, резание происходит более плавно.

Хонингованием исправляют погрешности формы отверстия: отклонение от круглости, цилиндричности. Погрешность взаимного расположения оси отверстия относительно торца детали (например, неперпендикулярность) хонингованием исправить невозможно, так как режущий инструмент самоустанавливается по отверстию.

В последние годы для хонингования стали широко применять алмазные бруски (синтетические), стойкость которых в десятки и сотни раз выше стойкости обычных абразивных брусков (рис. 94). Припуск на обработку при хонинговании составляет (0,05 – 0,2) мм. Станок для хонингования деталей приведен на рис. 95.

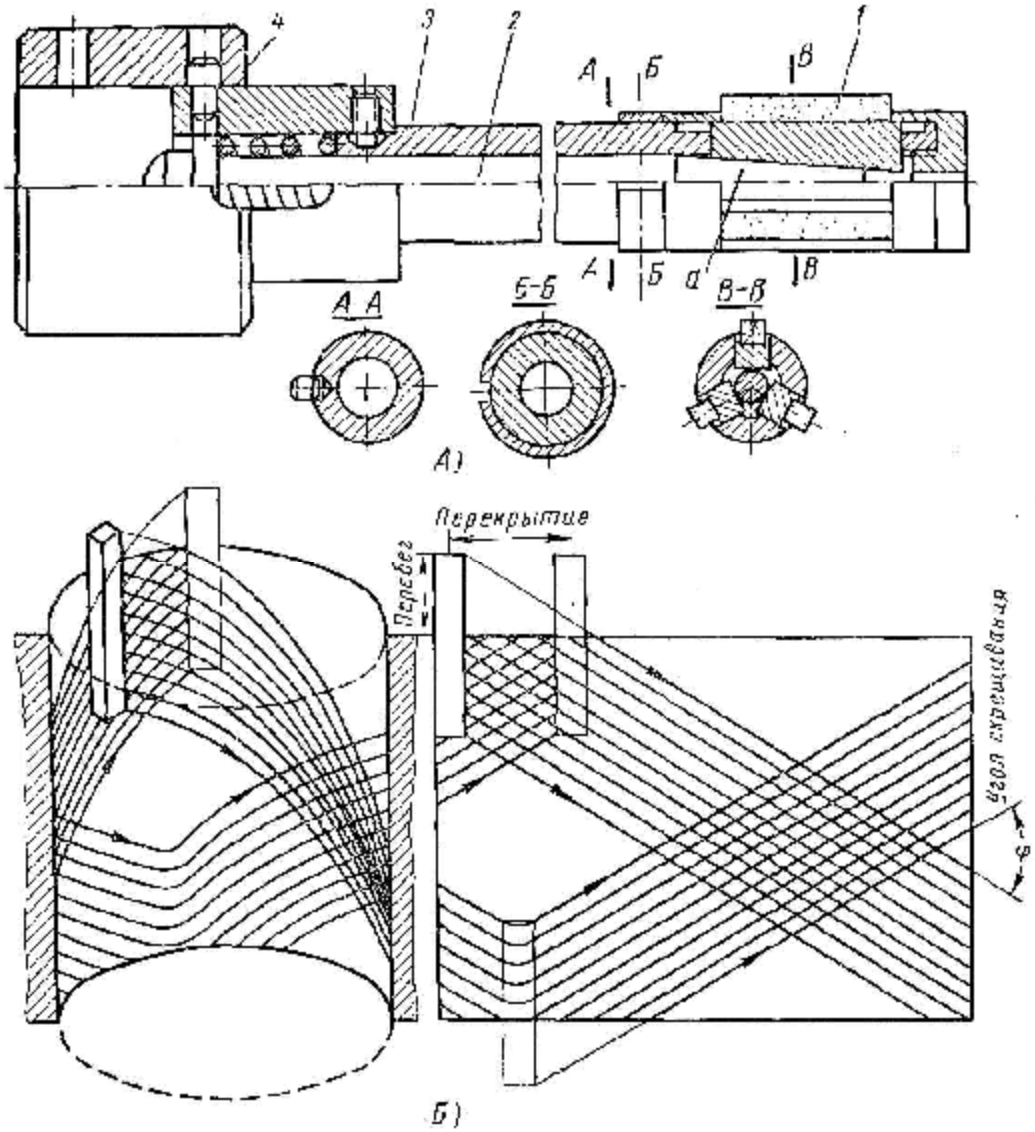


Рис. 93. Схема хонингования отверстия

Рис. 94. Хонинговальный многобрусковый инструмент фирмы DELAPENA

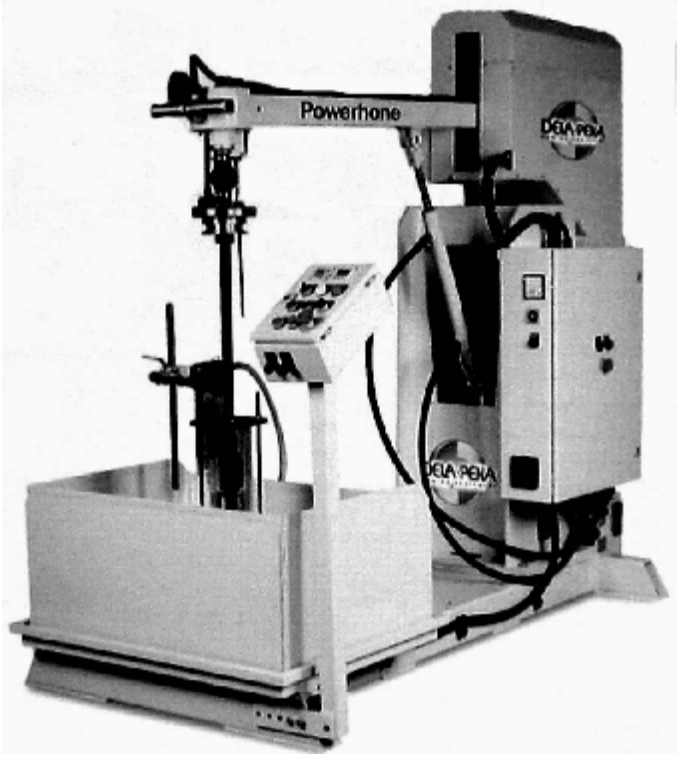


Рис. 95. Станок для хонингования деталей (диаметр от 25 до 368 мм) с гидравлическим двигателем вертикальной подачи

3. ***Суперфиниширование – это процесс сверхтонкой абразивной обработки наружных и внутренних цилиндрических и конических поверхностей, а также плоскостей колеблющимися брусками.***

Суперфинишем в основном уменьшают шероховатость поверхности, оставшуюся от предыдущей обработки. При этом изменяются глубина и вид микронеровностей, обрабатываемые поверхности получают сетчатый рельеф. Бруски устанавливаются в специальной головке (рис. 96). Для суперфиниша характерно колебательное движение подпружиненных самоустанавливающихся брусков наряду с движением заготовки. Процесс резания происходит при давлении брусков (0,5 – 3)·10^5 Па и в присутствии смазочного материала малой вязкости.

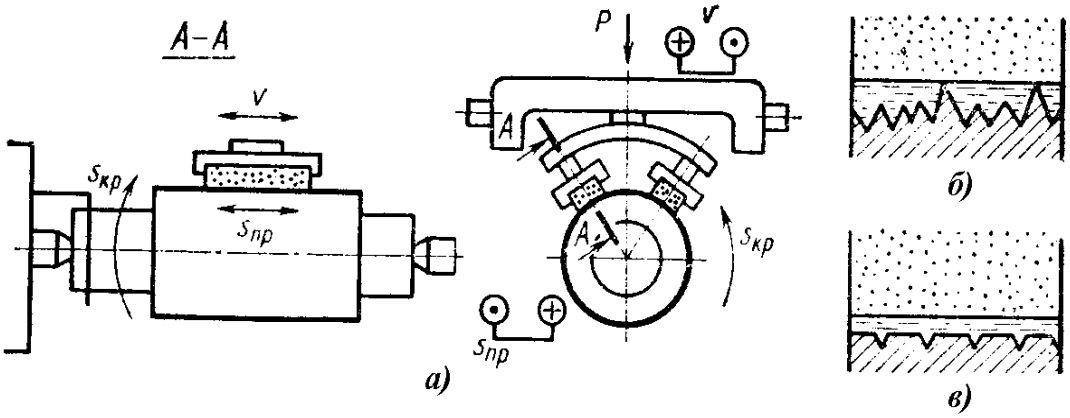


Рис. 96. Схемы суперфиниширования

Процесс характеризуется сравнительно малыми скоростями резания (5 – 7) м/мин.

Важную роль играет смазочно-охлаждающая жидкость (смесь керосина (80 – 90) % с веретенным или турбинным маслом (20 – 10) %. Масляная пленка покрывает обрабатываемую поверхность, но наиболее крупные микровыступы (*б*) прорывают ее и в первую очередь срезаются абразивом. Давление брусков на эти выступы оказывается большим, чем на другие. По ме-

ре дальнейшей обработки давление снижается, так как все большее число выступов прорывает масляную пленку. Наконец, наступает такой момент (*в*), когда давление бруска не может разорвать пленку, она становится сплошной. Создаются условия жидкостного трения. Процесс отделки автоматически прекращается.

При суперфинишировании погрешности формы не исправляются.

4. ***Полированием*** *уменьшают шероховатость поверхности и получают зеркальный блеск на ответственных частях деталей (дорожки качения подшипников, декоративные детали, ювелирные изделия и др.).*

Для этого используют полировальные пасты, состоящие из абразива и смазочного материала. В качестве абразивного материала применяют порошки электрокорунда и оксида железа при полировании стали, карбида кремния и оксида железа при полировании чугуна, оксида хрома при полировании алюминия и сплавов меди.

Смазочными материалами могут быть смеси из воска, сала, парафина и керосина. Эти материалы наносят на быстровращающиеся эластичные полировальные круги (из войлока, фетра, кожи, капрона, спрессованной ткани), колеблющиеся щетки, бесконечные абразивные ленты (рис. 97).

В зоне полирования одновременно протекают следующие основные процессы: а) тонкое резание; б) пластическое деформирование поверхностного слоя; в) химические реакции – воздействие на металл химически активных веществ, находящихся в полировальном материале.

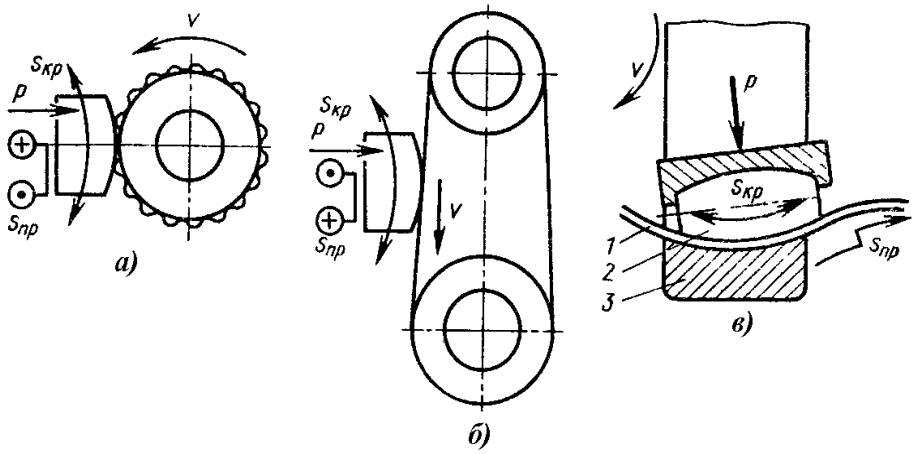


Рис. 97. Схемы полирования

Полирование (см. рис. 97) возможно в автоматическом или полуавтоматическом режиме. Заготовки, закрепленные на конвейере, непрерывно перемещаются относительно круга или ленты. Съем деталей происходит на ходу конвейера.

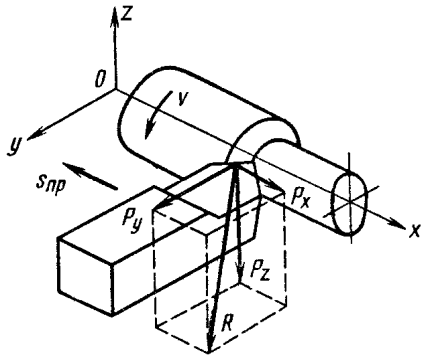
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Вопросы для самоконтроля по разделам № 1 и 2

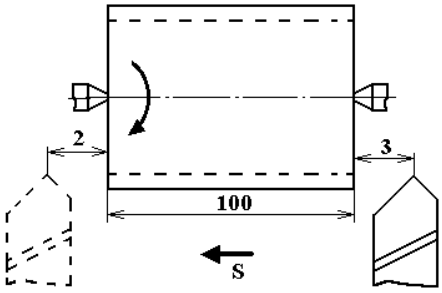
1. Классификация металлорежущих станков.
2. Классификация станков по степени автоматизации и расположению шпинделей.
3. Опишите механизм снятия (отделения) стружки с заготовки.
4. Основные методы обработки поверхностей резанием.
5. Назначение и особенности конструкции лоботокарных станков.
6. Назначение сверлильных и расточных станков.
7. Назначение шлифовальных, полировочных и доводочных станков.
8. Назначение строгальных, долбежных и протяжных станков.
9. Назначение зубо – и резьбообрабатывающих станков.

Вопросы для самоконтроля по разделу № 3

1. Назовите основной режущий элемент любого лезвийного инструмента.
2. Какие токарные резцы используются для обработки внутренних цилиндрических поверхностей?
3. Какие токарные резцы используются для обтачивания наружных цилиндрических и конических поверхностей?
4. Какие токарные резцы используются для разрезания заготовок?
5. Что такое глубина резания при точении?
6. Что такое скорость резания при точении?
7. Чему равна глубина резания при обтачивании наружной цилиндрической поверхности?
8. По какой составляющей (компоненте) усилия резания, действующего на токарный резец в процессе резания, определяется эффективная мощность резания N_e (мощность, необходимая для вращения заготовки) и мощность электродвигателя станка $N_{эл}$ (см. эскиз разложения равнодействующей сил резания на составляющие): а) по осевой составляющей силы резания P_x; б) по радиальной составляющей силы резания P_y; в) по тангенциальной составляющей силы резания P_z.



9. Чему будет равна расчетная длина обработки за один проход резца L (см. эскиз операции точения цилиндра): а) 100 мм; б) 102 мм; в) 103 мм; г) 105 мм.



10. Нарисуйте схему обработки торцевой поверхности вала подрезным резцом.

11. Нарисуйте схему обработки наружной цилиндрической поверхности проходным резцом.

12. Какие режущие инструменты используются при точении на токарном станке?

13. Из каких инструментальных материалов изготавливают режущий инструмент?

14. Как подразделяются резцы в зависимости от вида обрабатываемой поверхности?

15. Из каких марок твёрдого сплава изготавливают пластины резцов для обработки сталей и для обработки чугунов?

16. Из каких основных частей состоит токарный резец?

17. Какие составляющие силы резания вызывают деформацию обрабатываемого вала?

18. Какие способы закрепления валов являются рациональными?

19. как закрепляется вал при обработке в центрах?

20. Что такое базирование, где оно используется?

21. Что считается базами, их виды?

22. Чем отличаются технологические базы от конструкторских и измерительных?

23. Чем отличаются контактные вспомогательные технологические базы от основных?

24. Для каких целей в центровом отверстии делается дополнительная фаска под углом 120 градусов?

25. Как называются приспособления, на которые устанавливаются заготовки своими центровыми отверстиями, их виды?

26. С какой стороны вала устанавливаются вращающие центры?

27. Что такое люнет и когда он используется?

28. Чем отличается черновая база от чистовой?

29.сколькими степенями свободы обладает незакреплённое призматическое тело, как они устраняются?

30. Нужно ли при закреплении заготовки на токарном станке в трёхкулачковом самоцентрирующем патроне или на цанговой оправке использовать опорную поверхность?

31. Сколько раз используется черновая технологическая база при обработке отливки или поковки?

32. Какие существуют правила выбора черновой базы?

33. Какие существуют рекомендации по выбору чистовых баз?

Вопросы для самоконтроля по разделу № 4

1. Укажите вид осевого лезвийного инструмента для чистовой (окончательной, наиболее точной) обработки отверстий.

2. Перечислите лезвийные инструменты, которые позволяют нарезать цилиндрическую резьбу в отверстии?

3. Сколько главных режущих кромок (зубьев) имеет осевой лезвийный инструмент для получистовой обработки отверстий?

4. Сколько главных режущих кромок (зубьев) имеет осевой лезвийный инструмент – спиральное сверло?

5. Какой вид лезвийного осевого инструмента обеспечивает наибольшую точность и чистоту обработки?

6. Нарисуйте схемы нарезания внутренней цилиндрической резьбы.

7. Нарисуйте схемы зенкования конического углубления.

8. Нарисуйте схему обработки двух поверхностей (цилиндрической и конической) комбинированным зенкером.

9. Какими инструментами выполняют центровочные гнезда?

10. Виды обработки отверстий в заготовках?

11. С какой целью изготавливаются и используются агрегатные станки?

12. Какие изготавливаются резцы в зависимости от направления движения подачи?

Вопросы для самоконтроля по разделу № 5

1. Опишите типы фрез для обработки различных элементов деталей.

2. Нарисуйте схему фрезерования плоскости цилиндрической фрезой.

3. Нарисуйте схему фрезерования плоскости торцовой фрезой.

4. Нарисуйте схему попутного (по подаче) фрезерования цилиндрической фрезой.

5.Нарисуйте схему встречного (против подачи) фрезерования цилиндрической фрезой.

6. Нарисуйте схему фрезерования шпоночного паза шпоночной фрезой.

7. Нарисуйте схему вихревого фрезерования резьбового отверстия.

8. Приведите схемы обработки заготовок фрезерованием.

9. Опишите нарезание зубьев методом копирования.

10. Опишите нарезание зубьев методом обкатывания.

11. Типы фрезерных станков.

12. Особенности конструкции продольно-фрезерных станков.

13. Технологические возможности фрезерных станков с ЧПУ.

Вопросы для самоконтроля по разделу № 6

1. Какой вид лезвийного инструмента используется при строгании?
2. Каким образом нарезаются зубья строганием?
3. Какие поверхности можно обрабатывать методом лезвийной обработки протягиванием?
4. Нарисуйте схему протягивания шпоночного паза плоской шпоночной протяжкой.
5. Какие поверхности можно обрабатывать методом лезвийной обработки долблением?
6. Опишите способы строгания зубьев шестерен методом обкатки.
7. Фрезопротягивание зубьев шестерен.
8. Кругодиагональное протягивание зубьев шестерен.

Вопросы для самоконтроля по разделу № 7 и 8

1. Механизм отделения металла от заготовки при абразивной обработке?
2. Укажите виды обработки материалов, относящиеся к абразивной обработке.
3. Области применения методов шлифования.
4. Какая разновидность плоского шлифования является менее производительной, но более точной?
5. Область применения и особенность способа планетарного шлифования поверхностей отверстий.
6. Зачем при бесцентровом шлифовании гладких валиков ведущий круг устанавливается наклонно к оси вращения зазотовки?
7. Нарисуйте и опишите схему бесцентрового внутреннего шлифования.
8. Сущность процесса притирки поверхностей.
9. Сущность процесса хонингования.
10. Опишите процесс суперфиниширования.

Библиографический список

1. Черпаков Б. И. Металлорежущие станки: Учеб. пособие / Б. И. Черпаков, Т. А. Альперович. – М.: Изд-во «Академия», 2003. 368 с.

2.Схиртладзе, А.Г. Технологическое оборудование машиностроительных производств: Учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов / А.Г. Схиртладзе, В.Ю. Новиков; под ред. Ю. М. Соломенцева. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 2002. 407 с.

3. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Суслова, А.Г. Косиловой, Р.М. Мещерякова. 5-е изд. перераб. и доп. Т. 1. М.: Машиностроение – 1, 2001. 912 с.

4. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Суслова, А.Г. Косиловой, Р.М. Мещерякова. 5-е изд. перераб. и доп. Т. 2. М.: Машиностроение – 1, 2001. 944 с.

5. Технология автомобилестроения: Учебник для вузов / А.Л. Карунин, Е.Н. Бузник, О.А. Дащенко и др. // Под ред. А.И. Дащенко. М.: Академический Проект: Трикста, 2005. 624 с.

6. Технология материалов в приборостроении / Под ред. д-ра техн. наук, проф. А.Н. Малова. М.: Машиностроение, 1969. 442 с.

7. Справочник технолога-приборостроителя / Под ред. П.В. Сыроватченко. т. 1. М.: Машиностроение, 1980. 607 с.

8. Кучер А.М. Технология металлов / 4-ое изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, 1987. 214 с.

Учебное издание

Владислав Викторович Евстифеев, Михаил Сергеевич Корытов

Обработка материалов резанием: методы, станки, инструменты

Учебное пособие
(в авторской редакции)

Подписано к печати __.__.2012
Формат 60 х 90 1/16. Бумага писчая
Оперативный способ печати
Гарнитура Times New Roman
Усл. п. л. 4,75 , уч.-изд. л. 4,75
Тираж 120 экз. Заказ №
Цена договорная

Отпечатано в полиграфическом отделе УМУ СибАДИ
644080, г.Омск, пр.Мира, 5