

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»  
Старорусский политехнический колледж (филиал)

Учебно-методическая документация

## **КОНСПЕКТЫ ЛЕКЦИЙ**

**по дисциплине ОП.06 Процессы формообразования и инструменты**

**специальность 15.02.08 Технология машиностроения**

(объем аудиторных часов - 32)

Старая Русса  
2019г.

Рассмотрены и утверждены  
методическим советом колледжа  
(Протокол № 2 от 03.09.2019г.)

**Разработчик:**

Чегодаева Ирина Борисовна, преподаватель высшей квалификационной категории Федерального государственного образовательного учреждения среднего профессионального образования «Старорусский политехнический колледж» (филиал) НовГУ

**СОДЕРЖАНИЕ**

1 Пояснительная записка.....	4
1.1 Перечень формируемых компетенций.....	4
1.2 Распределение фонда времени лекционных занятий.....	6
2 Содержание лекций.....	8
Информационное обеспечение обучения.....	89
Лист регистрации изменений.....	91

## 1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Конспекты лекций, являющиеся частью учебно-методического комплекса по дисциплине Процессы формообразования и инструменты составлены в соответствии с

- 1 Федеральным государственным образовательным стандартом (далее – ФГОС) по специальности СПО 15.02.08 Технология машиностроения;
- 2 рабочей программой дисциплины;

Конспекты лекций охватывают 32 часа аудиторных занятий, предусмотренных рабочей программой учебной дисциплины.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен уметь:

- пользоваться справочной документацией по выбору лезвийного инструмента, режимов резания в зависимости от конкретных условий обработки;
- выбирать конструкцию лезвийного инструмента в зависимости от конкретных условий обработки;
- производить расчет режимов резания при различных видах обработки.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен знать:

- основные методы формообразования заготовок;
- основные методы обработки металлов резанием;
- материалы, применяемые для изготовления лезвийного инструмента;
- виды лезвийного инструмента и область его применения;
- методику и расчет рациональных режимов резания при различных видах обработки.

### 1.1 Перечень формируемых компетенций

Общие компетенции (ОК):

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), за результат выполнения заданий.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

Профессиональные компетенции (ПК):

ПК 1.1. Использовать конструкторскую документацию при разработке технологических процессов изготовления деталей.

ПК 1.2. Выбирать метод получения заготовок и схемы их базирования.

ПК 1.3. Составлять маршруты изготовления деталей и проектировать технологические операции.

ПК 1.4. Разрабатывать и внедрять управляющие программы обработки деталей.

ПК 1.5. Использовать системы автоматизированного проектирования технологических процессов обработки деталей.

ПК 2.1. Участвовать в планировании и организации работы структурного подразделения.

ПК 2.2. Участвовать в руководстве работой структурного подразделения.

ПК 2.3. Участвовать в анализе процесса и результатов деятельности подразделения.

ПК 3.1. Участвовать в реализации технологического процесса по изготовлению деталей.

ПК 3.2. Проводить контроль соответствия качества деталей требованиям технической документации.

## 1.2 Распределение фонда времени лекционных занятий

№ п/п	Наименование раздела и темы лекции	Вид лекции	Кол. часов по очной форме обучения
	Введение	вводная	
1	Раздел 1 Формообразование заготовок методами литья и пластической деформации		<b>8</b>
1.1	Тема 1.1 Литье в песчаные формы	Текущая	2
1.2	Тема 1.2 Специальные методы литья	Текущая	2
1.3	Тема 1.3 Получение проката. Волочение и прессование	Текущая	2
1.4	Тема 1.4 Ковка и штамповка	Текущая	2
2	Раздел 2 Обработка материалов точением и строганием		<b>6</b>
2.1	Тема 2.1 Инструментальные материалы	Текущая	2
2.2	Тема 2.2 Геометрия токарных резцов	Текущая	2
2.7	Тема 2.7 Типы токарных резцов. Стругание и долбление	Текущая	2
3	Раздел 3 Обработка материалов сверлением, зенкерованием, развертыванием		<b>2</b>
3.1	Тема 3.1 Обработка материалов сверлением, зенкерованием, развертыванием	Текущая,	2
4	Раздел 4 Обработка материалов фрезерованием		<b>2</b>
4.1	Тема 4.1 Обработка материалов цилиндрическими и торцовыми фрезами	Текущая	2
5	Раздел 5. Резьбонарезание		<b>2</b>

5.1	Тема 5.1 Нарезание резьбы	Текущая	2
8	Раздел 8 Шлифование		<b>2</b>
8.1	Тема 8.1 Абразивные инструменты	Текущая	2
9	Раздел 9 Обработка методами поверхностного пластического деформирования		<b>2</b>
9.1	Тема 9.1 Чистовая и упрочняющая обработка методами ППД	Текущая	2
10	Раздел 10. Электрофизические и электрохимические методы обработки		<b>4</b>
10.1	Тема 10.1 Электрофизические и электрохимические методы обработки	Текущая	2
10.2	Тема 10.2 Обработка материалов электронным и когерентным световыми лучами	Текущая	2
11	Раздел 11 Сварочное производство		<b>4</b>
11.1	Тема 11.1 Процесс сварки		2
11.2	Тема 11.2 Пайка и газокислородная резка металлов	Текущая	2
	Всего		<b>32</b>

## 2 СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИЙ

### **ВВЕДЕНИЕ**

Физико-химические основы процессов формообразования

#### **Физические свойства металлов.**

К физическим свойствам относятся плотность, плавление (температура плавления), теплопроводность, тепловое расширение.

*Плотность* — количество вещества, содержащееся в единице объема.

*Плавление* — способность металла переходить из кристаллического (твердого) состояния в жидкое с поглощением теплоты.

*Теплопроводность* — способность металла с той или иной скоростью проводить теплоту при нагревании.

*Электропроводность* — способность металла проводить электрический ток.

*Тепловое расширение* — способность металла увеличивать свой объем при нагревании.

#### **Химические свойства металлов.**

Химические свойства металлов характеризуют отношение их к химическим воздействиям различных активных сред. Каждый металл обладает определенной способностью сопротивляться этим воздействиям. Основными химическими свойствами металлов являются окисляемость и коррозионная стойкость.

*Окисляемость* — способность металла вступать в реакцию в кислороде под воздействием окислителей.

*Коррозионная стойкость* — способность металла сопротивляться коррозии.

#### **Механические свойства металлов.**

К механическим свойствам металлов относят твердость, прочность, вязкость, упругость и пластичность.

*Твердость* — способность металла сопротивляться проникновению в него более твердого тела.

*Прочность* — способность металла сопротивляться разрушению под действием внешних сил.

*Вязкость* — способность металла сопротивляться быстро возрастающим ударным нагрузкам.

*Упругость* — способность металла восстанавливать свою первоначальную форму и размеры после снятия действующей нагрузки.

*Пластичность* — способность металла, не разрушаясь, изменять свою форму под действием нагрузки и сохранять полученную форму после снятия нагрузки.

#### **Технологические свойства металлов.**

Технологические свойства металлов определяют их способность подвергаться различным видам обработки. Основными технологическими свойствами металлов являются ковкость, свариваемость, жидкотекучесть, прокаливаемость, обработка резанием.

*Ковкость* — способность металла изменять свою форму в нагретом или холодном состоянии под действием внешних сил.

*Свариваемость* — способность двух частей металла при нагревании прочно соединяться друг с другом.

*Жидкотекучесть* — способность расплавленного металла легко растекаться и хорошо заполнять форму.

*Прокаливаемость* — способность металла закаливаться на ту или иную глубину.

*Обрабатываемость резанием* — способность металла подвергаться механической обработке режущим инструментом с определенной скоростью и усилием резания.

## **РАЗДЕЛ 1 ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ЗАГОТОВОК МЕТОДАМИ ЛИТЬЯ И ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ**

### **Тема 1.1 Литье в песчаные формы**

#### **Цель:**

- формирование знаний о получении отливок методом литья в землю.

#### **Основные понятия**

Отливка, модель, модельный комплект, опока, прибыль, выпор, литниковая система, формовочная смесь, литейные уклоны.

#### **План лекции**

- 1 Схема получения отливок.
- 2 Оснастка и инструменты, применяемые при литье в песчаные формы.
- 3 Модельный комплект.
- 4 Формовочные материалы.
- 5 Конструирование литейных форм.
- 6 Правила выполнения чертежей отливок.

#### **Основная часть**

Литейным производством называется технологический процесс получения готовых деталей или заготовок путем заполнения жидким металлом литейных форм и последующего его затвердевания в ней.

Применение литых заготовок обеспечивает рациональное использование металла и снижение массы изделий путем рациональной конструкции детали, применения литейных сплавов с высокими физико-механическими свойствами.

Литье обладает рядом преимуществ:

- 1) возможность изготовления отливок практически неограниченных габаритов и массы,
- 2) получение заготовок из сплавов, не подлежащих пластической деформации,
- 3) труднообрабатываемых резанием.

Этапы литейного производства:

- получение жидкого сплава требуемого состава,
- заливка его в заранее приготовленные формы.

Жидкие сплавы получают в доменных печах, вагранках, конвертерах, в индукционных печах. В зависимости от производства и экономической эффективности подобные литейные производства бывают не на всех предприятиях. Поэтому литые заготовки целесообразно получать на специальных литейных заводах.

В литейном производстве существуют следующие способы изготовления отливок:

- литье в песчано-глинистые формы с ручной и машинной формовкой
- в опоках,
- литье в оболочковые формы (по выплавляемым моделям),
- литье в многократные формы,
- литье в кокиль,
- литье под давлением,
- центробежное литье,
- литье с выжиманием,
- непрерывное литье.

Литье в песчано-глинистые формы - наиболее широко распространенный способ получения заготовок крупных размеров (станин, корпусов машин, коробок скоростей), а также средних размеров (зубчатых колес, муфт, подшипников) в единичном, мелкосерийном и серийном производствах.

Литье в оболочковые, многократные формы и кокиль используется для получения ответственных фасонных отливок в крупносерийном и массовом производствах. Литье под давлением, штамповка жидких сплавов и литье выжиманием применяют для заготовок сложной конфигурации (колена, кольца электродвигателей) из цветных сплавов.

### **Примерные вопросы к студентам**

- 1 Расскажите общий порядок работ при изготовлении отливок.
- 2 В чем заключается сущность изготовления отливок литьем в песчаные формы?
- 3 Что такое модельный комплект? Из чего он состоит?
- 4 Для чего служат прибыль, шлакоуловитель, зумпф?
- 5 Каким образом в отливках получают отверстия и полости?
- 6 Из каких материалов состоят формовочные смеси.

### **Учебно-методическое и информационное обеспечение**

- 1 Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении [Электронный ресурс]: учебник для СПО / С. Г. Ярушин. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 564 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>

### **Тема 1.2 Специальные методы литья**

#### **Цель:**

- формирование знаний о получении отливок с помощью специальных методов литья.

#### **Основные понятия**

Отливка, форма, кокиль, модель, литниковая система, модельная смесь, литейные уклоны.

### **План лекции**

- 1 Литье в кокиль.
- 2 Литье по выплавляемым моделям.
- 3 Центробежное литье.
- 4 Литье под давлением.
- 5 Литье в оболочковые формы.
- 6 Выбор способа получения отливки в зависимости от формы детали, материала, программы выпуска.
- 7 Отработка изделий на технологичность.

### **Основная часть**

Рассмотренные выше способы литья в песчано-глинистые формы связаны с большим грузооборотом вспомогательных материалов, отличаются большой трудоемкостью и в ряде случаев не дают качественных отливок. Поиски более совершенных технологических процессов привели к созданию таких способов литья, как литье в металлические формы (в кокиль), под давлением, центробежное литье, по выплавляемым моделям, литье в оболочковые формы и др.

Перечисленные способы позволяют получать отливки с более высокой точностью и чистотой поверхности и значительно улучшают условия труда. Вместе с тем эти технологические процессы не лишены недостатков. Так, некоторые из них (например, литье под давлением, в кокиль и центробежное) не позволяют получать отливки из всех сплавов и различной конфигурации, другие связаны с использованием дорогих и дефицитных материалов (литье по выплавляемым моделям и в оболочковые формы), в результате чего применение их выгодно только для определенной номенклатуры сложных тонкостенных отливок. Эти методы в отличие от общераспространенного литья в песчано-глинистые формы получили название специальных методов литья.

### **Литье в кокиль**

Литье в металлические формы (кокили) обладает рядом технических и технологических преимуществ по сравнению с литьем в песчано-глинистые формы.

При затвердевании в металлической форме отливки получают более мелкозернистую плотную структуру металла. В связи с этим улучшаются механические свойства отливок. Они имеют большую точность размеров с минимальными допусками на механическую обработку. За счет уменьшения допуска на механическую обработку повышается выход годного литья.. Этот способ приводит к снижению себестоимости литья.

Вместе с тем производство литья в металлические формы имеет свои трудности. Так, изготовление металлических форм требует значительных затрат и продолжительного времени освоения. Высокая теплопроводность металлических форм затрудняет получение сложных тонкостенных отливок большого габарита. Невозможно получать отливки, имеющие внутренние и наружные сложные очертания.

Особенно сдерживает литье в металлические формы относительно малая стойкость кокилей и их неподатливость, что приводит к образованию трещин в отливках. Поэтому литье в кокили применяется в основном при изготовлении деталей из цветных сплавов, обладающих меньшей температурой плавления и меньшей склонностью к образованию трещин. Стойкость металлических форм при заливке алюминиевых сплавов достигает до 300 тыс. заливок, а при отливке чугунных деталей всего 150—300 заливок.

В нашей стране литьем в кокили получают в настоящее время свыше 41% всех отливок из цветных сплавов, около 9% общего количества чугунного литья и примерно 6% стального.

**Литьем под давлением** называется способ получения фасонных отливок в металлических формах, при котором заполнение формы и кристаллизация металла производится под принудительным давлением. Этот способ применяется в массовом производстве для изготовления тонкостенных отливок из сплавов цветных металлов. Он обеспечивает высокую точность размеров

отливок, большинство которых не требует дальнейшей механической обработки.

Этим способом литья получают, например, такую деталь, как алюминиевый блок цилиндров автомобильного двигателя. Масса такого блока составляет 35 кг, на поверхности отливки расположено 130 отверстий.

При литье под давлением металлические формы (пресс-формы) и стержни делаются стальными. Применение песчаных стержней в данном случае исключается, так как заполняющий форму жидкий металл под высоким давлением может их разрушить.

Литье под давлением производится на машинах различных конструкций. Машины поршневого действия с горячей камерой сжатия применяются для сплавов, имеющих температуру плавления до 450° (оловянных, цинковых, свинцовых). Эти машины бывают ручные, полуавтоматического и автоматического действия.

Принцип работы машин заключается в следующем. В чугунную подогреваемую ванну заливают жидкий металл, который через отверстия заполняет полость цилиндра и подводящий канал. При повороте пусковой рукоятки обе половины пресс-формы закрываются. Одновременно конец мундштука прижимается к устью канала пресс-формы. Затем автоматически включается пневматический цилиндр, под действием которого поршень вытесняет расплавленный металл в форму. После затвердевания металла поршень поднимается, а пресс-форма раскрывается, освобождая отливку. Затем пресс-форма очищается (обдувается) и вновь заливается.

Производительность полуавтоматических и ручных машин составляет примерно 250 заливок в час, автоматических— около 1000. Давление на металл в поршневых машинах с горячей камерой сжатия достигает 6—75 атм.

**Центробежным литьем** называется способ получения отливок, при котором жидкий металл заливается во вращающуюся форму. Формирование поверхности отливки и процесс кристаллизации металла протекает под действием центробежных сил.

Центробежным способом получают отливки из стали, чугуна и цветных сплавов. Наибольший технико-экономический эффект обеспечивается при использовании этого способа для получения отливок типа тел вращения (трубы, втулки, гильзы, цилиндры двигателей, кольца подшипников качения и др.).

Центробежный способ литья имеет следующие преимущества: не требуется применения стержней для получения внутренней полости цилиндрических отливок; резко снижается расход металла на литниковую систему; металл в отливке получается плотным, мелкокристаллического строения, что повышает его механические свойства; резко снижается себестоимость литья.

Машины для центробежного литья бывают с вертикальной и горизонтальной осью вращения. Иногда применяются также машины с наклонной осью вращения.

### **Отработка изделий на технологичность.**

Внешние контуры отливок должны представлять собой сочетание простых геометрических тел с преобладанием плоских прямолинейных поверхностей с плавными переходами .

При проектировании отливок стремятся к уменьшению габаритных размеров и особенно высоты литой детали. Это облегчает изготовление модельного комплекта, а также процессы формовки, сборки форм и очистки отливок. При этом отливка должна иметь один плоский разъем и располагаться по возможности в одной полуформе.

Контуры литых деталей должны обеспечивать формовку без дополнительных стержней (отсутствие поднутрений). Конструкция литой детали должна обеспечивать высокий уровень механических и эксплуатационных характеристик при заданной массе, конфигурации, точности размеров и шероховатости поверхности.

При проектировании отливки должны учитываться литейные свойства сплавов, а также технологии изготовления модельного комплекта, литейной

формы, стержней, очистка и обрубка отливок, а также их дальнейшая обработка. Необходимо стремиться к уменьшению массы и упрощению конфигурации.

Толщина внутренних стенок и ребер принимается на 20 % меньше толщины наружных стенок. Получение отливок без усадочных дефектов достигается при равномерной толщине стенок, т.е. если отсутствуют термические узлы – большое скопление металла в отдельных местах. Равномерность толщины стенки и скопление металла определяют диаметром вписанных окружностей

Для снижения литейных напряжений необходимо обеспечить свободную усадку элементов отливки. Придание перегородкам конической формы также снижает усадочные напряжения.

Коробление отливок, возникающее из-за недостаточной жесткости конструкции, можно устранить путем установки ребер жесткости. Кромки стенок большой протяженности усиливают буртиками толщиной  $b = (0,5..0,8) \cdot a$  и шириной  $h = 2 \cdot a$  ( $a$  – толщина стенки).

Внешние контуры отливок должны представлять собой сочетание простых геометрических тел с преобладанием плоских прямолинейных поверхностей с плавными переходами.

Необрабатываемые поверхности, перпендикулярные к плоскости разъема, должны иметь конструктивные уклоны. Бобышки, приливы и другие выступающие части необходимо конструировать так, чтобы не затруднять извлечение модели из формы. При изготовлении нетехнологичных отливок требуется применение в моделях отъемных частей или стержней, что усложняет процесс формовки. Минимальные диаметры отверстий в отливках выбираются в зависимости от материала и толщины стенки.

### **Примерные вопросы к студентам**

- 1 В чем заключается сущность изготовления отливок литьем в оболочковые формы?

- 2 Какую последовательность операций необходимо соблюдать при изготовлении отливок литьем по выплавляемым и выжигаемым моделям?
- 3 В чем состоят особенности изготовления отливок в кокилях? Для чего предназначаются теплозащитные кокильные покрытия?
- 4 В чем заключается сущность изготовления отливок литьем под давлением?
- 5 Расскажите об особенностях изготовления отливок центробежным литьем.

### **Учебно-методическое и информационное обеспечение**

- 1 Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении [Электронный ресурс]: учебник для СПО / С. Г. Ярушин. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 564 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>

### **Тема 1.3 Получение проката. Волочение и прессование**

#### **Цель:**

- формирование знаний о способах получения проката, методах волочения и прессования.

#### **Основные понятия**

Прокат, сортамент, прокатный стан, матрица, волока, прессформа, прессостаток.

#### **План лекции**

- 1 Основные способы прокатки, прокатные станы.
- 2 Сортамент прокатной продукции.
- 3 Производство бесшовных труб.
- 4 Производство сварных труб.

- 5 Поперечно-винтовая прокатка.
- 6 Сущность процесса волочения. Инструменты и материалы.
- 7 Изготовление проволоки, изготовление труб.
- 8 Процесс прессования.
- 9 Методы прессования – прямой и обратный. Достоинства и недостатки метода.
- 10 Гидроэкструзия.

### **Основная часть**

Сортамент металлопроката – это перечень прокатываемых изделий с указанием точных размеров, совокупность профилей (форма поперечного сечения прокатного изделия), имеющих разную форму и размеры. Сортамент металлопроката делится на три основные группы:

1 Сортовой металлопрокат – простой и фасонный. Простой металлопрокат – это квадрат, круг, полоса плоского сечения; фасонный металлопрокат бывает специального назначения (профили нефтяной промышленности, судостроения, рельсы) и общего потребления (швеллеры, угловые профили).

2 Листовой металлопрокат - это рулон, лист, полоса. Листовой металлопрокат в свою очередь подразделяется на: горячекатаные тонкие, горячекатаные толстые и холоднокатаные.

3 Трубы – подразделяются на круглые и другие. Круглые бывают сварные и бесшовные, остальные – профильные и с переменным размером сечения.

Прокатка стали производится двумя способами:

В первом случае исходным материалом являются слитки, которые вначале нагревают и прокатывают на специальных отжимных станках. Затем, после того, как удалили с поверхности все дефекты, происходит повторный нагрев и прокатка уже готового изделия.

Во втором случае используют непрерывное литье в специально предназначенных машинах. После этого, происходит прокатка готового

изделия, как и в первом случае. Этот метод прокатки имеет ряд преимуществ по сравнению с предыдущим, поскольку происходит непрерывное производство проката из жидкого металла. Это очень важно особенно для цветных металлов.

### **Прокатка сортового металла**

Прокатка сортового металла включает в себя следующие операции:

Нагрев до 1100-1250°C

Подача нагретой заготовки к рабочим клетям и проката

Резка проката

Охлаждение

Устранение всех дефектов

Проверка и отправка готового изделия

Вся эта операция происходит на специальных прокатных станах.

### **Прокатка листового металла**

Прокатка листового металла включает в себя следующие операции:

К нагревательным печам подают слябы и нагревают

Подача по рольгангу стана к рабочей клетки

Прокатка

Охлаждение

Разметка

Обрезка продольных кромок и концов

Разрезка на необходимые размеры

Отправка готового изделия

### **Прокатка труб**

Прокатка труб включает в себя три операции:

Прошивка – это формирование отверстия в заготовке. Эта операция происходит на прошивном станке.

Раскатка – это удлинение заготовки и уменьшение толщины ее стенки. Осуществляется на прокатном станке.

Калибровка или редуцирование осуществляется на калибровочном станке.

## Прокатка цветных металлов

Если говорить о прокатке цветных металлов, то больше всего используется прокатка меди, магния, алюминия, цинка, прокатка листов, ленты и проволоки. Так, например, прокатка различных алюминиевых сплавов включает в себя следующие операции:

- предварительная прокатка с целью выравнивания поверхности листа;
- правка на специальных роликовых машинах;
- фрезеровка;
- двустороннее накладывание алюминиевых листов;
- нагрев;
- горячая прокатка;
- отжиг и холодная прокатка.

## Волочение

Волочение заключается в однократном или многократном протягивании металла на особых станках через отверстие, площадь поперечного сечения которого меньше, чем площадь поперечного сечения протягиваемой заготовки. Отверстие, через которое протягивают металл («очко» или «глазок»), находится в инструменте, который называется волоком (фильером). Заостренный конец протягиваемой через очко заготовки захватывается клещами, которые перемещаются тянущим устройством привода.

После волочения получают изделия (проволока, прутки, трубы и др.) с точными размерами и с весьма гладкими, но наклепанными поверхностями. Путем волочения получают проволоку диаметром от 0,01 до 4 мм и выше. Проволоку малых диаметров образуют многократным пропусканием ее через несколько (до 17) волоков, постепенно уменьшающихся в диаметре. Волоки изготавливают из твердых сплавов, а в некоторых случаях из алмазов (например, для волочения проволоки диаметром менее 0,5 мм). Наклеп на поверхности металла, возникший при его волочении, устраняют отжигом.

Волочение труб применяют для калибровки их размеров и получения более гладкой поверхности, а также в некоторых случаях для утонения их стенок. В последнем случае при волочении внутрь трубы вводят оправку.

Волочению (калибровке) подвергают также горячекатаные металлические прутки круглого, шестигранного, квадратного и других профилей. Такие калиброванные прутки, носящие название холодноотянутого сортового материала, используют главным образом для изготовления из них деталей на токарных автоматах.

### **Примерные вопросы к студентам**

- 1 В чем сущность упругой и пластической деформации?
- 2 Перечислите основные виды прокатной продукции.
- 3 В чем сущность прокатки? Назовите виды прокатки.
- 4 Расскажите о процессе прессования, о его достоинствах и недостатках.
- 5 Какие заготовки можно получить волочением?

### **Учебно-методическое и информационное обеспечение**

- 1 Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении [Электронный ресурс]: учебник для СПО / С. Г. Ярушин. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 564 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>

## **Тема 1.4 Ковка и штамповка**

### **Цель:**

- формирование знаний об операциях ковки и штамповки.

### **Основные понятия**

Поковка, штамповка, пресс, молот, уков, открытые и закрытые штампы.

### **План лекции**

- 1 Процесс свободной ковки. Молоты и прессы.
- 2 Коэффициент укова.
- 3 Ковка в подкладные штампы.
- 4 Горячая и холодная объемная штамповка.
- 5 Штамповка в открытые и закрытые штампы.
- 6 Холодная высадка.
- 7 Горячая и холодная листовая штамповка.
- 8 Операции листовой штамповки.

### **Основная часть**

#### **Свободная ковка**

Свободная ковка заключается в деформации нагретого металла без помещения заготовки в специальную форму (штамп). Ковкой изготавливают поковки различных размеров.

Мелкие поковки могут изготавливаться вручную или на небольших пневматических молотах. Крупные поковки (до 200 т весом) куют на гидравлических прессах с силой до 15 000 т и более.

Ручная ковка производится при единичном изготовлении мелких поковок и при ремонтных работах. Она осуществляется на наковальнях с применением различного универсального ручного инструмента: ручных молотков, кувалд, зубил и др.

Основные виды работ, осуществляемых при ручной ковке, — это вытяжка, осадка, прошивка, гибка, кручение, рубка и сварка. Для удержания и перемещения отковываемого материала применяют вспомогательные инструменты (клещи и др.), а для измерения — измерительные инструменты.

В основных (производственных) кузнечных цехах машиностроительных заводов применяют главным образом машинную ковку на молотах и прессах.

В первом случае нужную деформацию металла производят, как и при ручной ковке, ударами падающих частей молотов.

Тяжелые поковки весом от 1 до 250 т изготавливают свободной ковкой на гидравлических и парогидравлических прессах, рабочее давление которых может достигать более 10 000 т. Действие гидравлических ковочных прессов основано на законе гидростатического давления.

Гидравлические прессы устроены следующим образом : на верхней неподвижной поперечине помещается рабочий цилиндр, в который входит плунжер и два подъемных цилиндра. По направляющим колонкам может передвигаться вверх или вниз подвижная поперечина с верхним бойком, связанная с плунжером. Последний служит для создания рабочего давления при впуске воды в цилиндр. Для поднятия поперечины вода впускается в цилиндры, штоки которых связаны с тягами, поднимающими подвижную поперечину. Давление воды в гидравлических прессах до 20 МН/м<sup>2</sup>.

**Штамповка** – это способ изготовления изделий давлением с помощью специального инструмента – штампов, рабочая полость которых определяет конфигурацию конечной штамповки (изделия).

Процессы штамповки подразделяются на два вида: объемная и листовая штамповка.

#### **Горячая объемная штамповка.**

Сущность процесса состоит в том, что нагретая до определенной температуры заготовка помещается в полость одной из половин штампа, где она при воздействии второй половины приобретает нужную форму. В качестве заготовки используют прокат сортовой или профильный.

Различают штамповку в открытых и закрытых штампах. Штамповка в открытых штампах связана с образованием облоя (заусенца). Рассчитывая объем заготовки, его нужно увеличить на величину облоя. Он облегчает заполнение штампа металлом и позволяет использовать заготовки, несколько отличающиеся по размерам. Для получения облоя в верхнем ручье

вытачивается специальная канавка и делаются штамповочные уклоны для облегчения извлечения готовой штамповки.

Штамповка в закрытых штампах осуществляется без облоя. В этом случае и при наличии уклонов штамп не обеспечивает свободного извлечения штамповки. Поэтому применяется специальное выталкивающее устройство. Штамповки таким методом получаются более точные.

Штампы изготавливаются из инструментальных углеродистых и легированных сталей: У8, У10, 7Х3, 5ХГС и др.

Фасонные (сложной формы) заготовки получают в многоручьевых штампах. При штамповке в каждом из ручьев форма заготовки постепенно приближается к окончательному виду.

Преимущества объемной штамповки по сравнению со свободной ковкой.

1. Значительно более высокая производительность.
2. Исключение напусков для сложных по форме поковок.
3. Получение изделий со значительно меньшими припусками.
4. Меньший расход металла за счет снижения припусков и допусков.

Недостатки:

1. Ограниченная масса и размеры штамповок ( 0,5 – 30 кг). Более 100 кг – считаются крупными.
2. Большие усилия, требуемые на проведение деформации, по сравнению со свободной ковкой.
3. Высокие затраты на инструмент, что делает штамповку в единичном и мелкосерийном производстве нерентабельной.

#### **Холодная объемная штамповка.**

Применяются те же штампы, что и при горячей штамповке. Обеспечивается более высокое качество поверхности и точность, но необходимо более мощное оборудование и высокие энергозатраты. Также можно получать поковки с тонкими сечениями.

Для изготовления крупных изделий не применяется. В холодном состоянии чаще штампуют цветные металлы, низкоуглеродистые стали,

легированные и коррозионностойкие стали типа 12Х18Н9Т. Примером холодной объемной штамповки является процесс холодной высадки для изготовления из прутка изделий типа болтов, заклепок, гвоздей. Разновидностью холодной штамповки является холодное выдавливание, которое применяют для обработки цветных сплавов.

### **Листовая штамповка.**

В зависимости от толщины листа – заготовки штамповку можно условно разделить на тонколистовую (толщина листа до 4 мм) и толстолистовую (более 4мм). Листовой металл толщиной более 15 мм штампуют в горячем виде.

Достоинства листовой штамповки.

1. Высокая производительность процесса и вследствие этого низкая себестоимость штампуемых деталей.
2. Незначительные отходы металла по сравнению с обработкой резанием.
3. Взаимозаменяемость деталей ввиду их точности.
4. Возможность получения достаточно жестких и легких деталей.
5. Широкие возможности механизации и автоматизации процесса.

Основные группы операций листовой штамповки.

Разъединительные – отрезка, вырубка, пробивка отверстий, надрезка, обрезка и зачистка.

Формоизменяющие – гибка, вытяжка, правка, рельефная штамповка, отбортовка, формовка, раздача, обжим.

Прессовочные – чеканка, разметка, клеймение, холодное выдавливание.

Комбинированные – отрезка и гибка, вырубка и вытяжка.

Штамповочные – запрессовка, закатка, холодная сварка.

Разделительные операции осуществляют на механических ножницах гильотинного, алигаторного и дискового типов или на штампах, установленных на различного вида прессах. Формоизменяющие – на прессах в штампах различных типов.

В единичном и мелкосерийном производстве применять жесткие штампы экономически невыгодно. В этих случаях применяются штамповка в

универсальных штампах эластичной средой, штамповка взрывом, электрогидравлическая штамповка и магнитно-импульсная.

### **Примерные вопросы к студентам**

- 1 Перечислите основные операцииковки. В чем их сущность?
- 2 Что такое припуск, допуск и напуск?
- 3 По какому принципу выбирают заготовки для поковки?
- 4 Что такое многоручьевой штамп?
- 5 Какое оборудование применяют при ковке, при горячей объемной штамповке?
- 6 Приведите схемы и дайте характеристики операциям листовой штамповки.

### **Учебно-методическое и информационное обеспечение**

- 1 Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении [Электронный ресурс]: учебник для СПО / С. Г. Ярушин. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 564 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>

## РАЗДЕЛ 2 ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ТОЧЕНИЕМ И СТРОГАНИЕМ

### Тема 2.1 Инструментальные материалы

#### Цель:

- формирование знаний о марках инструментальных материалов.

#### Основные понятия

Инструментальные углеродистые стали, инструментальные быстрорежущие стали, твердые сплавы, сверхтвердые материалы.

#### План лекции

- 1 Требования, предъявляемые к инструментальным материалам.
- 2 Инструментальные стали: углеродистые, легированные, быстрорежущие; их марки, химический состав, механические свойства, область применения.
- 3 Твердые сплавы. Безвольфрамовые твердые сплавы.
- 4 Минералокерамические инструментальные материалы.
- 5 Естественные и искусственные алмазы.
- 6 Сверхтвердые инструментальные материалы на основе кубического нитрида бора.

#### Основная часть

При резании контактные площадки инструмента подвергаются интенсивному воздействию высоких силовых нагрузок и температур, величины которых имеют переменный характер, а взаимодействие с обрабатываемым материалом и реагентами из окружающей среды приводит к протеканию интенсивных физико-химических процессов: адгезии, диффузии, окисления, коррозии и др.

С учетом необходимости сопротивления контактных площадок режущего инструмента микро- и макроразрушению в указанных условиях, к свойствам инструментальных материалов предъявляется ряд специальных требований, выполнение которых определяет место их эффективного применения для режущих инструментов. Основные требования к инструментальным материалам следующие:

1. Инструментальный материал должен иметь высокую твердость.

Твердость инструментального материала должна быть выше твердости обрабатываемого не менее чем в 1,4 - 1,7 раза.

2. При резании металлов выделяется значительное количество теплоты и режущая часть инструмента нагревается. Поэтому, инструментальный материал должен обладать высокой теплостойкостью. Способность материала сохранять высокую твердость при температурах резания называется теплостойкостью. Для быстрорежущей стали – теплостойкость еще называют красностойкостью (т.е. сохранение твердости при нагреве до температур начала свечения стали).

Увеличение уровня теплостойкости инструментального материала позволяет ему работать с большими скоростями резания. Инструментальные стали

Для режущих инструментов применяют быстрорежущие стали, а также, в небольших количествах, заэвтектоидные углеродистые стали с содержанием углерода 0,7-1,3% и суммарным содержанием легирующих элементов (кремния, марганца, хрома и вольфрама) от 1,0 до 3,0%.

### **Углеродистые и легированные инструментальные стали**

Ранее других материалов для изготовления режущих инструментов начали применять углеродистые инструментальные стали марок У7, У7А...У13, У13А. Помимо железа и углерода, эти стали содержат 0,2...0,4% марганца. Инструменты из углеродистых сталей обладают достаточной твердостью при комнатной температуре, но теплостойкость их невелика, так как при сравнительно невысоких температурах (200...250°C) их твердость резко уменьшается.

**Легированные инструментальные стали**, по своему химическому составу, отличаются от углеродистых повышенным содержанием кремния или марганца, или наличием одного либо нескольких легирующих элементов: хрома, никеля, вольфрама, ванадия, кобальта, молибдена. Для режущих инструментов используются низколегированные стали марок 9ХФ, 11ХФ, 13Х, В2Ф, ХВ4, ХВСГ, ХВГ, 9ХС и др. Эти стали обладают более высокими технологическими свойствами – лучшей закаливаемостью и прокаливаемостью, меньшей склонности к короблению, но теплостойкость их равна 350...400 °С и поэтому они используются для изготовления ручных инструментов (разверток) или инструментов, предназначенных для обработки на станках с низкими скоростями резания (мелкие сверла, метчики).

Следует отметить, что за последние 15-20 лет существенных изменений этих марок не произошло, однако наблюдается устойчивая тенденция снижения их доли в общем объеме используемых инструментальных материалов.

#### **Быстрорежущие стали.**

В настоящее время быстрорежущие стали являются основным материалом для изготовления режущего инструмента, несмотря на то, что инструмент из твердого сплава, керамики и СТМ обеспечивает более высокую производительность обработки.

Широкое использование быстрорежущих сталей для изготовления сложнопрофильных инструментов определяется сочетанием высоких значений твердости (до HRC 68) и теплостойкости (600-650°С) при высоком уровне хрупкой прочности и вязкости, значительно превышающих соответствующие значения для твердых сплавов. Кроме того, быстрорежущие стали обладают достаточно высокой технологичностью, так как хорошо обрабатываются давлением и резанием в отожженном состоянии.

В обозначении быстрорежущей стали буква Р означает, что сталь быстрорежущая, а следующая за буквой цифра – содержание средней массовой доли вольфрама в %. Следующие буквы обозначают: М – молибден, Ф – ванадий, К – кобальт, А – азот. Цифры, следующие за буквами, означают их

среднюю массовую долю в %. Содержание массовой доли азота составляет 0,05-0,1%.

Современные быстрорежущие стали можно разделить на три группы: нормальной, повышенной и высокой теплостойкости.

К сталям нормальной теплостойкости относятся вольфрамовая P18 и вольфрамомолибденовая P6M5 стали (табл. 2.2). Эти стали имеют твердость в закаленном состоянии 63...64 HRC, предел прочности при изгибе 2900...3400Мпа, ударную вязкость 2,7...4,8Дж/м<sup>2</sup> и теплостойкость 600...620°С. Указанные марки стали получили наиболее широкое распространение при изготовлении режущих инструментов. Объем производства стали P6M5 достигает 80% от всего объема выпуска быстрорежущей стали. Она используется при обработке конструкционных сталей, чугунов, цветных металлов, пластмасс.

Стали повышенной теплостойкости характеризуются повышенным содержанием углерода, ванадия и кобальта.

Среди ванадиевых сталей наибольшее применение получила марка P6M5Ф3.

Наряду с высокой износостойкостью, ванадиевые стали обладают плохой шлифуемостью из-за присутствия карбидов ванадия (VC), так как твердость последних не уступает твердости зерен электрокорундового шлифовального круга (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Обрабатываемость при шлифовании – «шлифуемость», - это важнейшее технологическое свойство, которое определяет не только особенности при изготовлении инструментов, но и при его эксплуатации (переточках).

### **Твердые сплавы**

Твердые сплавы являются основным инструментальным материалом, обеспечивающим высокопроизводительную обработку материалов резанием. Сейчас общее количество твердосплавного инструмента, применяемого в механообрабатывающем производстве, составляет до 30%, причем этим инструментом снимается до 65% стружки, так как скорость резания,

применяемая при обработке этим инструментом в 2-5 раз выше, чем у быстрорежущего инструмента.

Твердые сплавы получают методами порошковой металлургии в виде пластин. Основными компонентами таких сплавов являются карбиды вольфрама WC, титана TiC, тантала TaC и ниобия NbC, мельчайшие частицы которых соединены посредством сравнительно мягких и менее тугоплавких связей из кобальта или никеля в смеси с молибденом.

Твердые сплавы по составу и областям применения можно разделить на четыре группы:

вольфрамокобальтовые (WC-Co),

титановольфрамокобальтовые (WC-TiC-Co),

титанотанталовольфрамокобальтовые (WC-TiC-TaC-Co),

безвольфрамовые (на основе TiC, TiCN с различными связками).

Вольфрамокобальтовые сплавы (ВК)

Вольфрамокобальтовые сплавы (группа ВК) состоят из карбида вольфрама(WC) и кобальта. Сплавы этой группы различаются содержанием в них кобальта, размерами зерен карбида вольфрама и технологией изготовления. Для оснащения режущего инструмента применяют сплавы с содержанием кобальта 3-10%.

В условном обозначении сплава цифра показывает процентное содержание кобальтовой связки. Например обозначение ВК6 показывает, что в нем 6% кобальта и 94% карбидов вольфрама.

При увеличении в сплавах содержания кобальта в диапазоне от 3 до 10% предел прочности, ударная вязкость и пластическая деформация возрастают, в то время как твердость и модуль упругости уменьшаются. С ростом содержания кобальта повышаются теплопроводность сплавов и их коэффициент термического расширения.

Из всех существующих твердых сплавов, сплавы группы ВК при одинаковом содержании кобальта обладают более высокими ударной вязкостью и пределом прочности при изгибе, а также лучшей тепло- и

электропроводностью. Однако стойкость этих сплавов к окислению и коррозии значительно ниже, кроме того, они обладают большой склонностью к схватыванию со стружкой при обработке резанием. При одинаковом содержании кобальта физико-механические и режущие свойства сплавов в значительной мере определяются средним размером зерен карбида вольфрама (WC). Разработанные технологические приемы позволяют получать твердые сплавы, в которых средний размер зерен карбидной составляющей может изменяться от долей микрометра до 10-15 мкм.

Сплавы с размерами карбидов от 3 до 5 мкм относятся к крупнозернистым и обозначаются буквой В (VK6-B), с размерами карбидов от 0,5 до 1,5 мкм буквой М (мелкозернистым VK6-M), а с размерами, когда 70% зерен менее 1,0 мкм – ОМ (особо мелкозернистым VK6-OM). Сплавы с меньшим размером карбидной фазы более износостойкие и теплостойкие, а также позволяют затачивать более острую режущую кромку (допускают получение радиуса округления режущей кромки до 1,0-2,0 мкм).

Физико-механические свойства сплавов определяют их режущую способность в различных условиях эксплуатации.

С ростом содержания кобальта в сплаве его стойкость при резании снижается, а эксплуатационная прочность растет.

Эти закономерности и положены в основу практических рекомендаций по рациональному применению конкретных марок сплавов. Так, сплав VK3 с минимальным содержанием кобальта, как наиболее износостойкий, но наименее прочный рекомендуется для чистовой обработки с максимально допустимой скоростью резания, но с малыми подачей и глубиной резания, а сплавы VK8, VK10M и VK10-OM – для черновой обработки с пониженной скоростью резания и увеличенным сечением среза в условиях ударных нагрузок.

Титановольфрамкобальтовые сплавы (ТК).

Сплавы второй группы ТК состоят из трех основных фаз: твердого раствора карбидов титана и вольфрама (TiC-WC) карбида вольфрама (WC) и

кобальтовой связки. Предназначены они главным образом для оснащения инструментов при обработке резанием сталей, дающих сливную стружку. По сравнению со сплавами группы ВК они обладают большей стойкостью к окислению, твердостью и жаропрочностью и в то же время меньшими теплопроводностью и электропроводностью, а также модулем упругости.

Способность сплавов группы ТК сопротивляться изнашиванию под воздействием скользящей стружки объясняется также и тем, что температура схватывания со сталью у сплавов этого типа выше, чем у сплавов на основе WC-Co, что позволяет применять более высокие скорости резания при обработке стали и существенно повышать стойкость инструмента.

Так же как у сплавов на основе WC-Co, предел прочности при изгибе и сжатии и ударная вязкость увеличиваются с ростом содержания кобальта.

Теплопроводность сплавов группы ТК существенно ниже, а коэффициент линейного термического расширения выше, чем у сплавов группы ВК. Соответственно меняются и режущие свойства сплавов: при увеличении содержания кобальта снижается износостойкость сплавов при резании, а при увеличении содержания карбида титана снижается эксплуатационная прочность.

Поэтому такие сплавы, как Т30К4 и Т15К6, применяют для чистовой и получистовой обработки стали с высокой скоростью резания и малыми нагрузками на инструмент. В то же время сплавы Т5К10 и Т5К12 с наибольшим содержанием кобальта предназначены для работы в тяжелых условиях ударных нагрузок с пониженной скоростью резания.

Путем введения легирующих добавок получены сплавы, применяемые для резания стали с большими ударными нагрузками.

Титанотанталовольфрамкобальтовые сплавы (ТТК). Промышленные танталосодержащие твердые сплавы на основе TiC-WC-TaC-Co состоят из трех основных фаз: твердого раствора карбидов титана, вольфрама и тантала (TiC-TaC-WC), а также карбида вольфрама (WC) и кобальтовой связки. Введение в сплавы добавок карбида тантала улучшает их физико-механические и

эксплуатационные свойства, что выражается в увеличении прочности при изгибе при температуре 20°C и 600-800°C.

Сплав, содержащий карбид тантала, имеет более высокую твердость, в том числе и при 600-800°C. Карбид тантала в сплавах снижает ползучесть, существенно повышает предел усталости трехфазных сплавов при циклическом нагружении, а также термостойкость и стойкость к окислению на воздухе.

Увеличение в сплаве содержания карбида тантала повышает его стойкость при резании, особенно благодаря меньшей склонности к лункообразованию и разрушению под действием термоциклических и усталостных нагрузок.

Поэтому танталосодержащие сплавы рекомендуются главным образом для тяжелых условий резания с большими сечениями среза, когда на режущую кромку инструмента действуют значительные силовые и температурные нагрузки, а также для прерывистого резания, особенно фрезерования.

Наиболее прочным для обработки стали в особо неблагоприятных условиях (прерывистое точение, строгание, черновое фрезерование) является сплав ТТ7К12. Применение его взамен быстрорежущей стали позволяет повысить скорость резания в 1,5-2 раза.

**Минералокерамика** — инструментальный материал на основе оксида алюминия  $Al_2O_3$ , обладающий большими, чем у твердых сплавов, твердостью и теплостойкостью, но меньшей ударной вязкостью. Поэтому инструмент из минералокерамики используют только для чистовой обточки и расточки деталей из высокопрочных чугунов, закаленных сталей и для резания неметаллических материалов со скоростями до 200 м/мин. Различают оксидную (белую), оксидно-карбидную, оксидно-нитридную керамику и керметы.

Сверхтвердые материалы включают в себя синтетические алмазы и материалы на основе кубического нитрида бора (композиты).

**Алмаз** как инструментальный материал бывает двух разновидностей: баллас (АБС), который применяют для обработки деталей из стеклопластика со

скоростями резания 450 м/мин, и карбонадо (АСПК) — для обработки алюминиевых и медных сплавов.

**Композиты** — синтетический материал, по твердости не уступающий алмазу, превосходящий его по теплостойкости и инертный к железу. Выпускается следующих марок: композит 01 {эльбор-Р), композит 02 (бельбор), композит 05 и 5-И (шмит), композит 09 (ПТНБ-ИК), композит Ю (гексагонит-р).

### **Примерные вопросы к студентам**

- 1 Перечислите требования, предъявляемые к инструментальным материалам.
- 2 Перечислите основные группы материалов, применяемых для изготовления режущего инструмента.
- 3 Сравните теплостойкость быстрорежущих сталей и твердых сплавов.
- 4 При каких режимах резания целесообразно использовать режущий инструмент из керамического материала?
- 5 Назовите область применения инструментов из СТМ.

### **Учебно-методическое и информационное обеспечение**

- 1 Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении [Электронный ресурс]: учебник для СПО / С. Г. Ярушин. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 564 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>
- 2 Резание материалов. Режущий инструмент [Электронный ресурс]: учебник для СПО: в 2 ч. Ч. 1 / А. Г. Схиртладзе [и др.] ; под общ. ред. Н. А. Чемборисова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 263 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>.

### **Тема 2.2 Геометрия токарного резца**

**Цель:**

- формирование знаний о геометрических параметрах режущей части резца.

**Основные понятия**

Рабочая часть, крепежная часть, углы в плане, углы в секущей плоскости.

**План лекции**

- 1 Определение конструктивных элементов резца по ГОСТ 25751-83: рабочая часть, крепежная часть, лезвие, передняя поверхность лезвия, главная и вспомогательная задние поверхности лезвия, режущая кромка, вершина лезвия.
- 2 Определение исходных плоскостей для изучения геометрии резца по ГОСТ 25762-83.
- 3 Углы лезвия резца в плане. Углы лезвия резца в главной секущей плоскости.
- 4 Влияние углов резца на процесс резания.
- 5 Влияние установки резца относительно заготовки на углы резца.

**Основная часть**

С 1984 г. введены в действие термины, определения общих понятий, относящихся ко всем видам обработки резанием, а также буквенные обозначения величин кинематических элементов резания, координатных плоскостей и элементов лезвия для всех режущих элементов.

ГОСТ 25751—83 и ГОСТ 25762—83 предусматривают ряд терминов и понятий.

Различают инструмент лезвийный, т. е. с заданным числом лезвий установленной формы, и абразивный, рабочая часть которого состоит из абразивных зерен. В зависимости от числа лезвий лезвийный инструмент подразделяют на однолезвийный и многолезвийный инструмент, а в зависимости

от расположения лезвий — на периферийный, торцовый и периферийно-торцовый инструмент.

По направлению вращения инструмент классифицируют на праворежущий и леворежущий; например, праворежущий лезвийный инструмент предназначен для обработки с вращательным главным движением резания, направленным по ходу часовой стрелки, если смотреть со стороны крепежной части (для насадных фрез — со стороны шпинделя).

По форме режущий инструмент разделяют на дисковый (осевая длина

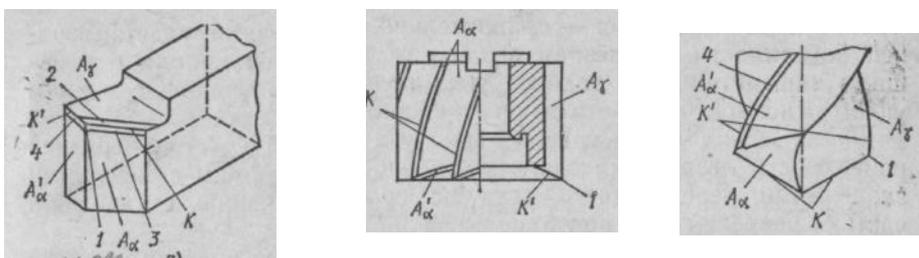


Рисунок 1 - Геометрические элементы лезвия инструмента:

а — токарный резец; б — торцовая фреза; в — сверло,

$A_y$  — передняя поверхность лезвия;

$K$  — главная режущая кромка;

$K'$  — вспомогательная режущая кромка;

$A_a$  — главная задняя поверхность лезвия;

$A'_a$  — вспомогательная задняя поверхность лезвия;

1 — вершина лезвия;

2 - фаска по передней поверхности;

3 — ленточка по главной задней поверхности;

4 — ленточка по вспомогательной задней поверхности.

меньше его диаметра), цилиндрический (режущие кромки расположены на цилиндрической поверхности), конический (режущие кромки расположены на конической поверхности) и др. В зависимости от конструкции различают цельный режущий инструмент (изготовлен из одной заготовки), составной (с неразъемным соединением его частей и элементов,

может быть сварным, клееным, паяным), сборный (с разъемным соединением его частей и элементов) и комбинированный. Инструмент с наплавленным лезвием — составной инструмент, лезвия его изготовлены путем наплавки инструментального материала. Инструментальные головки — сборный режущий инструмент, в нем предусмотрено регулирование размера рабочей части путем перемещения ножей или абразивных брусков. Комбинированный режущий инструмент — лезвийный инструмент, представляющий собой сочетание инструментов разных видов при общей крепежной части.

По методу крепления режущий инструмент делят на насадной (с посадочным отверстием) и хвостовой (со стержнем конической или цилиндрической формы).

Лезвие представляет собой клинообразный элемент режущего инструмента для проникновения в материал заготовки и отделения слоя материала (рис. 1). Передняя поверхность лезвия ( $A_v$ ) — поверхность, контактирующая в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой.

Задняя поверхность лезвия ( $A_a$ ) — поверхность, контактирующая в процессе резания с поверхностями обрабатываемой заготовки.

Режущая кромка ( $K$ ) — кромка лезвия инструмента, образуемая пересечением передней и задней поверхностей лезвия. Ленточка лезвия — сравнительно узкий участок задней поверхности лезвия вдоль режущей кромки с меньшими значениями заднего угла по сравнению с задним углом основной части задней поверхности.

Фаска лезвия — сравнительно узкий участок передней поверхности лезвия вдоль режущей кромки с меньшими значениями переднего угла по сравнению с основной частью передней поверхности.

Вершина лезвия — участок режущей кромки в месте пересечения двух задних поверхностей. У проходного токарного резца вершиной является участок лезвия в месте пересечения главной и вспомогательной режущих кромок; у резьбового резца — участок лезвия, формирующий внутреннюю

поверхность резьбы; у сверла — точка пересечения главной и вспомогательной режущих кромок (наиболее удаленная от оси сверла точка главной режущей кромки).

Зуб лезвийного инструмента — выступ на многолезвийном инструменте, содержащий лезвие.

Затылованный зуб лезвийного инструмента — зуб, форма задней поверхности лезвия которого обеспечивает постоянство профиля режущей кромки при повторных заточках по передней поверхности.

Незатылованный зуб лезвийного инструмента — зуб с задней поверхностью, форма которой не обеспечивает постоянство профиля режущей кромки при повторных заточках по передней поверхности.

Нож лезвийного инструмента — зуб, изготовленный отдельно и образующий с корпусом лезвийного инструмента разъемное соединение.

Стружечная канавка — канавка между соседними лезвиями для размещения и отвода стружки.

ГОСТ 25751—83 устанавливает определения большинства видов лезвийного режущего инструмента, как - то: резцов, фрез, плашек, протяжек, шеверов и др.

ГОСТ 25761—83 предусматривает термины и определения, относящиеся к различным видам лезвийной обработки на металлорежущих станках: обтачивание, растачивание, подрезание, долбление, сверление, зенкерование, зенкование, цекование, шевингование и др. ГОСТ 25761—83 предусматривает также ряд новых терминов и понятий, относящихся к кинематическим элементам, характеристикам резания, различным системам координатных плоскостей, элементам срезаемого слоя и стружки, углам и элементам лезвия, силам резания. Ниже приведены некоторые понятия и сокращенные обозначения, принятые данным стандартом.

Резцы являются простейшими или наиболее распространенными режущими инструментами. При работе резца его режущая часть клиновидной формы под воздействием силы, передаваемой механизмом станка, врезается в

поверхностный слой заготовки, сжимая его. В этом сжатом слое возникают внутренние напряжения. Когда при движении резца они превысят напряжения, допускаемые силами сцепления между молекулами материала, сжатый элемент скопится и сдвинется вверх по передней поверхности резца. При движении резец сжимает, скалывает и сдвигает очередные элементы материала, образуя стружку. Расположение передней и задней поверхности режущего клина относительно обрабатываемого материала зависит от геометрии заточки этого клина (режущей части резца).

Для определения углов заточки резца устанавливают координатные (исходные) плоскости: основную и плоскость резания.

Основной называют плоскость, параллельную продольной и поперечной подачи. У токарных резцов с призматическим сечением державки за основную плоскость принимают нижнюю опорную плоскость резца.

Плоскостью резания называют плоскость, перпендикулярную основной плоскости и проходящую через главную режущую кромку резца.

Главные углы резца измеряются в главной секущей плоскости, перпендикулярной проекции главной режущей кромки на основную плоскость (рис. 2).

$\alpha$  – главный задний угол

$\beta$  – угол заострения

$\gamma$  – передний угол

$\delta$  – угол резания

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

$$\delta = \alpha + \beta$$

Вспомогательные углы ( $\alpha_1$ ;  $\beta_1$ ;  $\gamma_1$ ) измеряют аналогично во вспомогательной секущей плоскости и определяют по аналогии с главными углами.

Углы в плане измеряют в основной плоскости (рис.2).

$\phi$  – главный угол в плане

$\phi_1$  – вспомогательный угол в плане

$\varepsilon$  – угол при вершине в плане

$$\varphi + \varphi_1 + \varepsilon = 180^\circ$$

Угол  $\lambda$  – угол наклона главной режущей кромки относительно основной плоскости (рис. 2).

Большая часть токарных резцов стандартизирована. Стандартизированы также пластины твердого сплава, применяемые в резцах.

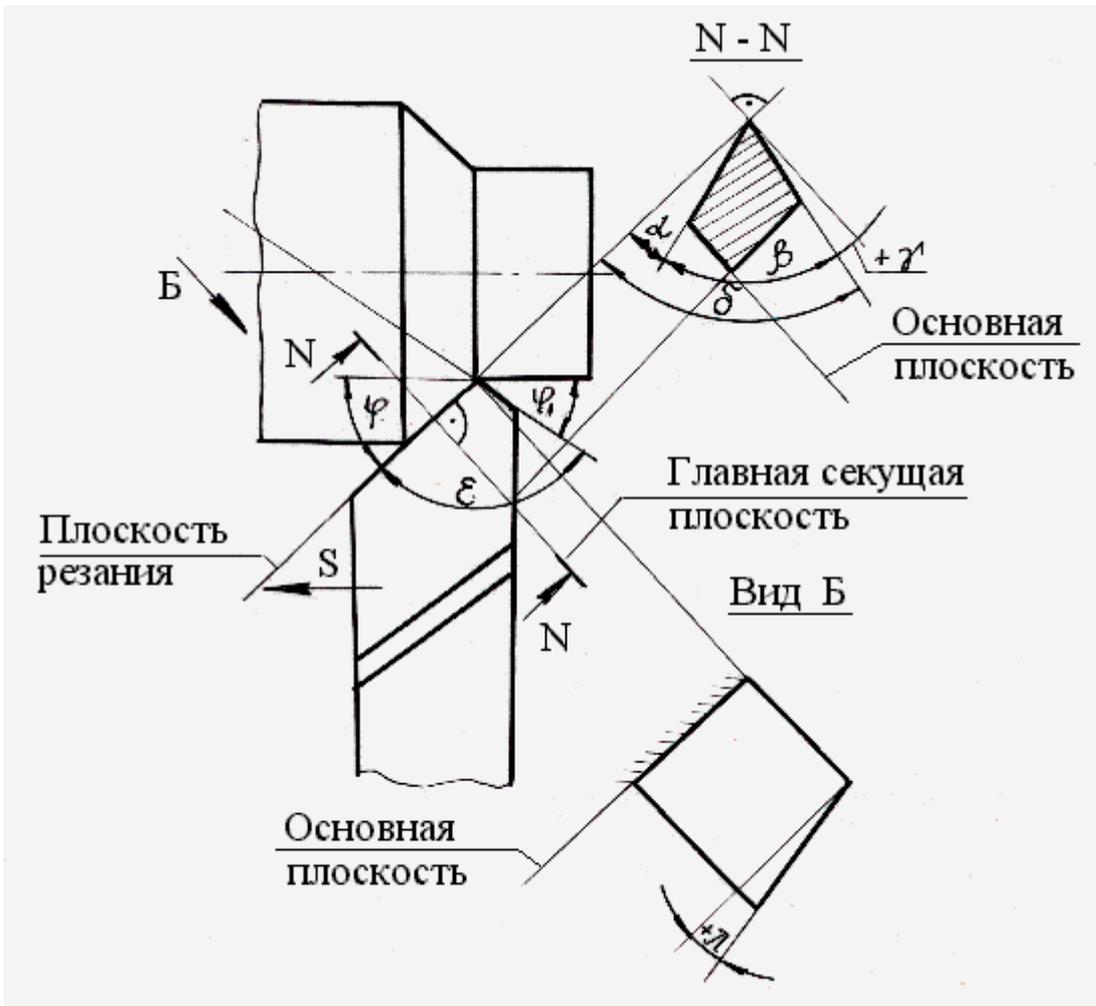


Рисунок 2 – Углы токарного резца

### Примерные вопросы к студентам

- 1 Назовите основные конструктивные элементы резца.
- 2 Назовите основные элементы лезвия токарного резца и дайте их определения.

- 3 Назовите углы резца в главной секущей плоскости и дайте их определения.
- 4 Перечислите углы в плане токарного резца, дайте их определение.
- 5 Как изменяются углы резца в зависимости от положения его вершины относительно оси вращения обрабатываемой заготовки?

### **Учебно-методическое и информационное обеспечение**

- 1 Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении [Электронный ресурс]: учебник для СПО / С. Г. Ярушин. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 564 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>
- 2 Резание материалов. Режущий инструмент [Электронный ресурс]: учебник для СПО: в 2 ч. Ч. 1 / А. Г. Схиртладзе [и др.] ; под общ. ред. Н. А. Чемборисова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 263 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>.

### **Тема 2.7 Типы токарных резцов. Стругание и долбление**

#### **Цель:**

- формирование знаний о типах токарных резцов, о процессах строгания и долбления.

#### **Основные понятия**

Проходные, подрезные, расточные, резьбовые, отрезные, канавочные, фасонные резцы.

#### **План лекции**

- 1 Общая классификация токарных резцов по конструкции, технологическому назначению, направлению движения подачи.

- 2 Формы передней поверхности лезвия резца.
- 3 Резцы с механическим креплением многогранных неперетачиваемых твердосплавных и минералокерамических пластин.
- 4 Способы крепления режущих пластин к державке.
- 5 Выбор конструкции и геометрии резца в зависимости от условий обработки.
- 6 Заточка резцов. Алмазные круги для заточки. Порядок заточки резца. Техника безопасности при заточке.
- 7 Процессы строгания и долбления. Элементы резания при строгании и долблении. Основное (машинное) время. Мощность резания.
- 8 Особенности конструкции и геометрия строгальных и долбежных резцов

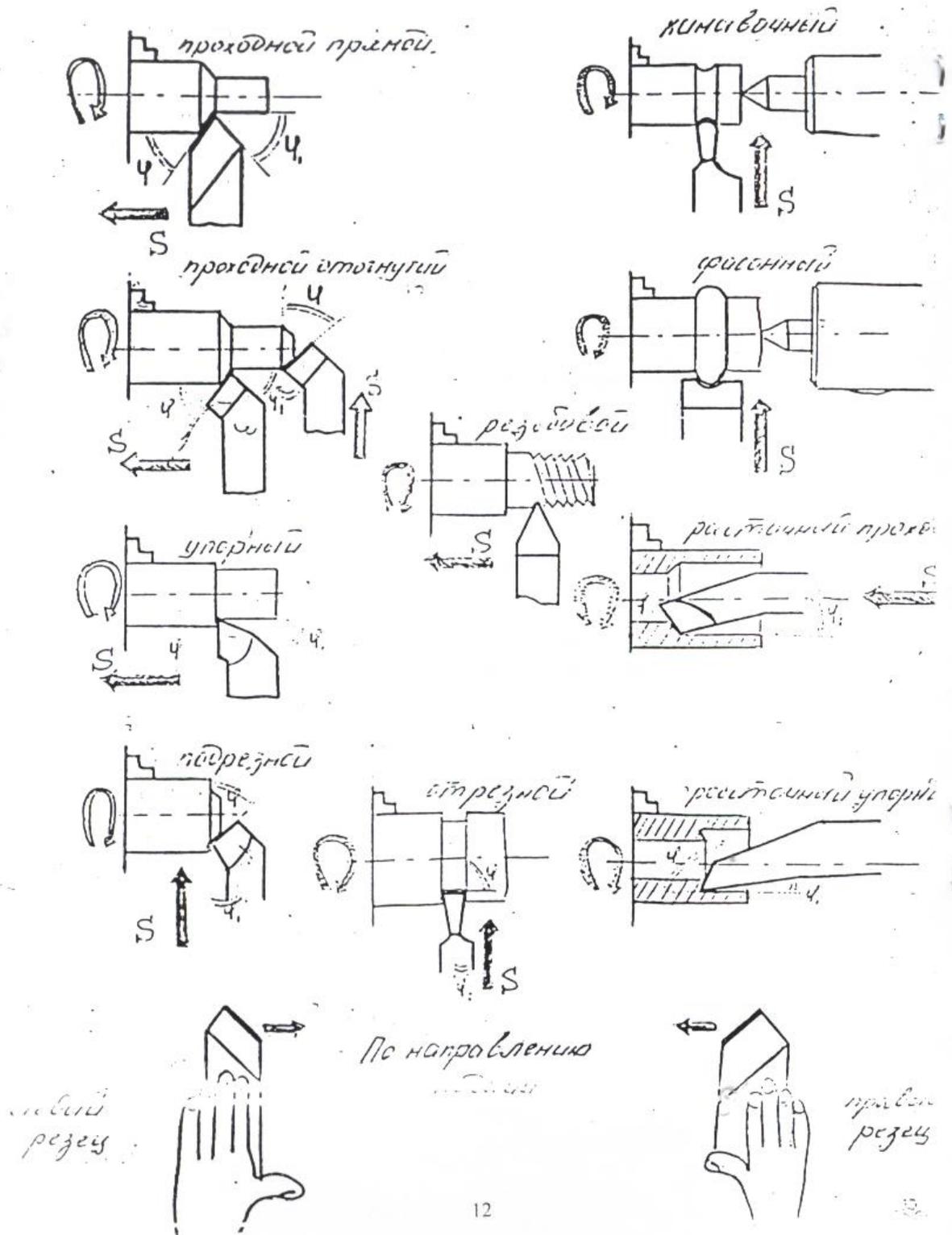
## **Основная часть**

### **Классификация токарных резцов**

- 1 По виду выполняемых работ:
  - проходные;
  - подрезные;
  - прорезные;
  - отрезные;
  - проходные упорные;
  - расточные;
  - фасонные;
  - резьбовые.
- 2 По форме головки:
  - прямые;
  - изогнутые;
  - отогнутые;
  - с оттянутой головкой.
- 3 По направлению подачи:
  - правые;
  - левые.
- 4 По способу изготовления:

- цельные;
- сборные с механическим креплением пластины;
- с напаянной пластинкой.

### Классификация резцов по назначению



## **Обработка материалов строганием и долблением**

Строгание представляет собой процесс лезвийной обработки открытых поверхностей, имеющих прямолинейную или винтовую образующую. Резец (или группа резцов) совершает возвратно-поступательное движение в горизонтальной плоскости, а подача заготовки производится перпендикулярно вектору его движения.

Долбление на долбежных станках является разновидностью строгания, когда главное движение придается режущему инструменту в вертикальной плоскости.

Процесс резания при строгании или долблении — прерывистый, и удаление материала происходит только при прямом (рабочем) ходе инструмента. Обратный холостой ход служит для охлаждения последнего, что позволяет не применять СОТЖ при обработке.

Прерывистое резание при строгании вызывает ударное врезание инструмента в материал заготовки, что ведет к высоким динамическим нагрузкам на технологическую систему станок - приспособление - инструмент - деталь. Поэтому при строгании применяют массивные быстрорежущие инструменты и низкие скорости резания. Наличие холостых ходов определяет низкую производительность обработки.

### **Примерные вопросы к студентам**

- 1 По каким признакам классифицируют резцы?
- 2 Какие виды креплений режущих элементов используют?
- 3 Каковы преимущества у резцов с механическим креплением пластин?
- 4 В каком порядке проводится заточка поверхности лезвий резца?
- 5 В каких случаях применяют обработку на поперечно-строгальных и продольно-строгальных станках?
- 6 Назовите типы поверхностей, обрабатываемых на долбежном станке.

### **Учебно-методическое и информационное обеспечение**

- 1 Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении [Электронный ресурс]: учебник для СПО / С. Г. Ярушин. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 564 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>
- 2 Резание материалов. Режущий инструмент [Электронный ресурс]: учебник для СПО: в 2 ч. Ч. 1 / А. Г. Схиртладзе [и др.] ; под общ. ред. Н. А. Чемборисова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 263 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>.

## **РАЗДЕЛ 3 ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ СВЕРЛЕНИЕМ, ЗЕНКЕРОВАНИЕМ, РАЗВЕРТЫВАНИЕМ**

### **Тема 3.1 Обработка материалов сверлением, зенкерованием развертыванием**

#### **Цель:**

- формирование знаний о способах обработки сверлением, зенкерованием, развертыванием.

#### **Основные понятия**

Спиральное сверло, центровочное сверло, пушечные и ружейные сверла, шнековое сверло, кольцевая головка. эжекторное сверло.

#### **План лекции**

- 1 Процесс сверления.
- 2 Типы сверл.
- 3 Конструкция и геометрия спирального сверла.
- 4 Элементы режима резания и срезаемого слоя при сверлении.
- 5 Сверла для глубокого сверления.

#### **Основная часть**

В промышленности применяют следующие основные типы сверл: спиральные, перовые, пушечные, ружейные, шнековые для кольцевого сверления, центровочного, специальные. Спиральное сверло является основным типом сверл, наиболее широко распространяется в промышленности. Его используют при сверлении и рассверливании отверстий диаметром до 80мм с точностью обработки по 11-12-му качеству и шероховатостью в пределах 40-160мкм. (рисунок 3)

Основные элементы режущей части спирального сверла показаны на рис.3

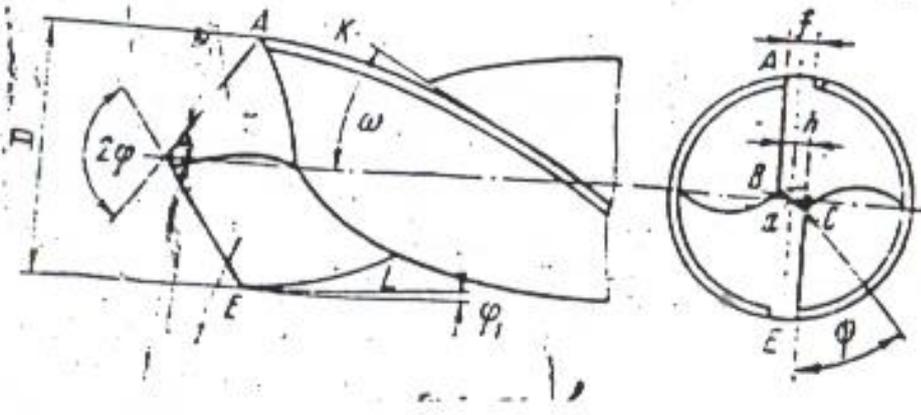


Рисунок 3- Элементы режущей части сверла

Режущая часть спирального сверла состоит из двух главных кромок АВ и ЕС, расположенных симметрично относительно оси сверла, поперечной кромки и двух вспомогательных режущих кромок АК и Е, расположенных по винтовым линиям.

Для уменьшения трения сверла в отверстии на рабочей части сверла оставляют лишь отшлифованную по диаметру ленточку шириной  $f$ , которой сверло соприкасается с обрабатываемым отверстием.

Направляющая часть сверла имеет обратный конус (0,03-0,12мм на 100мм длины), который служит также для уменьшения трения ленточки о стенки отверстия и предотвращения защемления сверла.

Две главные режущей кромки, расположенные на заборной части сверла, образуют угол при вершине  $2\varphi$ , который для нормальных сверл составляет 118-120 градусов.

Угол наклона поперечной кромки измеряется между проекциями поперечной и главной режущей кромок на плоскость, перпендикулярную оси сверла = 50-55 градусов.

Подъем винтовой канавки, по которой сходит стружка, определяется углом. Угол определяет также величину переднего угла и условия схода стружки по передней поверхности. У спирального сверла различают длину поперечной кромки ВС и толщину перемычки (рис.4).

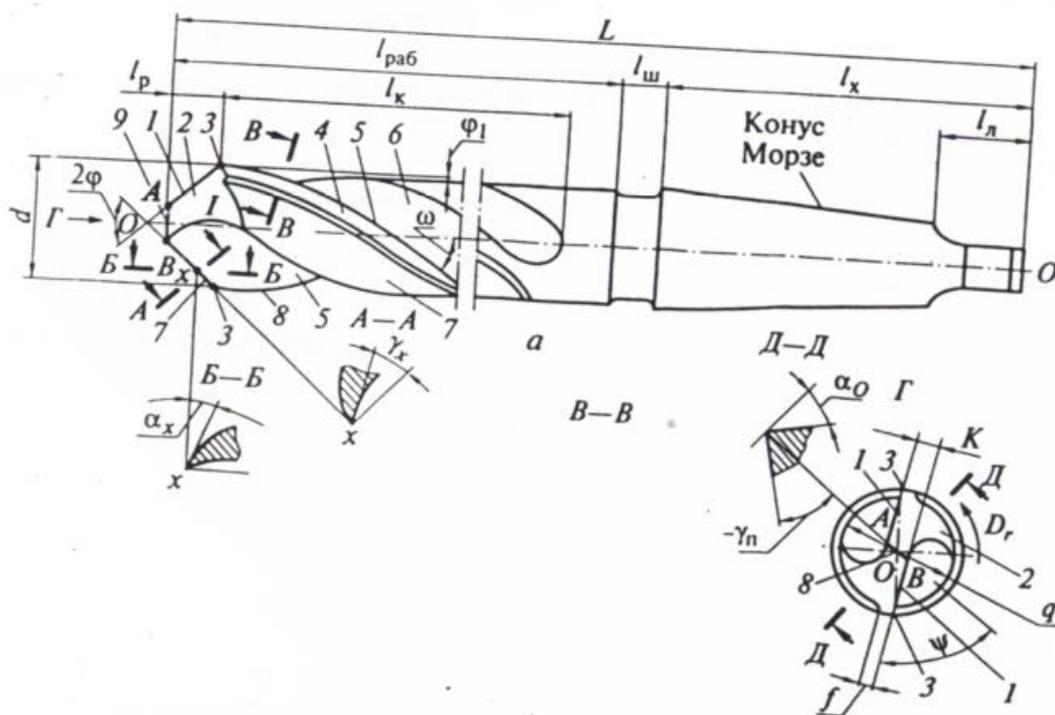


Рисунок 4 - Геометрические параметры сверла

### Примерные вопросы к студентам

- 1 Как условия работы влияют на конструкцию инструментов для обработки отверстий?
- 2 Назовите основные геометрические параметры режущей части сверл.
- 3 Назовите элементы режима резания и срезаемого слоя при сверлении.
- 4 По каким поверхностям затачивают сверла и развертки?
- 5 Перечислите основные типы сверл для глубокого сверления.

### Учебно-методическое и информационное обеспечение

- 1 Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении [Электронный ресурс]: учебник для СПО / С. Г. Ярушин. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 564 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>
- 2 Резание материалов. Режущий инструмент [Электронный ресурс]: учебник для СПО: в 2 ч. Ч. 1 / А. Г. Схиртладзе [и др.] ; под общ. ред. Н. А. Чемборисова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 263 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>.

## **РАЗДЕЛ 4 ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ФРЕЗЕРОВАНИЕМ**

### **Тема 5.1 Обработка материалов цилиндрическими фрезами**

#### **Цель:**

- формирование знаний о процессе фрезерования цилиндрическими фрезами.

#### **Основные понятия**

Цилиндрическая фреза, углы фрезы, встречное и попутное фрезерование.

#### **План лекции**

- 1 Цилиндрическое фрезерование.
- 2 Конструкция и геометрия цилиндрических фрез.
- 3 Углы фрезы в нормальном сечении.
- 4 Элементы резания при цилиндрическом фрезеровании.
- 5 Глубина резания, ширина фрезерования, подача на зуб.
- 6 Срез, максимальная толщина среза, суммарная площадь среза.
- 7 Угол контакта. Обеспечение равномерности фрезерования.
- 8 Скорость резания при фрезеровании. Встречное и попутное цилиндрическое фрезерование.
- 9 Основное (машинное) время при фрезеровании.
- 10 Силы, действующие на фрезу. Износ фрез.
- 11 Определение скорости резания при цилиндрическом фрезеровании.  
Мощность резания

#### **Основная часть**

Основным направлением в развитии станкостроения на современном этапе является внедрение станков с ЧПУ в виде участков этих станков и

использованием ЭВМ. Фрезерные станки составляют значительную долю в парке металлорежущего оборудования.

Достижение высокого уровня производительности труда возможно благодаря применению новых конструкций фрез, а также рациональной их эксплуатации. Совершенствование фрез осуществляется за счет использования неперетачиваемых твердосплавных пластинок с износостойкими покрытиями, применение новых, более производительных конструкций инструмента, правильной заточки инструмента.

Углы заточки фрез по аналогии с углами резца. Эти углы измеряются в различных плоскостях сечения зуба.

Главный передний угол  $\gamma$  – угол между касательной и передней поверхностями и осевой плоскостью, измеряемый в плоскости, перпендикулярной главной режущей кромке и проходящей через данную ее точку. У цилиндрических фрез из быстрорежущих сталей  $\gamma=5-25^\circ$ , у торцевых твердосплавных фрез  $\gamma= -10-+10^\circ$ .

Иногда передние углы задают в плоскости, нормальной к оси фрезы. В этом случае он называется поперечным передний углом.

Главный задний угол  $\alpha$  – угол между касательной к задней поверхности в рассматриваемой точке главной режущей кромки и касательной к окружности вращения. Иногда задний угол задают в нормальном сечении к главной режущей кромке – задний угол нормальный.

Главный задний угол выбирают в пределах  $\alpha=6-15^\circ$

$\omega$  – угол наклона винтового зуба.

### **Примерные вопросы к студентам**

- 1 Расскажите об особенностях фрезерования.
- 2 Что относится к элементам режима резания при фрезеровании?
- 3 Для чего необходимо знание составляющих силы резания при фрезеровании?

- 4 Расскажите о встречном и попутном фрезеровании, о достоинствах и недостатках этих методов.
- 5 Как определяется основное (машинное) время при фрезеровании?

### **Учебно-методическое и информационное обеспечение**

- 1 Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении [Электронный ресурс]: учебник для СПО / С. Г. Ярушин. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 564 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>
- 2 Резание материалов. Режущий инструмент [Электронный ресурс]: учебник для СПО: в 2 ч. Ч. 1 / А. Г. Схиртладзе [и др.] ; под общ. ред. Н. А. Чемборисова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 263 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>.

## РАЗДЕЛ 5 РЕЗЬБОНАРЕЗАНИЕ

### Тема 6.1 Нарезание резьбы резцами и гребенками

#### Цель:

- формирование знаний о процессе нарезания резьбы, используемых инструментах.

#### Основные понятия

Резьбовые резцы, гребенки, метчики, плашки, черновые и чистовые рабочие ходы.

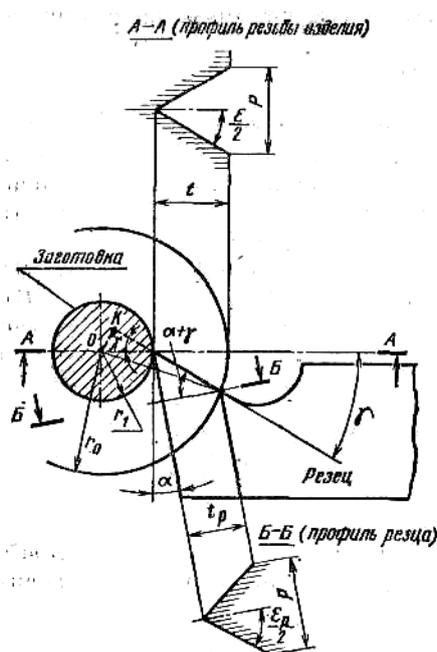
#### План лекции

- 1 Методы нарезания резьбы.
- 2 Принцип настройки токарно-винторезного станка на шаг резьбы.
- 3 Конструкция и геометрия резьбового резца.
- 4 Задний угол резца для нарезания резьбы большого шага.
- 5 Твердосплавные резьбовые резцы.
- 6 Расчленение припуска по профилю резьбы на черновые и чистовые рабочие ходы.
- 7 Скорость резания при резьбонарезании.
- 8 Основное (машинное) время.
- 9 Нарезание резьбы гребенками

#### Основная часть

К основным видам режущего инструмента для образования резьбы (резьбонарезного) относятся резьбовые резцы и гребенки, метчики и плашки, винторезные самооткрывающиеся головки, резьбовые фрезы, а также инструмент для накатывания резьбы. Основные размеры, профиль, диаметры и шаги метрической резьбы для диаметров 1—600 мм установлены ГОСТ

8724—81, ГОСТ 9150—81 и ГОСТ 2405—81, а допуски этой резьбы — ГОСТ



16093—81, в котором также предусмотрено обозначение полей допуска на метрические резьбы. Резьбовые резцы по конструкции делят на стержневые, призматические и дисковые. Резцы могут быть односточными и многосточными; последние называют гребенками.

Конструктивные элементы стержневых резьбовых резцов выбирают исходя из сечения корпуса и геометрических параметров лезвия резца.

Рисунок 5 – Углы резьбового резца

Сечение корпуса резцов принимается прямоугольным, квадратным или круглым. Для чистовых резцов передний угол может быть взят равным нулю.

При нарезании резьбы с крупным шагом, трапецеидальной и др. задние углы  $\alpha_{р.п}$  и  $\alpha_{р.л}$  на боковых сторонах профиля в сечениях, перпендикулярных к ним, зависят от заднего угла при вершине лезвия  $\alpha$  и угла профиля резьбы  $\epsilon$ .

При нарезании правой резьбы они определяются по следующим формулам: для правой режущей кромки  $\alpha_{р.п} = \alpha_p + \mu_p$ ;

Для левой режущей кромки  $\alpha_{р.л} = \alpha_p - \mu_l$ ,

где  $\alpha_p$  — условный боковой задний угол, который определяется из уравнения  $\text{tg } \alpha_p = \text{tg } \alpha \sin \frac{\epsilon}{2}$ ;  $\mu_p$  и  $\mu_l$  — углы дополнительного наклона траектории движения инструмента в сечениях, перпендикулярных к режущим кромкам.

Углы  $\mu_p$  и  $\mu_l$  могут быть определены из уравнений:

$$\text{tg } \mu_p = \text{tg } \tau_0 \cos \frac{\epsilon}{2}; \quad \text{tg } \mu_l = \text{tg } \tau_1 \cos \frac{\epsilon}{2},$$

где  $\tau_0$  — угол подъема резьбы на наружном диаметре;

$$\operatorname{tg} \tau_0 = \frac{P}{\pi d_0};$$

$$\operatorname{tg} \tau_1 = \frac{P}{\pi d_1}.$$

$\tau_1$  — угол подъема резьбы на внутреннем диаметре;

Для остроугольных резьб с углом профиля  $\varepsilon = 55 \dots 60^\circ$  и углом подъема  $\tau = 3 \dots 4^\circ$  влияние угла  $\mu$  не учитывается. Для трапецеидальной и прямоугольной резьб угол  $\mu$  имеет большое значение и должен учитываться при определении задних углов резца.

Рабочую часть резьбовых резцов выполняют из быстрорежущей стали Р9, Р6М5, Р18 с твердостью 63-66 HRC или из твердого сплава Т15К6, Т14К8, Т30К4; пластины выбирают по ГОСТ 25398—82. Корпуса призматических и стержневых резцов выполняют преимущественно из стали 45.

### **Примерные вопросы к студентам**

- 1 Какими геометрическими параметрами характеризуется резьба?
- 2 Назовите методы нарезания наружных резьб.
- 3 Назовите методы нарезания внутренних резьб.
- 4 Какие инструменты применяют для формообразования наружных и внутренних резьбовых поверхностей?

### **Учебно-методическое и информационное обеспечение**

- 1 Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении [Электронный ресурс]: учебник для СПО / С. Г. Ярушин. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 564 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>
- 2 Резание материалов. Режущий инструмент [Электронный ресурс]: учебник для СПО: в 2 ч. Ч. 1 / А. Г. Схиртладзе [и др.] ; под общ. ред. Н. А. Чемборисова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 263 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>.

## РАЗДЕЛ 8 ШЛИФОВАНИЕ

### Тема 8.1 Абразивные инструменты

#### Цель:

- формирование знаний о структуре абразивных инструментов, маркировке шлифовальных кругов.

#### Основные понятия

Абразивные материалы, зернистость, твердость шлифовального круга, структура, связка, класс точности, класс неуравновешенности.

#### План лекции

- 1 Сущность метода шлифования.
- 2 Абразивные естественные и искусственные материалы, их маркировка и физико-механические свойства.
- 3 Зернистость абразивных материалов.
- 4 Виды абразивных инструментов, их формы и маркировка.
- 5 Виды связок.
- 6 Структура абразивного круга.
- 7 Твердость круга.
- 8 Точность и допускаемая окружная скорость круга.
- 9 Характеристики брусков, сегментов и абразивных головок, шлифовальные ленты и шкурки.
- 10 Алмазные и эльборовые шлифовальные круги, бруски, сегменты, головки, шкурки, пасты, порошки, их характеристика и маркировка

#### Основная часть

Абразивный инструмент – режущий инструмент, предназначенный для абразивной обработки (ГОСТ 21445-84).

Абразивный инструмент широко применяют при обработке различных деталей машин. Он обеспечивает точность обработки до 1-4 мкм и параметр шероховатости поверхности  $R_a$  до 0,20- 0,08 мкм. Абразивную обработку широко применяют в инструментальной промышленности, где все окончательные операции производят с применением абразивных инструментов.

Основными видами абразивного инструмента являются шлифовальные круги, головки, бруски, сегменты, шкурки.

Исходными данными при проектировании абразивных инструментов являются: материал обрабатываемой заготовки, его состояние, форма, размеры, расположение обрабатываемых поверхностей, требования по точности обработки, шероховатость поверхности, вид обработки и тип станка, на котором производится обработка.

### **Абразивные материалы**

К абразивным материалам, применяемым для изготовления абразивных инструментов, предъявляют следующие требования: он должен быть тверже, чем обрабатываемый материал, обеспечивать процесс резания и самозатачивания. Такими свойствами обладают минералы, которые и используют в виде абразивного материала. Абразивные материалы делят на природные и искусственные. Природные абразивные материалы (кроме алмаза) имеют ограниченное применение из-за своей неоднородности и недостаточной стабильности эксплуатационных свойств. Для изготовления абразивных инструментов применяют в основном искусственные абразивные материалы.

Электрокорунд нормальный – рекомендуется для обдирочного шлифования деталей кругами на керамической и бакелитовой связках. Его выпускают следующих марок: 16А, 15А, 14А и 13А. Первые две рекомендуются для изготовления абразивного инструмента классов АА и А на керамической связке, остальные – для кругов на керамической и органической связках.

Электрокорунд белый (25А, 24А, 23А, 22А), хромистый (34А, 33А), хромотитанистый (92А, 91А) применяют для окончательного и скоростного шлифования стальных заготовок кругами на керамической и бакелитовой связках.

Электрокорунд циркониевый марки 38А применяют для обдирочного шлифования стальных заготовок кругами на бакелитовой связке.

Монокорунд выпускают марок 45А, 44А, 43А. Его рекомендуют для окончательного шлифования деталей из труднообрабатываемых сталей и сплавов инструментами на керамической связке.

Карбид кремния зеленый (64С, 63С) рекомендуется для обработки заготовок из твердых сплавов, чугуна, цветных металлов, гранита, мрамора инструментами на всех связках.

Карбид кремния черный (55С, 54С, 53С) применяют для обработки заготовок из вольфрамовых твердых сплавов, чугуна, цветных металлов инструментами на всех связках.

Природные и синтетические алмазы регламентированы ГОСТ 9206-80Е. Шлифовальные порошки из природных алмазов выпускают следующих марок: А1, А2, А3, А5, А8; из синтетических алмазов – АС2, АС4, АС6, АС15, АС20, АС32, АС50. Цифровой индекс у природных алмазов указывает содержание зерен изометрической формы, выраженное десятками процентов, у синтетических алмазов – среднеарифметическое значение показателей прочности на сжатие всех зернистостей определенной марки, выраженное в ньютонах.

Микропорошки выпускают нормальной и повышенной абразивной способности. Микропорошки нормальной абразивной способности из природных алмазов обозначают АМ, из синтетических алмазов – АСМ, Микропорошки повышенной абразивной способности соответственно обозначают АН и АСН.

Природные алмазы применяют в стройиндустрии, при обработке камня, технического стекла, бетона, керамики, а также при изготовлении бурового и

правлящего инструмента. Синтетические алмазы АС2, АС4, АС6 рекомендуется применять при обработке заготовок из твердых сплавов, керамики, камней и цветных металлов.

Кубический нитрид бора (эльбор, кубонит) применяют для обработки заготовок из стали и чугуна. Его применение особенно эффективно при окончательном и профильном шлифовании термообработанных заготовок из высоколегированных конструкционных жаропрочных и коррозионно-стойких сталей высокой твердости и заточки стальных режущих инструментов.

В зависимости от показателя механической прочности эльбор разделяют на марки:

ЛО – обычной прочности, ЛП – повышенной механической прочности, ЛКВ – высокопрочный КНБ.

Эльбор обычной механической прочности применяют для изготовления инструментов на органической связке и шлифовальной шкурки. Эльбор повышенной механической прочности применяют для изготовления инструментов на керамической и металлической связках, для обдирочного шлифования, глубинной заточки, обработки заготовок из труднообрабатываемых конструкционных сталей и быстрорежущих сталей. Эльбор марки ЛКВ используют для производства инструментов на металлической связке, предназначенных для работы в тяжелых условиях.

### **Зернистость абразивного инструмента.**

Зернистость – условное обозначение шлифовального материала, соответствующее размеру абразивных зерен основной фракции. По ГОСТ 3647-80 абразивные материалы делят на четыре основные группы: шлифзерно, шлифпорошки, микрошлифпорошки, тонкие микрошлифпорошки.

Зернистость шлифзерна и шлифпорошков выражают в сотых долях миллиметра, зернистость микрошлифпорошков и тонких микрошлифпорошков в микрометрах.

Шлифзерно: 200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32, 25, 20, 16.

Шлифпорошки: 12, 10, 8, 6, 5, 4.

Микрошлифпорошки: М63, М50, М40, М28, М20, М14.

Тонкие микрошлифпорошки: М10, М7, М5.

Зернистость шлифзерна и шлифпорошков обозначают как 0,1 размера стороны ячейки сита в свету в микрометрах, на котором задерживаются зерна основной фракции при их просеивании. Зернистость микрошлифпорошков обозначают по верхнему пределу зерен основной фракции. Зерновой состав шлифовальных материалов характеризуют процентным содержанием следующих фракций: предельной, крупной, основной, комплексной и мелкой. Размеры зерна основной фракции устанавливают в зависимости от зернистости.

В зависимости от процентного содержания зерен основной фракции зернистость подразделяют на четыре индекса: В – с высоким содержанием (60 – 55 %) для микрошлифпорошков, П – с повышенным (55 – 45 %) для кругов класса АА диаметром до 300 мм, Н – с нормальным содержанием (45 – 40 %) для кругов диаметром свыше 300 мм, заточных кругов и кругов для обработки неметаллических материалов, Д – с допустимым содержанием (41 – 37 %) для кругов на органической связке и шкурки.

Зернистость абразивного инструмента выбирают исходя из его назначения и требуемого качества поверхности обработанной детали. Инструменты с более крупными зернами дают возможность работать с большими глубинами шлифования, меньше засаливаются и более производительны, однако при этом ухудшаются качество и точность обрабатываемой поверхности. Для чистового шлифования, обработки фасонных поверхностей, заточки мелких инструментов применяют круги зернистостью 32 – 16 ( $Ra = 0,63 - 0,16$  мкм).

### **Связки абразивного инструмента.**

Связка закрепляет зерна в абразивном инструменте. Связки бывают керамические, бакелитовые, вулканические, глифталевые, металлические и другие.

Основой керамических связок является кремнезем ( $SiO_2$ ) и глинозем ( $Al_2O_3$ ), содержание которых в связках колеблется для различных марок от 74

до 86 %. На керамической связке выпускают до 60 % абразивных инструментов. Эти инструменты обладают высокой прочностью, хрупкостью, жесткостью, химической стойкостью. Для инструментов из электрокорундовых материалов рекомендуются связки К1, К2, К4, К5, К6, К8, для инструментов из карбидокремниевых материалов - К3, К10.

На бакелитовой связке выпускают около 30 % абразивных инструментов. Круги на бакелитовой связке имеют по сравнению с керамическими более высокие прочность и упругость. В качестве основы в бакелитовой связке применяют бакелит в виде порошков (пудербакелит – смесь новолочной смолы с уротропином) или жидкости (жидкая резольная смола). На бакелитовой связке, так же как и на керамической, изготавливают абразивные инструменты всех форм и размеров. Они обладают высокой самозатачиваемостью в процессе работы и обеспечивают меньший нагрев заготовки по сравнению с обработкой инструментами на керамической связке. К недостаткам бакелитовой связки следует отнести ее невысокую теплостойкость.

Бакелитовые связки имеют три основные разновидности: Б и Б1, изготавливаемые из пудербакелита, Б2, получаемую из жидкого бакелита, и специальную Б3, применяемую для изготовления резьбошлифовальных и тонких отрезных кругов.

Вулканитовая связка является провулканизированной смесью каучука с серой. Для ее изготовления применяют синтетические каучуки. В зависимости от содержания серы регулируется процесс вулканизации. При содержании серы до 15% изделие получают мягким, эластичным; при введении серы до 60% - жестким, твердым. Первые используют для полирования и отделочных операций, вторые – для резки, глубинного шлифования. Вулканитовая связка прочно удерживает зерна, но будучи эластичной, деформируется при работе, что снижает процесс самозатачивания. При этом повышается полирующая способность инструмента, но производительность обработки снижается. На

вулканитовой связке В, В1, В2, В3 делают жесткие круги, применяемые для отрезки и прорезки пазов.

На связке 1ГК – 4ГК делают гибкие круги, применяемые для полирования и отделочного шлифования.

На металлических связках выполняют алмазные и эльборовые круги. Круги на связках М1, ПМ1, М10 и других применяют для предварительных операций, требующих съема сравнительно больших припусков, а также для заточки твердосплавного режущего инструмента, шлифования изделий из твердых сплавов, керамики, титановых и жаропрочных сплавов и других труднообрабатываемых материалов, лезвийных инструментов из сверхтвердых материалов.

### **Твердость абразивного инструмента.**

Твердость абразивных инструментов определяется свойством связки оказывать сопротивление прониканию в абразивный инструмент другого тела. По твердости шлифовальные инструменты делят на восемь основных групп: ВМ – весьма мягкие; М – мягкие; СМ – среднемягкие; С – средние; СТ – среднетвердые; Т – твердые; ВТ – весьма твердые; ЧТ – чрезвычайно твердые. Внутри группы твердость инструментов разделяют по номерам, причем большему номеру соответствует большая твердость в группе. Всего шлифовальные инструменты выпускают 18 различных твердостей – от ВМ1 до ЧТ2, условно обозначенных номерами 0 – 17:

0 – ВМ1	6 – СМ2	12 – Т1
1 – ВМ2	7 – С1	13 – Т2
2 – М1	8 – С2	14 – ВТ1
3 – М2	9 – СТ1	15 – ВТ2
4 – М3	10 – СТ2	16 – ЧТ1
5 – СМ1	11 – СТ3	17 – ЧТ2

При увеличении твердости круга на одну ступень объем связки увеличивают на 1,5% и соответственно уменьшают объем пор.

При выборе твердости абразивного круга руководствуются следующим: чем тверже обрабатываемый материал, тем мягче должен быть круг. В этом случае режущие зерна будут быстрее изнашиваться, поэтому необходимо, чтобы они быстрее удалялись и заменялись другими, более острыми.

### **Структура абразивного инструмента.**

Под структурой абразивного инструмента понимают соотношение объемов шлифовального материала, связки и пор. Обычно эти соотношения выражают в процентах от общего объема инструмента, принятого за 100%. В абразивном инструменте на любой связке имеются поры, причем в инструменте на керамической и бакелитовой связках поры занимают больший объем, чем в инструментах на вулканитовой связке. Увеличение количества пор в круге и их размеров облегчает удаление стружки и улучшает условия охлаждения места контакта инструмента и детали. Но инструмент с высоким содержанием пор менее прочен и подвергается большему изнашиванию, чем плотный. Абразивный инструмент для каждой операции должен иметь определенную структуру, которую обозначают от номера 0 до номера 12 и которая зависит от содержания в круге абразивного зерна и связки при неизменном объеме пор. Например, для получения каждого последующего номера структуры уменьшают на 2 % содержание зерен и соответственно увеличивают содержание связки. Для лучшего удержания зерен на поверхности круга номер структуры выбирают в зависимости от зернистости абразивного материала; так, круги зернистостью 125 – 80 обычно делают со структурой 3, 4; зернистостью 50 - 40 – со структурой 5, 6; зернистостью 25 – 12 – со структурой 7, 8. При шлифовании прерывистых и фасонных поверхностей выбирают круги со структурой 3 -5.

Для улучшения охлаждения шлифуемых деталей, лучшего отвода стружки и уменьшения массы инструмента рекомендуют применять высокопористые круги, объем пор в которых достигает 75 % благодаря применению наполнителей, которые, выгорая в процессе термической обработки, образуют в абразивном инструменте поры. Высокопористыми

обычно изготавливают круги прямого профиля больших размеров. Структуру высокопористых кругов обозначают по номерам № 13 - № 21. В структуре № 13 содержится 36% абразивного зерна, в каждой последующей структуре зерна на 2 % меньше, чем в предыдущей.

**Таблица 1** - Содержание абразивного зерна в зависимости от номера структуры.

Структура	Номер структуры	Содержание абразивного зерна, %
Закрытая или плотная	0	62
	1	60
	2	58
	3	56
	4	54
Средняя	5	52
	6	50
	7	48
	8	46
Открытая	9	44
	10	42
	11	40
	12	38

### **Точность шлифовальных кругов**

По точности изготовления круги делят на три класса: АА, А и Б. Круги класса АА выпускают из зерна с повышенным содержанием основной фракции (II). Эти круги имеют наименьшую неуравновешенность и наименьшие отклонения от заданных размеров.

### **Неуравновешенность шлифовальных кругов.**

Шлифовальные круги, как любое тело вращения, обладают неуравновешенностью, т. е. несовпадением центра тяжести круга с его геометрическим центром. По ГОСТ 3060-86 предусмотрены четыре класса неуравновешенности. Наименьшая неуравновешенность соответствует классу 1, наибольшая – классу 4. В зависимости от класса точности кругов класс неуравновешенности должен быть: 1 – для кругов класса АА; 1 и 2 – для класса А; 3 и 4 – для класса Б. Чем больше неуравновешенность, тем большие вибрации возникают при работе круга, при этом ухудшаются качество обработанной поверхности и точность шлифования.

### **Скорость резания**

Абразивные круги работают при скорости резания 25 – 35 м/с, с продольной подачей от 8 до 40 – 50 м/мин и глубиной шлифования 0,005 – 0,03 мм. При скоростном шлифовании заготовку обрабатывают со скоростью 60 – 80 м/с, при отрезке – со скоростью, достигающей до 100 – 120 м/с.

### **Примерные вопросы к студентам**

- 1 В чем заключается особенность шлифования?
- 2 Какие абразивные материалы применяют для изготовления шлифовальных кругов?
- 3 Какие связующие материалы применяют для изготовления шлифовальных кругов?
- 4 Какие знаете виды абразивных инструментов?

### **Учебно-методическое и информационное обеспечение**

- 1 Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении [Электронный ресурс]: учебник для СПО / С. Г. Ярушин. — М. :

Издательство Юрайт, 2016. — 564 с. — Режим доступа:

<https://www.biblio-online.ru>

- 2 Резание материалов. Режущий инструмент [Электронный ресурс]: учебник для СПО: в 2 ч. Ч. 1 / А. Г. Схиртладзе [и др.] ; под общ. ред. Н. А. Чемборисова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 263 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>.

## РАЗДЕЛ 9 ОБРАБОТКА МЕТОДАМИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

### Тема 10.1 Чистовая и упрочняющая обработка методами ППД

#### Цель:

- формирование знаний о процессах чистовой и упрочняющей обработки методами поверхностного пластического деформирования.

#### Основные понятия

Ролики, раскатки, дорнование, центробежная обработка, рифления.

#### План лекции

- 1 Физическая сущность процесса поверхностного пластического деформирования.
- 2 Основные термины и определения по ГОСТ.
- 3 Конструкции роликовых и шариковых приспособлений для обкатывания и раскатывания.
- 4 Шероховатость поверхности, достигаемая при ППД. Режимы обработки.
- 5 Физическая сущность процесса калибрования отверстий методами пластической деформации.
- 6 Типовые схемы калибрования отверстий шариком, калибрующей оправкой (дорном).
- 7 Геометрия деформирующего элемента инструмента. Режимы обработки. СОТС.
- 8 Сущность процесса алмазного выглаживания.. Режимы обработки. СОТС. Шероховатость поверхности.
- 9 Вибрационная обработка методом ППД. Применяемые приспособления и инструменты. Источники вибрации. Режимы обработки. СОТС.

10 Накатывание рифлений и клейм. Накатные ролики. Режимы накатывания. СОТС.

### **Основная часть**

Обработка методами поверхностного пластического деформирования осуществляется без снятия стружки. Методы такой обработки основаны на использовании пластических свойств черных и цветных металлов (легированных и углеродистых сталей, меди, латуни, дюралюминия и др.). При этом пластически деформируется только поверхностный слой обрабатываемого материала. Обработке подвергается заготовка в холодном состоянии. При накатывании поверхностное пластическое деформирование происходит при качении свободновращающегося инструмента по поверхности деформируемого материала.

Методы ППД накатыванием используют для упрочнения, уменьшения шероховатости и формообразования поверхностей. Накатывание подразделяют на обкатывание (накатывание плоской или выпуклой наружных поверхностей) и раскатывание (накатывание отверстия или вогнутой поверхности). Его применяют для упрочняющей обработки и уменьшения шероховатости наружных цилиндрических, конических, плоских и фасонных поверхностей. При упрочняющем накатывании повышаются физико-механические свойства материала поверхностного слоя заготовки, ее твердость. Например, твердость поверхностного слоя может увеличиваться в 1,5 – 2 раза по сравнению с твердостью основного материала заготовки. При сглаживающем накатывании шероховатость поверхности может достигать значений  $Ra = 0,02 \dots 1,6$  мкм. Шероховатость зависит от материала заготовки, шероховатости поверхности до обработки и режима обработки: усилия обкатывания (давления в зоне обработки), числа проходов, подачи и скорости обработки. Основным параметром режима ППД является давление в зоне обработки. Давление определяет характер обработки: при упрочняющем обкатывании давление больше, чем при сглаживающем.

Формообразующее накатывание применяют для получения рифлений, клейм, резьб, шлицев и зубьев зубчатых колес. Холодным накатыванием в настоящее время изготавливают зубчатые колеса с прямым и винтовым зубом с модулем до 1,5 мм, мелкие шлицевые поверхности и крепежные резьбы. Перед накатыванием поверхность заготовки предварительно подвергают чистовой лезвийной обработке, выбирая вид обработки из схемы соответствия. Для уменьшения трения в зону обработки вводят веретенное масло или керосин.

Для накатывания применяют стандартные шарики или ролики различной конструкции и профиля. Материалом для них служат подшипниковые стали (ШХ15), инструментальные быстрорежущие стали (Р6М5), легированные стали (9ХС) и другие материалы, твердостью 60... 62 НРС. Для сглаживающего и упрочняющего накатывания применяют инструмент с гладкой рабочей поверхностью.

Для формообразующего накатывания используют инструмент, рабочая часть которого имеет форму обратную обрабатываемому профилю на детали. Например, для образования на обработанной поверхности детали прямых, угловых или сетчатых рифлений инструментом служат рифленые ролики. Прямые и угловые рифления выполняют одним роликом, сетчатое рифления – двумя роликами со встречным расположением рифлений. Необходимая глубина рифления достигается за несколько проходов.

### **Примерные вопросы к студентам**

- 1 Расскажите об основных методах обработки поверхностным пластическим деформированием.
- 2 Какие инструменты используются при обкатывании и раскатывании?
- 3 Что такое дорнование?
- 4 Какие схемы накатывания клейм знаете?

### **Учебно-методическое и информационное обеспечение**

- 1 Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении [Электронный ресурс]: учебник для СПО / С. Г. Ярушин. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 564 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>
- 2 Резание материалов. Режущий инструмент [Электронный ресурс]: учебник для СПО: в 2 ч. Ч. 1 / А. Г. Схиртладзе [и др.] ; под общ. ред. Н. А. Чемборисова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 263 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>.

## РАЗДЕЛ 10 ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

### Тема 10.1 Электрофизические и электрохимические методы обработки

#### Цель:

- формирование знаний о процессах электрофизической и электрохимической обработки.

#### Основные понятия

Электроконтактная обработка. Электроэрозионная обработка.  
Электроискровая обработка, анодно-механическая обработка.

#### План лекции

- 1 Электроконтактная обработка.
- 2 Сущность метода. Область применения. Оборудование и инструмент.
- 3 Электроэрозионная обработка.
- 4 Сущность метода. Область применения. Оборудование и инструмент.
- 5 Электроискровая и электроимпульсная обработка.
- 6 Анодно-механическая обработка. Сущность метода. Область применения. Оборудование и инструмент. Режимы обработки.
- 7 Сущность электрохимической обработки. Область применения. Конструкция электродов. Рабочие жидкости. Режимы обработки.

#### Основная часть

Электрофизические и электрохимические (ЭФЭХ) методы обработки предназначены для обработки заготовок из очень прочных, вязких, хрупких и неметаллических материалов. ЭФЭХ методы в ряде случаев имеют очень существенные преимущества перед обработкой резанием. При использовании

этих методов отсутствует силовое воздействие инструмента на заготовку, не возникает наклеп обработанной поверхности, дефектный слой незначителен, удаляются прижоги поверхности, полученные при шлифовании, повышаются антикоррозионные, прочностные и другие эксплуатационные характеристики деталей.

ЭФЭХ методы обработки универсальны и обеспечивают непрерывность процессов при одновременном формообразовании всей обрабатываемой поверхности, что позволяет обрабатывать очень сложные наружные и внутренние поверхности заготовок.

Электроэрозионные методы основаны на явлении *эрозии* (разрушения) электродов из токопроводящих материалов при пропускании между ними импульсного электрического тока. Разряд между электродами происходит в диэлектрической жидкой или газовой среде. В жидкой среде процесс эрозии более интенсивен. Когда разность потенциалов на электродах достигает определенной величины, происходит пробой диэлектрического промежутка в виде искрового или дугового разряда. При высокой концентрации энергии мгновенная плотность тока в канале проводимости достигает значительных величин, и температура на поверхности заготовки электрода возрастает до 10000-12000 ° С. При этой температуре происходит мгновенное оплавление и испарение элементарного объема металла, и на обрабатываемой поверхности образуется лунка. Удаленный металл застывает в диэлектрической жидкости в виде мелких гранул.

Следующий импульс тока пробивает межэлектродный промежуток там, где расстояние между электродами наименьшее. Процесс эрозии продолжается до тех пор, пока не будет удален весь металл, находящийся на расстоянии, при котором возможен электрический пробой при заданном напряжении. Для продолжения процесса необходимо постоянно сближать электроды до указанного расстояния. Электроды сближаются автоматически с помощью следящих систем.

При **электроискровой обработке** используют импульсные искровые разряды между электродами, один из которых - обрабатываемая заготовка, а другой - инструмент-катод.

**Электрохимическая обработка** основана на законах анодного растворения металлов при электролизе. При прохождении электрического тока через электролит на поверхности заготовки, включенной в электрическую цепь и являющейся анодом, происходят химические реакции, и поверхностный слой металла превращается в химическое соединение. Продукты электролиза переходят в раствор или удаляются механическим способом.

Производительность процесса зависит от электрохимических свойств электролита, обрабатываемого токопроводящего материала и плотности тока.

**Электрохимическое полирование** (рис. 5) выполняют в ванне 1, заполненной электролитом 4, которым служат растворы кислот или щелочей.

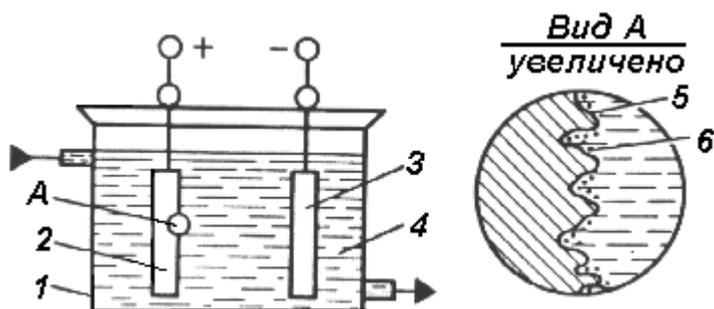


Рисунок 5 – Электрохимическое полирование

Обрабатываемую заготовку 2 подключают к аноду; электродом-катодом 3 служит металлическая пластинка из свинца, меди, или стали. Для интенсификации процесса электролит 4 нагревают до температуры 40-80 °С.

При подаче напряжения на электроды начинается процесс растворения металла заготовки-анода. Растворение происходит главным образом на выступах 5 микронеровностей поверхности вследствие более высокой плотности тока на их вершинах. Кроме того, впадины 6 между микровыступами

заполняются продуктами растворения: оксидами или солями, имеющими пониженную электропроводность. В результате избирательного растворения микронеровности сглаживаются, и обрабатываемая поверхность приобретает металлический блеск.

Электрополирование позволяет одновременно обрабатывать партию заготовок по всей их поверхности. Этим методом готовят поверхности деталей под гальванические покрытия, доводят рабочие поверхности режущего инструмента, получают тонкие ленты и фольгу, очищают и декоративно отделывают детали.

**Электроконтактная обработка** основана на локальном нагреве заготовки в месте контакта с электродом - инструментом и удалении размягченного металла из зоны обработки механическим способом. Источником тепла в зоне обработки служат импульсные дуговые разряды. Метод применяют для обработки крупных деталей из углеродистых и легированных сталей, чугуна, цветных сплавов, тугоплавких и специальных сплавов.

### **Примерные вопросы к студентам**

- 1 Влияет ли уровень диэлектрической проницаемости жидкости на производительность ЭЭО?
- 2 Чем отличаются электроискровые режимы ЭЭО от электроимпульсных?
- 3 В чем отличия ЭКО от ЭЭО?
- 4 Какие разновидности электрохимической обработки вы знаете?
- 5 Почему при ЭХО возрастает интенсивность растворения выступов микронеровностей?

### **Учебно-методическое и информационное обеспечение**

- 1 Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении [Электронный ресурс]: учебник для СПО / С. Г. Ярушин. — М. :

Издательство Юрайт, 2016. — 564 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>

- 2 Резание материалов. Режущий инструмент [Электронный ресурс]: учебник для СПО: в 2 ч. Ч. 1 / А. Г. Схиртладзе [и др.] ; под общ. ред. Н. А. Чемборисова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 263 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>.

## **Тема 10.2 Обработка материалов электронным и когерентным световыми лучами**

### **Цель:**

- формирование знаний о процессах электроручевой обработки.

### **Основные понятия**

Электронно-лучевая обработка, лазерная обработка, плазменная обработка.

### **План лекции**

- 1 Физическая сущность электронно-лучевой обработки. Область применения. Устройство электронно-оптической пушки. Энергия, выделяемая электронно-оптической пушкой. Режимы обработки.
- 2 Физическая сущность обработки когерентным световым лучом (лазером). Область применения. Принципиальная схема и конструкция лазерной установки. Режимы обработки.
- 3 Техника безопасности при обработке электрофизическими и электрохимическими методами.

### **Основная часть**

К лучевым методам размерной обработки относятся: лазерная (светолучевая), электронно-лучевая, плазменная.

Под лучевыми методами размерной обработки понимают процессы удаления материала плавлением и испарением его под действием энергии лучевого потока или высокоэнергетических струй с удельной плотностью энергии  $10 \text{ Вт/см}^2$ .

Отличие лучевых методов от сварки и пайки заключается, главным образом, в длительности импульсов. Применяются короткие импульсы и импульсы большой длительности.

Светолучевую обработку материалов производят с помощью оптических квантовых генераторов, называемых лазерами. Лазер способен создавать узкие направленные пучки направленного света, характеризующиеся высокой плотностью тепловой энергии. Широко используется кристаллический лазер на основе кристаллического рубина.

Особенностью луча лазера является его высокая когерентность, т.е. параллельность движения, синхронность в фазе и амплитуде составляющих его фотонов, в результате чего расхождение луча, испускаемого лазером, не превышает  $1^\circ$ . Излучение оптического квантового генератора концентрируется на обрабатываемой заготовке с помощью оптической системы.

Преимущества обработки световым лучом перед электронно-лучевой обработкой: можно обрабатывать крупногабаритные детали, не требуется вакуумных камер, обработка ведется в воздушной среде, не нужна защита обслуживающего персонала от рентгеновского излучения, необходимы лишь защитные очки, небольшие габариты оборудования.

Недостатки обработки световым лучом: сравнительно небольшая излучаемая мощность, мощность подкачки намного больше излучаемой мощности, низкий КПД квантовых генераторов, перегрев кристалла и трудности его охлаждения, низкая точность обработки.

Электронно-лучевая обработка имеет ряд преимуществ, обуславливающих целесообразность ее применения: создание локальной

концентрации высокой энергии, широкое регулирование и управление тепловыми процессами. Вакуумные среды позволяют обрабатывать заготовки из легкоокисляющихся активных материалов. С помощью электронного луча можно наносить покрытия в виде пленок.

Недостатком обработки является то, что она возможна только в вакууме.

Сущность плазменной обработки состоит в том, что плазму (полностью ионизированный газ), имеющую температуру 10 000 – 30 000 °С, направляют на обрабатываемую поверхность заготовки.

Плазму получают в плазмотронах. Дуговой разряд возбуждается между вольфрамовым электродом и медным электродом, выполненным в виде трубы и охлаждаемым проточной водой. В трубу подают газ (аргон либо азот) или смесь газов. Обжимая дуговой разряд, газ при соединении с электронами ионизируется и выходит из сопла плазмотрона в виде ярко светящейся струи, которая направляется на обрабатываемую заготовку. Перемещение заготовки регулируется приводом подачи.

Плазменным методом обрабатывают заготовки из любых материалов, выполняя прошивание отверстий, вырезку заготовок из листового материала, строгание, точение, разрезание, поверхностное разрушение и плазменную сварку. При прошивании отверстий, разрезке и вырезке заготовок головку плазмотрона устанавливают перпендикулярно к поверхности заготовки, а при строгании и точении – под углом 40 – 60 °.

Плазменный метод не обеспечивает высокую точность и шероховатость обработанной поверхности. Достижимая шероховатость  $R_a = 160 - 320$  мкм, а точность 0,1 – 0,5 мм.

К достоинствам плазменной обработки можно отнести малую трудоемкость процесса, непрерывность и миниатюризацию техпроцесса, низкие расходы исходных материалов и полное использование сырья, длительную эксплуатацию оборудования, одностадийность процесса.

К недостаткам плазменной обработки относят невысокий коэффициент полезного действия, сильный шум (120 дБ и более) и низкое качество и точность обработки.

### **Примерные вопросы к студентам**

- 1 В чем суть размерной обработки световым лучом? Перечислите работы, которые можно выполнить этим методом.
- 2 Какие тепловые процессы имеют место при различных положениях фокуса луча ОКГ относительно обрабатываемой поверхности?
- 3 Почему ЭЛО проводится в вакуумной камере?
- 4 Возможна ли светолучевая обработка диэлектрических материалов?

### **Учебно-методическое и информационное обеспечение**

- 1 Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении [Электронный ресурс]: учебник для СПО / С. Г. Ярушин. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 564 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>
- 2 Резание материалов. Режущий инструмент [Электронный ресурс]: учебник для СПО: в 2 ч. Ч. 1 / А. Г. Схиртладзе [и др.] ; под общ. ред. Н. А. Чемборисова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 263 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>.

## РАЗДЕЛ 11 СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

### Тема 11.1 Процесс сварки

#### Цель:

- формирование знаний о процессе сварки.

#### Основные понятия

Ручная дуговая сварка, электрическая дуговая сварка, аргонно-дуговая сварка.

#### План лекции

- 1 Физическая сущность процесса сварки.
- 2 Виды сварки.
- 3 Электрическая дуговая сварка.
- 4 Ручная дуговая сварка.
- 5 Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом.
- 6 Аргонно-дуговая сварка.
- 7 Плазменная сварка.
- 8 Основные способы сварки давлением.

#### Основная часть

Сваркой называется технологический процесс получения неразъемных соединений по свойствам, близким свариваемому материалу, посредством установления межатомных связей — между свариваемыми частями при их местном (или общем) нагреве или пластическом деформировании, или совместным действием того и другого.

Все существующие сварочные процессы можно разделить на две основные группы — сварку давлением и сварку плавлением. По виду энергии, необходимой для образования сварного соединения, и условиям введения ее в металл сварка подразделяется на дуговую, газовую, термитную,

электрошлаковую, электронно-лучевую, контактную, трением, ультразвуковую и другие виды. По степени автоматизации сварка подразделяется на ручную, полуавтоматическую и автоматическую

Сущность способа.

К электроду и свариваемому изделию для образования и поддержания сварочной дуги от источников сварочного тока подводится постоянный или переменный сварочный ток. Сварочная дуга горит между металлическим стержнем электрода и основным металлом. Под действием тепла дуги металл дуги электрода, покрытие электрода и основной металл расплавляется, образуя сварочную ванну. Капли жидкого металла с торца расплавленного электродного стержня переносятся в ванну через дуговой промежуток. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода, образуя вокруг дуги газовую защиту и жидкую шлаковую ванну. По мере движения дуги, металл сварочной ванны затвердевает, образуется сварочный шов и шлаковая корка на поверхности шва.

Глубина, на которую расплавляется основной металл, называется глубиной проплавления. Она зависит от режима сварки (силы сварочного тока и диаметра электрода), пространственного положения сварки, скорости перемещения дуги по поверхности изделия (торцу электрода и дуге сообщают поступательное движение вдоль направления сварки и поперечные колебания), от конструкции сварного соединения, формы и размеров разделки свариваемых кромок и т. п. Размеры сварочной ванны зависят от режима сварки и обычно находятся в пределах: глубина до 7 мм, ширина 8-15 мм, длина 10-30 мм. Доля участия основного металла в формировании металла шва обычно составляет 15-35%.

Кристаллизация металла сварочной ванны по мере удаления дуги приводит к образованию шва, соединяющего свариваемые детали. При случайных обрывах дуги или при смене электродов кристаллизация металла сварочной ванны приводит к образованию сварочного кратера (углублению в

шве, по форме напоминающему наружную поверхность сварочной ванны). Затвердевающий шлак образует на поверхности шва шлаковую корку.

### **Сущность способа плазменной сварки.**

Плазма - ионизированный газ, содержащий электрически заряженные частицы и способный проводить ток.

Ионизация газа происходит при его нагреве. Степень ионизации тем выше, чем выше температура газа. В центральной части сварочной дуги газ нагрет до температур 5000-30000°С, имеет высокую электропроводность, ярко светится и представляет собой типичную плазму. Плазменную струю, используемую для сварки и резки, получают в специальных плазматронах, в которых нагревание газа и его ионизация осуществляются дуговым разрядом в специальных камерах.

Вдуваемый в камеру газ, сжимая столб дуги в канале сопла плазматрона и охлаждая его поверхностные слои, повышает температуру столба. В результате струя проходящего газа, нагреваясь до высоких температур, ионизируется и приобретает свойства плазмы. Увеличение при нагреве объема газа в 50-100 и более раз приводит к истечению плазмы со сверхзвуковыми скоростями. Плазменная струя легко расплавляет любой металл.

Дуговую плазменную струю для сварки и резки получают по двум основным схемам. При плазменной струе прямого действия изделие включено в сварочную цепь дуги, активные пятна которой располагаются на вольфрамовом электроде и изделии. При плазменной струе косвенного действия активные пятна дуги находятся на вольфрамовом электроде и внутренней или боковой поверхности сопла. Плазмообразующий газ может служить также и защитой расплавленного металла от воздуха. В некоторых случаях для защиты расплавленного металла используют подачу отдельной струи специального, более дешевого защитного газа. Газ, перемещающийся вдоль стенок сопла, менее ионизирован и имеет пониженную температуру. Благодаря этому предупреждается расплавление сопла. Однако большинство плазменных горелок имеет дополнительное водяное охлаждение.

Дуговая плазменная струя - интенсивный источник теплоты с широким диапазоном технологических свойств. Ее можно использовать для нагрева, сварки или резки как электропроводных металлов, так и неэлектропроводных материалов, таких как стекло, керамика и др. (плазменная струя косвенного действия). Тепловая эффективность дуговой плазменной струи зависит от величины сварочного тока и напряжения, состава, расхода и скорости истечения плазмообразующего газа, расстояния от сопла до поверхности изделия, скорости перемещения горелки (скорости сварки или резки) и т. д. Геометрическая форма струи может быть также различной (квадратной, круглой и т. д.) и определяться формой выходного отверстий сопла.

### **Примерные вопросы к студентам**

- 1 Охарактеризуйте сущность дуговой сварки, ее разновидности.
- 2 Для выполнения каких швов применяют автоматическую сварку?
- 3 По каким схемам можно выполнить аргонодуговую сварку?
- 4 Каким образом получают плазменную струю, каковы ее возможности?

### **Учебно-методическое и информационное обеспечение**

- 1 Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении [Электронный ресурс]: учебник для СПО / С. Г. Ярушин. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 564 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>
- 2 Резание материалов. Режущий инструмент [Электронный ресурс]: учебник для СПО: в 2 ч. Ч. 1 / А. Г. Схиртладзе [и др.] ; под общ. ред. Н. А. Чемборисова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 263 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>.

### **Тема 11.2 Пайка и газокислородная резка металлов**

**Цель:**

- формирование знаний о процессах пайки и газокислородной резки.

**Основные понятия**

Пайка, припой, флюс, газокислородная резка.

**План лекции**

- 1 Пайка металлов.
- 2 Способы пайки в зависимости от источников нагрева.
- 3 Припой. Флюсы.
- 4 Газокислородная резка металлов.

**Основная часть**

**Пайка** — технологическая операция, применяемая для получения неразъёмного соединения деталей из различных материалов путём введения между этими деталями расплавленного материала (припоя), имеющего более низкую температуру плавления, чем материал (материалы) соединяемых деталей.

Спаиваемые элементы деталей, а также припой и флюс вводятся в соприкосновение и подвергаются нагреву с температурой выше температуры плавления припоя, но ниже температуры плавления спаиваемых деталей. В результате, припой переходит в жидкое состояние и смачивает поверхности деталей. После этого нагрев прекращается, и припой переходит в твёрдую фазу, образуя соединение.

Прочность соединения во многом зависит от зазора между соединяемыми деталями (от 0,03 до 2 мм), чистоты поверхности и равномерности нагрева элементов. Для удаления оксидной плёнки и защиты от влияния атмосферы применяют флюсы. Исходя из физико-химической природы процесса, пайку можно определить следующим образом. Процесс соединения металлов в твёрдом состоянии путём введения в зазор припоя, взаимодействующего с

основным металлом и образующего жидкую металлическую прослойку, кристаллизация которой приводит к образованию паяного шва. Пайка подразделяется на капиллярную, диффузионную, контактно-реакционную, реакционно-флюсовую и пайку-сварку. В свою очередь, капиллярная подразделяется на горизонтальную и вертикальную. Диффузионная — на атомно-диффузионную и реакционно-диффузионную. Контактно-реакционная — с образованием эвтектики и с образованием твёрдого раствора. Реакционно-флюсовая — без припоя и с припоем. Пайка-сварка — без оплавления и с оплавлением. Анализируя сущность физико-химических процессов, протекающих на границе основной металл — расплав припоя (при формировании соединения в существующих видах пайки), можно видеть, что различия между капиллярной пайкой, диффузионной пайкой и пайкой-сваркой не носят принципиального характера. Капиллярность является общим признаком пайки. Отличительным признаком диффузионной пайки является длительная выдержка при температуре пайки и изотермическая кристаллизация металла шва в процессе пайки.

**Газокислородной резкой** называют способ разделения металла, основанный на использовании для его нагрева до температуры воспламенения теплоты газового пламени и экзотермической реакции окисления металла, а для удаления окислов - кинетической энергии струи режущего кислорода.

Подогревающее пламя нагревает поверхностные слои металла, которые затем контактируют со струей чистого кислорода и окисляются. Выделяющаяся при этом теплота совместно с теплотой подогревающего пламени постоянно нагревает за счет теплопроводности металл впереди резака до температуры его воспламенения в кислороде, обеспечивая непрерывность процесса. Под действием кинетической энергии струи кислорода слой окислов, а также частично жидкий металл удаляются из разреза.

Источником теплоты при резке служит подогревающее пламя резака и экзотермическая реакция окисления железа и примесей стали. В зависимости от толщины стали изменяются доли их участия в тепловом балансе: чем меньше

толщина разрезаемого металла, тем больше роль подогревающего пламени (при толщине 5 мм до 80% общего количества теплоты, выделяемой при резке, а при толщине более 50 мм - только до 10%).

Существуют некоторые условия резки, влияющие на разрезаемость металла:

Первое условие - теплоты должно быть достаточно для обеспечения температуры реакции порядка 1000 - 1150 0С.

Второе условие - температура плавления металла должна быть выше температуры его интенсивного окисления в кислороде.

Третье условие - температура плавления металла должна быть выше температуры плавления образуемых в процессе резки окислов.

Четвертое условие - образующийся шлак должен быть жидкотекучим.

Всем вышеперечисленным условиям удовлетворяют сталь, титан и марганец, поэтому их можно обрабатывать с помощью газокислородной резки. Особенно хорошо режутся сплавы титана, благодаря высокому сродству с кислородом и высокому тепловому эффекту образования окисла. Остальные металлы и сплавы, такие как высоколегированные стали, алюминий, медь, не удовлетворяют второму условию, при котором возможен процесс газокислородной резки.

Существуют разновидности разделительной газокислородной резки. К ним относят скоростную газокислородную резку, высококачественную газокислородную резку, газокислородную безгратовую резку и резку кислородом высокого давления. Эти способы позволяют повысить скорость резки в 1,5 - 3 раза.

### **Примерные вопросы к студентам**

- 1 Назовите основные способы пайки, их принципиальные различия.
- 2 Перечислите основные требования к припоям и флюсам для пайки.
- 3 Какое оборудование используется при газокислородной резке металлов.

## Учебно-методическое и информационное обеспечение

### Основные источники

- 1 Резание материалов. Режущий инструмент [Электронный ресурс]: учебник для СПО: в 2 ч. Ч. 1 / А. Г. Схиртладзе [и др.] ; под общ. ред. Н. А. Чемборисова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 263 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>.
- 2 Резание материалов. Режущий инструмент [Электронный ресурс]: учебник для СПО: в 2 ч. Ч. 2 / С. Н. Григорьев [и др.] ; под общ. ред. Н. А. Чемборисова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 246 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>.

### Дополнительные источники

- 1 Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении [Электронный ресурс]: учебник для СПО / С. Г. Ярушин. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 564 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>.

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБУЧЕНИЯ

Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы.

### Основные источники

- 1 Резание материалов. Режущий инструмент [Электронный ресурс]: учебник для СПО: в 2 ч. Ч. 1 / А. Г. Схиртладзе [и др.] ; под общ. ред. Н. А. Чемборисова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 263 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>.
- 2 Резание материалов. Режущий инструмент [Электронный ресурс]: учебник для СПО: в 2 ч. Ч. 2 / С. Н. Григорьев [и др.] ; под общ. ред. Н. А. Чемборисова. — М. : Издательство Юрайт, 2017. — 246 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>.

### Дополнительные источники

- 2 Ярушин, С. Г. Технологические процессы в машиностроении [Электронный ресурс]: учебник для СПО / С. Г. Ярушин. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 564 с. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>.

### Интернет-ресурсы

1. Библиотека машиностроителя <http://lib-bkm.ru>
2. Российское образование: Федеральный портал <http://www.edu.ru/>
3. Единое окно доступа к образовательным ресурсам <http://window.edu.ru/window>
4. Российская государственная библиотека <http://www.rsl.ru/>
5. Государственная публичная научно-техническая библиотека <http://www.gpntb.ru/>
6. Интернет-газета «Поиск» <http://www.poisknews.ru/>

Первый машиностроительный портал <http://www.1bm.ru/techdocs/kgs/>



