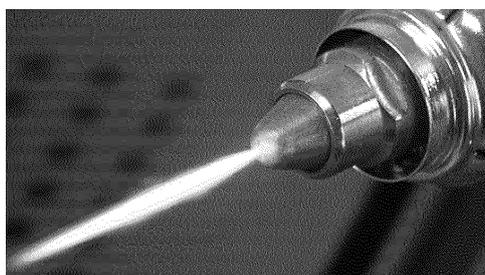
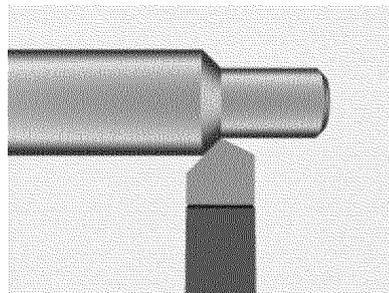
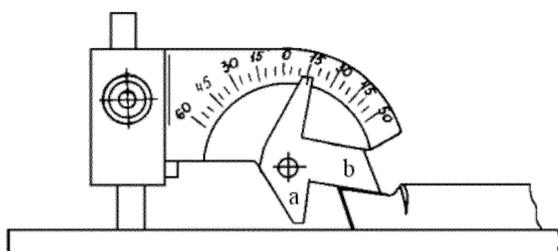


# **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ**

**Лабораторный практикум**



**Омск • 2014**

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

Кафедра «Автомобили, конструкционные материалы и технологии»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ  
ПРОЦЕССЫ  
ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ**

Лабораторный практикум

Составители: Б.И. Калмин, В.В. Евстифеев,  
В.В. Акимов, М.С. Корытов, А.Ф. Мишуров,  
С.М. Колисниченко, В.П. Расщупкин

Омск  
СибАДИ  
2014

УДК 621.7  
ББК 30.61

*Рецензент* д-р техн. наук, проф. С.В. Бирюков (СибАДИ)

Работа одобрена научно-методическим советом специальности «Наземные транспортно-технологические средства» в качестве лабораторного практикума.

**Физико-химические процессы при обработке металлов** : лабораторный практикум / сост. : Б.И. Калмин, В.В. Евстифеев, В.В. Акимов, М.С. Корытов, А.Ф. Мишуров, С.М. Колисниченко, В.П. Расщупкин. – Омск : СибАДИ, 2014. – 51 с.  
ISBN 978-5-93204-729-3

Приводятся сведения о конструкции, основных поверхностях и углах заточки токарных резцов, дается методика измерения и расчета углов заточки токарного проходного резца. Рассматриваются основные положения резания конструкционных материалов, объясняющие влияние геометрии инструмента и режимов обработки на усадку стружки и силовой режим резания. Даны краткие сведения о способе плазменной обработки металлов, о назначении и области применения аппарата «Мультиплаз-3 500», указания по использованию горелки в различных режимах.

Лабораторный практикум предназначен для студентов факультетов «Автомобильный транспорт», «Нефтегазовая и строительная техника», «Экономика и управление», «Заочный факультет».

УДК 621.7  
ББК 30.61

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Лабораторная работа № 1. ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ ЗАТОЧКИ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ</b> .....                              | 4  |
| Основные типы токарных резцов .....                                                                        | 4  |
| Части резца.....                                                                                           | 5  |
| Элементы токарного проходного резца.....                                                                   | 5  |
| Координатные плоскости .....                                                                               | 6  |
| Углы заточки токарного проходного резца.....                                                               | 7  |
| Порядок выполнения работы .....                                                                            | 9  |
| Контрольные вопросы .....                                                                                  | 10 |
| <b>Лабораторная работа № 2. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И ГЕОМЕТРИИ РЕЗЦА НА УСАДКУ СТРУЖКИ</b> ..... | 11 |
| Факторы, влияющие на усадку стружки.....                                                                   | 11 |
| Порядок выполнения работы .....                                                                            | 16 |
| Составление отчета.....                                                                                    | 16 |
| Контрольные вопросы .....                                                                                  | 17 |
| <b>Лабораторная работа № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ НА СИЛУ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ</b> .....   | 18 |
| Силы, удельная работа и мощность резания .....                                                             | 18 |
| Влияние элементов режима резания и условий обработки на силу резания $P_z$ .....                           | 20 |
| Порядок выполнения работы .....                                                                            | 21 |
| Протокол исследования .....                                                                                | 22 |
| Контрольные вопросы .....                                                                                  | 24 |
| <b>Лабораторная работа № 4. НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ</b> .....                     | 25 |
| Общие сведения. Плазматрон .....                                                                           | 25 |
| Назначение и области применения аппарата «Мультиплаз-3 500».....                                           | 29 |
| Практическое занятие .....                                                                                 | 32 |
| Первоначальные регулировки .....                                                                           | 32 |
| Включение горелки.....                                                                                     | 32 |
| Регулировка режимов.....                                                                                   | 33 |
| Работа в режиме «Резка».....                                                                               | 34 |
| Работа в режиме «Сварка».....                                                                              | 36 |
| Режим «Пайка».....                                                                                         | 39 |
| Окончание работы. Выключение горелки.....                                                                  | 40 |
| Оформление отчета по лабораторной работе.....                                                              | 40 |
| Контрольные вопросы .....                                                                                  | 41 |
| Приложение 4.1.....                                                                                        | 42 |
| Приложение 4.2.....                                                                                        | 42 |
| Библиографический список.....                                                                              | 50 |

# Лабораторная работа № 1

## ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ ЗАТОЧКИ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ

**Цель лабораторной работы:** изучение конструкции и геометрии токарных резцов, освоение методики измерения их углов заточки.

### Основные типы токарных резцов

Все резцы делятся на типы в зависимости от их технологического назначения и конструктивных особенностей (рис. 1.1).

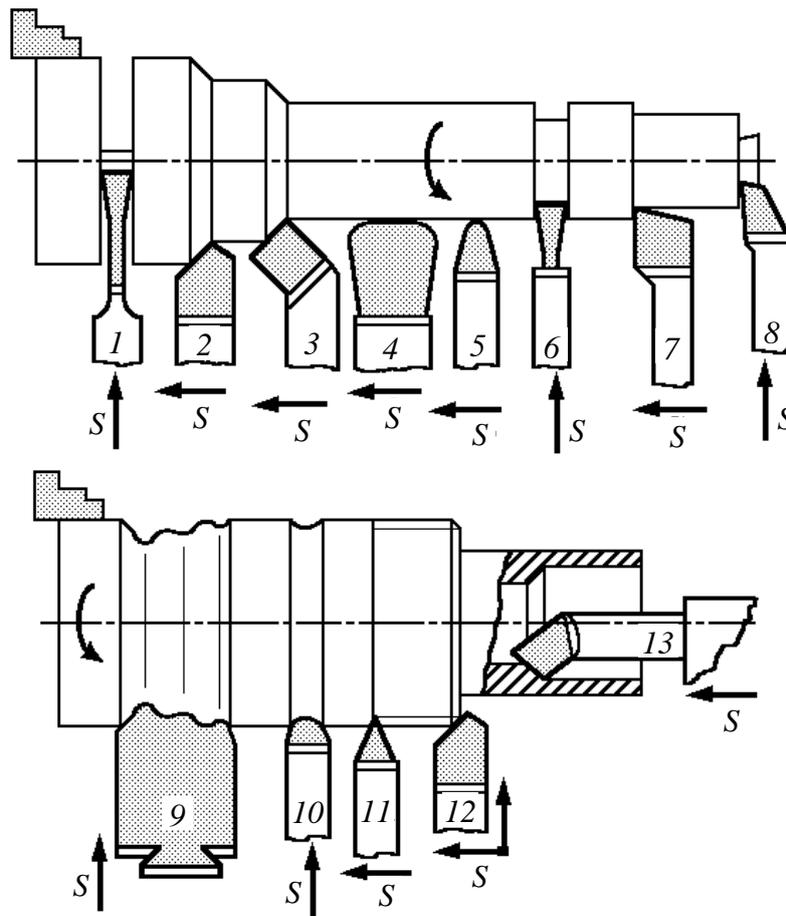


Рис. 1.1. Схемы установки резцов различных типов

На рис. 1.1 приводятся схемы установки следующих типов резцов: 1 – отрезного; 2 – проходного прямого; 3 – проходного отогнутого; 4 – чистового широкого (лопаточного); 5 – чистового радиусного; 6 – прорезного (канавочного); 7 – проходного упорного; 8 – подрезного; 9 – фасонного призматического; 10 – галтельного; 11 – резьбового наружного; 12 – фасочного; 13 – расточного проходного.

По характеру обработки различают резцы черновые, получистовые и чистовые.

По направлению подачи резцы подразделяют на правые и левые. Правые работают с подачей справа налево, левые – слева направо.

По форме режущей части резцы делят на прямые отогнутые и оттянутые (№ 2, 3 и 6 соответственно на рис. 1.1).

По способу изготовления резцы бывают целые, с приваренной или припаянной пластинкой инструментального материала, со сменными пластинками режущего материала [1, 2].

### Части резца

Резец состоит из режущей части – головки и крепежной части – державки (стержня), служащей для закрепления резца в резцедержателе станка (рис. 1.2) [1, 2].

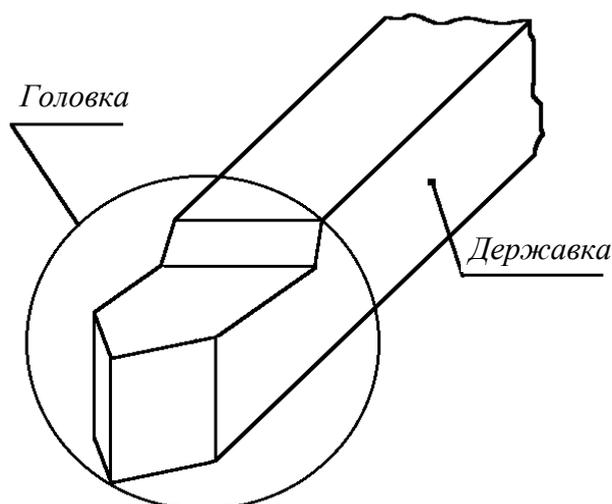


Рис. 1.2. Части токарного резца

### Элементы токарного проходного резца

Головка резца состоит из следующих элементов (рис. 1.3): передней поверхности, по которой сходит стружка; главной задней поверхности, обращенной к поверхности резания; вспомогательной задней поверхности, обращенной к обработанной поверхности; главной режущей кромки, образованной пересечением передней поверхности и главной задней поверхности; вспомогательной режущей кромки, образованной пересечением передней и вспомогательной задней поверхностей; вершины резца, образованной пересечением режущих кромок [1, 2].

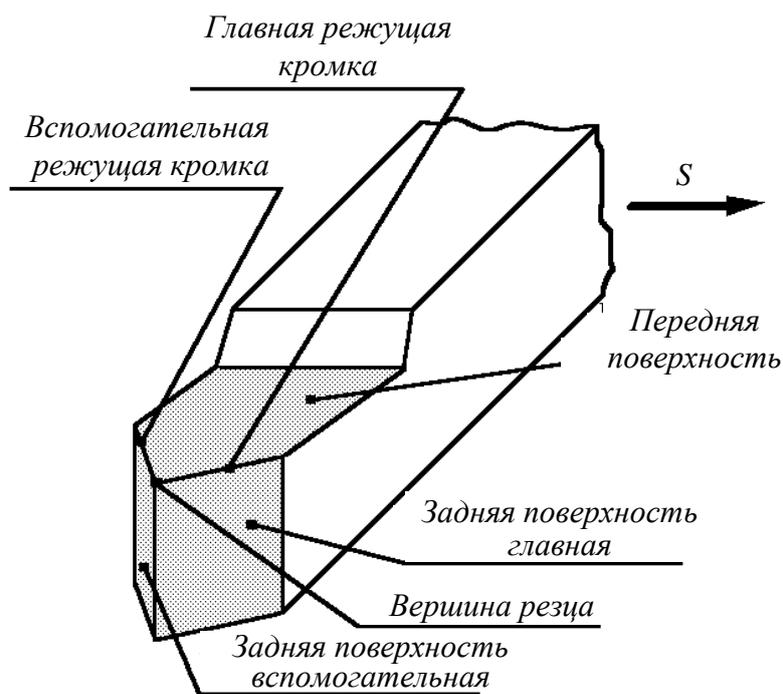


Рис. 1.3. Элементы головки резца

### Координатные плоскости

Для определения углов заточки резца используются следующие исходные координатные плоскости: плоскость резания, которая проходит через главную режущую кромку касательно к поверхности резания; основная плоскость, параллельная направлению продольной и поперечной подач (рис. 1.4) [1, 2].

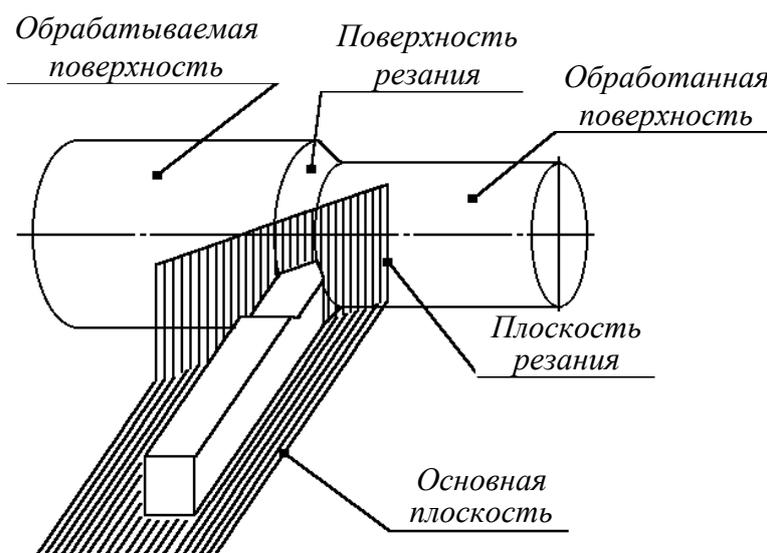


Рис. 1.4. Координатные плоскости и поверхности заготовки при точении

## Углы заточки токарного проходного резца

Углы заточки резца измеряются в главной и вспомогательной секущих плоскостях, а также в плоскости резания и основной плоскости (рис. 1.5) [1, 2].

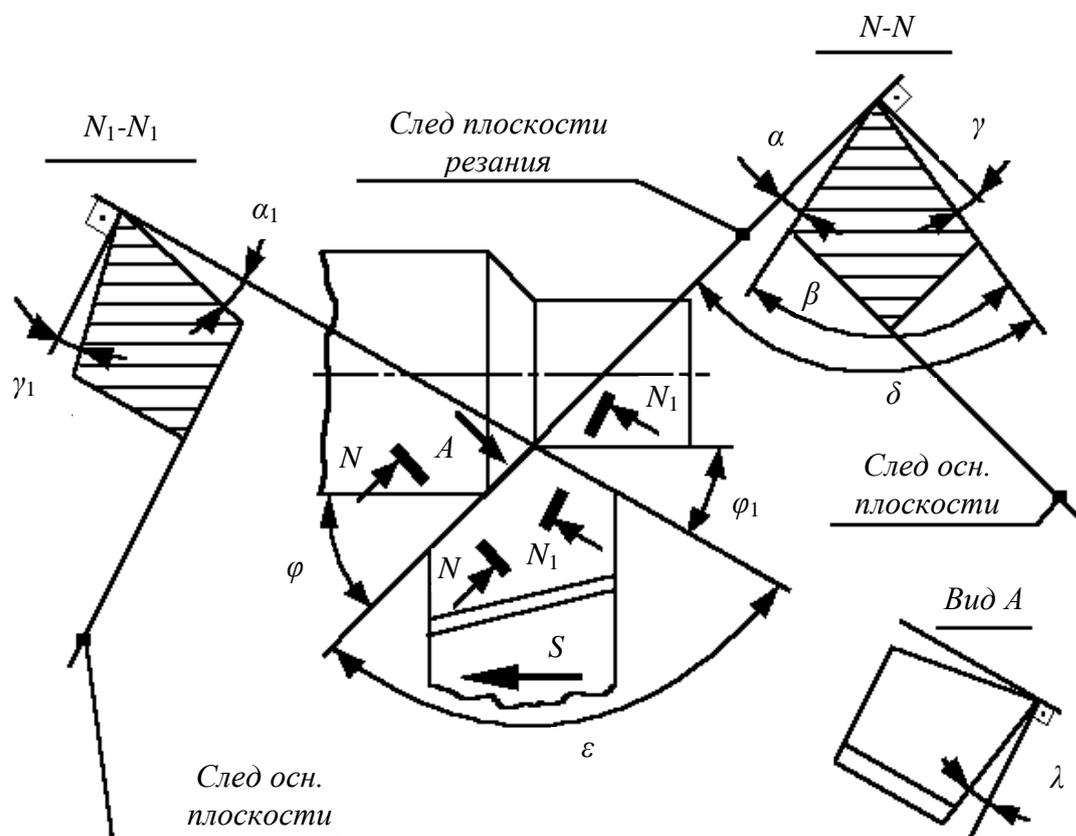


Рис. 1.5. Углы заточки токарного проходного резца:  
 $N-N$  – след главной секущей плоскости;  $N_1-N_1$  – след  
вспомогательной секущей плоскости

Главная секущая плоскость  $N-N$  проводится перпендикулярно проекции главной режущей кромки на основную плоскость. Вспомогательная секущая плоскость  $N_1-N_1$  проводится перпендикулярно проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость.

В главной секущей плоскости измеряются следующие углы (см. рис. 1.5):  $\delta$  – угол резания;  $\gamma$  – главный передний угол;  $\alpha$  – главный задний угол;  $\beta$  – угол заострения.

Углом резания  $\delta$  называют угол между касательной к передней поверхности и плоскостью резания.

Главным передним углом  $\gamma$  называется угол между касательной к передней поверхности резца и плоскостью, перпендикулярной к плоскости резания, проведенной через главную режущую кромку. Он может быть по-

ложительным, равным нулю и отрицательным. Передний угол играет большую роль в процессе резания. Чем больше передний угол, тем меньше деформация стружки и усилие резания. Но, с другой стороны, увеличение его приводит к уменьшению прочности головки резца. Передний угол выбирается в зависимости от свойств обрабатываемого материала и обычно лежит в пределах от 10 до 30°. Для обработки легких сплавов передний угол может быть больше. При обработке твердых и хрупких материалов для повышения прочности и стойкости инструмента применяют резцы с отрицательным значением переднего угла. Передний угол имеет положительное значение, если  $\delta < 90^\circ$ ; равен нулю, если  $\delta = 90^\circ$ ; отрицателен, если  $\delta > 90^\circ$ .

Главным задним углом  $\alpha$  называется угол между касательной к главной задней поверхности и плоскостью резания. Этот угол служит для уменьшения трения обрабатываемой поверхности о заднюю поверхность рабочей части резца и обычно принимается равным 6...12°.

Углом заострения  $\beta$  называется угол между передней и главной задней поверхностями резца.

Углы, измеряемые в главной секущей плоскости, связаны между собой следующими зависимостями:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ; \quad \alpha + \beta = \delta.$$

Во вспомогательной секущей плоскости измеряется вспомогательный задний угол  $\alpha_1$ . Вспомогательным задним углом называется угол между вспомогательной задней поверхностью и плоскостью, проходящей через вспомогательную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости.

В основной плоскости измеряются следующие углы:  $\varphi$  – главный угол в плане;  $\varphi_1$  – вспомогательный угол в плане;  $\varepsilon$  – угол при вершине резца.

Углы в плане связываются зависимостью  $\varphi + \varphi_1 + \varepsilon = 180^\circ$ .

Главным углом в плане  $\varphi$  называется угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением продольной подачи. Для проходных токарных резцов значение этого угла заточки колеблется от 30° для жестких заготовок до 90° для тонких и длинных заготовок. При обработке заготовок средней жесткости величину угла  $\varphi$  берут равной 45°.

Вспомогательным углом в плане  $\varphi_1$  называется угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением продольной подачи. Назначение его аналогично назначению задних углов.

Угол  $\lambda$  – это угол наклона главной режущей кромки. Этот угол находится между кромкой и линией, проведенной через вершину резца параллельно основной плоскости. Он может быть положительным, отрицатель-

ным и нулевым. Если главная режущая кромка параллельна основной плоскости, угол  $\lambda$  равен нулю. Если вершина резца является наивысшей точкой главной режущей кромки – угол  $\lambda$  отрицателен и наоборот.

Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  при продольном точении оказывает влияние на направление схода стружки. При положительном угле  $\lambda$  стружка сходит по направлению к задней бабке станка, что обычно применяется при черновом точении. При отрицательном угле  $\lambda$  стружка сходит в сторону передней бабки, а при  $\lambda = 0^\circ$  стружка закручивается в спираль вдоль державки резца.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с токарными резцами различного назначения. В отчете привести эскизы основных типов резцов (см. рис. 1.1).

2. Изучить конструкцию токарного резца. В отчете привести рисунок инструмента, обозначив все его элементы (см. рис. 1.3).

3. Усвоить понятия о поверхностях обрабатываемой детали и координатных плоскостях, применяемых при рассмотрении геометрии резца. В отчете привести рисунок резца и детали (см. рис. 1.4) с изображением координатных плоскостей.

4. Изучить углы заточки токарного проходного резца и их назначение. В отчете выполнить рисунок детали и резца в плане и сечение резца главной и вспомогательной секущими плоскостями (см. рис. 1.5). Дать определение каждому углу.

5. Ознакомиться с конструкцией универсального угломера и техникой измерения углов.

#### Результаты измерения углов заточки токарного проходного резца

| Измеренный или вычисленный угол     | Обозначение   | Плоскость измерения | Величина, град |
|-------------------------------------|---------------|---------------------|----------------|
| Передний угол                       | $\gamma$      |                     |                |
| Вспомогательный передний угол       | $\gamma_1$    |                     |                |
| Задний угол                         | $\alpha$      |                     |                |
| Вспомогательный задний угол         | $\alpha_1$    |                     |                |
| Главный угол в плане                | $\varphi$     |                     |                |
| Вспомогательный угол в плане        | $\varphi_1$   |                     |                |
| Угол резания                        | $\delta$      |                     | Расчет         |
| Угол заострения                     | $\beta$       |                     | Расчет         |
| Угол при вершине                    | $\varepsilon$ |                     | Расчет         |
| Угол наклона главной режущей кромки | $\lambda$     |                     |                |

6. Измерить углы  $\gamma$ ,  $\gamma_1$ ,  $\alpha$ ,  $\alpha_1$ ,  $\lambda$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$ . Вычислить углы  $\delta$ ,  $\beta$  и  $\varepsilon$ . Результаты записать в таблицу.

### Контрольные вопросы

1. Схема отрезного резца. Особенности конструкции (сравнить с прорезным резцом). Назначение резца.
2. Схема прямого проходного резца. Назначение резца.
3. Схема отогнутого проходного резца. Назначение резца.
4. Схема чистового широкого резца и особенности его конструкции. Назначение резца.
5. Схема чистового радиусного резца и его назначение.
6. Схема прорезного резца и его назначение.
7. Схема проходного упорного резца и его назначение.
8. Схема подрезного резца и его назначение.
9. Схема фасонного призматического резца и его назначение.
10. Схема галтельного резца и его назначение.
11. Схемы резьбового наружного и внутреннего резцов и их назначение.
12. Схема фасочного резца и его назначение. Какие еще резцы могут быть использованы в качестве фасочных?
13. Схемы расточного проходного и упорного резцов и их назначение.
14. Элементы токарного прямого проходного резца.
15. Координатные плоскости для определения углов заточки резцов.
16. Словесное определение главного переднего и вспомогательного переднего углов заточки резца.
17. Словесное определение главного заднего и вспомогательного заднего углов заточки резца.
18. Словесное определение главного и вспомогательного углов в плане.
19. Словесное определение угла резания.
20. Словесное определение угла при вершине резца.
21. Словесное определение угла заострения резца.
22. Словесное определение угла наклона главной режущей кромки.

## Лабораторная работа № 2

### ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И ГЕОМЕТРИИ РЕЗЦА НА УСАДКУ СТРУЖКИ

**Цель лабораторной работы:** ознакомление с формированием стружки при резании металлов; изучение влияния геометрии инструмента и режимов резания на усадку стружки при строгании плоских поверхностей.

#### Факторы, влияющие на усадку стружки

Процесс резания металла сопровождается рядом физических явлений. Понимание их сущности дает возможность управлять процессом резания, обеспечивая высокое качество поверхности при максимальной производительности труда. Обработка резанием заключается в срезании с обрабатываемой заготовки 4 инструментом 2 с режущей кромкой 1 некоторой массы металла, специально оставленной на обработку и называемой припуском (рис. 2.1) [1-5, 8].

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

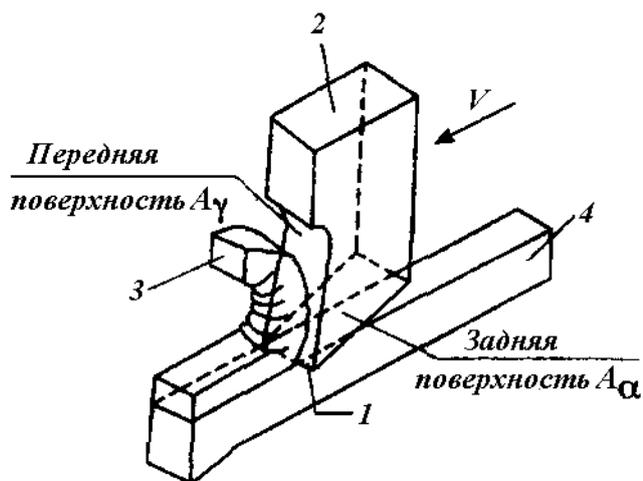


Рис. 2.1. Схема снятия стружки резанием

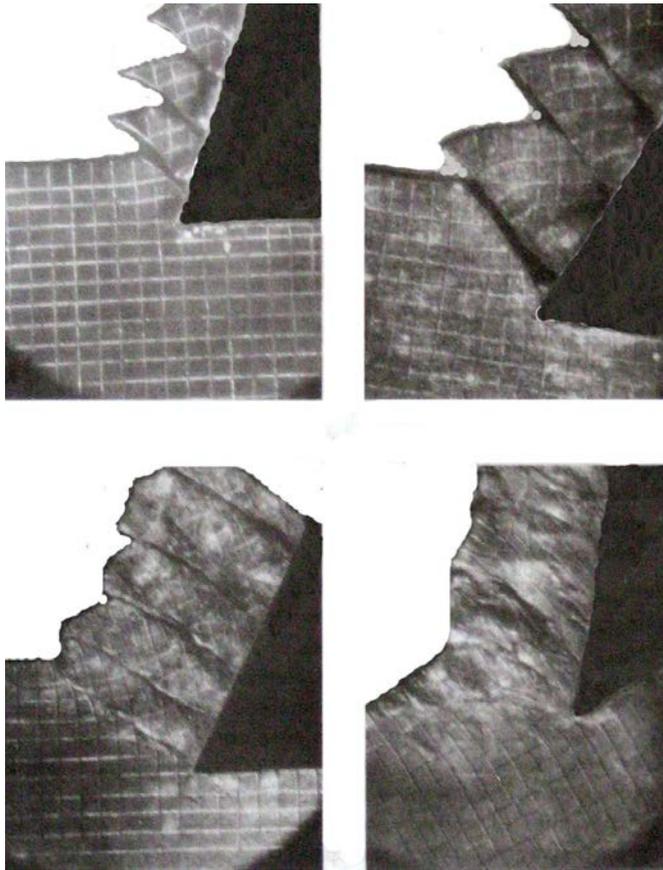


Рис. 2.2. Картина формирования стружки при резании металла

зания, 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.

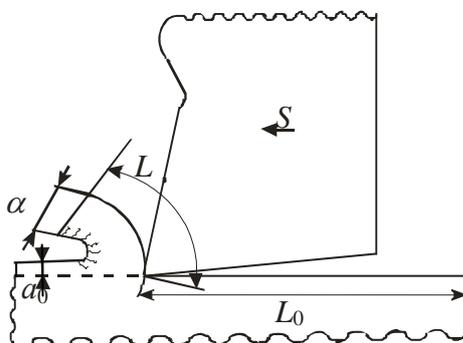


Рис. 2.3. Схема к определению коэффициента усадки стружки

Процесс отделения стружки от заготовки зависит от характеристик обрабатываемого материала (твёрдость, прочность, пластичность) и термомеханических условий резания. На рис. 2.2 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 ре-

зания, 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.

Металл, срезаемый с заготовки, пластически деформируется. При этом оказывается, что длина стружки  $L$  получается меньше пути  $L_0$ , пройденного резцом по обрабатываемой поверхности, а толщина стружки  $\alpha$  – больше толщины срезаемого слоя  $\alpha_0$  (рис. 2.3). Ширина стружки незначительно отличается от ширины среза.

**То есть усадка стружки – это изменение геометрических размеров срезаемого слоя металла вследствие пластической деформации.**

Изменение размеров срезаемого слоя определяется коэффициентом усадки стружки  $K=L_0/L$ . Если считать, что объем стружки не изменяется и ширина стружки равна ширине среза, то  $L \cdot \alpha = L_0 \cdot \alpha_0$ , или  $L_0/L = \alpha/\alpha_0 = K$ .

Коэффициент усадки стружки в зависимости от условий резания может колебаться от 1 до 10. В среднем он принимает значения  $K=2,5 \dots 3,5$ . По его значению можно ориентировочно судить о величине пластической деформации срезаемого слоя. Чем меньше усадка стружки, тем меньше пластические деформации, а значит, лучше условия для стружкообразования, меньше удельный расход мощности, выше качество обрабатываемой поверхности.

Определяется коэффициент усадки стружки непосредственным изменением по гладкой стороне стружки или изменением толщины стружки на микроскопе.

Величина коэффициента зависит от следующих факторов:

- *свойств обрабатываемого материала*. Чем пластичнее металл, тем усадка при прочих равных условиях больше;

- *геометрии режущего инструмента*, а именно: переднего угла  $\gamma$ , главного угла в плане  $\phi$ , радиуса при вершине резца  $r$ . Чем меньше передний угол, тем больше деформируется стружка. Следовательно, зависимость коэффициента  $K$  от величины  $\gamma$  (рис. 2.4) будет обратно пропорциональной. С увеличением главного угла в плане  $\phi$  усадка стружки уменьшается, что объясняется увеличением толщины среза ( $\alpha = S \cdot \sin \phi$ ). Толстую стружку труднее деформировать (рис. 2.5). Влияние радиуса закругления при вершине резца  $r$  на поперечное сечение среза представлено на рис. 2.6. При увеличении радиуса закругления усадка увеличивается вследствие того, что на образовавшемся криволинейном участке режущей кромки резца толщина срезаемого слоя в разных точках переменная и получается меньше толщины среза у прямолинейного участка ( $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ ). Поэтому стружка деформируется больше;

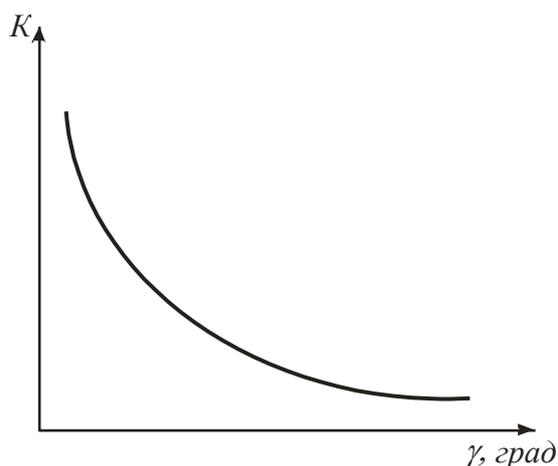


Рис. 2.4. Зависимость коэффициента усадки от величины переднего угла

- *элементов режима резания*: глубины резания, подачи и скорости резания. При увеличении глубины резания толщина сечения срезаемой стружки возрастает, а значит, снижается коэффициент усадки.

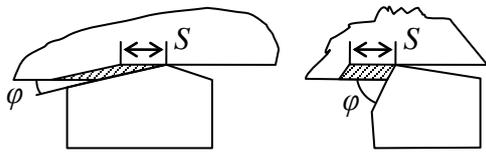


Рис. 2.5. Влияние главного угла в плане  $\varphi$  на усадку стружки

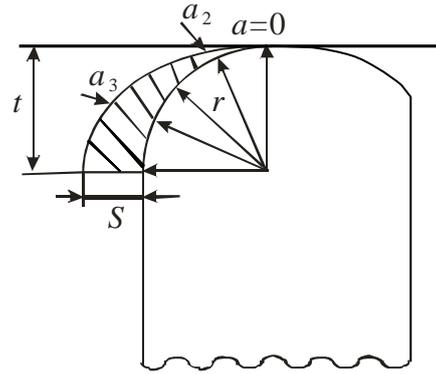


Рис. 2.6. Сечения срезаемой стружки резцом с криволинейным лезвием

Влияние скорости резания на коэффициент усадки стружки будет иметь более сложный характер (рис. 2.7). Кривая 1 соответствует резанию материалов, не склонных к наростообразованию. В этом случае по мере увеличения скорости резания коэффициент усадки стружки  $K$  уменьшается при снижении интенсивности. Такой характер изменения  $K=f(V)$  объясняется уменьшением коэффициента трения между стружкой и передней поверхностью резца при увеличении температуры на передней поверхности.

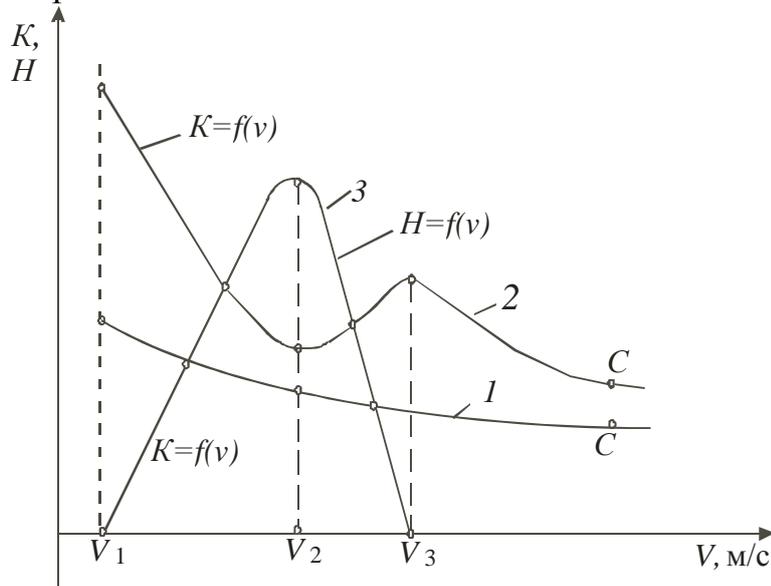


Рис. 2.7. Влияние скорости резания на величины  $K$  и  $H$

При резании металлов, склонных к наростообразованию (кривая 2 на рис. 2.7), скорость резания на коэффициент усадки стружки влияет не монотонно. Уменьшение коэффициента  $K$  при увеличении скорости резания от  $V_1$  до  $V_2$  и его дальнейшее увеличение при возрастании скорости от  $V_2$  до  $V_3$  связано с влиянием на процесс стружкообразования нароста. Кривая 3 (рис. 2.7) показывает изменение высоты нароста  $H$  в интервале скоростей

резания от  $V_1$  до  $V_3$ . Возрастание скорости резания от  $V_1$  до  $V_2$  сопровождается увеличением переднего угла инструмента в связи с ростом  $H$  (рис. 2.8), вследствие чего степень деформации срезаемого слоя уменьшается. При скорости резания  $V_2$  фактический передний угол имеет максимальную величину и коэффициент  $K$  достигает минимума.

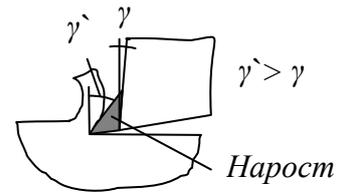


Рис. 2.8. К влиянию нароста на передний угол

При возрастании скорости резания от  $V_2$  до  $V_3$  высота нароста уменьшается так же, как и величина фактического переднего угла. Это вызывает увеличение коэффициента усадки стружки. При скоростях резания  $V_2 = V_3$  нарост отсутствует и скорость резания влияет на коэффициент  $K$  только через изменение коэффициента трения. С дальнейшим увеличением скорости резания интенсивность изменения коэффициента  $K$  уменьшается, и при скоростях, превышающих 200...250 м/мин (точка  $C$  на рис. 2.7), кривая приобретает характер асимптоты к оси скоростей.

Таким образом, при высоких скоростях резания пластическая деформация стружки уменьшается. Следовательно, уменьшается и удельная работа, затрачиваемая на пластическую деформацию.

При увеличении подачи (и толщины среза) усадка снижается. Дело в том, что деформация по толщине распределяется неравномерно. Максимально деформируется слой толщиной  $a' \leq \rho$  ( $\rho$  – радиус округления режущей кромки, рис. 2.9), так как на округленном участке уменьшается передний угол  $\gamma$ .

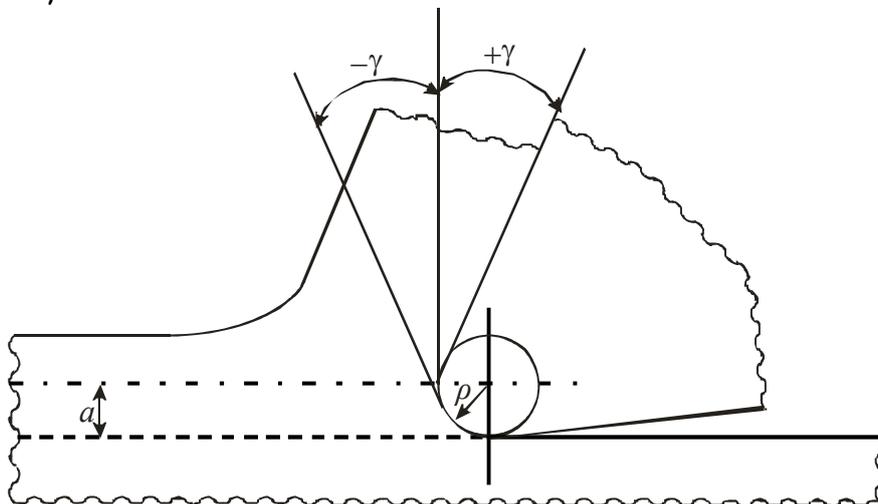


Рис. 2.9. Влияние радиуса округления режущей кромки на изменение переднего угла

Смазочно-охлаждающая жидкость (СОЖ) снижает усадку стружки, так как при ее применении уменьшается трение.

## Порядок выполнения работы

После ознакомления с теоретической частью работы осуществляется обработка плоской поверхности на поперечно-строгальном станке. Исследование влияния факторов резания на коэффициент усадки состоит из нескольких этапов:

- 1) на поперечно-строгальный станок устанавливается стальная пластина;
- 2) на суппорте устанавливается, выверяется и закрепляется резец с определенным передним углом;
- 3) станок настраивают на заданный режим резания;
- 4) осуществляется процесс резания и замер снятой стружки по гладкой стороне.

При определении зависимости  $K=f(\gamma)$  строгание производится несколькими резцами.

Для установления влияния физико-механических свойств обрабатываемого материала на усадку стружки исследование зависимости  $K=f(\gamma)$  или  $K=f(S)$  повторяется с использованием заготовок из цветных сплавов.

## Составление отчета

### Результаты эксперимента

| № опыта | Передний угол $\gamma$ , град. | Число двойных ходов $n$ , дв.х./мин | Скорость резания $V$ , м/мин | Глубина резания $t=S$ , мм | Длина пластины $L_0$ , мм | Длина стружки $L$ , мм | Коэффициент $K$ |
|---------|--------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------|
| 1       | 16                             | 75                                  |                              | 0,6                        | 75                        |                        |                 |
| 2       | 21                             |                                     |                              |                            |                           |                        |                 |
| 3       | 28                             |                                     |                              |                            |                           |                        |                 |
| 4       | 33                             |                                     |                              |                            |                           |                        |                 |
| 1       | 33                             | 25                                  |                              | 0,6                        | 75                        |                        |                 |
| 2       |                                | 35                                  |                              |                            |                           |                        |                 |
| 3       |                                | 50                                  |                              |                            |                           |                        |                 |
| 4       |                                | 75                                  |                              |                            |                           |                        |                 |
| 1       | 33                             | 75                                  |                              | 0,2                        | 75                        |                        |                 |
| 2       |                                |                                     |                              | 0,4                        |                           |                        |                 |
| 3       |                                |                                     |                              | 0,6                        |                           |                        |                 |
| 4       |                                |                                     |                              | 0,8                        |                           |                        |                 |

Отчет должен содержать: а) конспект теоретической части работы с разъяснением, какие параметры процесса резания и как влияют на коэф-

коэффициент усадки стружки (физико-механические свойства обрабатываемого металла, передний угол резца, радиус при вершине резца, главный угол в плане, глубина резания, подача, скорость резания, величина нароста, применение или отсутствие смазочно-охлаждающей жидкости); б) сводный протокол с полученными результатами исследования (таблица); в) графики зависимостей  $K = f(\gamma, S, V)$ ; г) выводы.

Протокол исследования влияния параметров  $\gamma, S, V$   
на коэффициент усадки стружки

Резец \_\_\_\_\_; материал заготовки \_\_\_\_\_.

Скорость рабочего хода резца  $V$  рассчитывается по формуле

$$V = \frac{n \cdot L_p (1 + m)}{1000},$$

где  $L_p$  – ход резца (равен длине пластины, увеличенной на длину врезания и перебега резца,  $L_p = L_0 + 40$ );  $m$  – отношение скорости рабочего хода к скорости холостого хода,  $m = 0,75$ .

### Контрольные вопросы

1. Какие виды деформации материала происходят в процессе резания?
2. Виды стружки согласно классификации проф. И.А. Тиме.
3. Дать определение коэффициента продольной и поперечной усадки стружки.
4. Влияние подачи резца на усадку стружки.
5. Влияние скорости резания на усадку стружки.
6. Влияние глубины резания на усадку стружки.
7. Влияние углов заточки резца на усадку стружки.
8. Явление нароста на передней поверхности резца и его влияние на усадку стружки.
9. Особенности стружкообразования при применении резцов с криволинейным лезвием.
10. Влияние радиуса округления режущей кромки на изменение переднего угла резца.
11. Влияние смазочно-охлаждающей жидкости на величину усадки стружки.
12. Привести формулы для расчета коэффициентов продольной и поперечной усадки стружки.

### Лабораторная работа № 3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ НА СИЛУ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ

**Цель лабораторной работы:** ознакомление с методами и приборами для измерения сил резания при токарной обработке; определение влияния глубины резания, подачи и скорости резания на силовой режим обработки.

### Силы, удельная работа и мощность резания

В процессе резания резец преодолевает сопротивление обрабатываемого материала (силы упругого и пластического деформирования, силы трения) [1-5]. Суммарная *равнодействующая* всех сил, действующих на резец, обозначается  $R$ .

Для удобства измерения и изучения силу  $R$  раскладывают на три взаимно перпендикулярные составляющие:  $P_Z$ ,  $P_Y$ ,  $P_X$  (рис. 3.1).

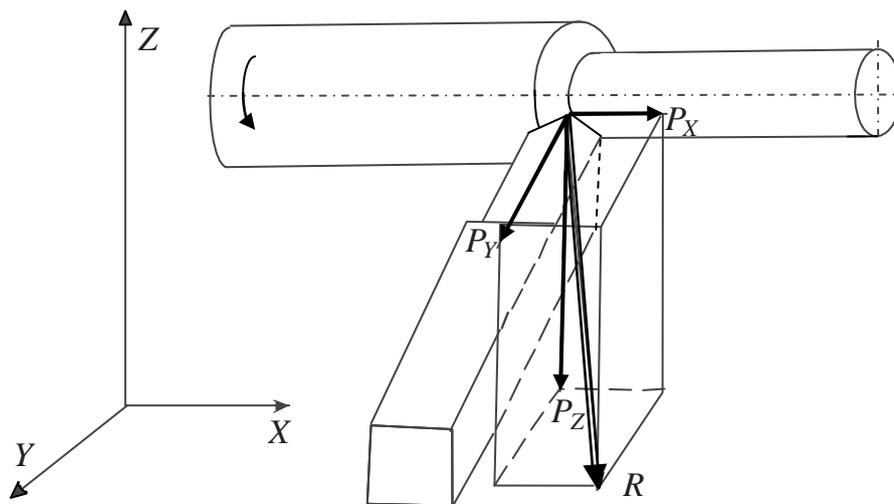


Рис. 3.1. Разложение равнодействующей сил резания на составляющие

Сила резания  $P_Z$  действует на резец в направлении движения резания и является касательной к поверхности резания. Поэтому часто ее называют *тангенциальной*.

*Радиальная* сила  $P_Y$  направлена в сторону резца перпендикулярно от заготовки. Эта сила отжимает резец от заготовки и изгибает заготовку.

*Осевая* сила  $P_X$  действует в направлении, параллельном оси заготовки, в сторону, противоположную движению подачи. Эту силу часто называют силой подачи.

Наибольшей из этих сил является сила резания  $P_Z$ . Соотношение между силами  $P_Y$ ,  $P_Z$ , и  $P_X$  зависит в основном от режимов резания и углов заточки резца.

Например, при обработке конструкционных малоуглеродистых сталей резцом с углами  $\gamma = 15^\circ$ ,  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\lambda = 0^\circ$   $P_Y = (0,4 \dots 0,5) \cdot P_Z$ ,  $P_X = (0,3 \dots 0,4) \cdot P_Z$ .

Равнодействующая равна

$$R = \sqrt{P_Z^2 + P_Y^2 + P_X^2}.$$

По силе резания  $P_Z$  производят расчет *крутящего момента* (кН·м), который нужно приложить к шпинделю станка, и мощности (кВт) на резание (*эффективная мощность*):

$$M_{кр} = \frac{P_Z \cdot D}{2}; \quad N_e = \frac{P_Z \cdot V}{60 \cdot 10^3},$$

где  $D$  – диаметр обрабатываемой поверхности заготовки, м;  $V$  – скорость резания, м/мин.

Тогда *мощность электродвигателя станка* должна быть равна

$$N_{дв} = \frac{N_e}{\eta},$$

где  $\eta$  – КПД станка,  $\eta = 0,7 \dots 0,65$ .

По тангенциальному усилию резания  $P_Z$  рассчитывают основные детали коробки скоростей, а также резца на прочность и жесткость.

Отношение силы резания  $P_Z$  к площади среза называют *удельной силой резания*  $P$ :

$$P = \frac{P_Z}{S \cdot t} \text{ [Н/мм}^2\text{]},$$

где  $S$  – подача, мм/об;  $t$  – глубина резания, мм.

Работа, затрачиваемая при резании на превращение в стружку единицы объема обрабатываемого металла, называется *удельной работой резания*  $a$ :

$$a = \frac{P_Z \cdot v}{V} \text{ [Дж/см}^3\text{]},$$

где  $P_Z$  – сила резания, Н;  $v$  – скорость резания, м/мин;  $V$  – объем металла, превращающегося в стружку в единицу времени, см<sup>3</sup>/мин,  $V = t \cdot S \cdot v_0$ .

Удельная работа характеризует энергетические затраты на обработку резанием конкретного металла, т.е. определяет склонность металла к обрабатываемости.

## Влияние элементов режима резания и условий обработки на силу резания $P_Z$

Изменение величины скорости резания в диапазоне 20...50 м/мин не дает заметного изменения силы  $P_Z$ . При дальнейшем увеличении скорости резания сила  $P_Z$  уменьшается, оставаясь почти постоянной при скорости выше 400...500 м/мин.

С увеличением глубины резания  $t$  и подачи  $S$  увеличивается площадь поперечного сечения срезаемого слоя, возрастают деформации и, следовательно, увеличивается сила  $P_Z$ . Глубина резания  $t$  влияет в большей степени на величину  $P_Z$ , чем подача, так как с увеличением  $t$  толщина срезаемого слоя остается неизменной. Пропорционально  $t$  увеличивается ширина срезаемого слоя, а отношение силы  $P_Z$  к длине режущей кромки остается постоянной. При увеличении подачи ширина срезаемого слоя остается неизменной, а толщина пропорционально увеличивается, срезаются более толстые стружки и величина  $P_Z$  возрастает в меньшей степени, чем при увеличении глубины резания.

О влиянии физико-механических свойств обрабатываемого материала на  $P_Z$ ,  $P_X$ ,  $P_Y$ : чем больше предел прочности материала на растяжение  $\sigma_B$  и твердость  $HB$ , тем больше становятся все три компоненты силы резания.

При увеличении износа резца увеличиваются все три компоненты силы резания:  $P_X$  и  $P_Y$  возрастают потому, что больше становится длина криволинейного участка режущей кромки, а следовательно, больше деформации в срезаемом слое. Поскольку главная режущая кромка располагается под углом в плане к оси вращения заготовки, то возрастают две компоненты:  $P_X$  и  $P_Y$ . Тангенциальная сила  $P_Z$ , кроме того, возрастает еще и потому, что увеличивается площадка контакта задней поверхности резца и трение о заготовку.

При увеличении радиуса закругления при вершине резца  $r$  силы  $P_Z$  и  $P_Y$  увеличиваются. Это происходит потому, что площадь срезаемого за один оборот слоя не зависит от радиуса закругления  $r$ , а зависит только от  $t$  и  $S$ . При постоянных значениях глубины резания и подачи  $t$  и  $S$  площадь среза постоянна, но толщина среза уменьшается, особенно к вершине резца, а ширина несколько увеличивается. Поэтому возрастает площадь трения по задней поверхности и, следовательно,  $P_Z$ . Сила  $P_Y$  возрастает потому, что режущий клин отжимается от заготовки в направлении, перпендикулярном к главной режущей кромке (среднее значение угла в плане  $\phi$  становится меньше).

При уменьшении переднего угла  $\gamma$  силы резания  $P_Z$ ,  $P_X$ ,  $P_Y$  увеличиваются, так как резец тяжелее врезается в заготовку, больше становится деформация стружки.

Применение СОЖ уменьшает все три компоненты сил резания, так как уменьшаются силы трения.

Силу  $P_Z$ , а также две или три другие составляющие равнодействующей силы резания  $R$  измеряют при помощи динамометров (одно-, двух- или трехкомпонентных).

По принципу действия динамометры подразделяются на механические, гидравлические и электрические.

Наиболее распространенным принципом измерения в настоящее время является электрический. В качестве датчиков применяют проволочные тензорезисторы.

При необходимости измерения среднего значения сил можно пользоваться более простыми механическими динамометрами, в которых в качестве регистрирующего прибора применяют индикатор перемещений.

В нашей работе используется однокомпонентный торсионный динамометр модели ДК-1, относящийся к механическому типу.

Требования, предъявляемые к приборам, измеряющим силы резания: минимальные измерительные перемещения; возможность установки разных диапазонов измеряемых нагрузок с достаточной чувствительностью; малая инерционность; простота тарировки; надежность и экономичность.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с конструкцией и принципом работы динамометра.
  2. Измерить силу резания  $P_Z$  при различных значениях глубины резания  $t$  и при постоянных подаче  $S$  и скорости резания  $V$ . Результаты всех измерений, выполняемых в работе, заносятся в протокол.
  3. Измерить силу резания  $P_Z$  при различных значениях подачи  $S$  и при постоянных глубине резания  $t$  и скорости резания  $V$ .
  4. Определить зависимость  $P_Z$  от скорости резания. Обобщить данные  $P_Z = f(V)$  для группы студентов, получить зависимость  $P_Z$  от скорости резания.
  5. Рассчитать удельную работу резания и эффективную мощность.
  6. Построить графики зависимостей силы резания  $P_Z$  от  $t$ ,  $S$ ,  $V$  по данным протокола и графикам измерения удельного усилия как функции площади среза.
  7. Построить зависимости  $P_Z=f(t)$  и  $P_Z=f(S)$  в логарифмических координатах на специальном бланке, используя арифметические формулы для расчета величины  $P_Z$  с численными значениями коэффициентов и показателей степеней.
- Сделать выводы о характере влияния глубины резания, подачи и скорости резания на силу резания  $P_Z$ .

## Протокол исследования

Материал режущей части инструмента \_\_\_\_\_; материал заготовки \_\_\_\_\_, диаметр заготовки \_\_\_\_\_; цена деления индикатора в кг \_\_\_\_\_.

Результаты измерений заносят в табл. 3.1.

**Таблица 3.1.** Результаты эксперимента

| № опыта | V, м/мин | n, об/мин | t, мм | S, мм/об | Показания приб., дел. | P <sub>Z</sub> , кг |
|---------|----------|-----------|-------|----------|-----------------------|---------------------|
| 1       |          | 50        | 0,2   | 0,3      |                       |                     |
| 2       |          |           | 0,3   |          |                       |                     |
| 3       |          |           | 0,4   |          |                       |                     |
| 4       |          |           | 0,5   |          |                       |                     |
| 5       |          |           | 0,6   |          |                       |                     |
| 1       |          | 50        | 0,3   | 0,14     |                       |                     |
| 2       |          |           |       | 0,21     |                       |                     |
| 3       |          |           |       | 0,3      |                       |                     |
| 4       |          |           |       | 0,43     |                       |                     |
| 5       |          |           |       | 0,52     |                       |                     |
| 1       |          | 50        | 0,3   | 0,3      |                       |                     |
| 2       |          | 100       |       |          |                       |                     |
| 3       |          | 160       |       |          |                       |                     |
| 4       |          | 200       |       |          |                       |                     |

### **Определение постоянной C<sub>p</sub>, показателей X<sub>p</sub>, Y<sub>p</sub> и поправочного коэффициента K<sub>p</sub> путем анализа экспериментальных данных**

Составляющая силы резания P<sub>Z</sub> (кг) при точении рассчитывается по эмпирической формуле

$$P_Z = C_p \cdot t^{X_{P_Z}} \cdot S^{Y_{P_Z}} \cdot V^{n_{P_Z}} \quad (3.1)$$

В наших условиях скорость резания не превышает 50 м/мин, поэтому ее влиянием на силу P<sub>Z</sub> можно пренебречь.

$$P_Z = C_{P_Z \text{табл}} \cdot t^{X_{P_Z}} \cdot S^{Y_{P_Z}} \cdot K_{P_Z}, \quad (3.2)$$

где C<sub>P<sub>Z</sub>табл</sub> – табличный коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала и резца (табл. 3.2); K<sub>P<sub>Z</sub></sub> – коэффициент, учитывающий конкретные условия резания (состояние обрабатываемой поверхности, геометрию резца, вид СОЖ и др.); X<sub>P<sub>Z</sub></sub>, Y<sub>P<sub>Z</sub></sub> – показатели степени, зависящие от конкретных условий резания.

Опытным путем можно определить коэффициент C<sub>P<sub>Zon</sub></sub> = C<sub>P<sub>Zтабл</sub></sub> · K<sub>P<sub>Z</sub></sub> по уравнению (3.3), которое в дальнейшем будет использоваться для определения показателей степеней X<sub>P<sub>Z</sub></sub> и Y<sub>P<sub>Z</sub></sub>:

$$P_Z = C_{P_{Zon}} \cdot t^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}} . \quad (3.3)$$

**Таблица 3.2.** Коэффициенты и показатели степени

| Обрабатываемый материал                | Материал режущей части инструмента | Наружное продольное точение | $C_{Pz}$ | $X_{Pz}$ | $Y_{Pz}$ | $n_{Pz}$ |
|----------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Сталь конструкционная и стальное литье | Твердый сплав                      | Наружное продольное точение | 300      | 1,0      | 0,75     | 0,15     |
|                                        |                                    | Отрезание и прорезание      | 408      | 0,72     | 0,8      | 0        |
|                                        | Быстрорежущая сталь                | Наружное продольное точение | 200      | 1,0      | 0,75     | 0        |
|                                        |                                    | Отрезание и прорезание      | 158      | 1,0      | 1,0      | 0        |

Влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала и конкретных условий резания на силу резания  $P_Z$  учитывается коэффициентом  $C_{P_{Zon}}$ , а степень влияния глубины резания и подачи – их показателями  $X_{Pz}$  и  $Y_{Pz}$ .

После проведения серии экспериментов выполняется их графическая обработка. Зависимости  $P_Z$  от  $t$  и  $S$  – степенные. Графически они выражаются кривыми линиями, неудобными для математической обработки. Поэтому эмпирическую формулу (3.3) представляют в логарифмической форме. При переменных значениях глубины резания  $t$  и постоянном значении  $S$  эта формула имеет вид

$$\lg P_Z = X_{Pz} \cdot \lg t + \lg C'_{P_{Zon}} \cdot S^{Y_{Pz}} . \quad (3.4)$$

В логарифмических координатах это уравнение идентично уравнению прямой линии. Показатель  $X_{Pz}$  определяется как тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс:  $X_{Pz} = \operatorname{tg} \alpha = a/b$  (рис. 3.2).

По аналогии с первым опытом строим зависимость  $P_Z = f(S)$  в логарифмических координатах и находим показатель степени  $Y_{Pz}$  (рис. 3.3).

Найдя значения показателей степени  $X_{Pz}$  и  $Y_{Pz}$ , определим значения  $C'_{P_{Zon}}$  из первой серии опытов и  $C''_{P_{Zon}}$  из второй серии:

$$C'_{P_{Zon}} = P_Z / (t^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}}); (S = \text{const}); \quad C''_{P_{Zon}} = P_Z / (t^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}}); (t = \text{const}).$$

Коэффициенты  $C_{Pz}$ , вычисленные по приведенным выше формулам, могут иметь различные численные значения, поэтому за истинное значение принимают их среднеарифметическое:

$$C_{Pz} = (C' + C'') / 2.$$

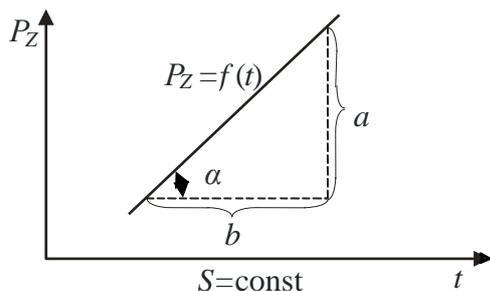


Рис. 3.2. График зависимости  $P_Z$  от  $t$

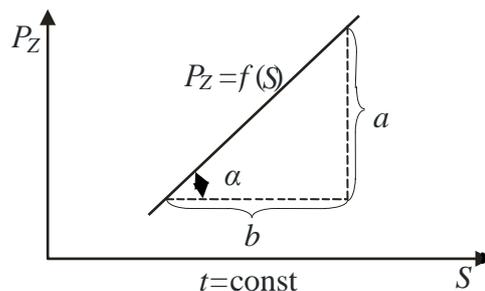


Рис. 3.3. График зависимости  $P_Z$  от  $S$

Постоянная  $C_{P_Z \text{табл}}$  при стандартных условиях резания и показатели степени  $X_{P_Z}$ ,  $Y_{P_Z}$  и  $n_{P_Z}$  для расчета  $P_Z$  приведены в табл. 3.2.

Поправочный коэффициент  $K_{P_Z}$  представляет собой произведение из ряда коэффициентов ( $K_{P_Z} = K_{MP} K_P K_{2P} K_{CP}$ ). Он учитывает влияние механических свойств конструкционных сталей ( $K_{MP}$ ), материала и геометрических параметров режущей части инструмента и др.

В нашем случае  $K_{P_Z}$  определяется из отношения

$$K_{P_Z} = C_{P_{zon}} / C_{P_Z \text{табл}}$$

Подставив в уравнение (3.2) численные значения величин  $C_{P_Z \text{табл}}$ ,  $X_{P_Z}$ ,  $Y_{P_Z}$  и  $K_{P_Z}$ , получим формулу для расчета  $P_Z$  для конкретных условий резания, существующих в нашем опыте.

### Контрольные вопросы

1. Конструкция и принцип действия механического однокомпонентного динамометра для измерения  $P_Z$ .
2. Влияние глубины резания на касательную составляющую силы резания  $P_Z$ .
3. Влияние подачи резца на силу  $P_Z$ .
4. Влияние скорости резания на силу  $P_Z$ .
5. Как определяется равнодействующая сил  $P_X$ ,  $P_Y$ ,  $P_Z$ ?
6. Как рассчитывается крутящий момент  $M_{KP}$ ?
7. Как рассчитывается эффективная мощность резания?
8. Как определяется мощность электродвигателя станка?
9. Что называется удельной силой резания?
10. Как рассчитывается удельная работа резания?
11. Расшифруйте эмпирическую формулу для расчета силы  $P_Z$ .
12. Какой показатель характеризует энергетические затраты на обработку материала резанием?

## Лабораторная работа № 4

### НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

**Цель лабораторной работы:** изучение конструкции и принципа работы плазмотрона «Мультиплаз-3 500», получение практических навыков по использованию плазменной горелки в различных режимах.

#### Общие сведения. Плазмотрон

Плазмотрон, или плазменный генератор, – газоразрядное устройство для получения низкотемпературной ( $T \approx 10^4$  К) плазмы. Плазмтроны используются главным образом в промышленности в технологических целях (плазменная обработка, плазменная металлургия, плазмохимия), но устройства, аналогичные плазмтронам, применяют и в качестве плазменных двигателей. Начало широкого использования плазмтронов в промышленной и лабораторной практике (и появление самого термина «плазмотрон») относится к концу 50-х – началу 60-х гг. XX века, когда были разработаны эффективные с инженерной точки зрения способы стабилизации высокочастотного разряда и дугового разряда, а также способы изоляции стенок камер, в которых происходят эти разряды, от их теплового действия. Соответственно наиболее широкое распространение получили дуговые и высокочастотные (ВЧ) плазмтроны [6].

Дуговой плазмтрон постоянного тока состоит из следующих основных узлов: одного (катода) или двух (катода и анода) электродов, разрядной камеры и узла подачи плазмобразующего вещества. Разрядная камера может быть совмещена с электродами в так называемых плазмтронах с полым катодом. Реже используются дуговые плазмтроны, работающие на переменном напряжении. При частоте этого напряжения  $\approx 10^5$  Гц их относят к ВЧ-плазмтронам. Существуют дуговые плазмтроны с осевым и коаксиальным расположением электродов, с тороидальными электродами, с двусторонним истечением плазмы, с расходуемыми электродами (рис. 4.1) и т.д. Отверстие разрядной камеры, через которое истекает плазма, называется соплом плазмтрона (в некоторых типах дуговых плазмтронов границей сопла является кольцевой или тороидальный анод). Различают две группы дуговых плазмтронов – для создания внешней плазменной дуги (обычно называется плазменной дугой) и плазменной струи. В плазмтронах 1-й группы дуговой разряд горит между катодом плазмтрона и обрабатываемым телом, служащим анодом. Эти плазмтроны могут иметь как один катод, так и второй электрод – вспомогательный анод, маломощный разряд на который с катода (кратко-

временный или постоянно горящий) «поджигает» основную дугу. В плазмотронах 2-й группы плазма, создаваемая в разряде между катодом и анодом, истекает из разрядной камеры в виде узкой длинной струи.

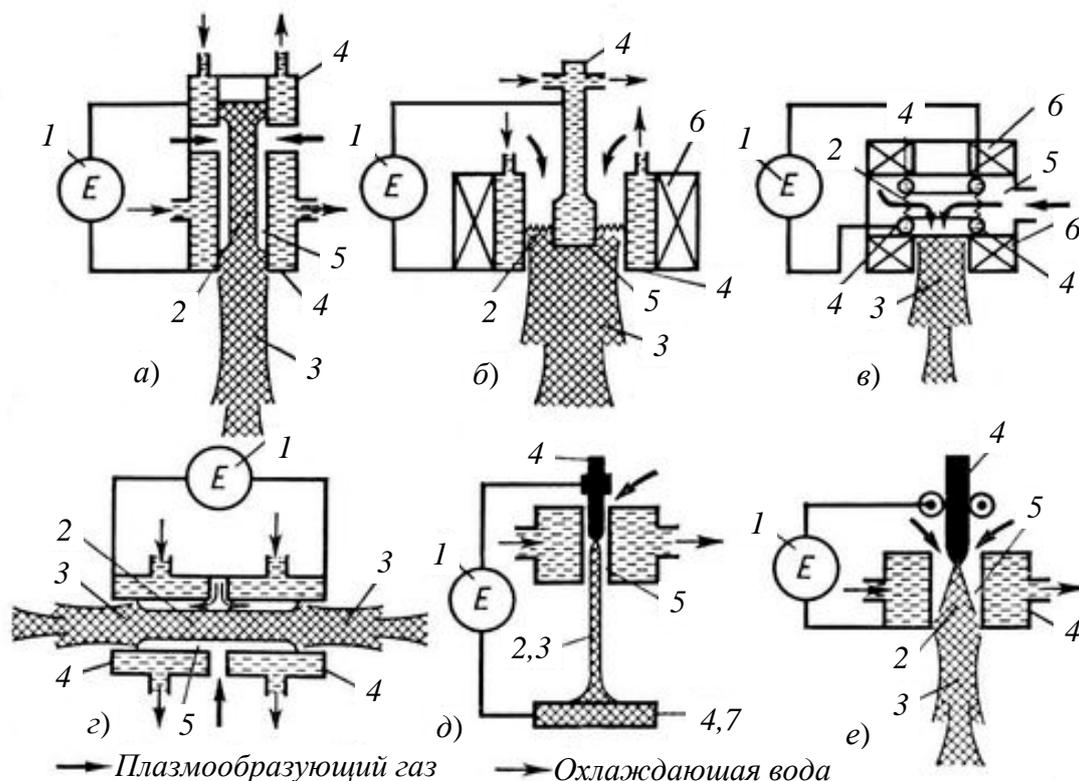


Рис. 4.1. Схема дуговых плазмотронов: а – осевой; б – коаксиальный; в – с тороидальными электродами; г – двустороннего истечения; д – с внешней плазменной дугой; е – с расходуемыми электродами (эрозионный); 1 – источник электропитания; 2 – разряд; 3 – плазменная струя; 4 – электрод; 5 – разрядная камера; б – соленоид; 7 – обрабатываемое тело

Стабилизация разряда в дуговых плазмотронах осуществляется магнитным полем, потоками газа и стенками разрядной камеры и сопла. Один из распространенных способов магнитной стабилизации плазменноструйных плазмотронов с анодом в форме кольца или тора, коаксиального катода, состоит в создании (с помощью соленоида) перпендикулярного плоскости анода сильного магнитного поля, которое вынуждает токовый канал дуги непрерывно вращаться, обегая анод. Поэтому перемещаются по кругу анодные и катодные пятна дуги, что предотвращает расплавление электродов (или их интенсивную эрозию, если они выполнены из тугоплавких материалов).

К числу способов газовой стабилизации, теплоизоляции и сжатия дуги относится так называемая «закрутка» – газ подается в разрядную камеру по спиральным каналам, в результате чего образуется газовый вихрь, обдувающий столб дуги и генерируемую плазменную струю: слой более

холодного газа под действием центробежных сил располагается у стенок камеры, предохраняя их от контакта с дугой. В случаях, когда не требуется сильного сжатия потока плазмы (например, в некоторых плазмотронах с плазменной дугой, используемых для плавки металла), стабилизирующий газовый поток не закручивают, направляя параллельно столбу дуги, и не обжимают соплом (катод располагают на самом срезе сопла). Очень часто стабилизирующий газ одновременно является и плазмообразующим веществом. Применяют также стабилизацию и сжатие дуги потоком воды (с «закруткой» или без нее).

Плазма дуговых плазмотронов неизбежно содержит частицы вещества электродов вследствие их эрозии. Когда этот процесс по технологическим соображениям полезен, его интенсифицируют (плазмотроны с расходуемыми электродами). В других случаях, напротив, минимизируют, изготавливая электроды из тугоплавких материалов (вольфрам, молибден, специальные сплавы) или охлаждая их водой, что, кроме того, увеличивает срок службы электродов. Более «чистую» плазму дают ВЧ-плазмотроны.

Плазмотроны с плазменной струей обычно используют при термической обработке металлов, для нанесения покрытий, получения порошков с частицами сферической формы, в плазмохимической технологии и пр. Плазмотроны с внешней дугой служат для обработки электропроводных материалов, плазмотроны с расходуемыми электродами применяют при работе на агрессивных плазмообразующих средах (воздухе, воде и др.) и при необходимости генерации металлической, углеродной и т.д. плазмы из материала электродов (например, при карботермическом восстановлении руд).

Мощность дуговых плазмотронов  $10^2 \dots 10^7$  Вт; температура струи на срезе сопла 3 000...25 000 К; скорость истечения струи  $1 \dots 10^4$  м/с; промышленное КПД 50...90 %; ресурс работы (определяется эрозией электродов) достигает несколько сотен часов, в качестве плазмообразующих веществ используют воздух,  $N_2$ , Ar,  $H_2$ ,  $NH_4$ ,  $O_2$ ,  $H_2O$ , жидкие и твердые углеводороды, металлы, пластмассы.

Высокочастотный плазмотрон включает: электромагнитную катушку-индуктор или электроды, подключенные к источнику высокочастотной энергии, разрядную камеру, узел ввода плазмообразующего вещества. Различают индукционные, емкостные, факельные, плазмотроны на коронном разряде и с высокочастотной короной, а также сверхвысокочастотные (СВЧ) плазмотроны (рис. 4.2).

Наибольшее распространение в технике получили индукционные ВЧ-плазмотроны, в которых плазмообразующий газ нагревается вихревыми токами. Так как индукционный высокочастотный разряд является безэлектродным, эти плазмотроны используют для нагрева активных газов ( $O_2$ ,  $Cl_2$ , воздуха и др.), паров агрессивных веществ (хлоридов, фторидов и

др.), а также инертных газов, если к плазменной струе предъявляются высокие требования по чистоте.

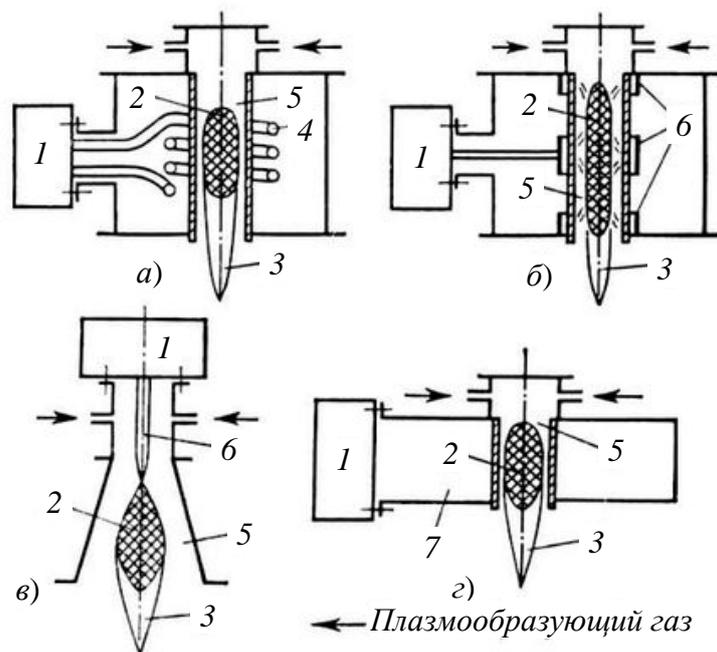


Рис. 4.2. Схемы высокочастотных плазмотронов:  
*а* – индукционный; *б* – емкостный; *в* – факельный;  
*г* – сверхвысокочастотный; *1* – источник электропитания;  
 2 – разряд; 3 – плазменная струя; 4 – индуктор;  
 5 – разрядная камера; 6 – электрод; 7 – волновод

С помощью индукционных плазмотронов получают тонкодисперсные и особо чистые порошковые материалы на основе нитридов, боридов, карбидов и других химических соединений. В плазмохимических процессах объем разрядной камеры таких плазмотронов может быть совмещен с реакционной зоной. Мощность плазмотронов достигает 1 МВт, температура в центре разрядной камеры и на начальном участке плазменной струи  $\approx 10^4$  К, скорость истечения плазмы  $0 \dots 10^3$  м/с, частоты – от нескольких десятков тысяч Гц до десятков МГц; промышленное КПД 50...80 %, ресурс работы до 3 000 ч. В СВЧ-плазмотроне рабочие частоты составляют тысячи и десятки тысяч МГц; в качестве питающих их генераторов применяются магнетроны. ВЧ-плазмотроны всех типов, кроме индукционных, применяются (70-е гг. XX в.) главным образом в лабораторной практике. В ВЧ-плазмотроне, как и в дуговых, часто используют газовую «закрутку», изолирующую разряд от стенок камеры. Это позволяет изготавливать камеры ВЧ-плазмотрона из материалов с низкой термостойкостью (например, из обычного или органического стекла).

Для пуска плазмотрона, т. е. возбуждения в нем разряда, применяют: замыкание электродов, поджиг вспомогательного дугового разряда, высоковольтный пробой межэлектродного промежутка, инжекцию в разрядную

камеру плазмы и другие способы. Основные тенденции развития плазмотронов: разработка специализированных плазмотронов и плазменных реакторов для металлургической, химической промышленности, повышение мощности в одном агрегате до 1...10 МВт, увеличение ресурса работы и т.д.

### Назначение и области применения аппарата «Мультиплаз-3 500»

Аппарат «Мультиплаз-3 500» предназначен для резки различных материалов, сварки, пайки черных и цветных металлов, в том числе для использования в качестве вспомогательного оборудования при выполнении технологических операций в литейном производстве (рис. 4.3) [7].

В условиях непрерывного производственного цикла, например при конвейерной сборке, данная модификация портативного плазмотрона крайне эффективна.

Технология проведения сварочных работ с использованием плазмотрона в режиме газовой сварки сходна с технологией использования обычных газовых сварочных аппаратов. Отличие состоит в том, что для получения высокотемпературного факела необходимы электричество и вода, а не газовые баллоны. При плазменной сварке или пайке применяются те же присадки, флюсы и припои, что и при обычной газовой сварке.



а)



б)

Рис. 4.3. Примеры использования аппарата «Мультиплаз-3 500»: а – резка различных металлов; б – сварка различных сталей

При проведении сварочных работ в плазменно-дуговом режиме необходимо учитывать повышенный уровень теплового потока, способного прогреть металл на всю его глубину (вплоть до его прожигания).

*Принцип работы плазмотрона.* На рис. 4.4 упрощенно показан принцип действия плазмотрона. Запуск плазменной горелки, предварительно заправленной рабочей жидкостью, осуществляется после кратковременного нажатия кнопки запуска. При нажатии на кнопку подвижный катодный узел перемещается вперед и упирается наконечником-катодом в

сопло-анод, т.е. электрическая цепь «анод-катод» замыкается накоротко. При отпускании кнопки катодный узел под действием возвратной пружины отходит от сопла-анода и в разрыве между катодом и внутренней поверхностью сопла-анода возникает электрическая дуга.

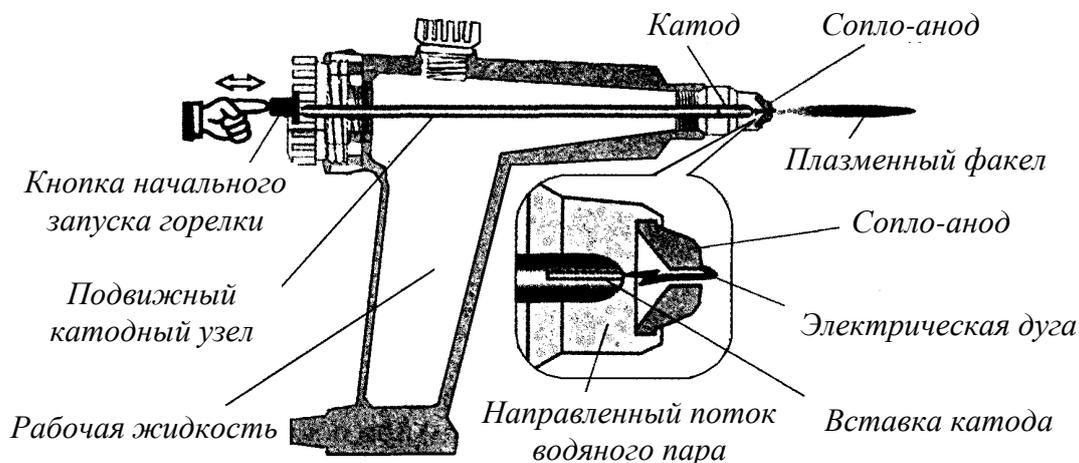


Рис. 4.4. Принципиальная схема плазмотрона

Тепловая энергия дуги испаряет окружающую воду и превращает ее в пар. Водяной пар под давлением устремляется к выходному отверстию в сопле-аноде. Проходя через зону электрической дуги, пар «отрывает» ее от внутренней поверхности сопла, «вытягивает» дугу наружу и замыкает на внешнюю кромку сопла-анода. В узком сечении выходного отверстия пар обжимает электрическую дугу со всех сторон и центрирует ее, не давая дуге замкнуться на боковые стенки выходного отверстия.

При взаимодействии с электрической дугой часть водяных паров переходит в так называемое четвертое агрегатное состояние – плазму, температура которой достигает 8 000 °С.

Конструкция горелки обеспечивает ее работоспособность в любом пространственном положении.

В качестве рабочей жидкости при резке может быть использована вода, а при сварке и пайке – 40 %-ная смесь воды со спиртом.

В данной модификации плазмотрона реализовано два вида работ: режим косвенной дуги (режим в котором электрическая дуга замыкается на сопло-анод) и режим прямой дуги (режим, в котором электрическая дуга под действием дополнительного напряжения отрывается от сопла-анода и попадает на обрабатываемый металл).

Отсюда и два режима эксплуатации плазмотрона, как в режиме резки металлов, так и в режиме сварки. В дальнейшем режим косвенной дуги будет называться газовым (по аналогии с техникой применения), а режим прямой дуги будет называться плазменно-дуговым режимом.

Включение плазменно-дугового режима осуществляется потенциометром «MODE II». При этом загорается соответствующий светодиод.

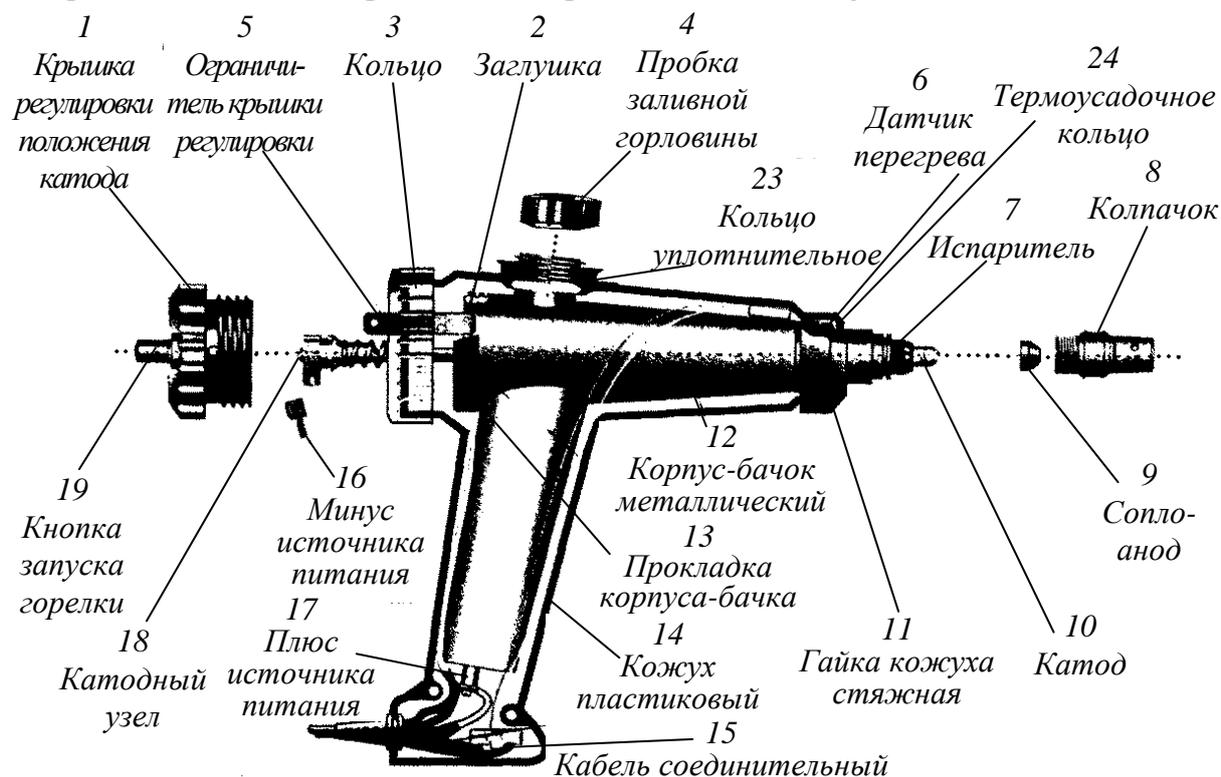


Рис. 4.5. Устройство плазменной горелки

*Устройство плазменной горелки.* Плазменная горелка выполнена в форме пистолета. Горелка присоединяется к блоку питания с помощью электрического кабеля. Блок питания с помощью сетевого кабеля подключается к однофазной электросети с напряжением 220 В и частотой 50 Гц через заземленную розетку (типа ЕВРО).

На рис. 4.5 показано устройство плазменной горелки и расположение ее основных узлов.

Все узлы плазменной горелки находятся в пластмассовом корпусе, состоящем из двух боковин 14.

Металлический корпус-бачок 12 заполнен влагопитывающим материалом.

Подвижный катодный узел 18, на который через контакт 16 подается отрицательное напряжение от блока питания, состоит из катододержателя, сальникового уплотнителя и катода 10, который ввинчивается в переднюю часть катододержателя.

На сопло 9, соединенное с корпусом 12 с помощью колпачка 8, подается положительное напряжение от блока питания (клемма 17).

Сопло 9 и катод 10 образуют разрядную камеру, внутри которой за счет энергии электрической дуги пары рабочей жидкости нагреваются до температуры образования плазмы.

## Практическое занятие

### Первоначальные регулировки

Убедитесь в том, что на передней панели блока питания горит светодиод «OFF» и на индикаторе напряжения светятся цифры «000».

Переведите переключатель «MODE I» на передней панели блока в положение «5» (рис. 4.6).



Рис. 4.6. Первоначальные регулировки

Наличие напряжения в пределах 2...4 В не является признаком неисправности прибора.

Вращая крышку регулировки положения катода, установите свободный ход кнопки запуска горелки около 1 мм при работе в режиме сварки или 3 мм при работе в режиме резки.

### Включение горелки

Убедитесь в том, что горелка полностью заправлена рабочей жидкостью (признаком полной заправки горелки является подтекание жидкости из центрального отверстия сопла, рис. 4.7).

Нажмите кнопку «ON», расположенную на передней панели блока питания.

Удостоверьтесь в том, что загорелся светодиод над кнопкой «ON», показания индикатора находятся в пределах от 200 до 350 В.



Рис. 4.7. Запуск горелки

В течение 5 с после нажатия кнопки «ON» нажмите до упора кнопку запуска горелки и сразу отпустите ее. Следует иметь в виду, что если вы не нажали пусковую кнопку горелки в течение 5 с, то напряжение, подавае-

мое на горелку от блока питания, автоматически выключается и загорается светодиод «OFF». Если такое произошло, то необходимо повторно нажать кнопку «ON» на блоке питания и в течение 5 с снова нажать кнопку запуска горелки.

Убедитесь в том, что показания индикатора напряжения находятся в пределах от 30 до 70 В.

Через несколько секунд после нажатия пусковой кнопки из сопла горелки должен появиться факел, а напряжение увеличиться до 120...140 В. После прогрева горелки факел становится короче (20...30 мм) и приобретает оранжевый или фиолетовый оттенок. Это свидетельствует о том, что горелка вышла на рабочий режим и готова к работе.

Внимание! Рекомендуется повторно нажимать кнопку «ON» на блоке питания только через 10...15 с после того, как загорелся светодиод «OFF».

### *Регулировка режимов*

Режим мощности на блоке питания устанавливается в зависимости от характера выполняемых работ. Каждый режим мощности характеризуется показателями напряжения на цифровом индикаторе.

С помощью переключателя «MODE» на передней панели блока питания устанавливается сила тока косвенной дуги горелки, а с помощью регулировочной крышки на горелке – необходимое для данного режима напряжение.

*Пример.* Производится годовая сварка деталей толщиной 0,7 мм. Устанавливается переключатель «MODE» в положение 6. Индикатор показывает напряжение 170 В (оптимальное для всех режимов), металл такой толщины при выбранной силе тока и стандартном напряжении прожигается. Следовательно, необходимо уменьшить мощность (т. е. уменьшить силу тока дуги) и перейти на более низкий режим, например 4.

При попытке резкого переключения из режима 6 в режим 4 дуга может сорваться и плазменный факел погаснет.

Чтобы избежать исчезновения факела, следует сначала из режима 6 перейти в режим 5, более слабый, и крышкой механизма управления подрегулировать напряжение до 170 В с помощью регулировочной крышки.

При вращении регулировочной крышки против часовой стрелки расстояние между анодом и катодом увеличивается и напряжение возрастает – показания индикатора увеличиваются. При вращении крышки по часовой стрелке межэлектродное расстояние уменьшается, напряжение падает – показания индикатора уменьшаются.

С помощью регулятора «MODE II» на передней панели блока питания осуществляется включение плазменно-дугового режима работы и регулировка величины тока в этом режиме (при этом загорается светодиод «MODE II»).

При необходимости выключения плазменно-дугового режима установите регулятор «MODE II» в левое крайнее положение, при этом светодиод «MODE II» должен гаснуть.

### *Работа в режиме «Резка»*

Для резки применяется сопло-анод с диаметром отверстия от 1,0 до 1,1 мм. Если установлено сопло с другим диаметром, замените его соответствующим из комплекта запасных инструментов и приспособлений (ЗИП).

Для получения ровного реза и повышения скорости рекомендуем использовать различного рода приспособления (линейки, циркули) для фиксации корпуса горелки относительно поверхности металла.

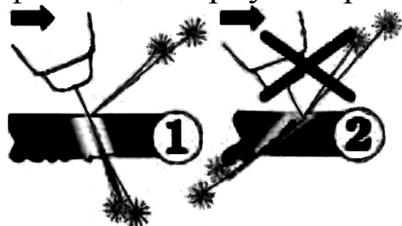


Рис. 4.8. Выбор скорости перемещения

Выбирайте такую скорость перемещения, чтобы избежать искривления плазменного потока на выходе из металла (рис. 4.8). При слишком большой скорости факел на выходе из металла искривляется, рез получается некачественный.

Плазмотрон обеспечивает резку различных материалов в двух режимах работы:

- в газовом режиме обеспечивается резка как металлических, так и неметаллических материалов;
- в плазменно-дуговом режиме обеспечивается резка только электропроводящих материалов.

Независимо от режима резки расстояние между соплом-анодом и разрезаемым материалом необходимо поддерживать 0,5...1,5 мм.

Для поддержания постоянного зазора можно использовать насадку с упорами, имеющуюся в составе комплекта поставки.

При резке в газовом режиме допускается соприкосновение сопла-анода и металла в случае, если электродуговой режим выключен и светодиод «MODE II» не горит.

При этом горелку желательно держать под небольшим наклоном к разрезаемой поверхности. Наклон горелки обеспечивает необходимый зазор между отверстием сопла-анода и разрезаемым металлом.

Для обеспечения резки в плазменно-дуговом режиме необходимо проводом, входящим в комплект поставки, соединить корпус блока с разрезаемым металлом.

При приближении горелки к разрезаемому металлу на расстоянии 1,5...2,0 мм дуга с сопла-анода переходит на разрезаемый металл автоматически. Горелку в этом режиме предпочтительно держать перпендикулярно разрезаемой поверхности.

Образовавшийся облом с обратной стороны легко удаляется плоскогубцами или зубилом.

Для увеличения срока службы плазмотрона при резке материалов заправляйте горелку не обычной водопроводной, а кипяченой или дистиллированной водой.

Выполните обычные подготовительные операции, предшествующие запуску горелки:

- открутите пробку заливной горловины;
- заправьте горелку водой с помощью пластиковой бутылки или резиновой груши. Убедитесь, что из центрального отверстия сопла полилась вода;
- заверните пробку заливной горловины и протрите корпус горелки насухо;
- установите переключатель «MODE I» на блоке питания в положение 5. Включите блок питания нажатием кнопки «ON»;
- в течение 5 с с момента нажатия кнопки «ON» нажмите и сразу отпустите кнопку запуска горелки;
- после прогрева горелки в течение 1,5 мин, вращая регулировочную крышку на корпусе горелки, установите на цифровом индикаторе блока питания значение напряжения в соответствии с выбранным режимом.

*Регулировка режимов мощности при резке.* Режим мощности на блоке питания выбирается в зависимости от толщины, теплоемкости и теплопроводности обрабатываемого материала.

Для толщины черного металла более 3...4 мм установите переключатель «MODE I» в положение 6 и вращением регулировочной крышки на горелке добейтесь показаний индикатора на блоке питания в режиме газовой резки 160...180 В (в плазменно-дуговом режиме 140...160 В).

При этом для плазменно-дуговой резки установите потенциометр «MODE II» в правое крайнее положение и вращением регулировочной крышки добейтесь максимальной величины яркого светло-фиолетового пятна на выходе из отверстия сопла-анода. Убедитесь в наличии свечения светодиода «MODE II».

Для осуществления резки металла толщиной менее 3...4 мм в газовом/плазменно-дуговом режимах можно переключатели «MODE I/II» устанавливать в меньшее положение пропорционально толщине разрезаемого металла.

## *Работа в режиме «Сварка»*

Для получения качественного шва при сварке металлов горелка заправляется водно-спиртовой смесью (60 % воды и 40 % спирта). Может использоваться технический спирт – этиловый, пропиловый, изопропиловый, бутиловый и т.д.

При сварке применяйте сопло с диаметром отверстия от 2,0 до 2,3 мм. В качестве сопла для сварки можно использовать выработавшее свой ресурс сопло для резки. Для этого расточите в нем центральное отверстие сверлом соответствующего диаметра и снимите наружную фаску сверлом 3 мм.

Аппарат обеспечивает качественное сварное соединение как при сварке с присадочной проволокой, так и без нее (например, при сварке встык или внахлест).

Данная модификация плазмотрона обеспечивает возможность проведения как газовой, так и плазменно-дуговой сварки.

Для проведения работ в режиме газовой сварки установите потенциометр «MODE II» в крайнее левое положение. При этом светодиод «MODE II» должен погаснуть.

При проведении работ в режиме плазменной сварки держите горелку под наклоном к свариваемой поверхности для предотвращения выдувания жидкого металла из сварочной ванны. Приемы работы в этом режиме аналогичны работе с обычной ацетиленовой горелкой.

При газовой и плазменно-дуговой сварке может быть использована присадочная проволока СВ-08ГС, СВ-08Г2С, СВ-10ГС, СВ-10ГСМ, СВ-12ГС и др.

При сварке алюминия рекомендуется использовать флюсы Ф-34А, Ф-40А, АФ-4А и соответствующие присадочные материалы.

Для проведения работ в режиме плазменно-дуговой сварки соедините с помощью провода заземления, входящего в комплект поставки, земляной вывод блока питания со свариваемым металлом.

При сварке в плазменно-дуговом режиме держите горелку вертикально к свариваемой поверхности.

Приближение сопла горелки к свариваемому металлу на 1,5...2,0 мм приводит к автоматическому переключению электрической дуги с сопла на свариваемый металл.

Чтобы избежать прожигания металла, необходимо делать небольшие круговые движения горелкой, сохраняя расстояние между соплом и поверхностью свариваемого металла 2,0...4,0 мм.

В случае необходимости использования присадочной проволоки закрепите ее в держатель присадки, входящий в комплект поставки, и подавайте по мере необходимости в сварочную ванну.

По мере необходимости удаляйте прилипшие к соплу брызги расплавленного металла с помощью напильника или металлической щетки.

Для предотвращения образования ржавчины сразу после окончания сварки протрите сварной шов и прилегающий к нему металл влажной тканью.

*Запуск горелки.* Для сварки применяйте сопло с диаметром отверстия от 2,0 до 2,3 мм. Если установлено сопло с другим диаметром, замените его соответствующим из комплекта ЗИП.

Выполните обычные подготовительные операции, предшествующие запуску горелки:

- заправьте горелку водно-спиртовой смесью до появления капель рабочей жидкости из отверстия сопла;
- заверните заливную пробку и протрите корпус горелки насухо;
- включите блок питания нажатием кнопки «ON». В течение 5 с после этого нажмите и сразу отпустите кнопку запуска горелки;
- вращая крышку регулировки положения катода на горелке, установите на цифровом индикаторе блока питания значение напряжения в соответствии с выбранным режимом.

Горелка работает одинаково устойчиво в любом пространственном положении и позволяет сваривать неповоротные трубы и потолочные швы.

*Регулировка режимов мощности при сварке.* При сварке в зависимости от толщины и вида металла, а также способа сварки экспериментально подберите нужное положение переключателя «MODE I» (для газовой сварки) и переключателей «MODE I», «MODE II» (для плазменно-дуговой сварки).

**Таблица 4.1.** Рекомендуемые положения переключателя «MODE I» для газовой сварки

| Толщина листа, мм | До 0,8 | Св. 0,8 до 1,2 | Св. 1,2 до 2,0 | Св. 2,0 до 3,0 | Св. 3,0 до 4,0 | Св. 4,0 до 6,0 |
|-------------------|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| «MODE I»          | 1      | 2              | 3              | 4              | 5              | 6              |

Рекомендуемые положения переключателя «MODE I» на блоке питания в зависимости от толщины свариваемого встык стального листа в режиме газовой сварки приведены в табл. 4.1.

Установка нужных напряжений в соответствии с подобранным режимом производится при вращении крышки управления катодом на корпусе горелки с одновременным наблюдением за изменениями показаний цифрового индикатора на блоке питания. Если не удастся установить ре-

комендуемые режимы, необходимо выключить горелку и вынуть катодный узел. Убедитесь в том, что общая длина катодного узла составляет 158 мм, после чего соберите горелку.

Рекомендуется поддерживать показания индикатора на блоке питания в пределах от 140 до 160 В для всех положений переключателя «MODE I».

При сварке тонких листов можно поддерживать показания индикатора напряжения в пределах 120...140 В.

Рекомендуемые положения переключателя «MODE I» и потенциометра «MODE II» на блоке питания в зависимости от толщины свариваемого встык стального листа в режиме плазменно-дуговой сварки приведены в табл. 4.2.

**Таблица 4.2.** Рекомендуемые положения переключателей «MODE I» и «MODE II» для плазменно-дуговой сварки

| Толщина листа, мм | Св. 2,0 до 3,0 | Св. 3,0 до 4,0 | Св. 4,0 до 5,0 | Св. 5,0 до 10,0 |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| «MODE I»          | 3              | 3              | 3              | 4               |
| «MODE II»         | 4              | 5              | 6              | max             |

Рабочее напряжение устанавливается с помощью крышки управления катодом горелки в пределах 140...160 В.

*Заправка горелки рабочей жидкостью при сварке.* Внимание! Заправка горелки производится после ее выключения кнопкой «OFF» на блоке питания, при этом должен гореть светодиод «OFF» и напряжение на индикаторе должно быть в пределах нескольких вольт. Перед заправкой горелку необходимо остудить.



Рис. 4.9. Ускоренное охлаждение горелки

Ускоренно охладить только что выключенную и горячую горелку можно, опустив горелку соплом в сосуд с водой, предварительно открутив заливную пробку (рис. 4.9).

Это делается для того, чтобы горелка не успела автоматически забрать в себя воду при охлаждении.

После охлаждения горелки ее следует заправить водно-спиртовой смесью обычным способом – при помощи пластиковой бутылки с накру-

ченным специальным штуцером из комплекта поставки до появления подтекания рабочей жидкости из сопла.

Закрутите заливную пробку и протрите корпус горелки насухо.

Внимание! Не опускайте горячую горелку в емкость с водно-спиртовой смесью. Это может привести не только к испарению спиртовой фракции смеси, но и к воспламенению паров спирта!

Запустите горелку, как было описано выше.

### *Режим «Пайка»*

Рекомендации и требования к режиму «Пайка» полностью соответствуют аналогичным рекомендациям и требованиям режима «Газовая сварка» – тот же диаметр сопла, та же рабочая жидкость, те же методы запуска и выведения горелки на режим, замены сопла, заправки, охлаждения, выбора режимов.

Отличие – в используемых присадочных материалах и флюсах.

Медные трубы с фитингами и трубы между собой спаиваются только с применением капиллярного раструбного соединения. Поверхности стыка, т. е. внутренняя часть раструба и наружный конец трубы, непосредственно перед пайкой должны быть очищены до металлического блеска с помощью абразивной бумаги или стальной щетки.

Существует два вида пайки – мягкая и твердая, различающиеся между собой температурой процесса. Мягкая пайка производится при температуре ниже 450 °С, например с помощью припоя (по DIN 1707) L-SnCu3 или L-SnAg5. Твердая пайка (пайкосварка) выполняется при температуре выше 450 °С, например с помощью припоя L-Ag45Sn при  $t = 670$  °С, L-Ag44 при  $t = 730$  °С и др.

Флюс защищает очищенные поверхности от окисления при нагреве и обеспечивает хорошее смачивание поверхности расплавленным припоем. Разогрев места пайки производится круговыми движениями несколько большими, нежели в режиме сварки, поскольку для лучшего растекания припоя необходимо разогреть большую площадь металла. Не следует нагревать подаваемый припой до плавления. Расплавление припоя происходит при его соприкосновении с прогретым металлом.

В качестве флюса может быть применена бура, борная или соляная кислота. Хорошие результаты получаются при применении флюса 209. Для пайки алюминия рекомендуется использовать флюс Ф-34А.

В каждом конкретном случае сварщик может сам подобрать необходимые флюсы и припои, пользуясь соответствующей справочной литературой.

## Окончание работы. Выключение горелки

В процессе работы происходит испарение рабочей жидкости. При недостаточном ее количестве факел вытягивается, становится более спокойным, приобретает оранжевый оттенок, а показатели цифрового индикатора на лицевой панели блока питания начинают уменьшаться.



Рис. 4.10. Выключение горелки

В этом случае необходимо выключить горелку, охладить ее и заправить рабочей жидкостью. Для этого следует выполнить следующие операции:

- отключить горелку кнопкой «OFF», расположенной на лицевой панели блока питания (рис. 4.10);
- убедиться в том, что горелка выключилась, на лицевой панели блока питания зажегся светодиод «OFF» и индикатор напряжения показывает «000».

В том случае, если оператор не обратил внимания на вышеприведенные признаки выработки рабочей жидкости и своевременно не выключил горелку, в конструкции прибора предусмотрено принудительное выключение горелки за счет срабатывания тепловой защиты. При этом горелка автоматически выключается, на лицевой панели блока питания загорается светодиод «OFF» и начинает мигать светодиод «OVERHEAT». Индикатор напряжения показывает «000».

Допускается наличие на цифровом индикаторе напряжения какой-либо цифры в крайнем правом разряде.

## Оформление отчета по лабораторной работе

По выполненным заданиям лабораторной работы студенты представляют оформленный отчет и защищают его.

Отчет оформляется на отдельных листах формата А4 с соблюдением общих требований к текстовым документам. Допускается использовать отдельные тетрадные листы с соблюдением формата А4.

Структурными частями отчета по лабораторной работе являются:

- 1) титульный лист;

- 2) цель лабораторной работы;
- 3) конспект теоретических сведений о плазмотронах;
- 4) назначение аппарата «Мультиплаз-3 500»;
- 5) принципиальная схема действия аппарата «Мультиплаз-3 500» (см. рис. 4.4);
- 6) расположение основных узлов плазменной горелки «Мультиплаз-3 500» (см. рис. 4.5) с описанием;
- 7) технические характеристики прибора (прил. 4.1);
- 8) параметры рабочего процесса сварки (пайкосварки) образца, указанного преподавателем (прил. 4.2).

Все части отчета по лабораторной работе располагаются в указанной последовательности.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое плазмотрон?
2. Какова область применения плазмотронов?
3. Какие виды плазмотронов существуют?
4. Объясните смысл так называемой «закрутки» при плазменной обработке.
5. Какие вещества используют в качестве плазмообразующих в дуговых плазмотронах?
6. Какие разновидности высокочастотных плазмотронов существуют?
7. Для чего используют высокочастотные индукционные плазмотроны?
8. Перечислите существующие способы пуска плазмотрона.
9. Сформулируйте назначение аппарата «Мультиплаз-3 500».
10. Какая рабочая жидкость используется аппаратом «Мультиплаз-3 500» для резки, сварки и пайки соответственно?

### Приложение 4.1. Технические характеристики прибора «Мультиплаз-3 500»

| Характеристика                                     | Значение               |
|----------------------------------------------------|------------------------|
| Напряжение питающей сети, однофазное, В            | 100-253                |
| Частота питающей сети, Гц                          | 50-60                  |
| Потребляемая мощность, тах, кВт: - для сети 20В    | 3,5                    |
| - для сети 100В                                    | 2,0                    |
| Масса блока питания, кг                            | 8                      |
| Масса горелки (без жидкости), кг                   | 0,9                    |
| Расход рабочей жидкости, тах, л/ч                  | 0,25                   |
| Напряжение холостого хода, В, не более             | 8                      |
| Давление пара в горелке, атм                       | 0,4-1,2                |
| Коэффициент рабочего цикла ПВ, %                   | 100                    |
| Габариты блока питания, Дл. × Выс. × Шир., мм      | 380 x 190 x 140        |
| Габариты горелки, Дл. × Выс. × Шир., мм            | 205 x 194 x 60         |
| Длина сетевого кабеля, м                           | 2                      |
| Длина кабеля горелки, м                            | 2                      |
| Температура пламени, тах, °С                       | 8 000                  |
| Толщина свариваемого стального листа, мм           | От 0,3 без ограничений |
| Толщина разрезаемого стального листа, мм           | До 10                  |
| Скорость резки листовой стали толщиной 2 мм, мм/с  | До 7                   |
| Скорость резки листовой стали толщиной 10 мм, мм/с | 1                      |

### Приложение 4.2. Технология сварки и пайкосварки различных материалов

Аппарат «Мультиплаз-3 500» позволяет получать неразъемные соединения различных металлов методами сварки, пайкосварки (пайки с использованием присадочных материалов, имеющих температуру плавления в диапазоне от 450 до 950 °С) и пайки.

Сваривать можно «черные» и низколегированные стали, в т.ч. некоторые сорта нержавеющей сталей и сплавов алюминия, металлы медной группы, чугуны и т.д.

Во многих случаях весьма эффективен метод пайкосварки, в частности при работе с «пищевой нержавеющей» толщиной менее 2 мм.

Создание неразъемных соединений из некоторых сплавов алюминия и некоторых сортов нержавеющей стали возможно без применения защитных газов, так как рабочая часть факела плазменной горелки имеет защитную рубашку из перегретых паров водно-спиртовой смеси. Использование слова «некоторые» означает лишь то, что на сегодняшний день удалось поработать лишь с перечисленными ниже сплавами. Опыт отработки технологий по работе с конкретными металлами и сплавами показывает, что путем подбора соответствующих присадочных материалов и флюсов большинство задач удастся успешно решить.

### Технология сварки «черных» сталей

Сварка «черных» сталей составляет порядка 90 % общего объема всех сварочных работ. Поэтому основные рекомендации по работе с этими сталями приведены в подпункте «Работа в режиме “Сварка”» (с. 36–39).

Возможность применения плазменного аппарата «Мультиплаз-3 500» для плазменно-дуговой сварки стыков труб из малоуглеродистых низколегированных сталей на объектах газификации подтверждена заключением Центра сварки и испытания труб Всероссийского научно-исследовательского института по строительству и эксплуатации трубопроводов, объектов топливно-энергетического комплекса.

**Таблица П.4.2.1.** Параметры рабочих процессов сварки «черных» сталей

| Материал         | Форма образца                      | Характерный геометрический размер, мм | Вид процесса    | Присадочный материал | Диаметр присадочного материала, мм | Флюс   | Режим                         | Показания вольтметра, В |
|------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|--------|-------------------------------|-------------------------|
| Ст-3             | Труба                              | Ø57 × 4                               | Сварка          | Св04ХФ1МЗ            | 2                                  | Нет    | MODE I – 3<br>MODE II – 4...5 | 160...180               |
| Ст-3             | Полоса                             | 100 × 120 × 6                         | >>              | Св08Г2С              | 3                                  | Нет    | MODE I – 3<br>MODE II – 3     | 160...170               |
| Ст-3             | Труба                              | Ø57 × 4                               | >>              | Св08Г2С              | 3                                  | Нет    | MODE I – 3<br>MODE II – 3     | 160...170               |
| Ст-3             | Пластина                           | d = 2                                 | >>              | Вязальная проволока  | 1,5                                | Нет    | MODE I – 3<br>MODE II – выкл. | 160                     |
| Ст-3 + медь      | Пластины                           | d = 0,8 +<br>+ d = 0,5                | Пайко-сварка    | Припой HARRIS        | 2                                  | Бура   | MODE I – 2<br>MODE II – выкл. | 140                     |
| Ст-3 + медь      | Проволока<br>Пластина (Пепельница) | Ø3 d = 0,5                            | Пайко-сварка    | Припой HARRIS        | 2                                  | HARRIS | MODE I – 3<br>MODE II – выкл. | 135...145               |
| Ст-3 + 12Х18Н10Т | Пластины                           | d = 4,5                               | Сварка внахлест | Св12Х18Н10Б          | 2,5                                | Нет    | MODE I – 3<br>MODE II – 3     | 160...170               |
| Ст-3 + 12Х18Н10Т | Пластины                           | d = 4,5                               | Сварка встык    | Св12Х18Н10Б          | 2,5                                | Нет    | MODE I – 3<br>MODE II – 3     | 160...170               |

По результатам испытаний установлено, что аппарат обеспечивает качественное выполнение сварных соединений в любом пространственном положении. Механические свойства сварных соединений пластин (сталь

09Г2С, толщина 6 мм) и труб (сталь 20,  $\text{Ø}57 \times 4$  мм), выполненных с применением аппарата «Мультиплаз-3 500» в режиме плазменно-дуговой сварки с использованием присадочной проволоки Св08Г2С  $\text{Ø}3$  мм, соответствуют требованиям ВСН006–89 и СНиП 42–01–2002 «Газораспределительные системы».

Сварка тонких сталей типа Ст.3...Ст.20 толщиной  $\approx 0,4$  мм производится в следующем режиме: переключатель «MODE I» находится в положении 1, «MODE II» – выкл., а показания вольтметра составляют  $\approx 135...145$  В. Присадочная проволока (типа «вязальной») –  $\text{Ø} 0,8...1$  мм. Для уменьшения скорости истечения из сопла газоплазменного потока имеет смысл не слишком сильно затягивать пробку заливной горловины, что позволяет сделать факел более мягким. С целью большей локализации теплового потока в зоне сварки можно применять сопло с отверстием  $\text{Ø} 1,5...1,7$  мм (для этого можно с использованием простейшего приспособления рассверлить сопло  $\text{Ø}1$  мм, имеющееся в ЗИПе, сверлом соответствующего диаметра). Сварку лучше вести на медной или алюминиевой подложке, что позволит избежать перегрева и прожига стали.

Параметры рабочих процессов получения сварных соединений некоторых сталей приведены в табл. П.4.2.1.

*Технология сварки алюминиевых сплавов* во всех случаях, практически, одинаковая. Горелка заправляется водно-спиртовой смесью с концентрацией спирта  $\approx 55$  % (этиловый, пропиловый, изопропиловый и т.п.) и выводится на третий режим «MODE I» (табл. П.4.2.2). Места, подлежащие сварке, тщательно зачищаются личневым напильником. Зачищенное место прогревается и посыпается флюсом Ф-34А, который прилипает к поверхности. Далее это место снова прогревается до расплавления флюса так, чтобы он равномерно залил (покрыл) поверхность, подлежащую сварке. Затем прогревается конец присадочной проволоки и опускается во флюс, который налипает на прогретый конец присадки. Опять прогревается деталь. Присадку с флюсом держим в зоне сварки так, чтобы она прогревалась одновременно со свариваемым образцом. Сварка осуществляется левым горизонтальным способом. Горелку держим почти вертикально. Очень важно точно выбрать зону факела, которой будет производиться сварка (т.е. расстояние от сопла горелки до зоны сварки), и внимательно следить за состоянием сварочной ванны во избежание «провала» металла. После добавления очередной порции присадочного материала в сварочную ванну горелка резко отводится в сторону, а затем быстро снова возвращается. Если деталь массивная, то, учитывая высокую теплопроводность алюминиевых сплавов, нужно использовать дополнительный подогрев. Остатки флюса желательно удалить. В случае флюса Ф-34А это можно сделать смоченной в воде ветошью.

Таблица П.4.2.2. Параметры рабочих процессов сварки алюминиевых сплавов

| Материал                                             | Форма образца                        | Характерный геометрический размер, мм | Вид процесса     | Присадочный материал           | Диаметр присадочного материала, мм | Флюс                            | Режим                         | Показания вольтметра, В |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| АД-31                                                | Фрагмент оконной рамы                | d=2                                   | Сварка           | DEAlMg3                        | 4                                  | Ф-34А                           | MODE I-3<br>MODE II-<br>выкл. | 120...140               |
| АД-31                                                | Угловая вставка оконной рамы         | d=4                                   | >>               | Электро-<br>проволока          | 2                                  | Ф-34А                           | MODE I-3<br>MODE II-<br>выкл. | 130...145               |
| АМг-6                                                | Пласти-<br>ны                        | d=2                                   | >>               | АМг-6                          | 2                                  | Ф-34А                           | MODE I-3<br>MODE II-<br>выкл. | 135...170               |
| Электриче-<br>ские шины<br>(технический<br>алюминий) | Пласти-<br>ны                        | d=4<br>b=40                           | >>               | АМг-6                          | 3                                  | Ф-34А                           | MODE I-3<br>MODE II-<br>выкл. | 190...200               |
| АМ-5К +<br>АД-31                                     | Сковоро-<br>да. Ручка                | d=5+<br>d=2                           | >>               | АМг-6                          | 4                                  | Ф-34А                           | MODE I-3<br>MODE II-<br>выкл. | 140...180               |
| АД-31Т                                               | Пласти-<br>ны                        | d=5                                   | >>               | АМг-6                          | 5                                  | Ф-34А                           | MODE I-3<br>MODE II-<br>выкл. | 170...180               |
| АД-31                                                | Труба<br>квадрат-<br>ная и<br>уголок | 20×20×2<br>15×20×2                    | >>               | АК-5                           | 1,6                                | Ф-40А                           | MODE I-3<br>MODE II-<br>выкл. | 120...140               |
| АД-31Т                                               | Полоса                               | d=3                                   | >>               | АМг-6                          | 4                                  | Ф-40А<br>Ф-34А                  | MODE I-3<br>MODE II-<br>выкл. | 135...170               |
| АД-31                                                | Шина<br>электри-<br>ческая           | d=4,5<br>b=50                         | >>               | АМг-6                          | 4                                  | Ф-34А                           | MODE I-3<br>MODE II-<br>выкл. | 135...170               |
| Алюминие-<br>вый сплав                               | Пластина                             | 1,6×50×<br>100                        | >>               | АМг-6                          | 5                                  | Ф-34А                           | MODE I-3<br>MODE II-<br>выкл. | 120...145               |
| Алюминие-<br>вый сплав                               | >>                                   | 0,8×25×<br>125                        | >>               | АМг-6                          | 5                                  | Ф-34А                           | MODE I-3<br>MODE II-<br>выкл. | 110...120               |
| АД-31Т                                               | >>                                   | 5,0×50×<br>100                        | >>               | АМг-6<br>Электро-<br>проволока | 3<br>2                             | Ф-34А                           | MODE I-3<br>MODE II-<br>выкл. | 140...170<br>130...160  |
| Амц+<br>12Х18Н10Т                                    | Трубки                               | Ø10×1<br>Ø8×1                         | Пайко-<br>сварка | STC1-01R<br>(AlSi5)            | 2,4                                | ULTRA<br>FLUX<br>АФ-4А<br>Ф-34А | MODE I-2<br>MODE II-<br>выкл. | 130...140               |
| Алюминие-<br>вый сплав +<br>Ст. 5                    | Трубки                               | Ø10×1<br>Ø8×1                         | Пайко-<br>сварка | АЛАР-<br>МЕТ-21<br>STC1-01R    | Пруток с<br>желобком<br>b=4<br>2,4 | Ф-40А<br>Ф-34А                  | MODE I-2<br>MODE II-<br>выкл. | 130...140               |

***Пайкосварка алюминиевой трубки Ø10×1 мм с трубкой из нержавеющей стали 12Х18Н10Т Ø8×1 мм:***

1. Поверхность нержавеющей стали обрабатывается драчевым напильником, покрывается флюсом Ф-40А и облуживается присадкой STC1-01R Ø2,4 мм.

2. Затем это место обрабатывается флюсом Ф-34А.

3. Далее осуществляется пайкосварка алюминиевой трубки с нержавеющей сталью с использованием присадки STC1-01R Ø2,4 мм.

***Пайкосварка электротехнической медной шины с алюминиевой шиной (сечение каждой 6×60 мм<sup>2</sup>):***

1. На медной шине делается фаска с углом в 30°.

2. Производится облужка меди припоем АЛАРМЕТ-21, в качестве флюса применяется бура.

3. Производится облужка этой же поверхности алюминиевым припоем STC1-01R Ø2,4 мм с флюсом АФ-4А.

4. Далее осуществляется пайкосварка меди с алюминием. В качестве припоя используется проволока STC1-01R Ø2,4 мм, а в качестве флюса – Ф-34А.

***Технология сварки и пайкосварки нержавеющей стали***

Горелка заправляется водно-спиртовой смесью с концентрацией спирта ≈55 % (этиловый, пропиловый, изопропиловый и т.п.) и выводится на соответствующий режим работы (табл. П.4.2.3). На местах, подлежащих сварке, снимается фаска и устанавливается необходимый зазор между деталями (в зависимости от толщины материала). Работы проводятся в плазменно-дуговом режиме с применением присадочной проволоки или без нее. Используется комбинированный способ сварки, при котором периодически кратковременно применяется прямая дуга, которая прерывается за счет удаления сопла горелки от сварной ванны на 15...20 мм, а прогрев в это время производится факелом косвенной дуги. В данных работах флюс не использовался. При повышенной шероховатости сварного шва необходимо уменьшить напряжение на дуге, подобрать соответствующую присадочную проволоку или увеличить концентрацию спирта (но не более 60 %).

***Технология пайкосварки нержавеющей стали типа 12Х18Н10Т***

Горелка заправляется водно-спиртовой смесью с концентрацией спирта ≈55 % (этиловый, пропиловый, изопропиловый и т.п.) и выводится на плазменный режим «MODE I» (см. табл. П.4.2.3). Место пайкосварки предварительно зачищается металлической щеткой и равномерно прогревается пламенем горелки до появления цветов побежалости (≈600 °С), затем посыпается флюсом, например «HARRIS». При дальнейшем прогреве флюс расплавляется и, равномерно растекаясь, покрывает зону пайкосварки.

Таблица П.4.2.3. Сварка и пайкосварка нержавеющей сталей

| Материал                                  | Форма образца         | Характерный геометрический размер, мм                           | Вид процесса    | Присадочный материал            | Диаметр присадочного материала, мм | Флюс        | Режим                      | Показания вольтметра, В |
|-------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------|----------------------------|-------------------------|
| Нержавеяка                                | Пластины              | $\delta=8$                                                      | Сварка          | Отбитый электрод ОЗЛ-8          | 3                                  | Нет         | MODE I – 3 MODE II – 5...3 | 150...180               |
| >>                                        | >>                    | $\delta=8$                                                      | >>              | Сварочная проволока ThJE-308LSi | 2,5                                | Нет         | MODE I – 3 MODE II – 5...3 | 150...180               |
| >>                                        | >>                    | $\delta=4$                                                      | >>              | Сварочная проволока нержавеющей | 2                                  | Нет         | MODE I – 3 MODE II – 3     | 170...180               |
| 12X18H10T                                 | Труба                 | $\varnothing 26 \times 4$                                       | >>              | Отбитый электрод ОЗЛ-8          | 3                                  | Нет         | MODE I – 3 MODE II – 3     | 160...180               |
| 12X18H10T                                 | Трубка                | $\varnothing 8 \times 1$                                        | Пайко-сварка    | L-Ag40Sn DIN8538                | 1,5                                | Нет         | MODE I – 2 MODE II – выкл. | 120                     |
| 12X18H10T                                 | Пластина              | $\delta=1$                                                      | Пайко-сварка    | L-Ag40Sn DIN8538                | 1,5                                | Нет         | MODE I – 2 MODE II – выкл. | 130...140               |
| 12X18H10T                                 | Пластина              | $\delta=1$                                                      | Сварка          | Св06X18H9Г                      | 2                                  | Нет         | MODE I – 4 MODE II – 2     | 140...150               |
| 12X18H10T                                 | Трубка                | $\varnothing 8 \times 1$                                        | Пайко-сварка    | L-Ag40Sn DIN8538                | 1,5                                | Нет         | MODE I – 2 MODE II – выкл. | 120                     |
| 10X17H13M 2T                              | Труба                 | $\varnothing 20 \times 2$                                       | Сварка          | Сварочная проволока ЦТ-11       | 3                                  | Нет         | MODE I – 3 MODE II – 3     | 130...140               |
| 12X18H10T + Ст-3                          | Пластины              | $\delta=4,5$                                                    | Сварка встык    | Св12X18H10 Б                    | 2,5                                | Нет         | MODE I – 3 MODE II – 3     | 160...170               |
| 12X18H10T + Ст-3                          | Пластины              | $\delta=4,5$                                                    | Сварка внахлест | Св12X18H10 Б                    | 2,5                                | Нет         | MODE I – 3 MODE II – 3     | 160...170               |
| 12X18H10T + АМц                           | Трубки                | $\varnothing 8 \times 1, \varnothing 10 \times 1$               | Пайко-сварка    | STC1-01R (AlSi5)                | 2,4                                | Ф-40А Ф-34А | MODE I – 2 MODE II – выкл. | 130...140               |
| 12X18H10T + алюминий-вый сплав            | Трубки                | $\varnothing 8 \times 1, \varnothing 10 \times 1$               | >>              | STC1-01R                        | 2,4                                | Ф-40А Ф-34А | MODE I – 2 MODE II – выкл. | 130...140               |
| Медь ++ нержавеющей нержавеющей ++ чугуна | Трубка Трубка Сегмент | $\varnothing 10 \times 1, \varnothing 8 \times 1, \delta=3...4$ | >>              | П81 Пруток-желоб                | b=4...5                            | HARRIS      | MODE I – 3 MODE II – выкл. | 150...160               |

Пайка ведется справа налево с помощью припоя «П-81». Одновременно разогреваются кромки соединяемых деталей и конец проволоки припоя до температуры плавления припоя ( $\approx 680$  °С). Расплавленный припой, растекаясь и смачивая кромки деталей, образует прочное, неразъемное соединение. Значительно проще осуществляется пайкосварка офлюсованным присадочным прутком 540 Sn (L-Ag40Sn по DIN8513), предназначенным для высокотемпературной пайки в холодильной и пищевой промышленности. Этот припой хорошо смачивает соединяемые поверхности и заполняет зазоры соединений. При этом получают вакуумно-плотные швы, обладающие высокой прочностью, способные выдерживать значительные вибрационные и ударные нагрузки в большом диапазоне рабочих температур.

#### *Технология сварки чугуна*

В качестве присадочного материала при сварке чугуна используются обычные сварочные проволоки типа Св08, в том числе и омедненные. Были проведены сварочные работы на чугунных стояках, регистрах, муфтах, трубах (табл. П.4.2.4).

**Таблица П.4.2.4.** Сварка чугуна

| Материал                | Форма образца         | Характерный геометрический размер, мм                           | Вид процесса | Присадочный материал           | Диаметр присадочного материала, мм | Флюс   | Режим                        | Показания вольтметра, В |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------|------------------------------------|--------|------------------------------|-------------------------|
| Чугун серый             | Регистр отопительный  | $\delta=4$                                                      | Сварка       | Св08Г2С                        | 3                                  | Нет    | MODE I–3<br>MODE II–4        | 160...180               |
| Чугун+ медь             | Сегмент Трубка        | $\delta=3..4$<br>$\text{Ø}10 \times 1$                          | Сварка       | Медная электрическая проволока | 2                                  | Нет    | MODE I–3..4<br>MODE II–выкл. | 170...185               |
| Чугун+ нержавейка+ медь | Сегмент Трубка Трубка | $\delta=3..4$<br>$\text{Ø}10 \times 1$<br>$\text{Ø}10 \times 1$ | Пайко-сварка | П81 Пруток-желоб               | $b=4..5$                           | HARRIS | MODE I–3<br>MODE II–выкл.    | 150...160               |

Визуальная оценка швов позволяет им дать оценки «хорошо» и «отлично». Если в зоне сварки толщина чугуна достаточно большая, то имеет смысл после завершения процесса сварки обеспечить медленное остывание изделия.

#### *Технология работы с металлами медной группы*

При работе с металлами медной группы (медь, латунь, бронза, манганин) применяются традиционные технологии, хорошо известные сварщикам. Сварка может производиться как с применением присадочных материалов, так и без них (табл. П.4.2.5).

Таблица П.4.2.5. Работа с металлами медной группы

| Материал                | Форма образца                     | Характерный геометрический размер, мм       | Вид процесса | Присадочный материал           | Диаметр присадочного материала, мм | Флюс   | Режим                       | Показания вольтметра, В |
|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|--------------|--------------------------------|------------------------------------|--------|-----------------------------|-------------------------|
| Латунь Л-63             | Пластины                          | $\delta = 1,2$                              | Сварка       | Латунь Л-63, проволока         | 2,5                                | Нет    | MODE I-3<br>MODE II-ВЫКЛ.   | 160...180               |
| Латунь Л-63             | Пластины                          | $\delta = 1,2$                              | Сварка       | Латунь Л-63, проволока         | 2,5                                | Бура   | MODE I-3<br>MODE II-ВЫКЛ.   | 160...180               |
| Медь М1                 | Пластина                          | $2,5 \times 30 \times 100$                  | Пайкосварка  | П81                            | Пруток с желобком $b = 3$          | Нет    | MODE I-3<br>MODE II-ВЫКЛ.   | 130...150               |
| Медь М2                 | Шина                              | $\delta = 5$<br>$b = 15$                    | Сварка       | Медная электрическая проволока | 2                                  | Нет    | MODE I-4<br>MODE II-2       | 155...165               |
| Медь электротехническая | Пластины                          | $\delta = 6$<br>$b = 17$                    | Сварка       | Медная электрическая проволока | 2                                  | Нет    | MODE I-4<br>MODE II-2       | 160...170               |
| Медь + Ст-3             | Пластина + проволока (пепельница) | $\delta = 0,5$<br>$\varnothing 3$           | Пайкосварка  | Припой HARRIS                  | 2                                  | HARRIS | MODE I-3<br>MODE II-ВЫКЛ.   | 135...145               |
| Медь + Ст-3             | Пластины                          | $\delta = 0,5$                              | Пайкосварка  | Припой HARRIS                  | 2                                  | HARRIS | MODE I-2<br>MODE II-ВЫКЛ.   | 140                     |
| Медь + медь             | Пластины                          | $\delta = 4,5$                              | Сварка встык | Медная электрическая проволока | 2,5                                | Нет    | MODE I-3<br>MODE II-3       | 160...170               |
| Медь + чугун            | Трубка + сегмент                  | $\varnothing 10 \times 1$<br>$\delta = 3-4$ | Сварка       | Медная электрическая проволока | 2                                  | Нет    | MODE I-3-4<br>MODE II-ВЫКЛ. | 170...180               |

При пайкосварке (пайка высокотемпературными припоями) и пайке используются традиционные присадочные материалы (П81, П14) и флюсы (например, бура, борная кислота, ФК-235, ФК-320).

### Библиографический список

1. Бушуев, В.В. Металлорежущие станки : учебник : в 2 т. / Т.М. Авраимова, В.В. Бушуев, Л.Я. Гиловой и др. ; под ред. В.В. Бушуева. – М. : Машиностроение, 2011. – Т. 1. – 608 с.
2. Бушуев, В.В. Металлорежущие станки : учебник : в 2 т. / В.В. Бушуев, А.В. Еремин, А.А. Какойло и др. ; под ред. В.В. Бушуева. – М. : Машиностроение, 2011. – Т. 2. – 586 с.
3. Черпаков, Б.И. Металлорежущие станки : учебник / Б.И. Черпаков, Т.А. Альперович. – М. : Издат. центр «Академия», 2008. – 368 с.
4. Черпаков, Б.И. Технологическое оборудование машиностроительного производства : учебник / Б.И. Черпаков, Л.И. Вереина. – М. : Издат. центр «Академия», 2005. – 416 с.
5. Технология конструкционных материалов : учебное пособие для студентов вузов / под ред. О.С. Комарова. – Минск : Новое знание, 2007. – 567 с.
6. Овчинников, В.В. Технология ручной дуговой и плазменной сварки и резки металлов : учебник / В.В. Овчинников. – М. : Издат. центр «Академия», 2012. – 240 с.
7. <http://www.multiplaz.ru/>. – Сайт производителя.
8. Обработка металлов резанием : методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Физико-химические процессы при обработке металлов» / сост. : В.В. Евстифеев, Б.И. Калмин, М.С. Корытов. – Омск : СибАДИ, 2007. – 20 с.

*Учебное издание*

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ  
ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ**

Лабораторный практикум

Составители:

Борис Иванович Калмин, Владислав Викторович Евстифеев,  
Валерий Викторович Акимов, Михаил Сергеевич Корытов,  
Александр Федорович Мишуров, Станислав Михайлович Колисниченко,  
Валерий Павлович Расщупкин

---

Редактор Т.И. Калинина

---

Подписано к печати 21.10.2014  
Формат 60 × 90 1/16. Бумага писчая  
Оперативный способ печати  
Гарнитура Таймс  
Усл. п. л. 3,25  
Тираж 50 экз. Заказ №

РИО ИПЦ СибАДИ  
644088, г. Омск, 2-я Поселковая, 1

---

Отпечатано в отделе ОП ИПЦ СибАДИ  
644080, г. Омск, пр. Мира, 5