

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»

С. Э. Завистовский

## **ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МАСТЕРСКИХ**

Электронный учебно-методический комплекс  
для студентов специальности  
1-02 06 02 «Технология (по направлениям).  
Дополнительная специальность»

*Текстово-графическое электронное издание*

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
2020

Об издании – [1](#), [2](#)

1 – дополнительный титульный экран – сведения об издании

**УДК 621.753.1(075.8)**

**ББК 32.86-01**

Рекомендовано к изданию  
методической комиссией спортивно-педагогического факультета  
в качестве электронного учебно-методического комплекса  
(протокол № 6 от 25.02.2020)

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

канд. пед. наук, доц., зав. каф. методики технологического образования  
УО «Мозырский государственный педагогический университет  
им. И.П. Шамякина» *С. Я. АСТЕЙКО;*

канд. техн. наук, доц., доц. каф. машиностроительного производства  
Полоцкого государственного университета *А. М. ДОЛГИХ*

**Завистовский, С. Э.**

Инструментальное обеспечение производственных мастерских [Электронный ресурс] : электронный учеб.-метод. компл. для студентов специальности 1-02 06 02 «Технология (по направлениям). Дополнительная специальность» / С. Э. Завистовский. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM). ISBN 978-985-531-686-3.

Приведены темы изучаемого курса, изложены теоретические и практические основы инструментального обеспечения производственных мастерских металлорежущим и деревообрабатывающим инструментом. Представлены задания для выполнения лабораторных работ, вопросы к оперативному тестовому контролю знаний и к экзамену.

Предназначен для студентов специальности 1-02 06 02 «Технология (по направлениям). Дополнительная специальность».

**№ госрегистрации 3982021780**

**ISBN 978-985-531-686-3**

© Завистовский С. Э., 2020

© Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстово-графического электронного издания «Инструментальное обеспечение производственных мастерских» С. Э. Завистовского использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

Материалы включены в Государственный регистр информационного ресурса. Регистрационное свидетельство № 3982021780 от 18.02.2020 г.

**Технические требования:**

1 оптический диск.

**Системные требования:**

PC не ниже класса Pentium;

32 Mb RAM; свободное место на HDD 16 Mb;

Windows 95/98/Me/2000/XP/7;

Дисковод CD-ROM 2-скоростной и выше;

мышь

Редактор *С. А. Щиков*  
Техническое редактирование *И. Н. Чапкевич*  
Компьютерный дизайн *М.С. Мухоморовой*

---

Подписано к использованию 31.03.2020.

Объем издания: 6,51 Мб. Заказ 151.

---

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

211440, ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |     |
|--|-----|
| КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ.....   | 6   |
| ВВЕДЕНИЕ.....  | 6   |
| РАЗДЕЛ 1. Общие сведения о механической обработке материалов резанием.....   | 10  |
| Тема 1.1. Сущность и виды обработки материалов резанием.....   | 10  |
| Тема 1.2. Инструментальные материалы.....  | 17  |
| РАЗДЕЛ 2. Точение и строгание.....   | 35  |
| Тема 2.1. Геометрия токарного резца.....   | 35  |
| Тема 2.2. Элементы режима резания и срезаемого слоя.....   | 43  |
| Тема 2.3. Сопротивление резанию при токарной обработке.....  | 45  |
| Тема 2.4. Износ резцов.....  | 49  |
| РАЗДЕЛ 3. Сверление, зенкерование, развертывание.....  | 58  |
| Тема 3.1. Осевой инструмент.....   | 58  |
| Тема 3.2. Зенкерование, развертывание.....   | 66  |
| Тема 3.3. Конструкции сверл, зенкеров, разверток.....  | 69  |
| РАЗДЕЛ 4. Фрезерование.....  | 82  |
| Тема 4.1. Обработка материалов цилиндрическими фрезами.....  | 82  |
| Тема 4.2. Обработка материалов торцовыми фрезами.....  | 88  |
| Тема 4.3. Конструкции фрез. Высокопроизводительные фрезы.....  | 94  |
| Тема 4.4. Фрезы для зубонарезания.....   | 105 |
| РАЗДЕЛ 5. Резьбонарезной инструмент.....   | 115 |
| Тема 5.1. Нарезание резьбы резцами, гребенками, плашками и метчиками.....  | 115 |
| РАЗДЕЛ 6. Протяжной инструмент.....  | 123 |
| Тема 6.1. Процесс протягивания.....  | 123 |
| РАЗДЕЛ 7. Шлифование.....  | 129 |
| Тема 7.1. Абразивный инструмент.....   | 129 |
| РАЗДЕЛ 8. Инструмент для деревообработки.....  | 139 |
| Тема 8.1. Особенности конструкции инструментов для деревообработки.....  | 139 |
| РАЗДЕЛ 9. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов.....  | 148 |
| Тема 9.1. Современные тенденции конструирования режущих инструментов.....  | 148 |
| Тема 9.2. Расчет и проектирование токарных резцов общего назначения.....   | 154 |
| Тема 9.3. Расчет и проектирование спиральных сверл.....  | 156 |
| Тема 9.4. Расчет и проектирование фрез.....  | 160 |
| <br>   |     |
| ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ.....  | 171 |
| 1. Изучение конструкции токарных резцов.....   | 172 |
| Лабораторная работа № 1.1 Изучение конструкции токарного проходного резца.....   | 183 |
| Лабораторная работа № 1.2 Изучение конструкции токарного подрезного резца.....   | 185 |
| Лабораторная работа № 1.3 Изучение конструкции токарного отрезного резца.....  | 187 |
| Лабораторная работа № 1.4 Изучение конструкции токарного расточного резца.....   | 189 |
| Лабораторная работа № 1.5 Изучение конструкции токарного резьбового резца.....   | 191 |
| Лабораторная работа № 1.6 Изучение конструкции токарного резца<br>с механическим креплением инструментальной пластины..... | 193 |

|   |     |
|---|-----|
| 2. Изучение конструкции осевого инструмента сверла.....                                       | 195 |
| Лабораторная работа № 2.1 Изучение конструкции спирального сверла .....                       | 216 |
| Лабораторная работа № 2.2 Изучение конструкции зенкера.....                                   | 218 |
| Лабораторная работа № 2.3 Изучение конструкции развертки.....                                 | 220 |
| Лабораторная работа № 2.4 Изучение конструкции спирального сверла<br>для деревообработки..... | 222 |
| Лабораторная работа № 2.5 Изучение конструкции винтового сверла<br>для деревообработки.....   | 224 |
| Лабораторная работа № 2.6 Изучение конструкции перового сверла для<br>деревообработки.....    | 226 |
| 3. Изучение конструкции фрез.....   | 228 |
| Лабораторная работа № 3.1 Изучение конструкции цилиндрической фрезы.....                      | 240 |
| Лабораторная работа № 3.2 Изучение конструкции угловой фрезы .....                            | 242 |
| Лабораторная работа № 3.3 Изучение конструкции торцевой фрезы .....                           | 244 |
| Лабораторная работа № 3.4 Изучение конструкции концевой фрезы .....                           | 246 |
| Лабораторная работа № 3.5 Изучение конструкции шпоночной концевой фрезы .....                 | 248 |
| Лабораторная работа № 3.6 Изучение конструкции дисковой фрезы .....                           | 250 |
| Лабораторная работа № 3.7 Изучение конструкции дисковой отрезной фрезы .....                  | 252 |
| Лабораторная работа № 3.8 Изучение конструкции пазовой фрезы.....                             | 254 |
| Лабораторная работа № 3.9 Изучение конструкции модульной фрезы .....                          | 256 |
| 4. Изучение конструкции абразивного инструмента.....  | 258 |
| Лабораторная работа № 4.1 Изучение конструкции шлифовального круга .....                      | 267 |
| Лабораторная работа № 4.2 Изучение конструкции<br>алмазного шлифовального круга .....         | 269 |
| 5. Проектирование металлорежущего инструмента.....  | 271 |
| Лабораторная работа № 5.1 Расчет и проектирование токарных резцов<br>общего назначения .....  | 271 |
| Лабораторная работа № 5.2 Расчет и проектирование спиральных сверл .....                      | 278 |
| Лабораторная работа № 5.3 Расчет и проектирование фрез .....                                  | 289 |
| Литература .....  | 305 |
| Экзаменационные вопросы .....   | 307 |
| Планирование самостоятельной работы студентов.....  | 308 |
| Итоговая аттестация студентов.....  | 311 |

# КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

## ВВЕДЕНИЕ

Изучение вопросов, связанных с инструментальным обеспечением современных производственных мастерских, является одним из основных требований к знаниям и умениям специалиста в области механической обработки материалов. Содержание дисциплины соответствует требованиям Образовательного стандарта ОСВО 1-02 06 01-2013 Высшее образование. Первая ступень. Специальность 1-02 06 03 Технический труд и техническое творчество.

**Цель курса** – дать студенту знания и навыки, необходимые для выбора и обоснованного использования режущего инструмента, применяемого в процессе механической обработки деталей в условиях школьных производственных мастерских.

### **Задачи дисциплины:**

а) обучение студентов наиболее эффективному использованию режущего инструмента;

б) обучение студентов навыкам расчета и проектирования рабочей части основных металлорежущих инструментов, используемых в условиях школьных производственных мастерских.

### **Формы и методы обучения и воспитания.**

Изучение дисциплины основано на соблюдении органической связи теоретического материала и приобретения практических навыков работы с режущим инструментом при работе на станочном оборудовании.

При этом требуется знание из таких областей, как техническая механика, черчение, высшая математика, физика, материаловедение, нормирование точности и технические измерения.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

#### **знать:**

– основные сведения об инструментальных материалах и режущем инструменте;

– назначение устройства и правила использования режущих инструментов для механической обработки материалов.

#### **уметь:**

– различать и использовать инструментальные материалы;

– использовать режущие инструменты в процессе механической обработки материалов;

– контролировать геометрические параметры заточки рабочих частей инструмента.

**владеть:**

– методами и оборудованием для контроля геометрических параметров рабочей части режущего инструмента;

– навыками заточки и другими способами восстановления режущей способности инструмента;

– методами проектирования и расчета основных конструктивных параметров токарных резцов общего назначения, спиральных сверл и фрез.

**Формируемые компетенции**

*Академические компетенции*

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

*Социально-личностные компетенции*

СЛК-4. Владеть навыками здоровьесбережения.

СЛК-6. Уметь работать в команде.

*Профессиональные компетенции*

ПК-1. Управлять учебно-познавательной, учебно-исследовательской деятельностью обучающихся.

ПК-3. Организовывать и проводить учебные занятия различных видов.

ПК-10. Повышать уровень учебных возможностей обучающихся на основе системной педагогической диагностики.

## **Содержание учебного материала**

### **РАЗДЕЛ 1. Общие сведения о механической обработке материалов резанием**

Тема 1.1. Сущность и виды обработки материалов резанием.

Тема 1.2. Инструментальные материалы.

Условия работы инструмента и основные требования, предъявляемые к инструментальным материалам. Расшифровка марки инструментальных материалов. Инструментальные стали. Спеченные инструментальные твердые сплавы. Сверхтвердые инструментальные материалы на основе кубиче-

ского нитрида бора. Инструментальные материалы с износостойкими покрытиями. Пластинки и вставки из инструментальных материалов.

## **РАЗДЕЛ 2. Точение и строгание**

Тема 2.1. Геометрия токарного резца.

Конструктивные элементы резца. Исходные плоскости для определения геометрии резца. Углы лезвия резца. Основные типы токарных резцов.

Тема 2.2. Элементы режима резания и срезаемого слоя.

Элементы режимов резания при токарной обработке. Элементы и геометрия срезаемого слоя.

Тема 2.3. Сопротивление резанию при токарной обработке.

Силы сопротивления резанию при точении. Влияние различных факторов на силу резания. Смазочно-охлаждающие технологические средства.

Тема 2.4. Износ резцов.

Износ лезвия резца. Стойкость резцов. Факторы, влияющие на стойкость резца. Влияние различных факторов на скорость резания.

## **РАЗДЕЛ 3. Сверление, зенкерование, развертывание**

Тема 3.1. Осевой инструмент.

Процесс сверления. Конструкция и геометрия спирального сверла. Элементы режимов резания при сверлении. Влияние различных факторов на скорость резания при сверлении.

Тема 3.2. Зенкерование, развертывание.

Зенкерование. Развертывание.

Тема 3.3. Конструкции сверл, зенкеров, разверток.

Конструкции сверл. Способ подвода СОТС в зону резания. Конструкции зенкеров. Конструкции разверток. Комбинированный инструмент для обработки отверстий.

## **РАЗДЕЛ 4. Фрезерование**

Тема 4.1. Обработка материалов цилиндрическими фрезами.

Процесс фрезерования. Элементы режущей части цилиндрической фрезы. Элементы режимов резания при фрезеровании цилиндрическими фрезами. Силы резания и мощность при фрезеровании.

Тема 4.2. Обработка материалов торцовыми фрезами.

Назначение и особенности торцевых фрез. Геометрические параметры торцевых фрез. Элементы режимов резания.

Тема 4.3. Высокопроизводительные фрезы.

Общая классификация фрез.

Тема 4.4. Фрезы для зубонарезания.

Методы нарезания зубчатых колес. Дисковые и концевые модульные фрезы. Особенности конструкций косозубых и шевронных колес. Конструкции зуборезного инструмента по методу обкатки.

#### **РАЗДЕЛ 5. Резьбонарезной инструмент**

Тема 5.1. Нарезание резьбы резцами, гребенками, плашками и метчиками.

Методы резьбонарезания. Конструкция и геометрия резьбового резца. Нарезание резьбы гребенками. Конструкции плашек и метчиков.

#### **РАЗДЕЛ 6. Процесс протягивания**

Тема 6.1. Протяжной инструмент.

Сущность процесса протягивания. Методы протягивания. Конструктивные элементы протяжки.

#### **РАЗДЕЛ 7. Шлифование**

Тема 7.1. Абразивный инструмент.

Абразивные материалы. Классификация абразивного инструмента. Характеристика абразивного инструмента. Абразивный инструмент из сверхтвердых материалов.

#### **РАЗДЕЛ 8. Инструмент для деревообработки**

Тема 8.1. Особенности конструкции инструментов для деревообработки.

Методы деревообработки. Конструкция инструмента для обработки древесины.

#### **РАЗДЕЛ 9. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов**

Тема 9.1. Современные тенденции конструирования режущих инструментов.

Тема 9.2. Расчет и проектирование токарных резцов общего назначения.

Расчет и проектирование токарных резцов: последовательность выполнения, правила оформления чертежа, технических требований.

Тема 9.3. Расчет и проектирование спиральных сверл.

Расчет и проектирование сверл: последовательность выполнения, правила оформления чертежа, технических требований.

Тема 9.4. Расчет и проектирование фрез.

Расчет и проектирование фрез: последовательность выполнения, правила оформления чертежа, технических требований.

## РАЗДЕЛ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ

### Тема 1.1. СУЩНОСТЬ И ВИДЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ

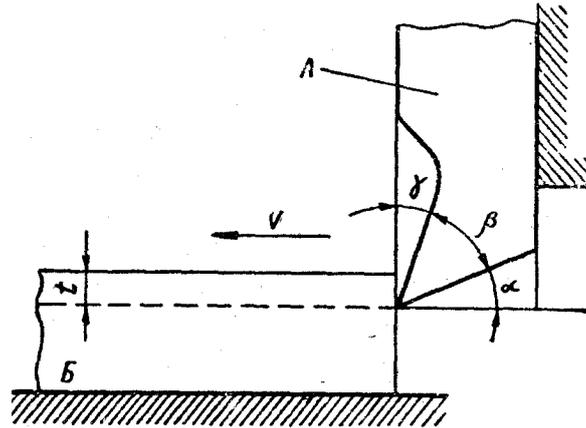
Обработка резанием является универсальным методом размерной обработки. Метод позволяет обрабатывать поверхности деталей различной формы и размеров с высокой точностью из наиболее используемых конструкционных материалов. Он обладает малой энергоемкостью и высокой производительностью.

Обработка резанием – обработка, заключающаяся в образовании новых поверхностей отделением поверхностных слоев материала с образованием стружки, т.е. это процесс получения детали требуемой геометрической формы, точности размеров, взаиморасположения и шероховатости поверхностей за счет механического срезания с поверхностей заготовки режущим инструментом материала технологического припуска в виде стружки.

Режущим инструментом называют инструмент для обработки резанием.

Основным режущим элементом любого инструмента является режущий клин – лезвие. Его твердость и прочность должны существенно превосходить твердость и прочность обрабатываемого материала, обеспечивая его режущие свойства. К инструменту прикладывается усилие резания, равное силе сопротивления материала резанию, и сообщается перемещение относительно заготовки со скоростью  $v$ . Под действием приложенного усилия режущий клин врезается в заготовку и, разрушая обрабатываемый материал, срезает с поверхности заготовки стружку.

Предположим, что в суппорте поперечно-строгального станка закреплен прямоугольный термически обработанный брусок  $A$  (рис. 1), а на столе станка в тисках закреплена заготовка  $B$ . При перемещении суппорта с закрепленным в нем бруском по направлению стрелки с заготовки  $B$  будет удален слой металла глубиной  $t$ . Если нижнюю плоскость бруска обрабатывать под углом  $\alpha$ , а переднюю направить под углом  $\gamma$ , то резание облегчится. Следовательно, изменив форму бруска, мы можем значительно уменьшить как трение его о поверхность резания, так и деформацию металла при образовании стружки.



**Рисунок 1. – Схема работы резца.**

Из рисунка 1 видно, что с увеличением углов  $\alpha$  и  $\gamma$  процесс резания будет протекать легче, так как чем острее клин, т.е. чем меньше угол, образованный передней и задней плоскостями, тем меньше усилия требуется для его врезания в металл. Угол, образованный передней и задней плоскостями, называется углом заострения и обозначается греческой буквой  $\beta$ . Таким образом, величина приложенного усилия будет зависеть от величины угла заострения: чем меньше угол заострения  $\beta$ , тем легче клин будет проникать в металл, и наоборот, чем больше угол заострения, тем труднее клину врезаться в металл. Но уменьшение угла заострения  $\beta$  приводит к механической непрочности резца. Это и ограничивает увеличение величины углов  $\alpha$  и  $\gamma$ .

В зависимости от используемого типа инструмента виды механической обработки подразделяются на лезвийную и абразивную.

*Лезвийный инструмент* (ГОСТ 25751-83) – режущий инструмент с заданным числом лезвий установленной формы.

*Абразивные инструменты* (ГОСТ 21445-81) – режущие инструменты, предназначенные для абразивной обработки, т.е. изготовленные из зерен шлифовальных материалов, сцепленных между собой связующим веществом (связкой) и разделенных друг от друга порами.

Отличительной особенностью лезвийной обработки является наличие у обрабатываемого инструмента острой режущей кромки определенной геометрической формы, а для абразивной обработки – наличие различным образом ориентированных режущих зерен абразивного материала, каждое из которых представляет собой микроклин.

К лезвийным инструментам относят: резцы, сверла, фрезы, зенкеры, развертки, долбяки, протяжки и т.п. инструменты.

*Резец* – однолезвийный инструмент для обработки с поступательным или вращательным главным движением резания и возможностью движения подачи в нескольких направлениях.

*Фреза* – лезвийный инструмент для обработки с вращательным главным движением резания инструмента без изменения радиуса траектории этого движения и хотя бы одним движением подачи, направление которого не совпадает с осью вращения.

*Сверло* – осевой режущий инструмент для образования отверстий в сплошном материале или для увеличения диаметра имеющегося отверстия.

*Зенкер* – осевой режущий инструмент для повышения точности формы отверстия и увеличения его диаметра.

*Развертка* – осевой режущий инструмент для повышения точности формы и размеров отверстий и уменьшения шероховатости поверхности.

*Метчик* – осевой многолезвийный инструмент для образования и обработки внутренней резьбы.

*Плашка* – осевой многолезвийный инструмент для образования и обработки наружной резьбы.

*Протяжка* – многолезвийный инструмент, лезвия режущего участка которого, расположенные один за другим в направлении главного движения резания, выступают одно над другим в направлении, перпендикулярном к направлению этого движения, осуществляемого без движения подачи.

*Долбяк* – металлорежущий инструмент для нарезания зубьев прямозубых и косозубых зубчатых колес наружного и внутреннего зацепления, зубчатых венцов шевронных колес с канавкой и без нее, зубчатых колес блоков, зубчатых колес с выступающими фланцами, ограничивающими свободный выход инструмента и зубчатых реек.

К абразивным инструментам относят: шлифовальный круг, шевер и т.п. инструменты, выполненные из абразивного материала.

*Шевер* – многолезвийный инструмент в виде зубчатого колеса с лезвиями на боковых поверхностях его зубьев, использующийся для обработки боковых поверхностей зубьев, при которой для осуществления резания используется относительное скольжение между зубьями инструмента и заготовки в процессе их зацепления.

*Шлифовальный круг* – пористое твердое тело, состоящее из зерен абразивного материала сцементированных друг с другом с помощью специальных связующих веществ.

Виды режущего инструмента представлены на рисунке 2.

На обрабатываемой заготовке различают обработанную поверхность и поверхность резания.

*Обработанной поверхностью* называется поверхность, полученная после снятия стружки.

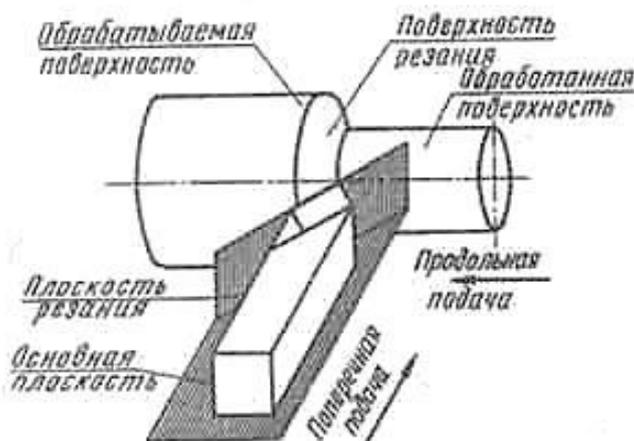
*Поверхностью резания* называется поверхность, образуемая на обрабатываемой заготовке непосредственно главной режущей кромкой.

В соответствии с трактовкой ГОСТ 25762-83, при резании на заготовке различают обрабатываемую поверхность, с которой срезается припуск, обработанную поверхность, с которой припуск срезан; и плоскость резания, образуемую в процессе обработки главной режущей кромкой инструмента (рис. 3).



**Рисунок 2. – Представители основных групп режущего инструмента**

Движения рабочих органов станков делят на движения резания, установочные и вспомогательные. Движения, которые вызывают срезание с заготовки слоя металла, называют движениями резания. К ним относят главное движение резания  $D_r$  и движение подачи  $D_s$ .



**Рисунок 3. – Положение плоскости резания, основной плоскости и обработанной поверхности при точении**

*Главное движение резания  $D_r$*  (главное движение) – прямолинейное поступательное или вращательное движение заготовки или режущего инструмента, происходящее с наибольшей скоростью в процессе резания. Главное движение резания может входить в состав сложного формообразующего движения (например, при точении резьбы).

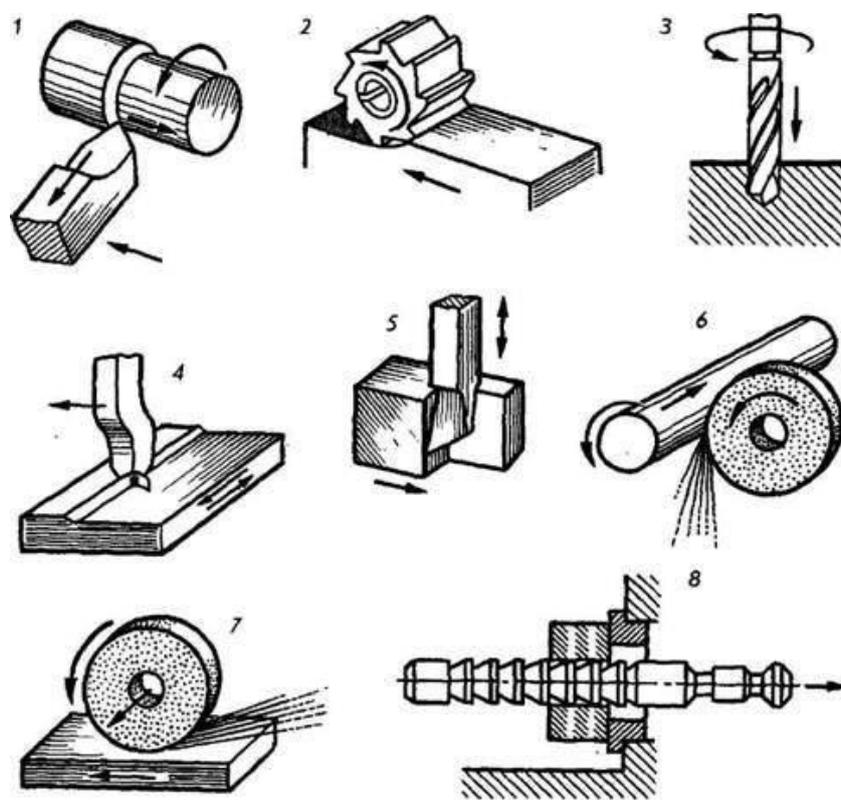
*Движение подачи  $D_s$*  (подача) – прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания, предназначенное для того, чтобы распространить отделение слоя материала на всю обрабатываемую поверхность.

Главное движение определяет скорость деформирования и отделения стружки, а движение подачи обеспечивает непрерывность врезания режущей кромки инструмента в материал заготовки. Эти движения могут быть непрерывными, прерывистыми, вращательными, поступательными, однако главное движение всегда одно, а движений подачи может быть несколько. Скорость главного движения резания обозначают  $v_r$ , скорость движения подачи –  $v_s$ .

Движения, обеспечивающие взаимное положение инструмента и заготовки для срезания с нее заданного слоя материала, называют установочными. К вспомогательным движениям относят закрепление заготовки

и инструмента, быстрое перемещение рабочих органов станка, переключение скоростей движений резания, транспортирование заготовки и т.д.

*Точение* – операция обработки тел вращения, винтовых и спиральных поверхностей резанием при помощи резцов на станках токарной группы. При точении (рис. 4, 1) заготовке сообщается вращательное движение (главное движение), а режущему инструменту (резцу) – медленное поступательное перемещение в продольном или поперечном направлении (движение подачи).



1 – точение, 2 – фрезерование, 3 – сверление, 4 – строгание, 5 – долбление, 6 – круглое шлифование, 7 – плоское шлифование, 8 – протягивание

Рисунок 4. – Виды механической обработки материалов резанием

*Фрезерование* – высокопроизводительный и распространенный процесс обработки материалов резанием, выполняемый на фрезерных станках. Главное (вращательное) движение получает фреза, а движение подачи – заготовка (рис. 4, 2).

*Сверление* – операция обработки материала резанием для получения отверстия. Режущим инструментом служит сверло, совершающее вращательное движение (главное движение) резания и осевое перемещение подачи (рис. 4, 3).

*Строгание* – способ обработки резанием плоскостей или линейчатых поверхностей. Главное движение (прямолинейное возвратно-поступательное) совершает изогнутый строгальный резец, а движение подачи (прямолинейное, перпендикулярное главному движению, прерывистое) – заготовка (рис. 4, 4).

*Долбление* – способ обработки резцом плоскостей или фасонных поверхностей. Главное движение (прямолинейное возвратно-поступательное) совершает резец, а движение подачи (прямолинейное, перпендикулярное главному движению, прерывистое) – заготовка (рис. 4, 5).

*Шлифование* – процесс чистовой и отделочной обработки деталей машин и инструментов посредством снятия с их поверхности тонкого слоя металла шлифовальными кругами, на поверхности которых расположены абразивные зерна. Главное движение, осуществляемое шлифовальным кругом – вращательное. При круглом шлифовании (рис. 4, 6) вращается одновременно и заготовка. При плоском шлифовании продольная подача осуществляется обычно заготовкой, а поперечная подача – шлифовальным кругом или заготовкой (рис. 4, 7).

*Протягивание* – процесс, производительность при котором в несколько раз больше, чем при строгании и даже фрезеровании. Главное движение – прямолинейное и режущее – вращательное (рис. 4, 8).

## Тема 1.2. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### 1.2.1. Условия работы инструмента и основные требования, предъявляемые к инструментальным материалам

Инструментальные материалы подразделяются на пять основных групп:

- инструментальные стали (углеродистые, легированные и быстрорежущие);
- металлокерамические твердые сплавы (группы ВК, ТК и ТТК);
- режущая керамика (оксидная, оксикарбидная и нитридная);
- абразивные материалы;
- сверхтвердые материалы СТМ (на основе алмаза и кубического нитрида бора).

Наиболее распространенная из этих групп – быстрорежущая сталь, из которой изготавливается около 60% инструмента, из металлокерамических твердых сплавов – около 30%, из остальных групп материалов – только около 10% лезвийного инструмента.

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 1,5 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 (табл. 1). 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.

3. Увеличение работоспособности режущего инструмента может быть достигнуто не только за счет повышения температуростойкости инструментального материала, но и благодаря улучшению условий отвода теплоты, выделяющейся в процессе резания на лезвии инструмента и вызывающей его нагрев до высоких температур. Чем большее количество теплоты отводится от лезвия вглубь инструмента, тем ниже температура на его контактных поверхностях. *Теплопроводность* инструментальных материалов зависит от их химического состава и температуры нагрева.

Таблица 1. – Теплостойкость и допустимая скорость резания инструментальных материалов

| Материал            | Теплостойкость, °С | Допустимая скорость при резании Стали 45, м/мин |
|---------------------|--------------------|---|
| Углеродистая сталь  | 200–250            | 10–15   |
| Легированная сталь  | 550–600            | 15–30   |
| Быстрорежущая сталь | 800–850            | 40–60   |
| Твердые сплавы:     |                    |   |
| Группа ВК           | 900–950            | 120–200   |
| Группы ТК и ТТК     | 1000–1050          | 150–250   |
| Безвольфрамовые     | 800–850            | 100–300   |
| С покрытием         | 1000–1100          | 200–300   |
| Керамика            | 1200–1250          | 400–600   |

4. Важным требованием является достаточно *высокая прочность* инструментального материала. Инструментальный материал должен иметь достаточный уровень ударной вязкости и сопротивляться появлению трещин (т.е. иметь *высокую трещиностойкость*).

5. Инструментальный материал должен иметь *высокую износостойкость* при повышенной температуре, т.е. обладать хорошей сопротивляемостью истиранию обрабатываемым материалом, которая проявляется в сопротивлении материала контактной усталости.

6. Необходимым условием достижения высоких режущих свойств инструмента является низкая *физико-химическая активность* инструментального материала по отношению к обрабатываемому.

7. Инструментальный материал должен обладать *высокой технологичностью*, обеспечивающей оптимальные условия изготовления из него инструментов. Для инструментальных сталей ими являются хорошая обрабатываемость резанием и давлением; благоприятные особенности термической обработки (малая чувствительность к перегреву и обезуглероживанию, хорошие закаливаемость и прокаливаемость, минимальные деформирование и образование трещин при закалке и т.д.); хорошая шлифуемость после термической обработки.

8. Немаловажным свойством инструментальных материалов является *экономичность*, которая в конечном итоге определяет реальные возможности любого производства.

Твердость и прочность инструментальных материалов являются весьма противоречивыми свойствами: чем выше твердость материала, тем ниже его прочность. Набор таких основных свойств, как экономичность, прочность, твердость и теплопроводность и определяют область и условие

рационального использования инструментального материала в режущем инструменте.

При обработке конструкционных сталей на малых и средних скоростях резания в сочетании со средними и большими сечениями среза большие преимущества получают инструменты из быстрорежущей стали.

Углеродистые инструментальные стали в настоящее время применяются для изготовления ручного режущего инструмента.

### **1.2.2. Расшифровка марки инструментальных материалов**

Расшифровка марок сталей не очень сложное дело, если знать какими буквами принято обозначать те или иные химические элементы, входящие в состав марки или сплава. Например, буквой Х обозначается хром, Н – никель, К – кобальт, М – молибден, В – вольфрам, Т – титан, Д – медь, Г – марганец, С – кремний, Ф – ванадий, Р – бор, А – азот, Б – ниобий, Е – селен, Ц – цирконий, Ю – алюминий, Ч – показывает наличие редкоземельных металлов.

Также существуют свои обозначения для разных типов сталей в зависимости от их состава и предназначения. Буквенные обозначения применяются также для указания способа раскисления стали: «кп» – кипящая сталь; «пс» – полуспокойная сталь; «сп» – спокойная сталь.

Конструкционные нелегированные стали обыкновенного качества, в некоторых случаях применяемые для изготовления корпусных или присоединительных частей режущего инструмента, обозначают буквами Ст (например, Ст3кп). Цифра, стоящая после букв – условный номер марки в зависимости от химического состава. Для сталей она обозначает процентное содержание углерода (в десятых долях), индекс «кп» указывает на то, что сталь относится к кипящей. Отсутствие индекса означает, что сталь спокойная.

Конструкционные нелегированные качественные стали (например, Ст30; Ст45), обозначают двузначным числом, указывающим на среднее содержание углерода в стали 0,30%; 0,45%; и т.д.

Конструкционная низколегированная 09Г2С расшифровывается как сталь, углерода в которой около 0,09% и содержание легирующих компонентов (марганца, кремния и других) составляет в сумме менее 2,5%.

Конструкционные легированные стали, такие как 20Х; 30Х; 40Х обозначают буквами и цифрами. В данном случае марка показывает содержание углерода и основного легирующего элемента хрома. Цифры после каждой буквы обозначают примерное содержание соответствующего эле-

мента в целых единицах, однако при содержании легирующего элемента менее 1,5% цифра после соответствующей буквы не ставится.

Содержание серы и фосфора не должно превышать 0,03% для каждого из этих элементов, поэтому в конце таких марок ставится буква **A** (высококачественная сталь), что свидетельствует о дополнительных показателях качества марок, (например, 20ХН4ФА; 38ХНЗМА).

Стали инструментальные нелегированные, делят на качественные, обозначаемые буквой **У** и цифрой, указывающей среднее содержание углерода (например, У7; У8; У10) и высококачественные, обозначаемые дополнительной буквой **A** в конце наименования (например, У8А; У10А; У12А) или дополнительной буквой **Г**, указывающей на дополнительное увеличение содержания марганца (например, У8ГА).

Стали инструментальные легированные обозначаются так же, как и конструкционные легированные. Например, сталь ХВГ расшифровывается как сталь, в которой основными легирующими элементами являются: *хром, вольфрам, марганец*. Эта сталь отличается от 9ХВГ повышенным содержанием в ней углерода (примерно 1%), поэтому цифра в начале марки не ставится.

Стали быстрорежущие расшифровываются следующим образом: такие марки имеют букву **Р** (с этого начинается обозначение стали), затем следует цифра, указывающая среднее содержание вольфрама (например, Р18; Р9), затем следуют буквы и цифры, определяющие массовое содержание элементов (например, сталь Р6М5). Цифра **5** показывает долю молибдена в этой марке. Содержание хрома не указывают, т.к. оно составляет стабильно около 4% во всех быстрорежущих сталях. Содержание углерода также не указывается, поскольку оно всегда пропорционально содержанию ванадия в сплаве. Следует заметить, что если содержание ванадия превышает 2,5%, то указывается буква **Ф** и цифра (например, стали Р6М5Ф3).

### **1.2.3. Инструментальные стали**

#### *Углеродистые инструментальные стали*

Углеродистые стали служили основным материалом для изготовления режущего инструмента еще до 70-х годов прошлого века. Содержание углерода в сталях, от величины которого во многом зависят свойства стали, составляет 0,6–1,4%. Помимо железа и углерода, эти стали содержат 0,2–0,4% марганца. После соответствующей термической обработки эти стали могут иметь твердость HRC 58–64. Однако инструмент из углеродистых сталей при резании выдерживает нагрев до температуры 200–250 °С.

При большей температуре нагрева твердость инструмента резко снижается, и он быстро выходит из строя. Для изготовления некоторых металлорежущих и деревообрабатывающих инструментов наибольшее применение находят инструментальные углеродистые стали марок У10А и У12А.

#### *Легированные инструментальные стали*

Режущую способность инструментальной углеродистой стали можно повысить введением в нее легирующих элементов (присадок) – хрома, вольфрама, молибдена, ванадия и др. Стали с такими присадками называются легированными.

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 склонностью 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).

#### *Быстрорежущие стали общего назначения*

Широкое использование быстрорежущих сталей для изготовления сложнопрофильных инструментов определяется сочетанием высоких значений твердости (до HRC  $\cong$  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.

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

К сталям *нормальной теплостойкости* относятся вольфрамовая Р18 (вследствие дороговизны практически не используется) и вольфрамомолибденовая Р6М5 стали (табл. 2).

Эти стали имеют твердость в закаленном состоянии 63–64 HRC, предел прочности при изгибе 2900–3400 МПа, ударную вязкость 2,7–4,8 Дж/м<sup>2</sup> и теплостойкость 600–620 °С. Указанные марки стали получили наиболее широкое распространение при изготовлении режущих инструментов. Объем производства стали Р6М5 достигает 80% от всего объема выпуска

быстрорежущей стали. Она используется при обработке конструкционных сталей, чугунов, цветных металлов, пластмасс.

Таблица 2. – Химический состав быстрорежущих сталей

| Марка стали                            | Массовая доля, % |         |            |         |         |          |          |
|--|------------------|---------|------------|---------|---------|----------|----------|
|  | Углерод          | Хром    | Вольфрам   | Ванадий | Кобальт | Молибден | Азот     |
| <i>Стали нормальной теплостойкости</i> |                  |         |            |         |         |          |          |
| P18                                    | 0,73–0,83        | 3,8–4,4 | 17,0–18,5  | 1,0–1,4 | до 0,5  | до 1,0   | -        |
| P6M5                                   | 0,82–0,90        | 3,8–4,4 | 5,5–6,5    | 1,7–2,1 | до 0,5  | 4,8–5,3  | -        |
| <i>Стали повышенной теплостойкости</i> |                  |         |            |         |         |          |          |
| 11P3AM3Φ2                              | 1,02–1,12        | 3,8–4,3 | 2,5–3,3    | 2,3–2,7 | до 0,5  | 2,5–3,0  | 0,05–0,1 |
| P6M5Φ3                                 | 0,95–1,05        | 3,8–4,3 | 5,7–6,70   | 2,3–2,7 | до 0,5  | 4,8–5,3  | -        |
| P12Φ3                                  | 0,95–1,05        | 3,8–4,3 | 12,0–13,0  | 2,5–3,0 | до 0,5  | до 0,5   | -        |
| P18K5Φ2                                | 0,85–0,95        | 3,8–4,4 | 17,0–18,50 | 1,8–2,2 | 4,7–5,2 | до 1,0   | -        |
| P9K5                                   | 0,90–1,0         | 3,8–4,4 | 9,0–10,0   | 2,3–2,7 | 5,0–6,0 | до 1,0   | -        |
| P6M5K5                                 | 0,94–0,92        | 3,8–4,3 | 5,7–6,7    | 1,7–2,1 | 4,7–5,2 | 4,8–5,3  | -        |
| P9M4K8                                 | 1,0–1,10         | 3,0–3,6 | 8,5–9,5    | 2,3–2,7 | 7,5–8,5 | 3,8–4,3  | -        |
| P2AM9K5                                | 1,0–1,10         | 3,8–4,4 | 1,5–2,0    | 1,7–2,1 | 4,7–5,2 | 8,0–9,0  | 0,05–1,1 |
| <i>Стали высокой теплостойкости</i>    |                  |         |            |         |         |          |          |
| B11M7K23                               | 0,10             | -       | 11,0       | 0,5     | 23,0    | 7,0      | -        |
| B14M7K25                               | 0,10             | -       | 14,0       | 0,5     | 25,0    | 7,0      | -        |
| 3B20K20X4Φ                             | 0,25             | 4,0     | 20,0       | 1,0     | 20,0    | -        | -        |

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

Среди ванадиевых сталей наибольшее применение получила марка P6M5Φ3.

Ванадиевые быстрорежущие стали используются для инструментов несложных форм при чистовых и получистовых условиях резания для обработки материалов, обладающих повышенными абразивными свойствами.

Среди кобальтовых сталей наибольшее применение нашли марки P6M5K5, P9M4K8, P9K5, P2AM9K5 и др. Введение кобальта в состав быстрорежущей стали наиболее значительно повышает ее твердость (до 66–68 HRC) и теплостойкость (до 640–650 °C). Кроме того, повышается теплопроводность стали, так как кобальт является единственным легирующим элементом, приводящим к такому эффекту.

Это дает возможность использовать их для обработки жаропрочных и нержавеющей сталей и сплавов, а также конструкционных сталей повы-

шенной прочности. Период стойкости инструментов из таких сталей в 3–5 раз выше, чем из сталей Р6М5.

Стали *высокой теплостойкости* характеризуются пониженным содержанием углерода, но весьма большим количеством легирующих элементов – В11М7К23, В14М7К25, 3В20К20Х4Ф. Они имеют твердость 69–70 HRC и теплостойкость 700–720 °С. Наиболее рациональная область их использования – резание труднообрабатываемых материалов и титановых сплавов.

В связи со все более возрастающей дефицитностью вольфрама и молибдена – основных легирующих элементов, используемых при производстве быстрорежущей стали, все большее применение находят экономнолегированные марки. Среди сталей этого типа наибольшее применение получила сталь 11Р3АМ3Ф2, которая используется при производстве инструмента, так как обладает достаточно высокими показателями по твердости (HRC 63–64), прочности (3400 МПа) и теплостойкости (до 620 °С). Сталь 11Р3АМ3Ф2 технологична в металлургическом производстве, однако из-за худшей шлифуемости ее применение ограничено инструментами простой формы, не требующими больших объемов абразивной обработки (пилы по металлу, резцы и т.п.).

#### *Порошковые быстрорежущие стали*

Порошковая быстрорежущая сталь характеризуется однородной мелкозернистой структурой, равномерным распределением карбидной фазы, пониженной деформируемостью в процессе термической обработки, хорошей шлифуемостью, более высокими технологическими и механическими свойствами, чем сталь аналогичных марок, полученных по традиционной технологии.

Основные примеры разработки новых составов порошковой быстрорежущей стали сводятся к возможности введения в состав до 7% ванадия и значительного в связи с этим повышения износостойкости без ухудшения шлифуемости. В Украине выпускают ряд марок порошковой стали: Р7М2Ф6-МП, Р6М5Ф3-МП, Р9М2Ф6К5-МП, Р12МФ5-МП и др. по ГОСТ 28369-89.

#### *Карбидосталь*

Карбидосталь отличается от обычной быстрорежущей стали высоким содержанием карбидной фазы (в основном карбидов титана), что достигается путем смешивания порошка быстрорежущей стали и мелкодисперсных частиц карбида титана. Содержание TiC в карбидостали составляет 20%. Пластическим деформированием спрессованного порошка получают заготовки простой формы. В отожженном состоянии твердость карбидостали составляет HRC 40–44, а после закалки и отпуска – HRC 68–70.

При использовании в качестве материала режущего инструмента карбидосталь обеспечивает повышение стойкости в 1,5–2 раза по сравнению с аналогичными марками обычной технологии производства.

#### 1.2.4. Спеченные инструментальные 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 (рис. 5).

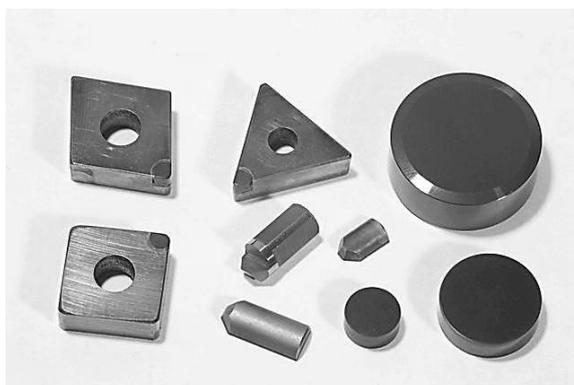


Рисунок 5. – Типы твердосплавных пластин

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 связок из кобальта или никеля в смеси с молибденом.

Твердые сплавы по составу и областям применения можно разделить на четыре группы: *вольфрамо-кобальтовые* (WC-Co), *титано-вольфрамо-кобальтовые* (WC-TiC-Co), *титано-тантало-вольфрамо-кобальтовые* (WC-TiC-TaC-Co), *безвольфрамовые* (на основе TiC, TiCN с различными связками).

##### *Вольфрамокобальтовые сплавы*

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 из-

готовления. Для оснащения металлорежущего инструмента применяют сплавы с содержанием кобальта 3–10%.

В табл. 3 приведены состав и характеристики основных физико-механических свойств твердых сплавов в соответствии с ГОСТ 3882-74.

Таблица 3. – Состав и характеристики основных физико-механических свойств сплавов на основе WC-Co (группа BK)

| Сплав   | Состав сплава, % |     |    | Характеристики физико-механических свойств                 |  |               |
|---------|------------------|-----|----|--|--|---------------|
|         | WC               | TaC | Co | Предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ , МПа, не менее | Плотность $\rho \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup> | HRA, не менее |
| BK3     | 97               | -   | 3  | 1176   | 15,0–15,3  | 89,5          |
| BK3-M   | 97               | -   | 3  | 1176   | 15,0–15,3  | 91,0          |
| BK4     | 96               | -   | 4  | 1519   | 14,9–15,2  | 89,5          |
| BK6     | 94               | -   | 6  | 1519   | 14,6–15,0  | 88,5          |
| BK6-M   | 94               | -   | 6  | 1421   | 14,8–15,1  | 90,0          |
| BK6-OM  | 92               | 2   | 6  | 1274   | 14,7–15,0  | 90,5          |
| BK8     | 92               | -   | 8  | 1666   | 14,4–14,8  | 87,5          |
| BK10    | 90               | -   | 10 | 1764   | 14,2–14,6  | 87,0          |
| BK10-M  | 90               | -   | 10 | 1617   | 14,3–14,6  | 88,0          |
| BK10-OM | 88               | 2   | 10 | 1470   | 14,3–14,6  | 88,5          |

В условном обозначении сплава цифра показывает процентное содержание кобальтовой связки. Например, обозначение BK6 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 BK при одинаковом содержании кобальта обладают более высокими ударной вязкостью и пределом прочности при изгибе, а также лучшей тепло- и электропроводностью.

Сплавы с размерами карбидов от 3 до 5 мкм относятся к крупнозернистым и обозначаются буквой B (BK6-B), с размерами карбидов от 0,5 до 1,5 мкм буквой M (мелкозернистым BK6-M), а с размерами, когда 70% зерен менее 1,0 мкм – OM (особо мелкозернистым BK6-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).

Сплав BK3 с минимальным содержанием кобальта, как наиболее износостойкий, но наименее прочный, рекомендуется для чистовой обработ-

ки с максимально допустимой скоростью резания, но с малыми подачей и глубиной резания, а сплавы ВК8, ВК10М и ВК10-ОМ – для черновой обработки с пониженной скоростью резания и увеличенным сечением среза в условиях ударных нагрузок.

Твердые сплавы на основе WC-Co рекомендуют для обработки серых, модифицированных и отбеленных чугунов, цветных металлов и их сплавов, стеклопластиков и других подобных материалов, дающих короткую сыпучую стружку надлома.

Сплавы WC-Co рекомендуются также для обработки труднообрабатываемых высокопрочных и жаропрочных материалов, особенно сплавов на основе никеля и титана.

#### *Титано-вольфрамо-кобальтовые сплавы*

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 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.

В таблице 4 приведены состав и характеристики основных физико-механических свойств сплавов группы ТК.

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. Разработан сплав Т4К8 для замены стандартного сплава Т5К10. Предел прочности его при изгибе – 1600 МПа, в то время как у сплава Т5К10 он составляет 1400 МПа. Предельная пластическая деформация Т4К8 – 1,6%, а у сплава Т5К10 – 0,4%.

Таблица 4. – Состав и характеристики физико-механических свойств сплавов на основе WC-TiC-Co, группа ТК

| Сплав | Состав, % |     |    | $\sigma_{изг}$ , МПа | Плотность<br>$\rho \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup> | HRA<br>не менее |
|-------|-----------|-----|----|----------------------|---|-----------------|
|       | WC        | TiC | Co |                      |   |                 |
| Т30К4 | 66        | 30  | 4  | 980                  | 9,5–9,8   | 92,0            |
| Т15К6 | 79        | 15  | 6  | 1176                 | 11,1–11,6   | 90,0            |
| Т14К8 | 78        | 14  | 8  | 1274                 | 11,2–11,6   | 89,5            |
| Т5К10 | 85        | 6   | 9  | 1421                 | 12,4–13,1   | 88,5            |
| Т5К12 | 83        | 5   | 12 | 1666                 | 13,1–13,5   | 87,0            |

### *Титано-тантало-вольфрамо-кобальтовые сплавы*

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.

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

В таблице 5 приведены состав и характеристики основных физико-механических свойств сплавов в соответствии с ГОСТ 3882-74.

Таблица 5. – Состав и характеристики физико-механических свойств сплавов на основе TiC-WC-TaC-Co (группа ТТК)

| Сплав   | Состав, % |     |      |     | $\sigma_{изг}$ , МПа,<br>не менее | $\rho \cdot 10^{-3}$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | HRA,<br>не менее |
|---------|-----------|-----|------|-----|-----------------------------------|---|------------------|
|         | WC        | TiC | TaC  | Co  |                                   |   |                  |
| ТТ7К12  | 81        | 4   | 3    | 12  | 1666                              | 13,0–13,3                                   | 87,0             |
| ТТ8К6   | 84        | 8   | 2    | 6   | 1323                              | 12,8–13,3                                   | 90,5             |
| ТТ10К8Б | 82        | 3   | 7    | 8   | 1617                              | 13,5–13,8                                   | 89,0             |
| ТТ20К9  | 67        | 9,4 | 14,1 | 9,5 | 1470                              | 12,0–13,0                                   | 91,0             |

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. 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.

Твердые сплавы на основе WC-TiC-TaC-Co рекомендуют при прерывистом резании, например при фрезеровании.

### *Безвольфрамовые твердые сплавы*

В связи с дефицитностью вольфрама и кобальта промышленность выпускает безвольфрамовые твердые сплавы на основе карбидов и карбонитридов титана с никельмолибденовой связкой (табл. 6).

По твердости БВТС находятся на уровне вольфрамосодержащих сплавов (группы ВК), по прочностным характеристикам и особенно по модулю упругости им уступают. Твердость БВТС по Виккерсу при повышенных температурах в диапазоне температур 293–1073 К несколько ниже, чем твердость вольфрамосодержащего сплава Т15К6.

Таблица 6. – Состав и характеристики физико-механических свойств безвольфрамовых твердых сплавов

| Сплав | Состав, %             |                                 |             |               | $\rho$ ,<br>г/см <sup>3</sup> | $\lambda$ ,<br>Вт/(м·К) | $\alpha \cdot 10^6$ ,<br>К <sup>-1</sup> | $\sigma_{изг}$ ,<br>МПа,<br>не<br>ме-<br>нее | HRA,<br>не<br>ме-<br>нее |
|-------|-----------------------|---------------------------------|-------------|---------------|-------------------------------|-------------------------|--|--|--------------------------|
|       | Кар-<br>бид<br>титана | Кар-<br>бонит-<br>рид<br>титана | Ни-<br>кель | Мо-<br>либден |                               |                         |  |  |                          |
| КНТ16 | -                     | 74                              | 19,5        | 6,5           | 5,5–<br>6,0                   | 12,6–<br>21,0           | 8,5–<br>90                               | 1200   | 89                       |
| ТН20  | 79                    | -                               | 15          | 6,0           | 5,5–<br>6,0                   | 8,4–14,7                | 8,5–<br>90                               | 1050   | 90                       |

БВТС имеют низкую окисляемость. Наибольшей термостойкостью обладает сплав КНТ16, у сплава ТН20 она значительно ниже. Поэтому из сплава КНТ16 целесообразно изготавливать инструмент, работающий при прерывистом резании, например при фрезеровании. Средняя «ломающая подача», при которой происходит разрушение лезвия, составляет 0,3 мм/зуб для сплава ТН20, а для сплава КНТ16 – 0,54 мм/зуб. При выборе режимов резания подача не должна превышать этих значений, а глубина резания – 5 мм.

Наибольшей износостойкостью обладает сплав ТН20. При точении стали 45 и стали 40Х при  $t = 1$  мм и  $S = 0,2$  мм/об стойкость сплава ТН20 выше стойкости сплава Т15К6 во всем диапазоне скорости резания (от 200 до 600 м/мин).

#### *Естественные и искусственные алмазы*

**Алмазный инструмент** изготавливается с использованием природного или синтетического алмаза, которым оснащается его режущая часть. К алмазному инструменту относятся шлифовальные круги и бруски (рис. 6), хоны, резцы и фрезы с алмазными пластинками (рис. 7); фильеры; карандаши и ролики для правки абразивных инструментов (рис. 8); выглаживающий инструмент (гладилки); буровой инструмент.



**Рисунок 6. – Алмазные шлифовальные (а) и отрезные круги (б)**



**Рисунок 7. – Алмазная фреза «MICROTECH»**



**Рисунок 8. – Карандаши для правки абразивного инструмента**

Кроме того, в машиностроении применяют алмазные пасты и шлифпорошки, главным образом для притирки деталей и доводки поверхностей. В зависимости от размера фракции, алмазные порошки делят на: шлифпорошки, микропорошки и субмикропорошки.

Алмазные шлифпорошки, в зависимости от вида сырья, из которого они изготовлены, обозначают буквенными индексами по ГОСТ 9206-80: А – из природных алмазов; АС – из синтетических алмазов; АР – из синтетических поликристаллических алмазов. Микропорошки и субмикропорошки из природных алмазов обозначают буквенными индексами АМ, из синтетических алмазов – АСМ.

При обозначении микропорошков из природных и синтетических алмазов повышенной абразивной способности индекс М заменяют на ин-

декс Н, т.е. АН, АСН. Шлифпорошки из синтетических поликристаллических алмазов типа «баллас» (В), «карбонадо» (К) или «спеки» (С) обозначают соответственно АРВ, АРК, АРС в зависимости от типа поликристаллического алмаза.

Помимо буквенных обозначений добавляют цифровые индексы:

- в шлифпорошках из природных алмазов цифровой индекс соответствует десяткам процентов содержания зерен изометричной формы, например: А1, А2, А3, А5, А8;

- в шлифпорошках из синтетических алмазов цифровой индекс соответствует среднеарифметическому значению показателей нагрузки при сжатии единичных зерен всех зернистостей данной марки, выраженному в ньютонах, например: АС2, АС4, АС6, АС 15, АС20, АС32, АС50;

- в шлифпорошках из синтетических поликристаллических алмазов индекс соответствует среднеарифметическому значению показателей нагрузки на сжатие единичных зерен всех зернистостей данной марки, выраженному в сотых долях Ньютонов;

- в субмикрпорошках цифровой индекс означает долю зерен крупной фракции в процентах, например: АМ5, АСМ5, АМ1, АСМ1.

### 1.2.5. Сверхтвердые инструментальные материалы на основе кубического нитрида бора

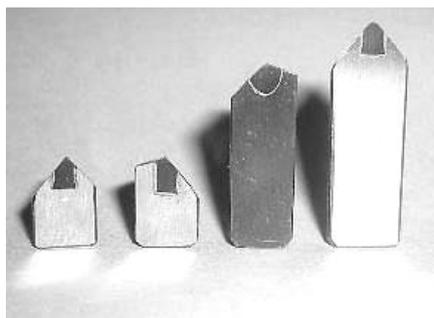
Синтетические сверхтвердые материалы изготавливаются либо на основе кубического нитрида бора – КНБ, либо на основе алмазов.

Основные характеристики приведены в таблице 7.

В последнее время к этой группе относятся и материалы, содержащие композицию Si-Al-O-N ( торговая марка «Сиалон»), в основе которых – нитрид кремния Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>.

Таблица 7. – Физико-механические свойства СТМ на основе КНБ

| Марка сплава | Коэф. теплопроводности, Вт/м | Коэф. линейного расширения, X 10 <sup>6</sup> К <sup>-1</sup> | Предел прочности при изгибе, МПа | Предел прочности при сжатии, МПа |
|--------------|------------------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|
| Композит 01  | 60                           | -   | -                                | 2700                             |
| Композит 02  | -                            | -   | 400–500                          | 3000                             |
| Композит 05  | -                            | -   | 470                              | 2200                             |
| Композит 09  | -                            | -   | 700–1000                         | 5000                             |
| Композит 10  | 25                           | -   | 1000–1500                        | 2000–4000                        |
| Киборит      | 100                          | -   | -                                | 2900–3200                        |
| Вюрцин       | 28                           | 7,9   | 800                              | -                                |
| Боразон      | 100–135                      | 5,6   | -                                | -                                |
| Амборит      | 100                          | 4,9   | 570                              | 2730                             |
| Сумиборон    | 38                           | 5,6   | -                                | -                                |



**Рисунок 9. – Вставки режущие из кубического нитрида бора Композит 09**

Синтетические материалы поставляются в виде заготовок (рис. 9) или готовых сменных пластин.

### **1.2.6. Инструментальные материалы с износостойкими покрытиями**

В мировой практике металлообработки все большее применение находят инструментальные материалы с покрытиями. Тонкие «пленочные» покрытия толщиной от 2 до 10 мкм наносят на поверхность заточенного и доведенного инструмента из быстрорежущей стали, твердого сплава и режущей керамики, которые позволяют улучшить ряд служебных характеристик инструмента и значительно изменить условия его работы. Снижение сил и температур резания на 20–40%, позволяет повысить стойкость режущего инструмента в 2 и более раза или увеличить скорость резания от 20 до 60% и значительно улучшить шероховатость обработанной поверхности.

К износостойкому покрытию для режущего инструмента предъявляется ряд требований:

1. Высокая микротвердость, в 1,5–2 раза превышающая твердость инструментального материала;
2. Высокая износостойкость (т.е. необходимо обладать сопротивлением к поверхностному усталостному разрушению);
3. Низкая склонность к адгезии (химическому взаимодействию) с обрабатываемым материалом;
4. Сохранение основных свойств при высоких температурах (быть устойчивым к коррозии и окислению);
5. Минимальная способность к диффузионному растворению в обрабатываемом материале;
6. Высокая прочность сцепления с инструментальным материалом.

У *многослойных* покрытий нижний слой, прилегающий к инструментальному материалу, обеспечивает прочное сцепление с ним, а верхний – ми-

нимальное схватывание с обрабатываемым материалом. Промежуточные слои могут выполнять роль связующих слоев, слоев с тепловыми барьерами или слоев, препятствующих продвижению трещин при разрушении покрытий. *Композиционные* покрытия – это покрытия изменяющие свой состав и свойства по толщине, например, для быстрорежущего инструмента состав покрытия может постепенно переходить от нитрида циркония (ZrN), обеспечивающего наилучшее сцепление с инструментальной подложкой, к нитриду ниобия (NbN), дающего аномально низкое схватывание с железосодержащими обрабатываемыми материалами.

В качестве материалов для покрытий используют карбиды, нитриды, карбонитриды, бориды и силициды тугоплавких металлов IV–VI групп периодической системы элементов (IV – титан, цирконий, гафний; V – ванадий, ниобий, тантал; VI – хром, молибден, вольфрам). Применяется также оксид алюминия  $Al_2O_3$  и алмазоподобные покрытия на основе углерода. Наибольшее распространение для нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент получили методы химического (газофазного) осаждения покрытий (ХОП) или методы *CVD* (Chemical Vapour Deposition), термодиффузионное насыщение поверхности (ТДН) и физическое осаждение покрытий в вакууме (ФОП) или *PVD* (Physical Vapour Deposition).

### **1.2.7. Пластинки и вставки из инструментальных материалов**

Согласно ГОСТ 19042-80 многогранные пластины разделяются на режущие, опорные и стружколомы.

Первые используют для изготовления рабочей части инструмента, вторые являются опорой режущих пластин, обеспечивают их точное базирование и продолжительный срок службы державки. Стружколомы используются для дробления стружки.

#### **Классификация пластин**

Пластины различаются по конструкции, размерам, точности изготовления, исполнению. В зависимости от конструкции различают тип пластины, форму, тип режущей кромки.

Пластины различают по следующим признакам:

*1. В зависимости от числа рабочих граней:*

односторонние – R, M; двусторонние – N, A, F, G.

Двусторонние пластины могут работать одной и другой стороной. Это увеличивает срок их службы, но они имеют меньшую жесткость, прочность, менее устойчивую опорную поверхность.

*2. В зависимости от формы передней грани:*

с плоской гранью – N, A; со стружколомающими канавками – R, M, F, G.

3. В зависимости от наличия отверстия:

без отверстия – N, R, F; с отверстием – A, M, G.

4. В зависимости от величины заднего угла:

с задним углом, равным нулю;

с задним углом больше нуля.

Величина заднего угла, равного нулю, обозначается буквой N. В этом случае требуемая величина заднего угла резца обеспечивается соответствующей установкой пластины в державке.

По этому признаку пластины разбиваются на четыре группы:

I. Равносторонние и равноугольные (правильный многоугольник и круг) – H, O, P, R, S, T.

II. Равносторонние и неравноугольные (ромб, неправильный шестиугольник) – C, D, E, M, V, W.

III. Неравносторонние и равноугольные (прямоугольные) – L.

IV. Неравносторонние и неравноугольные (параллелограмм) – A, B, K, F. ГОСТ 19042-80 предусматривает четыре типа исполнения режущей кромки: острые кромки ( $r \leq 0,02$  мм); округленные кромки; кромки с фаской; кромки с фаской и округленные.

5. По длине режущей кромки:

Длина режущей кромки определяется теоретически (без учета закругления вершины). Для круглых пластин указывается диаметр пластины, для неравносторонних – главная режущая кромка или самая длинная кромка.

Для каждой формы пластин стандарт устанавливает определенную длину режущей кромки. Так, для пластин формы T установлено четыре размера (в мм): 11,0; 16,5; 22,0; 27,5. Для пластин формы S установлены размеры: 9,525; 12,700; 15,875; 19,050; 25,400 и т.д.

6. По толщине пластины:

Регламентированная толщина пластин в мм: 3,18; 4,76; 6,35; 7,93.

7. По величине радиуса при вершине.

Величина радиуса при вершине в мм: 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,4.

8. По классу точности:

По ГОСТ 19042-80 установлено пять классов точности пластин: C, E, G, M, N.

Различают три типа исполнения пластин для направления резания:

R – только правого;

L – только левого;

N – правого и левого.

### **Обозначение пластин**

Для обозначения СМП применяется 13-разрядный индекс, 10 разрядов которого являются обязательными.

Первые четыре разряда – буквы:

- 1 – форма пластины;
- 2 – величина заднего угла;
- 3 – точность изготовления пластины;
- 4 – тип пластины.

Далее через тире следует шесть цифровых разрядов:

- 5, 6 – длина режущей кромки;
- 7, 8 – толщина пластины;
- 9, 10 – величина радиуса при вершине.

Размеры указываются в мм; дробная часть размеров опускается; если размер выражается одной цифрой, то в старшем разряде ставится ноль. При обозначении радиуса при вершине указывается число десятых долей в мм.

Например, треугольная пластина с нулевым задним углом, с классом точности М, с отверстием, с односторонними стружколомающими канавками, с размерами  $l = 16,5$ ;  $S = 4,76$ ;  $R = 0,8$ , имеющая режущие кромки с фаской правого исполнения будет обозначаться как TNMM – 160408 TR.

Опорные пластины обозначаются буквой О, которая ставится вначале, стружколомы – буквой С. Например, OTN – трехгранная опорная пластина без заднего угла, CS – квадратный стружколом.

## РАЗДЕЛ 2. ТОЧЕНИЕ И СТРОГАНИЕ

### Тема 2.1. ГЕОМЕТРИЯ ТОКАРНОГО РЕЗЦА

#### 2.1.1 Конструктивные элементы резца

Токарные резцы используют на токарных (или подобных им) станках для получения из заготовок деталей с цилиндрическими, коническими, фасонными и торцовыми поверхностями, образующимися в результате вращения заготовки и перемещения резца. Точение – одна из основных операций обработки резанием, выполняемая на металлорежущих станках и деревообрабатывающих станках токарной группы, обычно при вращательном движении изделия и поступательном движении резца.

В общем парке металлорежущих станков токарные станки (включая токарные полуавтоматы и револьверные станки) составляют около 35%, поэтому токарные резцы являются наиболее распространенным и к тому же наиболее простым видом режущего инструмента.

Основным режущим инструментом, служащим для оснащения токарных станков, является резец, геометрические элементы которого представлены на рисунке 10.

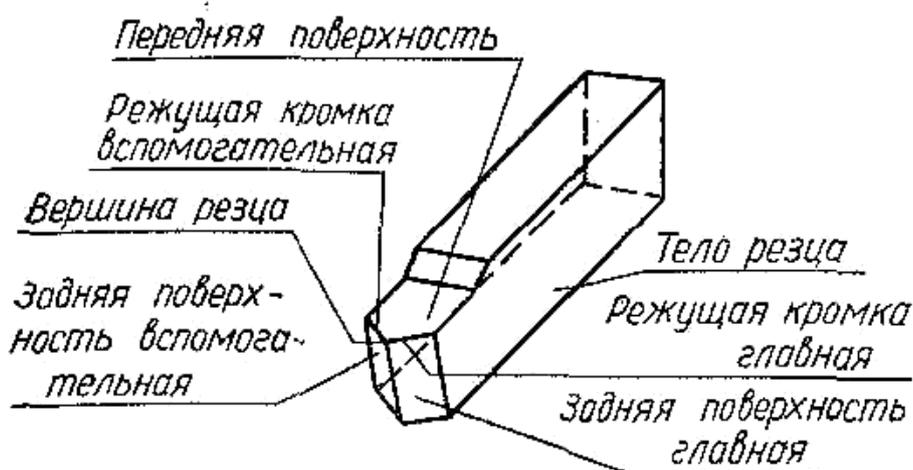


Рисунок 10. – Элементы поверхности резца

Резец состоит из головки (т.е. рабочей части) и тела или стержня, служащего для закрепления резца в резцедержателе. Рабочая часть режущего инструмента (головка) – часть режущего инструмента, содержащая лезвие.

Крепежная часть режущего инструмента (державка) – часть режущего инструмента для его установки или крепления в технологическом оборудовании или приспособлении. Лезвие инструмента – клинообразный элемент режущего инструмента для проникновения в материал заготовки и отделения слоя материала.

Головка резца образуется при специальной заточке (на заточных станках) и имеет следующие элементы: переднюю поверхность, задние поверхности, режущие кромки и вершину.

По передней поверхности сходит стружка. Передняя поверхность лезвия – поверхность лезвия инструмента, контактирующая в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой.

Задними поверхностями называются поверхности резца, контактирующие в процессе резания с поверхностями заготовки. Различают главную и вспомогательную заднюю поверхность лезвия.

Режущие кромки образуются при пересечении передней и задних поверхностей. Режущая кромка – кромка лезвия инструмента, образуемая пересечением передней и задней поверхностями лезвия.

Главная режущая кромка (лезвие) выполняет основную работу резания. Она образуется от пересечения передней и главной задней поверхностей.

Вспомогательная режущая кромка (лезвие) образуется от пересечения передней и вспомогательной задней поверхностей. Вспомогательных режущих кромок может быть две (например, у отрезного резца).

Ленточка лезвия – сравнительно узкий участок задней поверхности лезвия вдоль режущей кромки с меньшими значениями заднего угла по сравнению с основной частью задней поверхности.

Фаска лезвия – узкий участок передней или задней поверхности лезвия вдоль режущей кромки с меньшими значениями переднего или заднего угла по сравнению с теми, которые имеются на основной части передней или задней поверхности.

Вершина резца – участок режущей кромки в месте пересечения двух задних поверхностей. При криволинейном сопряжении режущих кромок вершина имеет округленную форму с радиусом.

Радиус округления режущей кромки – радиус кривизны режущей кромки в сечении ее нормальной секущей плоскостью.

По направлению подачи резцы разделяются на правые и левые (рис. 11).

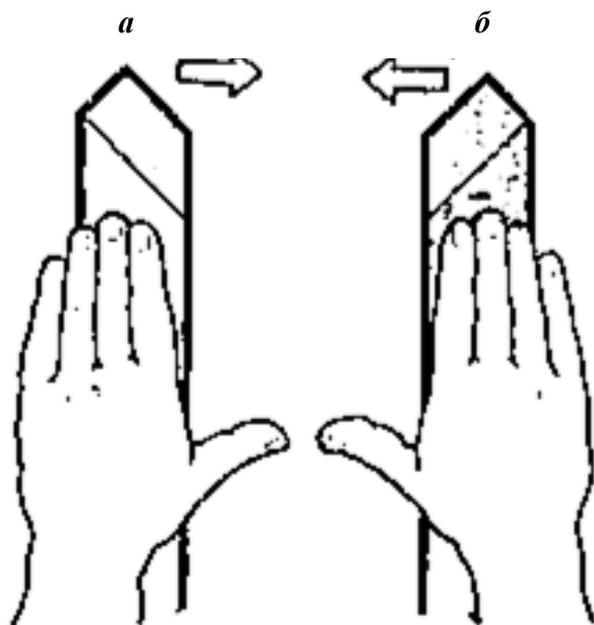


Рисунок 11. – Левый (а) и правый (б) резцы

Правыми резцами называются такие, у которых при наложении на них сверху ладони правой руки (так, чтобы четыре пальца были направлены к вершине) главная режущая кромка оказывается расположенной на стороне большого пальца. При работе такими резцами на токарном станке они перемещаются справа налево (от задней бабки к передней).

Левыми резцами называются такие резцы, у которых при наложении ладони левой руки главная режущая кромка оказывается расположенной на стороне большого пальца.

### 2.1.2. Исходные плоскости для определения геометрии резца

Обработанной поверхностью называется поверхность, полученная после снятия стружки.

Поверхностью резания называется поверхность, образуемая на обрабатываемой заготовке непосредственно главной режущей кромкой.

Основная плоскость – координатная плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению скорости главного движения резания в этой точке.

Плоскость резания – координатная плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная основной плоскости.

Рабочая плоскость – плоскость, в которой расположены направления скоростей главного движения резания и движения подачи.

### 2.1.3. Углы лезвия резца

Режущая часть резца имеет форму клина, заточенного под определенным углом. Для определения углов резца устанавливаются исходные плоскости (плоскость резания и основная плоскость) и производят мысленное рассечение резца плоскостями, перпендикулярными главной и вспомогательной режущей кромке (рис. 12).

В плоскости сечения определяют значения заднего угла  $\alpha$ , переднего угла  $\gamma$ , угла заострения  $\beta$ .

Для определения главного  $\phi$  и вспомогательного  $\phi_1$  углов в плане, угла при вершине  $\epsilon$  и радиуса скругления  $r_B$  рассматривают положение инструмента на виде сверху.

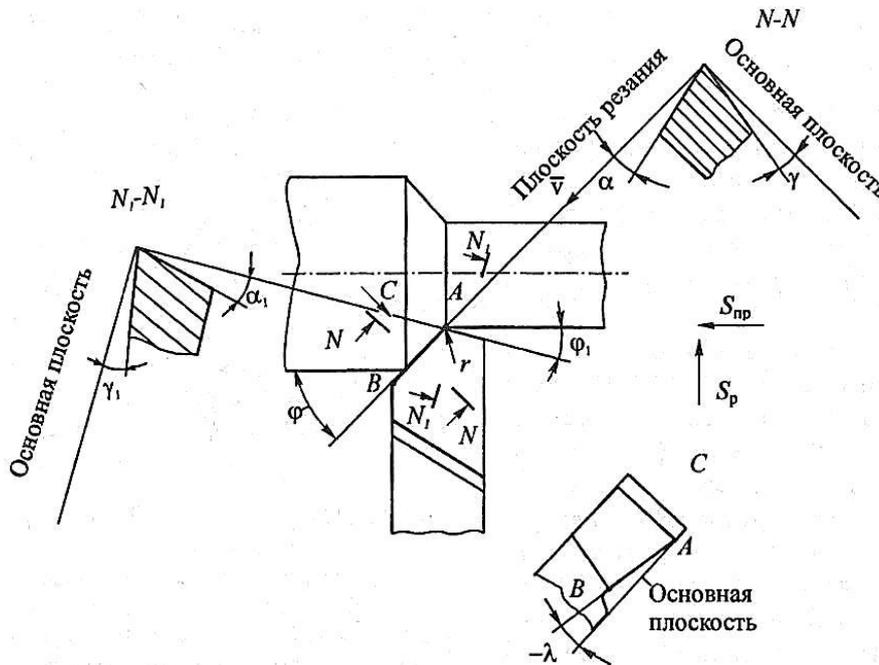


Рисунок 12. – Геометрические параметры проходного токарного резца

Главные углы резца измеряются в главной секущей плоскости. К главным углам резца относятся задний угол, угол заострения, передний угол и угол резания.

Главным задним углом  $\alpha$  называется угол между касательной к главной задней поверхности резца в рассматриваемой точке режущей кромки и плоскостью резания или угол в главной секущей плоскости между задней поверхностью лезвия и плоскостью резания. При плоской задней поверхности резца можно сказать, что  $\alpha$  – угол между главной задней поверхностью резца и плоскостью резания. Задние углы уменьшают трение задних

поверхностей инструмента о поверхность резания и обработанную поверхность. Фактически – это угол зазора, препятствующего трению задней поверхности резца о поверхность резания. Он влияет на интенсивность износа резца и в сочетании с углом  $\gamma$  влияет на прочность режущего клина и условия отвода тепла из зоны резания.

Чем меньшую нагрузку испытывает режущий клин и чем он прочнее, тем больше значение угла  $\alpha$ , величина которого зависит от сочетания свойств обрабатываемого и режущего материалов, от величины подачи и других условий резания. Например, для резцов из быстрорежущей стали при черновой обработке конструкционных сталей  $\alpha = 6-8^\circ$ , для чистовых операций  $\alpha = 10-12^\circ$ .

Главным углом заострения  $\beta$  называется угол в главной секущей плоскости между передней и главной задней поверхностями резца.

Главным передним углом  $\gamma$  называется угол между передней поверхностью резца и плоскостью, перпендикулярной плоскости резания и проходящей через главную режущую кромку или угол в секущей плоскости между поверхностью лезвия и основной плоскостью. Величина этого угла оказывает на процесс резания определяющее влияние, так как от него зависят степень деформации металла при переходе в стружку, силовая и тепловая нагрузки на режущий клин, прочность клина и условия отвода тепла из зоны резания. Оптимальное значение переднего угла  $\gamma$  определяется опытным путем в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого и режущего материалов, факторов режима резания ( $v$ ,  $S$ ,  $t$ ) и других условий обработки. Возможные значения угла  $\gamma$  находятся в пределах  $0-30^\circ$ . Для упрочнения режущего клина, особенно изготовленного из хрупких режущих материалов, на передней поверхности затачивают фаску с нулевым или отрицательным передним углом ( $\gamma =$  от  $0$  до  $-5^\circ$ ) шириной, зависящей от подачи.

При смещении резца относительно оси детали, а также при наличии движения подачи плоскость резания поворачивается, в связи с чем значения углов меняются. Если вершину резца установить выше или ниже оси детали, то плоскость резания отклонится от вертикального положения на определенный угол. При наружном точении с установкой резца выше оси детали действительный передний угол увеличивается, а задний уменьшается на данную величину. При внутреннем точении углы изменяются в обратном направлении.

Вспомогательный задний угол  $\alpha_1$ , измеряемый в сечении, перпендикулярном к вспомогательной режущей кромке, принимается примерно

равным  $\alpha$ . Угол  $\alpha_1$  образует зазор между вспомогательной задней поверхностью и обработанной поверхностью заготовки.

В этой же плоскости рассматривается и вспомогательный передний угол  $\gamma_1$ . Вспомогательный передний угол  $\gamma_1$  определяется заточкой передней поверхности и на чертеже обычно не указывается.

С целью повышения прочности режущей части резца предусматривается также радиус вершины:  $r_v = 0,1-3,0$  мм. При этом большее значение радиуса применяется при обработке жестких заготовок, так как с увеличением этого радиуса возрастает радиальная составляющая силы резания.

Главным углом в плане  $\varphi$  называется угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи. Главный угол в плане  $\varphi$  определяет соотношение между толщиной и шириной срезаемого слоя. При уменьшении угла  $\varphi$  стружка становится тоньше, улучшаются условия теплоотвода и повышается стойкость резца, но при этом возрастает радиальная составляющая силы резания.

При обточке длинных заготовок малого диаметра вышеизложенное может привести к их деформации и вибрациям, и в этом случае принимается  $\varphi = 90^\circ$ .

Для других случаев рекомендуется:

- при чистовой обработке  $\varphi = 10-20^\circ$ ;
- при черновой обработке валов  $\varphi = 60-75^\circ$ ;
- при черновой обработке более жестких заготовок  $\varphi = 30-45^\circ$ .

У проходных резцов обычно угол  $\varphi_1 = 10-15^\circ$ . С уменьшением угла  $\gamma_1$  до 0 величина  $\varphi_1$  также уменьшается до 0, что позволяет значительно увеличить подачу, а следовательно, и производительность процесса резания.

Вспомогательным углом в плане  $\varphi_1$  называется угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи; он делается для исключения трения на большей части вспомогательной режущей кромки.

Углом при вершине в плане  $\varepsilon$  называется угол между проекциями режущих кромок на основную плоскость; в сумме  $\varphi + \varepsilon + \varphi_1 = 180^\circ$ .

Углом наклона главной режущей кромки  $\lambda$  называется угол, заключенный между режущей кромкой и линией, проведенной через вершину резца параллельно основной плоскости или угол в плоскости резания между режущей кромкой и основной плоскостью. Этот угол измеряется в плоскости, проходящей через главную режущую кромку перпендикулярно к основной плоскости. Угол наклона главной режущей кромки считается отрицательным, когда вершина резца является наивысшей точкой режущей кромки (рис. 13, а); равным нулю – при главной режущей кромке,

параллельной основной плоскости (рис. 13, б), и положительным, когда вершина резца является низшей точкой режущей кромки (рис. 13, в).

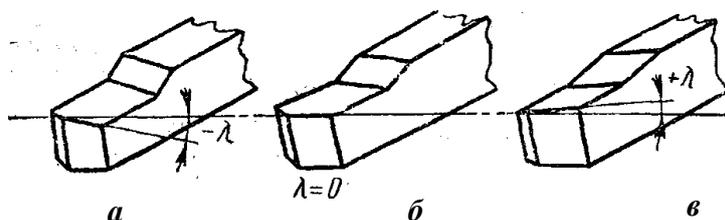


Рисунок 13. – Угол наклона главной режущей кромки резца

Стружка при этом сходит в направлении обработанной поверхности, что может существенно повысить ее шероховатость. При черновой обработке это допустимо, так как после нее следует чистовая операция, снимающая эти неровности. Но при чистовых операциях, когда нагрузка на режущий клин невелика, первостепенное значение приобретает задача отвода стружки от обработанной поверхности. С этой целью назначают отрицательные значения угла ( $-\lambda$ ).

#### 2.1.4. Основные типы токарных резцов

По виду обработки токарные резцы делятся на проходные, подрезные, расточные, отрезные, прорезные, галтельные, резьбовые и фасонные (рис. 14).

Проходные резцы применяют для обработки заготовки вдоль оси и для подрезки торца.



Рисунок 14. – Токарные резцы

Подрезные резцы применяют для обработки поверхностей заготовки в направлении, перпендикулярном или наклонном к оси вращения. Для подрезания торца (с поперечной подачей) может быть использован и проходной упорный резец.

Токарный расточной резец применяется для обработки сквозных и глухих отверстий. Резцы отличаются величиной главного угла в плане:  $\varphi = 90^\circ$ .

Отрезной резец, применяемый для отрезки (разрезки) заготовки.

Прорезные резцы аналогичны отрезным, но имеют длину режущей кромки, соответствующую ширине прорезаемого паза (канавки).

Галтельные резцы применяют для протачивания закругленных канавок и переходных поверхностей.

Резьбовыми резцами нарезают наружную и внутреннюю резьбу. Фасонные резцы используют для обработки фасонных поверхностей.

## Тема 2.2. ЭЛЕМЕНТЫ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ И СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ

### 2.2.1. Элементы режимов резания при токарной обработке

Элементами режима резания являются:

- глубина резания;
- подача;
- скорость резания.

*Глубина резания* – это толщина слоя металла, срезанного резцом за один проход (рис. 15).

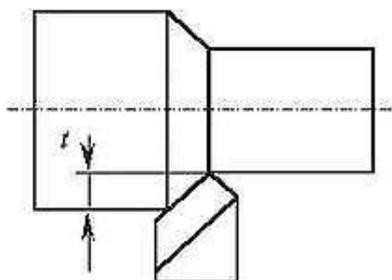


Рисунок 15. – Глубина резания при точении

Глубина резания обозначается буквой  $t$  и измеряется в миллиметрах как линейное расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями. При точении глубина резания измеряется в осевой плоскости детали и рассчитывается по формуле

$$t = \frac{D - d}{2} \text{ (мм)},$$

где  $D$  – диаметр обрабатываемой поверхности, мм;  
 $d$  – диаметр обработанной поверхности, мм.

*Подачей на оборот* при точении называют перемещение резца вдоль обработанной поверхности за один оборот детали. Подача измеряется в миллиметрах на оборот (мм/об) и обозначается буквой  $S_0$ . Чаще всего при точении применяют продольные (вдоль оси детали) и поперечные (поперек оси) подачи. Обычно подачи непрерывно-равномерны, т.е. за каждый оборот детали резец перемещается на одну и ту же величину.

### 2.2.2. Элементы и геометрия срезанного слоя

Глубина резания и подача характеризуют основные размеры стружки.

*Ширина* срезанного слоя (стружки) – это расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное по поверхности резания. Ширина стружки обозначается буквой  $b$  и измеряется в миллиметрах.

*Толщиной* срезанного слоя называют расстояние, измеряемое в направлении, перпендикулярном к ширине стружки, между двумя после-

довательными положениями поверхности резания за один оборот детали. Толщина измеряется в миллиметрах и обозначается буквой  $a$ .

Площадью срезаемого слоя называют произведение глубины резания  $t$  на подачу  $S_0$  или ширины стружки  $b$  на толщину  $a$ :

$$F = t \cdot S_0 = a \cdot b$$

Глубина резания  $t$ , подача на оборот  $S$ , ширина  $b$  и толщина  $a$  срезаемого слоя связаны между собой следующими зависимостями:

$$b = \frac{t}{\sin \varphi};$$

$$a = S_0 \cdot \sin \varphi$$

С изменением главного угла в плане  $\varphi$  изменяются толщина и ширина стружки (срезаемого слоя) при постоянных величинах глубины резания и подачи. Чем меньше угол в плане, тем стружка тоньше, но шире, и наоборот.

При угле в плане  $\varphi = 90^\circ$  ширина стружки равна глубине резания ( $b = t$ ), а толщина – подаче ( $a = S_0$ ). Во всех случаях, когда глубина резания и подача неизменны, площадь срезаемого слоя остается постоянной.

*Скорость резания* – путь перемещения режущей кромки относительно обрабатываемой поверхности в единицу времени. При точении скорость резания измеряется в плоскости вращения детали как окружная скорость обрабатываемой поверхности, наиболее отдаленной от оси вращения. Скорость резания обозначается буквой  $v$  и измеряется в метрах в минуту, т.е.

$$v = \frac{\pi D n}{1000}$$

или после сокращения:

$$v = \frac{D n}{318},$$

где  $D$  – диаметр обрабатываемой поверхности заготовки (мм);

$n$  – частота вращения заготовки в минуту ( $\text{мин}^{-1}$ ).

Для настройки станка на заданную скорость резания нужно определить число оборотов шпинделя станка. Число оборотов шпинделя вычисляется по следующей формуле:

$$n = \frac{1000v}{\pi D}$$

Если такого числа оборотов шпинделя у станка нет, то следует взять ближайшее меньшее число оборотов и произвести перерасчет фактической скорости резания при этом числе оборотов.

## Тема 2.3. СОПРОТИВЛЕНИЕ РЕЗАНИЮ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

### 2.3.1. Силы сопротивления резанию при точении

При снятии стружки с обрабатываемой детали резцу необходимо преодолеть силу сцепления частиц металла между собой. Когда режущая кромка резца врезается в обрабатываемый материал и происходит отделение стружки, резец испытывает давление со стороны отделяемого металла (рис. 16).

Сверху вниз на резец давит сила  $P_z$ , которая стремится отжать резец вниз и изогнуть деталь вверх. Эта сила называется *главной составляющей силы резания*.

В горизонтальной плоскости в направлении, противоположном движению подачи, на резец давит сила  $P_x$ , называемая *осевой составляющей силы резания*. Эта сила при продольном точении стремится отжать резец в сторону задней бабки.

В горизонтальной плоскости перпендикулярно к направлению подачи на резец давит сила  $P_y$ , которая называется *радиальной составляющей силы резания*. Эта сила стремится оттолкнуть резец от обрабатываемой детали и изогнуть его в горизонтальном направлении.

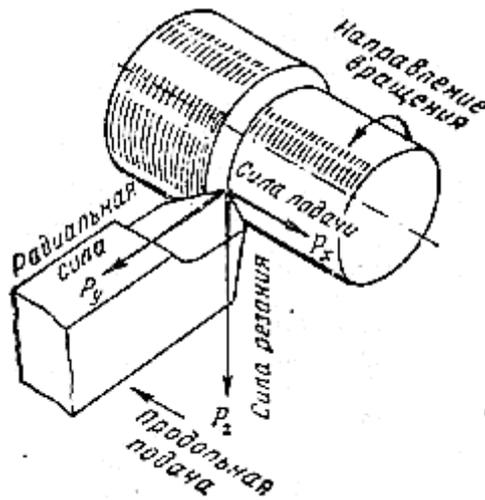


Рисунок 16. – Силы, действующие на резец в процессе токарной обработки

Действующие на резец силы обычно приводятся к силам упругой  $P_{упр}$  и пластической  $P_{пл}$  деформаций, действующим нормально к передней поверхности резца, и силам  $P'_{упр}$  и  $P'_{пл}$ , действующим нормально к задней поверхности резца.

В свою очередь силы трения  $T = \mu (P_{\text{упр}} + P_{\text{пл}})$  и  $T' = \mu (P'_{\text{упр}} + P'_{\text{пл}})$  действуют вдоль передней и задней поверхностей резца, где  $\mu$  – эффективный коэффициент трения.

Упомянутая система сил приводится к равнодействующей силе  $P$ . Сила резания  $P$  обычно раскладывается на три взаимно перпендикулярные составляющие:  $P_x$ ,  $P_y$  и  $P_z$ .

Соотношение сил  $P_z : P_x : P_y$  зависит от элементов режущей части резца и режимов резания ( $t$ ,  $S$ ,  $v$ ), от свойств обрабатываемого материала и износа резца, от условий резания и других факторов. В среднем соотношение составляющих сил резания можно принять:  $P_z : P_y : P_x = 1 : 0,45 : 0,35$ .

### 2.3.2. Влияние различных факторов на силу резания

На величину силы резания влияют: обрабатываемый металл, глубина резания, подача, передний угол резца, главный угол резца в плане, радиус скругления режущей кромки резца, смазочно-охлаждающие жидкости, скорость резания и износ резца.

Физико-механические свойства обрабатываемого металла существенно влияют на величину силы резания. Чем больше предел прочности при растяжении и твердость обрабатываемого металла, тем больше  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$ .

Сила резания возрастает с увеличением площади среза. Если при этом увеличение площади среза получается за счет увеличения глубины резания, сила  $P_z$  возрастает пропорционально глубине резания. При увеличении подачи сила  $P_z$  так же возрастает, но менее. Так, например, если увеличить глубину резания вдвое, сохранив ту же подачу, главная составляющая силы резания увеличится так же вдвое. Но если, не изменяя глубины резания, увеличить в два раза подачу, сила резания возрастет не в два раза, а несколько меньше. Это объясняется тем, что при сравнительно большой подаче не происходит столь значительной деформации металла, как это имеет место при малой подаче.

Сила резания получается различной при одинаковых площадях среза, но разных их формах.

Сила резания меньше при больших значениях толщины среза, чем при меньших. Например, сила резания при глубине 4 мм и подаче 2 мм/об несколько меньше, чем при глубине резания 8 мм и подаче 1 мм/об, несмотря на то, что площадь среза в обоих случаях одинакова и равна 8 мм<sup>2</sup>. Это объясняется так же разной степенью деформации металла в срезаемом слое. Увеличение глубины резания и подачи также приводит к увеличению составляющих силы резания, причем глубина резания больше влияет на силу резания, чем подача.

Чем меньше передний угол  $\gamma$  или чем больше угол резания  $\beta$ , тем больше сила резания. С уменьшением переднего угла резца, т.е. с увеличением угла резания, сила резания возрастает, так как при этом увеличивается угол клина, которым является резец. При увеличении главного угла в плане примерно до  $50\text{--}55^\circ$  сила резания уменьшится. С дальнейшим увеличением этого угла сила резания возрастает. При увеличении главного угла  $\phi$  в плане сила  $P_y$  резко уменьшается, а сила  $P_x$  (сила резания) увеличивается. Для твердосплавных резцов при увеличении  $\phi$  от  $60$  до  $90$  градусов сила  $P_x$  практически не изменяется. При увеличении радиуса скругления  $r$  режущей кромки резца силы  $P_z$  и  $P_y$  возрастают, а сила  $P_x$  уменьшается.

На величину силы резания влияет также введение в зону резания смазочно-охлаждающей технической среды (СОТС). Жидкие СОТС уменьшают силу  $P_z$  при небольшой толщине срезаемой стружки, увеличение толщины среза и скорости резания снижает эффект применения СОТС. Маслянистые вещества, содержащиеся в охлаждающей жидкости, проникая в микроскопические трещины деформируемого резцом металла, уменьшают силы трения, появляющиеся в зоне образования стружки. Благодаря этому сопротивление резанию уменьшается. Чем больше в смазочно-охлаждающей жидкости содержится смазочных веществ, тем существеннее ее влияние на силу резания. При увеличении скорости резания с  $50$  до  $400\text{--}500$  м/мин сила  $P_z$  значительно уменьшается; дальнейшее повышение скорости резания дает лишь небольшое уменьшение силы  $P_z$ .

Износ резца по задней поверхности значительно увеличивает силы  $P_y$  и  $P_x$ . Изменение величины силы резания, вызываемое изменением главного угла в плане не значительно. При увеличении радиуса закругления вершины резца сила резания возрастает, но также не значительно. Затупление резца вызывает увеличение силы резания.

Материал режущей части резца также оказывает влияние на силу резания; например, твердосплавные резцы снимают стружку с несколько меньшей силой резания, чем резцы из быстрорежущей стали.

### **2.3.3. Смазочно-охлаждающие технологические средства**

Для отвода образующейся при резании теплоты, повышения стойкости инструмента и уменьшения шероховатости обрабатываемой поверхности при точении конструкционных углеродистых и легированных сталей, а также жаропрочных сталей и сплавов рекомендуется применять смазочно-охлаждающие технические средства (СОТС). Попадая на нагретые поверхности стружки, детали и режущего инструмента, такие жидкости отводят часть тепла из зоны резания. Но действие их не только в этом. По-

крывая тонкой пленкой поверхности соприкосновения отходящей стружки и резца, а также резца и детали, СОТС уменьшает трение между ними.

Применение СОТС благоприятно воздействует на процесс резания металлов: значительно уменьшается износ режущего инструмента, повышается качество обработанной поверхности и снижаются затраты энергии на резание. При этом уменьшается наростообразование на режущей кромке инструмента и улучшаются условия для удаления стружки и абразивных частиц из зоны резания. Наименьший эффект дает применение СОТС при обработке чугуна и других хрупких материалов.

При работе твердосплавным инструментом на высоких скоростях резания рекомендуется обильная и непрерывная подача СОТС, так как при прерывистом охлаждении в пластинах твердого сплава могут образоваться трещины, приводящие к выходу инструмента из строя. Наиболее эффективно применение СОТС при обработке вязких и пластичных металлов, при этом с увеличением толщины среза и скорости резания положительное воздействие СОТС на процесс стружкообразования уменьшается. Выбор СОТС зависит от обрабатываемого материала и вида обработки.

#### *Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ)*

Смазочно-охлаждающие жидкости разделяются на минеральные масла с различными присадками (антифрикционные, противозадирные, смачивающие, антипенные, антикоррозионные, бактерицидные), водные эмульсии, получаемые растворением в воде базового масла, эмульгатора, антифрикционных и других присадок, полусинтетические и синтетические СОЖ, не содержащие масел.

Кроме приведенных, ограниченное применение имеют водные растворы солей и поверхностно-активных веществ, а также керосин, смеси керосина с маслом, смеси минеральных масел с олеиновой кислотой и др.

#### *Прочие смазочно-охлаждающие вещества*

К ним относятся газовые и твердые вещества. Газовые вещества применяют в виде чистых газов (углекислого, азота, кислорода, воздуха) или в смеси с частицами твердых или жидких смазок. Газы могут иметь нормальную или отрицательную температуру (до температур перехода в жидкое состояние). В последнем случае увеличивается отвод тепла, охрупчивается поверхность изделия, что улучшает обрабатываемость, снижает тепловыделение.

Твердые смазочно-охлаждающие вещества применяют в виде добавок к газовым (частицы графита, дисульфита молибдена) в виде мазей, наносимых на поверхность инструмента, а также в виде пленочных покрытий (например, никель-фосфорные покрытия инструмента из быстрорежущих сталей) и порошков.

## Тема 2.4. ИЗНОС РЕЗЦОВ

### 2.4.1. Износ лезвия резца

В процессе работы резцы изнашиваются (затупляются). При малых скоростях резания износ происходит сравнительно медленно и равномерно, при высоких же быстрее, при этом со все нарастающей интенсивностью износа, особенно в конце работы. Износ режущего инструмента значительно отличается от износа деталей машин, поскольку зона резания, в которой работает инструмент, характеризуется высокой химической чистотой трущихся поверхностей, высокими температурой и давлением в зоне контакта.

Механизм износа инструмента при резании металлов сложен и включает в себя абразивный, адгезионный и диффузионный износ. Удельное влияние каждого из них зависит от свойств материала, инструмента, детали и условий обработки (прежде всего скорости резания).

Абразивный износ инструмента заключается в следующем: стружка внедряется в рабочую поверхность инструмента и путем микроцарапаний удаляет металл с этой поверхности. Интенсивность абразивного износа повышается при снижении скорости резания.

Адгезионный износ инструмента происходит в результате схватывания или прилипания трущихся поверхностей и последующего отрыва мельчайших частиц материала инструмента. Результатом этого износа, происходящего при температуре ниже 900 °С, являются кратеры на рабочих поверхностях инструмента, образующиеся при слиянии лунки. Адгезионный износ уменьшается при повышении твердости инструмента.

Диффузионный износ инструмента, происходящий при температуре 900–1200 °С, является результатом взаимного растворения металла детали и материала инструмента. Активность процесса растворения повышается при повышении температуры контактного слоя, т.е. при возрастании скорости резания, поэтому диффузионный износ можно рассматривать как один из видов химического износа, приводящего к изменению химического состава и физико-химических свойств поверхностных слоев инструмента и снижающего его износостойкость.

Износ резцов увеличивается при обработке металлов со шлаковыми включениями, а также неочищенных отливок от песка и поковок от окалин. На практике полного износа резцов не допускают, так как при заточке чрезмерно изношенного резца приходится снимать толстый слой материала. В зависимости от материала резца и условий резания допускается различная величина износа. Так, при обработке резцами из быстрорежущей стали из-

делий из ковкого чугуна, стального литья и катаной стали износ резца по задней грани с применением охлаждения допускается 1,5–2 мм, а без применения охлаждения 0,3–0,5 мм. При черновой обточке серого чугуна износ резца допускается 3–4 мм; при этом резко ухудшается чистота обрабатываемой поверхности. Для резцов с пластинками из твердого сплава допускается меньший износ. Так, при обточке стали и стального литья износ резца допускается от 0,4 до 1 мм, а при обточке чугуна – в пределах 0,8–1,7 мм.

При точении наблюдается износ как по передней, так и по задней поверхностям резца, а при чистовой обработке – по задней поверхности (рис. 17).

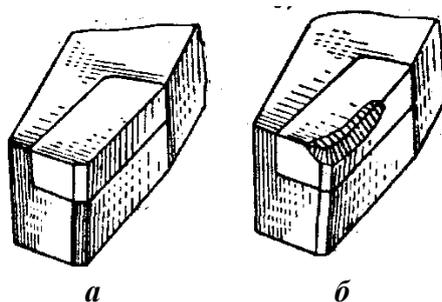


Рисунок 17. – Новый (а) и изношенный (б) резцы

Новый твердосплавный резец изображен на рисунке 17, а, а изношенный по передней и задней поверхностям – на рисунке 17, б. У твердосплавных резцов в большинстве случаев наблюдается износ по задней поверхности, что оказывает влияние на точность обработки. В качестве предельного износа принимают наибольшую допустимую ширину изношенной площадки на главной задней поверхности резца.

На рисунке 18 показан типовой график износа резца.



Рисунок 18. – График износа резцов

Из графика видно, что в начальный период работы режущего инструмента происходит его повышенный износ. Время работы инструмента на этом участке непродолжительно, а путь резания обычно не превышает 1000 м. Второй период характеризуется нормальным износом инструмента. Путь резания на этом участке достигает 30000 м. Третий период связан с быстрым износом инструмента. Через короткий промежуток времени его режущая кромка разрушается.

#### **2.4.2. Стойкость резцов**

*Стойкостью резца* называется время его непрерывной работы при заданных режимах резания до установленной величины износа. ГОСТ 25751-83 регламентирует понятие «*период стойкости*», под которым следует понимать время резания новым или восстановленным режущим инструментом от начала резания до отказа.

Стойкость инструмента зависит от многих факторов – от его формы, свойств обрабатываемого материала, подачи и др., но наибольшее влияние на стойкость оказывает скорость резания.

Стойкость резца зависит от свойств материала обрабатываемого изделия и резца, величины углов, формы граней и размеров резца, размеров и формы поперечного сечения стружки, скорости резания и применяемого охлаждения. Стойкость резца определяется временем его работы до такого затупления, при котором недопустимо увеличивается сила резания, ухудшается чистота обработанной поверхности или снижается точность обработки. Повышение твердости и вязкости обрабатываемого металла уменьшает стойкость резца. При этом увеличивается сопротивление отделению стружки, сопровождающееся выделением большого количества тепла, вследствие чего резец, сильно нагреваясь, быстрее изнашивается и затупляется.

Следует также учитывать такие категории, как экономическая стойкость и стойкость максимальной производительности инструмента.

Под *экономической стойкостью инструмента* понимают период его стойкости, обеспечивающий минимальную стоимость обработки.

Под *стойкостью максимальной производительности* следует понимать период стойкости инструмента, обеспечивающий максимальную производительность механической обработки.

На первом месте по стойкости находятся резцы, оснащенные пластинками из твердых сплавов, на втором – резцы из быстрорежущей стали и на третьем – резцы из углеродистой стали. Правильный выбор углов заточки головки резца, особенно переднего угла, заднего угла и главного уг-

ла в плане, значительно увеличивает стойкость резца. Величины углов головки резца выбирают главным образом в зависимости от материалов обрабатываемого изделия и резца. При обработке вязких металлов стойкость резца увеличивается, если на его передней грани у режущей кромки оставить узкую фаску с выточкой неглубокой канавки.

Для обработки твердых сталей следует применять резцы с пластинками твердых сплавов с малым или отрицательным передним углом. Увеличение размеров резца способствует лучшему отводу теплоты от режущей кромки и устраняет его дрожание, в результате чего повышается его стойкость. С увеличением площади поперечного сечения стружки стойкость резца значительно понижается. Однако при одной и той же площади сечения стружки стойкость резца может повыситься, если увеличить глубину резания и, соответственно, уменьшить подачу или увеличить ширину стружки и уменьшить ее толщину, а также если уменьшить главный угол в плане.

При повышении скорости резания стойкость резца резко уменьшается. Так, например, при обработке углеродистой стали средней твердости резцом с пластинкой твердого сплава Т15К6 при глубине резания  $t = 8$  мм, подаче  $S_0 = 1$  мм/об и скорости резания  $v = 100$  м/мин стойкость резца составляет  $T = 90$  мин. При увеличении скорости до  $v = 124$  м/мин (при неизменных прочих условиях) стойкость уменьшится в 3 раза и будет равна всего лишь  $T = 30$  мин. Однако применение резцов с пластинками из твердых сплавов с отрицательным передним углом, тщательная доводка резцов, обильное охлаждение и устранение вибраций настолько повышают стойкость резца, что становится возможным работать при высоких скоростях резания.

### **2.4.3. Факторы, влияющие на стойкость резца**

Скорость резания зависит от конкретных условий обработки, которые влияют на стойкость инструмента (время работы инструментом от переточки до переточки). Чем большую скорость резания допускает инструмент при одной и той же стойкости, тем выше его режущие свойства и тем более он производителен.

На скорость резания, допускаемую резцом, влияют следующие факторы: стойкость режущего инструмента, физико-механические свойства обрабатываемого металла, подача и глубина резания, геометрические элементы режущей части резца, размеры сечения державки резца, смазочно-охлаждающая жидкость, максимально допустимая величина износа резца.

От выбора скорости резания зависит производительность труда: чем с большей скоростью резания производится обработка, тем меньше время,

затрачиваемое на обработку. Однако с увеличением скорости резания уменьшается стойкость резца, поэтому на выбор скорости резания влияют стойкость резца и все факторы, от которых зависит стойкость резца. Из них наиболее важными являются: свойства обрабатываемого материала, качество материала резца, глубина резания, подача, размеры резца и углы заточки, охлаждение.

1. Чем больше должна быть стойкость резца, тем меньше должна быть выбрана скорость резания и наоборот.

2. Чем тверже обрабатываемый материал, тем меньше стойкость резца, следовательно, для обеспечения необходимой стойкости при обработке твердых материалов скорость резания приходится уменьшать. При обработке литых и кованных заготовок, на поверхности которых имеется твердая корка, раковины или окалина, необходимо уменьшать скорость резания против той, какая возможна при обработке материалов без корки.

3. От свойств материала резца зависит его стойкость, следовательно, от этих же свойств зависит и выбор скорости резания. При прочих равных условиях резцы из быстрорежущей стали допускают значительно большую скорость резания, чем резцы из углеродистой стали; еще большую скорость резания допускают резцы, оснащенные твердыми сплавами.

4. В целях повышения стойкости резца при обработке вязких металлов выгодно применять охлаждение резцов. В этом случае при одной и той же стойкости инструмента удастся повысить скорость резания на 15–25% по сравнению с обработкой без охлаждения.

5. Размеры резца и углы его заточки также влияют на допускаемую скорость резания: чем массивнее резец, особенно его головка, тем лучше он отводит образующееся при резании тепло. Неправильно выбранные, не соответствующие обрабатываемому материалу углы резца увеличивают усилие резания и способствуют более быстрому износу резца.

6. С увеличением сечения среза стойкость резца понижается, следовательно, при большем сечении нужно выбирать скорость резания меньшую, чем при меньшем сечении.

Так как при чистовой обработке снимается стружка небольшого сечения, то скорость резания при чистовой обработке может быть значительно большей, чем при черновой обработке.

В тех случаях, когда припуск на обработку мал и нет особых требований к чистоте поверхности, повышать режим резания следует за счет применения возможно большей подачи.

#### **2.4.4. Влияние различных факторов на скорость резания**

Скорость резания зависит от следующих факторов:

- 1) свойства обрабатываемого материала;
- 2) свойства материала, из которого сделан резец и его формы;
- 3) площадь сечения стружки и ее виды;
- 4) давление на резец и его охлаждение;
- 5) вибрация резца и изделия в процессе резания.

##### ***Свойства обрабатываемого материала***

Чем тверже обрабатываемый материал, тем большее усилие требуется для его резания и тем скорее тупится резец в процессе резания. Поэтому твердый материал нельзя обрабатывать с такой же высокой скоростью резания, как мягкий материал. При обработке литых и кованных заготовок, на поверхности которых имеется твердая корка, раковины или окалина, необходимо уменьшать скорость резания по сравнению с той, какая была бы возможна при обработке материалов без корки.

Срезание стружки с изделия из мягкого металла происходит с затратой сравнительно малых усилий. Совсем обратное происходит при обработке более твердых и вязких металлов: внутренняя деформация элементов стружки увеличивается, труднее скалываются резцом элементы стружки, повышается давление стружки на переднюю грань резца.

##### ***Материал режущей части резца***

Обработка с большой скоростью резания сопровождается образованием значительного количества тепла. Это вызывает быстрое затупление резца, наступающее тем скорее, чем выше скорость резания и чем сильнее уменьшаются режущие свойства материала резца при повышении температуры. При прочих равных условиях резцы из быстрорежущей стали допускают скорость резания в 2–2,5 раза большую, чем резцы из углеродистой стали. Еще большую скорость, превышающую в 3–4 раза скорость резания резцами из быстрорежущей стали, выдерживают резцы с пластинками из твердого сплава, а также резцы с керамическими пластинками.

Температура нагревания стружки и, следовательно, головки резца поднимается тем выше, чем быстрее и чем в большем количестве происходит образование теплоты. Поэтому при переходе с малых скоростей резания на большие температура резца быстро повышается.

Резцы, изготовленные из углеродистой стали, не переносят даже незначительного перегрева. Такие резцы, будучи нагреты до температуры 200–250 °С, уменьшают свою твердость, в результате чего их режущая кромка быстрее истирается и теряет свои режущие свойства. Резцы, изго-

товленные из быстрорежущей стали, хорошо работают, не теряя своих режущих свойств даже при температуре их нагрева до 600 °С. Твердые сплавы выдерживают, не затупляясь, температуру нагрева до 1100 °С.

### ***Сечение среза***

С увеличением площади поперечного сечения среза возрастает сила резания и, следовательно, количество выделяющегося тепла; затупление резца наступает быстрее. Однако установлено, что увеличение сечения среза меньше влияет на стойкость резца, чем увеличение скорости резания. Иначе говоря, затупление резца будет происходить быстрее при увеличении скорости резания и медленнее при увеличении сечения среза. Понятно, что для повышения производительности выгоднее прибегать к тому из этих двух средств, при котором резец будет затупляться медленнее. Отсюда можно сделать важный практический вывод: для увеличения производительности процесса резания при неизменной стойкости резца целесообразно увеличивать площадь поперечного сечения среза и соответственно снижать скорость резания. При чистовой обработке резец снимает незначительный слой металла при малых подачах, поэтому скорость резания может быть значительно увеличена по сравнению со скоростью резания при обдирочной работе.

Величина и форма площади поперечного сечения стружки при резании в значительной мере влияют на выделение количества теплоты. С увеличением площади сечения стружки увеличивается и количество выделяемой теплоты. Следовательно, при увеличении площади сечения стружки передается и большее количество теплоты резцу, отчего нагрев его повышается, что может ограничить повышение или вызвать уменьшение скорости резания.

### ***Глубина резания и подача***

На стойкость резца влияет площадь поперечного сечения среза. Одна и та же площадь поперечного сечения среза может быть достигнута за счет большой глубины резания и малой подачи и, наоборот, за счет малой глубины резания и большой подачи. Увеличение глубины резания значительно меньше влияет на изменение стойкости резца, чем такое же увеличение подачи. Поэтому для повышения производительности процесса резания при неизменной стойкости резца целесообразнее увеличивать глубину резания, чем подачу.

При образовании толстой, но узкой стружки отвод теплоты от резца затрудняется, так как стружка сосредоточивается на небольшой части режущей кромки и передней грани резца. Тонкая, но широкая стружка, срезаемая более длинной частью режущей кромки, опираясь на большую

площадку передней грани резца, лучше отводит теплоту от места ее образования. Таким образом, тонкие, но широкие стружки допускают большие скорости резания, чем толстые, но узкие.

### ***Охлаждение***

Охлаждение резца позволяет ему работать на больших скоростях резания. Если направить сильную струю жидкости в место образования стружки, то жидкость отнимает от нее и резца большое количество теплоты. Вследствие этого температура нагрева стружки и резца значительно понизится, а вместе с этим повысится и стойкость резца.

Чтобы охлаждение давало хорошие результаты, необходимо:

1) направлять поток охлаждающей жидкости на стружку сверху, в то место, где она отделяется от обрабатываемого материала, так как именно здесь образуется наибольшее количество тепла;

2) начинать подачу охлаждающей жидкости в первый же момент процесса резания, а не спустя некоторое время, иначе в сильно нагретом резце могут появиться трещины;

3) следить за тем, чтобы охлаждающая жидкость соответствовала обрабатываемому материалу и роду выполняемой работы.

### ***Стойкость резца***

Выбор скорости резания зависит от требуемой стойкости режущего инструмента. Чем выше скорость резания при всех прочих равных условиях, тем быстрее изнашивается резец, тем чаще приходится его перетачивать и тем больше затрачивать времени на его съем и установку на станке. Таким образом, частично теряются преимущества от увеличенной скорости, а при излишнем повышении скорости получается даже снижение производительности. Но из этого не следует, что нужно работать при заниженных скоростях резания. Чтобы можно было работать с высокими скоростями резания наши токари-передовики улучшают геометрию инструмента, увеличивают промежутки времени между переточками путем подправки лезвия резца, не снимая его со станка, и т.д. Их достижения не случайны: за ними кроется большая работа, основанная на глубоком знании явлений резания и длительных подготовительных опытах.

### ***Вибрация резца***

Скорость резания иногда приходится снижать вследствие вибрации резца, которая зависит от свойств обрабатываемого металла, размеров изделия, формы головки резца, конструкции и состояния станка и других причин. При образовании стружки надлома резец испытывает то повышающееся, то резко понижающееся давление, вследствие чего и происходит

его вибрация. Совсем обратное происходит при образовании сливной стружки, которая, плавно отделяясь, производит равномерное давление на резец, в результате чего он не вибрирует.

Придавая резцу различную форму и изменяя его установку относительно изделия, можно значительно снизить и даже устранить вибрацию резца. Для этого угол наклона главной режущей кромки резца увеличивают при его заточке или при помощи косой установки резца в вертикальной плоскости. При этом отделение элемента стружки будет происходить не по всей длине режущей кромки одновременно, отчего вибрация резца значительно уменьшится или совсем прекратится.

## РАЗДЕЛ 3. СВЕРЛЕНИЕ, ЗЕНКЕРОВАНИЕ, РАЗВЕРТЫВАНИЕ

### Тема 3.1. ОСЕВОЙ ИНСТРУМЕНТ

#### 3.1.1. Процесс сверления

Сверление является одним из основных технологических способов обработки резанием круглых отверстий различной степени точности и с различной шероховатостью обработанной поверхности. Способ относится к осевой обработке, т.е. к лезвийной обработке с вращательным главным движением резания при постоянном радиусе его траектории и движении подачи только вдоль оси главного движения резания.

Сверление – основной способ обработки отверстий в сплошном материале заготовок. Просверленные отверстия, как правило, не имеют абсолютно правильной цилиндрической формы. Их поперечное сечение имеет форму овала, а продольное – небольшую конусность.

При работе сверло совершает вращательное движение, во время которого срезается стружка металла, и поступательное перемещение, направленное вдоль оси вращения, при котором сверло углубляется в обрабатываемую деталь. Отверстия больших диаметров ( $D > 20$  мм) сверлят за два приема – сначала сверлом меньшего диаметра, а затем сверлом требуемого диаметра. При неправильном подборе сверл, неправильном их креплении и неверных приемах работы возможны следующие виды брака: размер отверстия больше требуемого, косое отверстие, смещение отверстия от намеченного центра, глубина отверстия больше требуемой.

Сверление отверстий может быть сквозным (сверло выходит через просверливаемое отверстие); глухим (глубина отверстия меньше толщины металла); под резьбу и под развертку. Способ выполнения этих видов сверления одинаков, кроме глухого, при котором необходимо сохранить требуемую глубину отверстия. Для этого применяют приспособления, ограничивающие подачу сверла до нужной глубины. Если таких приспособлений нет, станок через определенное время останавливают, выводят сверло и промеряют глубину отверстия.

Для точного и быстрого сверления сверло необходимо прочно и правильно укрепить в шпинделе станка или в патроне, чтобы оно вращалось без биения. При биении сверла отверстие получится неправильной формы, а сверло может сломаться. При сверлении стали сверло нагревается; во избежание отпуска его надо все время охлаждать, применяя СОТС. Охлаждение дает возможность увеличить скорость сверления.

Отверстия сверлят и по кондуктору. Кондуктор – приспособление, при помощи которого можно просверливать отверстия в изделии без разметки. Кондуктор укрепляют на детали или заготовке, и через отверстия кондуктора просверливают отверстия в изделии. Кондуктор устанавливают

на сверлильном станке так, чтобы центр сверла совпал с окружностью, на которой расположены отверстия во фланце.

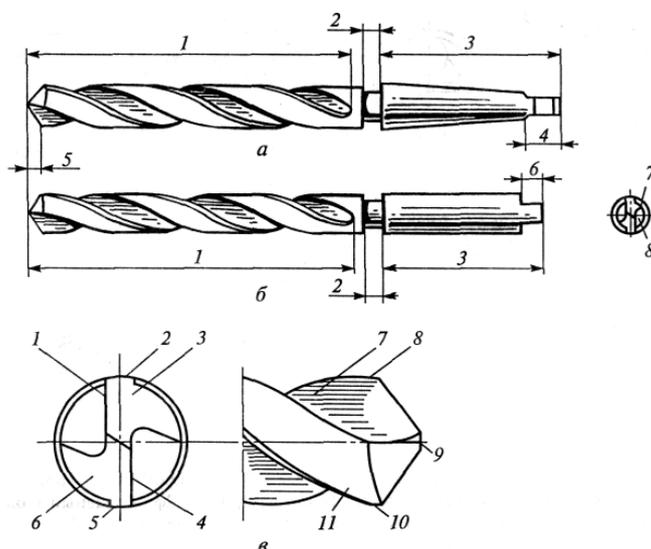
Сверление отверстий без дальнейшей их обработки проводят тогда, когда необходимая точность размеров лежит в пределах 12–14-го квалитетов. Наиболее часто сверлением обрабатывают отверстия для болтовых соединений, а также отверстия для нарезания в них внутренней крепежной резьбы (например, метчиком).

### 3.1.2. Конструкция и геометрия спирального сверла

Спиральное сверло состоит из рабочей части, хвостовика и шейки. Рабочая часть сверла, в свою очередь, состоит из цилиндрической (направляющей) и режущей частей. На направляющей части расположены две винтовые канавки, по которым отводится стружка в процессе резания. Направление винтовых канавок обычно правое. Левые сверла применяются очень редко.

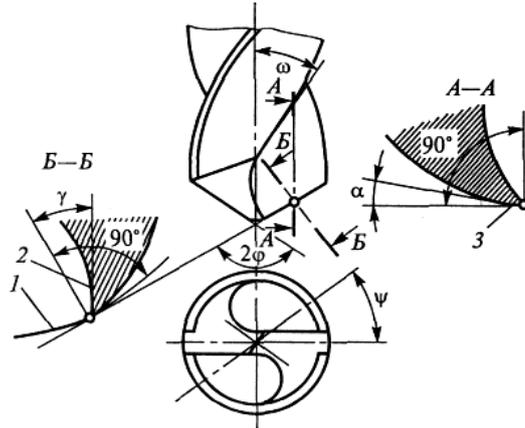
Вдоль канавок на цилиндрической части сверла имеются узкие полоски, называемые ленточками. В процессе работы режущая кромка сверла притупляется поэтому сверла периодически затачивают. Спиральное сверло и элементы его рабочей части приведены на рисунке 19.

Углы подточки спирального сверла показаны на рисунке 20. Формы подточек сверл (рис. 21) выбирают в зависимости от свойств обрабатываемых материалов и диаметра сверла.



*a* и *б* – элементы спирального сверла соответственно с коническим и цилиндрическим хвостовиками; *в* – кромки и поверхности спирального сверла; *1* – рабочая часть; *2* – шейка; *3* – хвостовик; *4* – лапка; *5* – режущая часть; *6* – поводок; *7* – зуб; *8* – винтовая канавка; *9* – поперечная кромка; *10* – кромка ленточки; *11* – спинка зуба

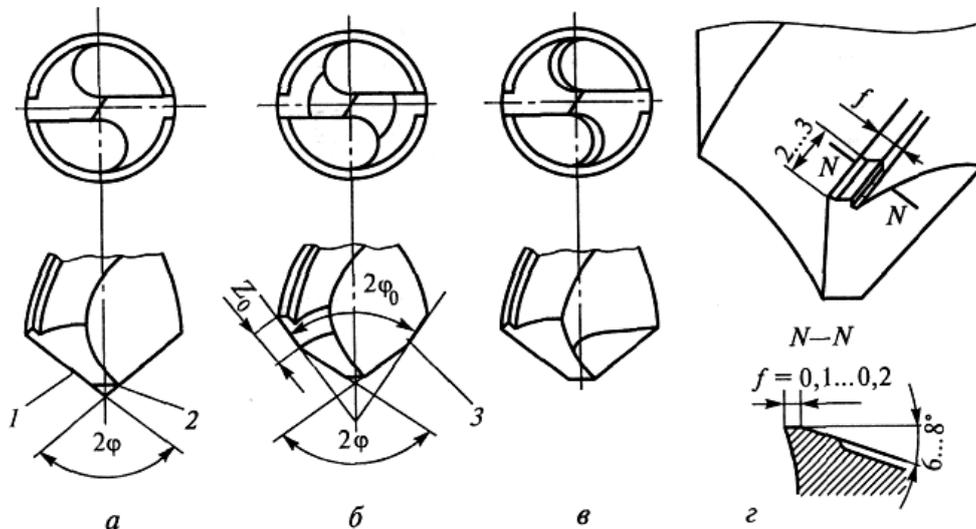
Рисунок 19. – Спиральные сверла



$\alpha$  – задний угол;  $\gamma$  – передний угол;  $\psi$  – угол наклона поперечной режущей кромки;  $\omega$  – угол наклона винтовой канавки;  $2\omega$  – угол при вершине; 1 – задняя поверхность; 2 – передняя поверхность; 3 – режущая кромка

Рисунок 20. – Углы спирального сверла

Для повышения стойкости сверла и производительности обработки производят двойную заточку сверла под углами  $2\phi = 116-118^\circ$  и  $2\phi_0 = 70-90^\circ$  (рис. 21, б).



*a* – обыкновенная; *б* – двойная; 1 – главная режущая кромка; 2 – поперечная режущая кромка; 3 – вспомогательная режущая кромка;  $2\phi$  – главный угол при вершине сверла;  $2\phi_0$  – вспомогательный угол при вершине сверла;  $Z_0$  – ширина зоны второй заточки; *в* – подточка поперечного лезвия и ленточки;

*г* – подточка ленточки;  $f$  – ширина ленточки

Рисунок 21. – Формы подточки спиральных сверл

Подточка поперечной кромки (рис. 21, в) и ленточки сверла (рис. 21, г) облегчает процесс сверления отверстий. Подточка поперечной кромки снижает осевую силу, а подточка ленточки уменьшает трение ленточек о стенки отверстия и повышает стойкость сверл.

### 3.1.3. Элементы режимов резания при сверлении

Сверление представляет собой процесс удаления металла для получения отверстий. Процесс сверления включает два движения: вращение инструмента  $v$  или детали вокруг оси и подачу на оборот  $S_0$  вдоль оси.

При сверлении отверстий материал оказывает сопротивление снятию стружки. В процессе резания на режущий инструмент действует сила, которая преодолевает силу сопротивления материала, а на шпиндель станка действует крутящий момент (рис. 22).

Горизонтальные (радиальные) силы  $P_r$ , действующие на обеих режущих кромках, взаимно уравниваются вследствие симметрии спирального сверла. При несимметричности заточки длина режущих кромок неодинакова и радиальная сила не будет равна нулю, в результате происходит отжим сверла и разбивание отверстия. Вертикальные силы  $P_B$ , направленные вверх, препятствуют проникновению сверла в глубину обрабатываемой детали. В этом же направлении действуют силы  $P_l$  поперечной кромки.

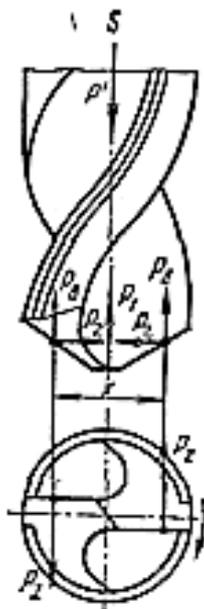


Рисунок 22. – Силы, действующие на сверло

Кроме того, продвижению сверла препятствуют силы трения на ленточках сверла (трение об обработанную поверхность отверстия) и силы трения от сходящей стружки  $P_T$ . Суммарная сила от указанных сил сопротивления в осевом направлении сверла называется осевой силой  $P$  или усилием подачи

$$P = \Sigma (2P_B + P_l + P_T).$$

Силы сопротивления  $P_B$ , возникающие на режущих кромках и мешающие проникновению сверла, составляют 40% от силы  $P$ ; силы сопротивления  $P_l$ , возникающие на поперечной кромке, составляют 57% и силы трения  $P_T$  – около 3%.

Суммарный момент сил сопротивления резанию  $M$  складывается из момента от сил  $P_z$ , момента от сил трения на поперечной кромке  $M_{ПК}$ , момента от сил трения на ленточках  $M_L$  и момента от сил трения стружки о сверло и обработанную поверхность отверстия  $M_C$

$$M = M_{CP} + M_{ПК} + M_L + M_C.$$

По силе  $P$  и моменту  $M$  рассчитывается необходимая мощность сверлильного станка.

Мощность резания при сверлении будет складываться из мощности, затрачиваемой на вращение, и мощности, затрачиваемой на движение подачи:

$$N_{рез} = N_{вр} + N_{под}.$$

Мощность (кВт), затрачиваемая на вращение,  $N_{вр} = Mn / 975000$ , где  $M$  – суммарный момент от сил сопротивления резанию, Н·м;  $n$  – частота вращения сверла, мин<sup>-1</sup>.

Расчеты показывают, что мощность, затрачиваемая на движение подачи, мала (0,5–1,5% мощности, затрачиваемой на вращение сверла) и ей можно пренебречь, поэтому  $N_{рез} = N_{вр} = M \cdot n / 975000$  или  $N_{рез} = M / (3060D)$ .

Элементы режимов резания при сверлении и рассверливании представлены на рисунке 23.

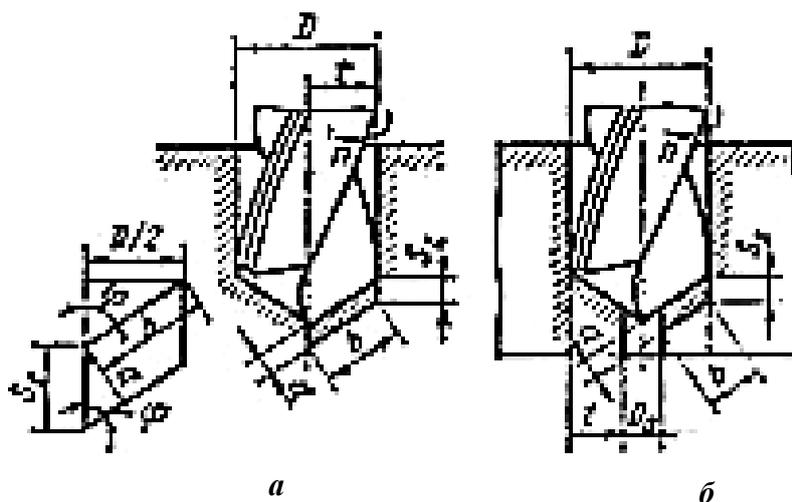


Рисунок 23. – Элементы резания при сверлении (а) и при рассверливании (б)

Скорость резания в различных точках режущей кромки различна и изменяется от нуля в центре до максимальной на периферии сверла. При расчетах режимов резания принимается наибольшая скорость резания на периферии (м/мин)

$$v = \frac{\pi D n}{1000},$$

где  $D$  – диаметр сверла (мм);  
 $n$  – частота вращения сверла ( $\text{мин}^{-1}$ ).

Глубина резания  $t$ , мм при сверлении принимается равной половине диаметра сверла, т.е.

$$t = \frac{D}{2};$$

при рассверливании:

$$t = \frac{D - D_0}{2}.$$

Подачей на оборот при сверлении  $S_o$  (мм/об) называется величина перемещения сверла вдоль оси за один оборот сверла или за один оборот заготовки, если заготовка вращается, а сверло только перемещается.

Минутная подача (мм/мин) рассчитывается с помощью следующей формулы:

$$S_m = S_o \cdot n.$$

Толщина среза  $a$ , измеренная в направлении, перпендикулярном режущей кромке:

$$a = S_o \cdot \sin \varphi$$

Ширина среза  $b$  измеряется в направлении вдоль режущей кромки и равняется ее длине:

$$b = \frac{D}{2 \sin \varphi}$$

Подача при сверлении отверстий на токарных станках должна быть как можно равномернее, если осуществляется вручную.

При сквозном сверлении в момент выхода поперечной кромки сверла из металла сила, необходимая для осуществления подачи, резко уменьшается. Поэтому, если давление на рукоятку маховика задней бабки в это время будет такое же, как и при сверлении, то подача сверла увеличивается, вследствие чего сверло часто ломается. Во избежание поломки подача сверла перед его выходом из металла должна быть как можно меньшей. При сверле-

нии с использованием автоматической подачи последняя должна своевременно выключаться (до подхода вершины сверла к выходу из металла).

Охлаждение при сверлении понижает температуру сверла, нагревающегося от теплоты резания и трения о стенки отверстия, уменьшает трение сверла об эти стенки и, наконец, способствует удалению стружки.

В качестве смазочно-охлаждающей жидкости при сверлении отверстий в стальных деталях применяется эмульсия. Ввиду низкой стойкости чугунов к образованию трещин в процессе быстрого охлаждения, сверление отверстий в деталях из чугуна производится без охлаждения.

Износ сверл происходит по задней поверхности, ленточкам и уголкам, а иногда и по передней поверхности сверл с твердосплавными пластинами – по уголкам и ленточке.

### 3.1.4. Влияние различных факторов на скорость резания при сверлении

Режим резания при сверлении должен обеспечивать максимальную производительность операции при заданной стойкости инструмента за счет назначения определенного сочетания глубины резания, подачи сверла и скорости резания.

Подача при сверлении зависит, прежде всего, от диаметра сверла, а также от физико-механических свойств обрабатываемого материала, глубины отверстия и других факторов.

Для сверл с  $D \leq 10$  мм  $S_o = 0,025 \cdot K_S \cdot K_{HBS} \cdot K_{IS} \cdot K_{1S} \cdot d$ , мм/об; для сверл с  $D > 10$  мм  $S_o = 0,063 \cdot K_S \cdot K_{HBS} \cdot K_{IS} \cdot K_{1S} \cdot d^{0,6}$ , мм/об,

где  $K_S$  – коэффициент, учитывающий влияние марки обрабатываемого материала;

$K_{HBS}$  и  $K_{IS}$  – коэффициенты, учитывающие соответственно влияние твердости обрабатываемого материала и глубины отверстия  $l_o$  (мм);

$K_{1S}$  – коэффициент, характеризующий условия сверления: для «обычных» условий сверления  $K_{1S} = 1,0$ , для тяжелых условий  $K_{1S} = 0,6$ .

Рассчитанное значение подачи  $S_o$  следует уточнить в большую сторону по паспортным данным оборудования и использовать значение  $S_{ост}$  при дальнейших расчетах.

Скорость резания при сверлении  $v$  для режима нормальной интенсивности может быть рассчитана по формулам:

– при сверлении стали:

$$v = \frac{8,3 \cdot D^{0,4}}{T^{0,2} \cdot S_{ост}^{0,5}} \cdot k_v \cdot k_{HBv} \cdot k_{lv} \cdot k_m \cdot k_{п} \cdot k_T \cdot k_c \cdot k_{\phi} \text{ (м/мин)};$$

– при сверлении чугуна:

$$v = \frac{8,3 \cdot D^{0,35}}{T^{0,125} \cdot S_{\text{ост}}^{0,475}} \cdot k_v \cdot k_{HBv} \cdot k_{lv} \cdot k_m \cdot k_{\Pi} \cdot k_T \cdot k_c \cdot k_{\phi} \text{ (м/мин)},$$

где  $T$  – заданная стойкость сверла (мин).

Рекомендуемое значение стойкости может быть принято по нормативам или подсчитано по приближенным эмпирическим зависимостям.

Скорость резания при сверлении зависит от различных факторов, влияние которых вводится в расчетную формулу в виде поправочных коэффициентов.

Поправочный коэффициент  $K_v$  характеризует влияние марки обрабатываемого материала.

Поправочный коэффициент  $K_{HBv}$  характеризует влияние твердости обрабатываемого материала, а коэффициент  $K_{lv}$  – влияние длины (глубины) обрабатываемого отверстия  $l_0$ .

Поправочный коэффициент  $K_m$  характеризует влияние инструментального материала сверла.

Поправочный коэффициент  $K_{\Pi}$  характеризует влияние наличия износостойкого покрытия. Для сверл без покрытия принимают  $K_{\Pi} = 1,0$ ; для сверл с износостойким покрытием  $K_{\Pi} = 1,15$ .

Поправочный коэффициент  $K_T$  характеризует степень точности сверла.

Поправочный коэффициент  $K_c$  характеризует вид используемой СОЖ.

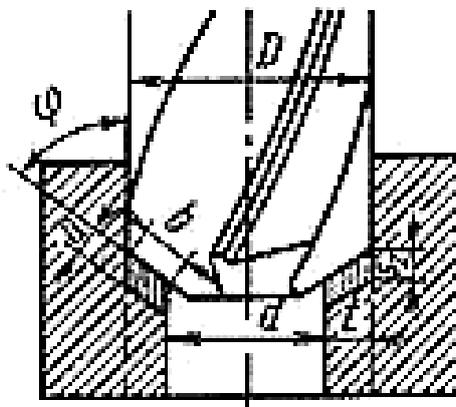
Поправочный коэффициент  $K_{\phi}$  характеризует форму режущей кромки сверла.

## Тема 3.2. ЗЕНКЕРОВАНИЕ, РАЗВЕРТЫВАНИЕ

### 3.2.1. Зенкерование

Зенкерование – вид механической обработки резанием, в котором с помощью специальных инструментов (зенкеров) производится обработка цилиндрических и конических отверстий в деталях с целью увеличения их диаметра, повышения качества поверхности и точности.

Зенкерование является получистовой обработкой резанием. Зенкерование выполняется зенкерами (рис. 24).



$a$  – толщина срезаемого слоя;  $b$  – ширина срезаемого слоя;  $d$  – диаметр обрабатываемого отверстия;  $D$  – диаметр обработанного отверстия;  $t$  – глубина резания;  $\varphi$  – угол в плане зенкера;  $S_z$  – подача на зуб

Рисунок 24. – Схема зенкерования отверстия

Зенкером обрабатывают предварительно штампованные, литые или просверленные отверстия. Припуск под зенкерование (после сверления) составляет 0,5–3 мм на сторону. Зенкер выбирают в зависимости от обрабатываемого материала, вида (сквозное, ступенчатое, глухое) и диаметра отверстия и заданной точности обработки.

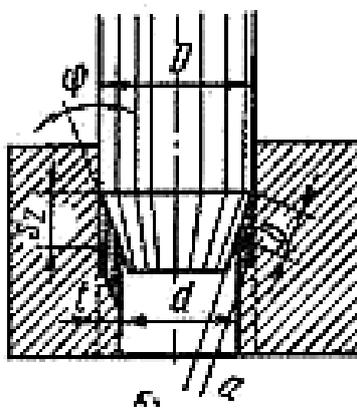
Зенкер представляет собой многолезвийный (3–12 лезвий) инструмент, имеющий ось вращения, при вращении которого его лезвиями производится обработка отверстия.

Зенкер имеет три и более режущие кромки, поэтому при зенкеровании снимается более тонкая стружка и получают более точные отверстия, чем при сверлении; он прочнее сверла, благодаря чему подача при зенкеровании в 2,5–3 раза превышает подачу при сверлении. Зенкерование может быть как предварительной (перед развертыванием), так и окончательной операцией. Кроме обработки отверстий зенкеры применяются для

обработки торцовых поверхностей. Для повышения точности зенкерования (особенно при обработке литых или штампованных глубоких отверстий) рекомендуется предварительно расточить (резцом) отверстие до диаметра, равного диаметру зенкера на глубину, равную примерно половине длины рабочей части зенкера. Для обработки высокопрочных материалов (предел прочности материалов  $> 750$  МПа) применяют зенкеры, оснащенные пластинами из твердого сплава. Скорость резания для зенкеров из быстрорежущей стали такая же, как и для сверл. Скорость резания твердосплавных зенкеров в 2–3 раза больше, чем зенкеров из быстрорежущей стали. При обработке высокопрочных материалов и литья по корке скорость резания твердосплавных зенкеров следует уменьшать на 20–30%.

### 3.2.2. Развертывание

Развертывание – вид чистовой механической обработки отверстий резанием. Развертывание производят после предварительного сверления и зенкерования для получения отверстия с меньшей шероховатостью. Вращающийся инструмент (развертка) снимает лезвиями мельчайшие стружки с внутренней поверхности отверстия (рис. 25).



$a$  – толщина срезаемого слоя;  $b$  – ширина срезаемого слоя;  $d$  – диаметр обрабатываемого отверстия;  $D$  – диаметр обработанного отверстия;  $t$  – глубина резания;  $\varphi$  – угол в плане развертки;  $S_z$  – подача на зуб

Рисунок 25. – Схема развертывания отверстия

Точность и шероховатость поверхности отверстий, обработанных зенкерованием, не соответствуют требованиям, предъявляемым к некоторым отверстиям. Поэтому обработка отверстий, к точности и шероховатости поверхности которых предъявляются сравнительно высокие требования, производится развертками.

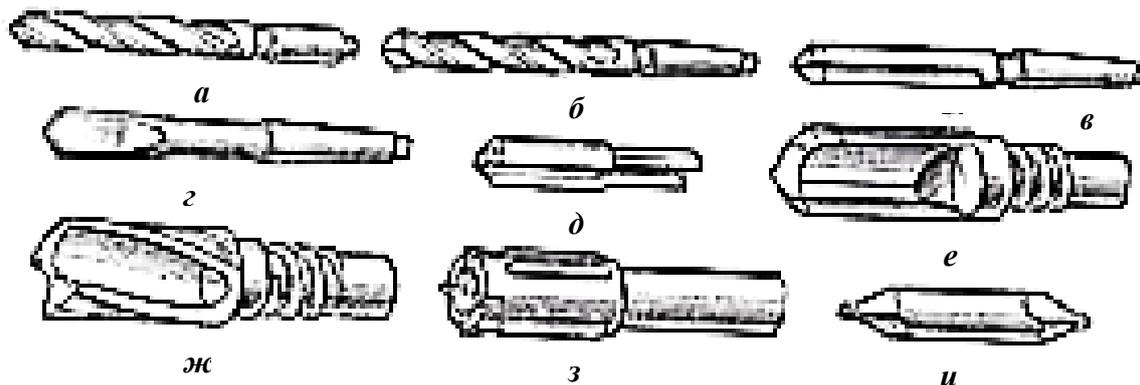
Развертка имеет значительно больше режущих кромок, чем зенкер, поэтому при развертывании снимается более тонкая стружка и получаются более точные отверстия, чем при зенкеровании. Отверстия диаметром до 10 мм развертывают непосредственно после сверления. Перед развертыванием отверстий большего диаметра их предварительно обрабатывают, а торец подрезают. Припуск под развертывание  $t = 0,15-0,5$  мм для черновых разверток и  $0,05-0,25$  мм для чистовых разверток. При работе чистовыми развертками на токарных и токарно-револьверных станках применяют качающиеся оправки, которые компенсируют несовпадение оси отверстия с осью развертки. Для того чтобы обеспечить высокое качество обработки, сверление, зенкерование (или растачивание) и развертывание отверстия производят за одну установку заготовки в патроне станка. Подача при развертывании стальных деталей составляет  $0,5-2$  мм/об, а при развертывании чугунных деталей –  $1-4$  мм/об. Скорость резания при развертывании составляет  $6-16$  м/мин. Чем больше диаметр обрабатываемого отверстия, тем меньше скорость резания при одинаковой подаче, а при увеличении подачи скорость резания снижают.

При развертывании отверстий, имеющих продольные канавки (например, шпоночные), следует пользоваться развертками с винтовыми канавками, так как каждый раз, когда прямой зуб развертки попадает против канавки отверстия (т.е. выходит из работы), развертка смещается в сторону этой канавки, увеличивая тем самым диаметр отверстия. При винтовом расположении зубья перекрывают канавку по диагонали, поэтому резких изменений в нагрузке на них не получается и развертка не смещается в сторону канавки. При обычном правом вращении шпинделя станка винтовые зубья развертки должны быть левыми, чтобы развертка не затягивалась в отверстие давлением стружки.

## Тема 3.3. КОНСТРУКЦИИ СВЕРЛ, ЗЕНКЕРОВ, РАЗВЕРТОК

### 3.3.1. Конструкции сверл

На рисунке. 26 показаны различные типы сверл: спиральные (рис. 26, *а* и *б*), перовые (рис. 26, *г*), ружейное (рис. 26, *д*), двухкромочные (рис. 26, *ж*), для кольцевого сверления (рис. 26, *з*), центровочные (рис. 26, *и*), шнековые (рис. 26, *к*).



*а, б* – спиральные, *в* – с прямыми канавками, *г* – перовое, *д* – ружейное, *е* – одно-кромочное с внутренним отводом стружки, *ж* – двухкромочное, *з* – для кольцевого сверления, *и* – центровочное

Рисунок 26. – Виды сверл

**Спиральные сверла** выпускают с хвостовой частью (хвостовиком) двух типов – цилиндрические и конические. Цилиндрические хвостовики применяются для сверл диаметром до 20 мм, а конические – для сверл диаметром от 5 мм.

Конический хвостовик сверла имеет лапку, служащую для удаления сверла из шпинделя станка или переходной втулки. Крутящий момент от шпинделя станка сверлу передается за счет сил трения между поверхностями конического хвостовика и втулки или отверстия шпинделя станка. Лапка на конце конического хвостовика облегчает удаление (выбивание) сверла из переходной втулки или шпинделя станка. Сверла с цилиндрическими хвостовиками закрепляются в станке или сверлильном приспособлении, механизированном инструменте при помощи специальных сверлильных патронов.

Конструктивные особенности и специфика работы сверла обуславливают непостоянство геометрических параметров заточки их рабочей части. Сверла затачивают по задней поверхности так, чтобы

$\alpha$  получился вдоль режущей кромки переменным: на периферии –  $8\text{--}14^\circ$ , а при приближении к перемычке – увеличивается и составляет  $26\text{--}35^\circ$ . Так как передняя поверхность сверла – винтовая поверхность, то  $\gamma$  вдоль режущей кромки получается переменным (зависит от  $B$ ,  $2\phi$  и  $\omega$ ): больший – на периферии, к перемычке – уменьшается и даже может быть отрицательным. Так как  $\gamma$  – переменный и получается автоматически, то на чертежах сверл величину  $\gamma$  не указывают. На периферии передний угол  $\gamma = 18\text{--}33^\circ$ , а около поперечной режущей кромки  $\gamma = 0^\circ$  или имеет отрицательное значение.

Угол при вершине сверла  $2\phi$  выбирают в зависимости от свойств обрабатываемого материала. У стандартных сверл величина этого угла колеблется в пределах  $116\text{--}118^\circ$ .

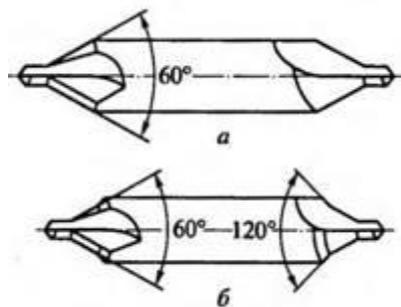
Угол наклона поперечной режущей кромки  $\psi$  составляет  $50\text{--}55^\circ$ , угол наклона винтовой канавки к оси отверстия  $\omega = 23\text{--}27^\circ$ .

Принята единая градация диаметров сверл, которая охватывает сверла диаметром до 80 мм. Сверла диаметром от 1 до 3 мм имеют градацию через каждые 0,05 мм; диаметром от 3 до 13,7 мм – через 0,1 мм; диаметром от 13,75 до 49,5 – через 0,5; 0,1; 0,15; 0,25; сверла диаметром 52–80 мм имеют градацию через 1 мм.

На практике при сверлении отверстий глубиной до  $20d$  на универсальном оборудовании часто используют спиральные сверла удлиненной серии или с нормальной длиной режущей части и длинным хвостовиком, равным глубине отверстия. В этом случае для освобождения сверла от стружки в процессе сверления применяется автоматический ввод-вывод инструмента из отверстия.

С целью уменьшения увода оси отверстий у таких сверл рекомендуется вышлифовывать на спинках четыре ленточки и увеличивать насколько возможно диаметр сердцевины. Некоторые фирмы выпускают такие сверла с увеличенным объемом канавок и большим углом их наклона к оси инструмента, достигающим до  $\omega = 40^\circ$ .

**Центровочные сверла** (рис. 27) предназначены для выполнения центровых отверстий, их изготавливают из быстрорежущих инструментальных сталей марок P9 и P12. По конструкции различают центровые сверла без предохранительного конуса (рис. 27, а) и с предохранительным конусом (рис. 27, б).



*a* – без предохранительного конуса; *б* – с предохранительным конусом

Рисунок 27. – Центровочные сверла

**Шнековые сверла** изготавливают диаметром 3–30 мм, применяют для сверления отверстий длиной до 30 диаметров в стальных заготовках и до 40 диаметров в чугунных. Эти сверла изготавливают из быстрорежущей стали. Для лучшего отвода стружки угол наклона винтовых канавок составляет  $\omega = 60^\circ$ . Стружечные канавки сверл имеют в осевом сечении прямолинейный треугольный профиль с закруглением во впадине. При обработке заготовок из чугуна угол при вершине  $2\varphi = 120\text{--}130^\circ$ . При обработке стали  $2\varphi = 120^\circ$ , задний угол выбирают в пределах  $12\text{--}15^\circ$ . Для уменьшения трения ленточку на калибрующей части выбирают равной 0,5–0,8 ширины ленточки спирального сверла. Для придания сверлам жесткости диаметр сердцевины выбирают в пределах 0,3–0,35 диаметра сверла, который не изменяется по всей длине рабочей части; увеличенный угол наклона винтовых канавок, их профиль и форма подточки передней поверхности обеспечивают надежное удаление стружки. Передний угол для сверл из чугуна составляет  $12\text{--}18^\circ$ , из стали –  $12\text{--}15^\circ$ .

**Перовые сверла** имеют плоскую рабочую часть и прямые канавки для отвода стружки. Рабочую часть таких сверл (перо) часто выполняют так, чтобы ее можно было заменить. Отсутствие спиральной части упрощает изготовление перовых сверл и повышает их жесткость в осевом направлении, однако затрудняет отвод стружки из зоны резания.

На режущей части перового сверла выполняются стружкоразделительные канавки. Угол при вершине, задний угол, ширину калибрующей ленточки и некоторые другие параметры перовых сверл выбирают в зависимости от условий обработки отверстий по аналогии с параметрами спиральных сверл.

Конструкция перовых сверл отвечает требованию экономии инструментального материала. Так как перовые сверла фактически не имеют

стружечных канавок, то их целесообразно применять на станках с горизонтальной осью шпинделя, а на станках с вертикальной осью – лишь для сверления на глубину до  $3d$ .

**Ружейные сверла** применяются для сверления глубоких и сверхглубоких отверстий. Основная конструктивная особенность этих сверл состоит в том, что главные режущие кромки и вершина сверла расположены не симметрично относительно его оси на  $0,2-0,25$  мм диаметра, что требует обязательного направления сверла по кондукторной втулке по предварительно просверленному цилиндрическому, либо центровому отверстию.

Ружейное сверло типовой конструкции с наружным отводом стружки состоит из колоска, который оснащен одной режущей и двумя направляющими пластинами и имеет отверстие для подвода смазывающе-охлаждающей технологической среды (СОТС). Ружейные сверла с наружным отводом стружки используются для обработки отверстий диаметром от 3 до 30 мм.

**Кольцевые сверла** применяются для уменьшения сил резания и потребляемой мощности оборудования, повышения производительности обработки сквозных отверстий диаметром более 50 мм, а также уменьшения объема стружки и последующего использования образующегося вдоль оси обрабатываемого отверстия центрального стержня.

Кольцевые сверла изготавливаются из быстрорежущей стали, ими выполняются отверстия на различных металлорежущих станках (сверлильных, токарных, расточных). Выпускаются сборные кольцевые сверла, корпус которых выполнен из легированной стали 12ХНЗА, а вставные резцы оснащаются пластинами из твердого сплава группы ВК.

В зависимости от требуемого размера отверстий используются различные конструкции кольцевых сверл:

- для образования глубоких отверстий диаметром 110–180 мм применяются двурезцовые кольцевые сверла, состоящие из корпуса 1, в котором установлены два сменных резца 2 и 3 и три направляющие пластины 4, 5 и 6;
- для образования глубоких отверстий диаметром 180–250 мм применяют трехрезцовые кольцевые сверла, отличающиеся от двурезцовых только габаритными размерами и числом резцов.

Сверла трубные перфорированные предназначены для сверления отверстий из неметаллических материалов. Сверло представляет собой тонкостенную трубку, на одном конце которой имеется перфорация. На перфорированную часть трубки методом гальваностегии закрепляются алмазы. Сверление отверстий диаметром более 1,5 мм при глубине сверления

больше величины одного-двух диаметров сверла необходимо производить с подачей смазочно-охлаждающей жидкости через полость сверла под давлением 0,3–0,6 МПа. Режущий материал – синтетический алмаз АС15 зернистостью 80/63 мкм. Основное назначение – для сверления отверстий из неметаллических материалов.

**Сверла, оснащенные твердым сплавом.** Сверла, оснащенные пластинками из твердого сплава, обладают большой стойкостью, позволяют работать на высоких скоростях, дают высокое качество обработанной поверхности и обеспечивают высокую производительность. Ими можно обрабатывать детали из чугуна, закаленной стали, стекла, мрамора, пластмасс и др. Особенно эффективно применение твердосплавных пластинок при сверлении чугунов и рассверливании чугунов и сталей.

Твердосплавные сверла имеют передний угол  $\gamma = 0-7^\circ$ ; задний угол  $\alpha = 8-16^\circ$ , угол  $2\varphi = 118-150^\circ$ . Монолитные сверла изготавливаются из сплавов ВК6М, ВК8М и ВК10М. Они предназначены для обработки тугоплавких металлов – вольфрама, бериллия, титановых и молибденовых сплавов, высокопрочных чугунов, нержавеющей, хромоникелевых, жаропрочных сталей и сплавов. Стоимость монолитных твердосплавных сверл в 10 раз выше, чем стоимость сверл из быстрорежущих сталей.

Применение сверл с неперетачиваемыми поворотными пластинками превращают операцию сверления из медленной в быструю и дешевую. Учитывая, что операция сверления неглубоких отверстий в станках с ЧПУ, агрегатных станках и автоматических линиях является обычной и распространенной, технология обработки с использованием сверл с неперетачиваемыми поворотными пластинками будет прогрессивной.

### **3.3.2. Способ подвода СОТС в зону резания**

Применяют следующие основные способы подачи СОТС в зону резания лезвийным инструментом:

1. подача свободно падающей струей;
2. подача напорной струей;
3. подача струей воздушно-жидкостной смеси;
4. подача через каналы в теле режущего инструмента.

Подача СОТС чаще всего осуществляется свободнопадающей струей (поливом). Свободно падающая струя истекает из сопел различных конструкций под давлением 0,03–0,1 МПа, (т.е. под действием силы тяжести) и обильно поливает зону резания.

Широко практикуется подача СОТС напорной струей под давлением 0,1–2,5 МПа. На операциях глубокого сверления давление струи СОТС достигает 10 МПа. Напорную струю можно подавать как в зону обработки (со стороны задней грани инструмента), так и по каналам в теле инструмента. При подаче в зону обработки скорость напорной струи достигает 40–60 м/с. В целях уменьшения разбрызгивания рекомендуется разветвлять поток СОТС: часть потока направлять в виде тонкой напорной струи, а часть – свободным поливом.

Недостатки подачи СОТС высоконапорной струей следующие:

1. трудность обеспечения в производственных условиях нужного направления струи СОТС на режущую кромку инструмента;
2. необходимость тщательной очистки СОТС, чтобы исключить засорение сопла;
3. необходимость оснащения станка специальной насосной станцией;
4. сильное разбрызгивание жидкости.

Подача СОТС в распыленном состоянии осуществляется путем смешивания СОТС и воздуха, затем в виде аэрозоли направляется в зону резания. Эффективность действия СОТС при такой подаче можно объяснить повышением физической и химической активности СОТС, по сравнению с охлаждением нераспыленной струей. К преимуществам этой подачи СОТС следует отнести чрезвычайно малые расходы жидкости (0,5–3 г/ч).

Подача СОТС по каналам в теле инструмента весьма эффективна, но осуществима для ограниченной номенклатуры инструментов. Такая технология подачи СОТС получила распространение при обработке глубоких отверстий спиральными сверлами, твердосплавными сверлами одностороннего резания, ружейными и кольцевыми сверлами, метчиками, протяжками. Для подвода СОТС к вращающимся инструментам с внутренними каналами применяют специальные патроны и маслоприемники.

Глубокие отверстия сверлят с принудительным наружным или внутренним отводом стружки и подводом СОТС, применяя при этом специальные режущие инструменты.

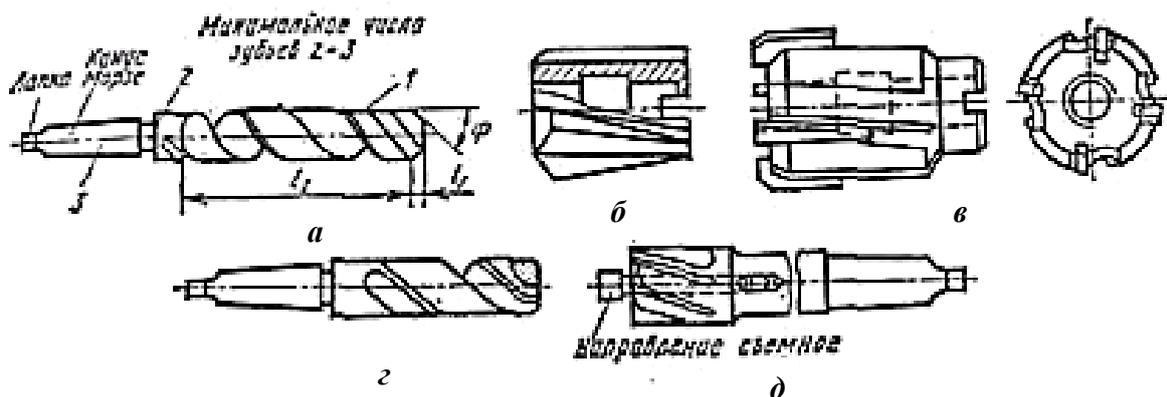
Наибольшие трудности возникают при выборе технологии подачи СОТС на операциях обработки глубоких отверстий мелкогабаритным инструментом, не содержащим внутренних каналов. В этих случаях целесообразно подавать в зону резания несколько струй жидкости равномерно по конусу, ось которого совпадает с осью режущего инструмента, а вершина располагается в зазоре между кондукторной втулкой и обрабатываемой деталью. При обработке глубоких отверстий перспективна также подача СОТС им-

пульсным (ударным) методом, так при ее подаче с частотой 10–13 Гц по сравнению с подачей непрерывной напорной струи возможно повышение в 2–2,5 раза производительности обработки и улучшение дробления и отвода стружки. На некоторых сверлильных операциях при зенкеровании и развертывании отверстий глубиной менее двух диаметров, а также отверстий малого диаметра СОТС подводят через специальные кольцевые насадки.

### 3.3.3. Конструкции зенкеров

Операция зенкерования более точна, чем сверление. Сверлением достигаются 11–12-й квалитеты и шероховатость поверхности  $R_z$  20 мкм, а зенкерованием – 9–11-й квалитеты и шероховатость поверхности  $R_a$  2,5 мкм.

Зенкеры изготавливают хвостовыми цельными, хвостовыми сборными со вставными ножами, насадными цельными и насадными сборными. Зенкеры изготавливают из быстрорежущей стали или с пластинами твердого сплава, напаиваемыми на корпус зенкера. Рабочая часть состоит из режущей и калибрующей частей. Длина режущей части определяется в зависимости от глубины резания и главного угла в плане  $\phi$ , который оказывает прямое влияние на размеры поперечного сечения срезаемого слоя, а значит, на возникающие при резании силы. Обычно принимают  $\phi = 60^\circ$ , а для обработки глухих отверстий – до  $90^\circ$ . Задний угол на режущей части  $\alpha = 6-10^\circ$ . Заднюю поверхность зенкера профилируют по конической винтовой или плоской поверхности. На рисунке 28 показана конструкция зенкера.



*а* – зенкер цельный с коническим хвостовиком, *б* – насадной цельный, *в* – насадной с наборными ножками, *г* – оснащенный твердосплавной пластиной, *д* – с направлением для цилиндрических углублений (цековка)

Рисунок 28. – Зенкеры

Зенкер состоит из рабочей части 1, шейки 2 и хвостовика 3. Рабочая часть состоит из режущей части 11 и калибрующей 12. Режущая (заборная) часть наклонена к оси под главным углом в плане и выполняет резание. Обычно при обработке стали  $\varphi = 60^\circ$ , для чугуна –  $45\text{--}60^\circ$ . Для зенкеров, оснащенных твердосплавными пластинками,  $\varphi = 60\text{--}75^\circ$ . Угол наклона винтовой канавки  $\omega = 10\text{--}30^\circ$ , при обработке чугуна  $\omega > 0$ .

Зенкеры с коническим хвостовиком (рис. 28, а) с минимальным количеством зубьев  $z < 3$ , диаметром 10 мм и выше применяются для окончательной обработки и под развертывание. Зенкеры насадные и со вставными ножами (рис. 28, б и в) применяются для обработки отверстий.

Зенкеры изготавливаются из быстрорежущих сталей Р6М5 и Р9 и твердосплавных материалов Т15К6, применяемых при обработке сталей, и ВК8, ВК6 и ВК4 – при обработке чугунов.

### 3.3.4. Конструкции разверток

Развертывание является операцией более точной, чем сверление и зенкерование. Развертыванием достигается 6–9-й квалитеты и шероховатость поверхности  $R_a 1,25\text{--}0,25$  мкм.

Развертка – осевой режущий инструмент для повышения точности формы и размеров отверстия и снижения шероховатости поверхности. Предназначены для предварительной и окончательной обработки отверстий. В процессе работы развертка повышает точность и качество обработки отверстий. Развертывают отверстия после сверления в основном диаметром до 5 мм. По способу применения развертки разделяют на ручные и машинные, по форме обрабатываемого отверстия – на цилиндрические и конические, по методу закрепления – на хвостовые и насадные, по конструкции – на цельные и сборные, регулируемые и нерегулируемые. Ручные развертки изготавливают диаметром 3–40 мм, машинные – 3–50 мм. Рабочая часть разверток состоит из режущей и калибрующей частей. Зубья режущей части затачивают доостра без ленточки, на калибрующей части по задней поверхности оставляют ленточку. Угол в плане на режущей части на ручных развертках составляет  $1\text{--}2^\circ$ . У машинных разверток –  $5\text{--}45^\circ$ . Передний угол  $\gamma = 0^\circ$ , задний угол  $\alpha = 6\text{--}15^\circ$ .

Развертка во многом напоминает зенкер, основное ее отличие от зенкера в том, что она снимает значительно меньший припуск и имеет большее число зубьев – от 6 до 12. Развертка состоит из рабочей части и хвостовика (рис. 29).

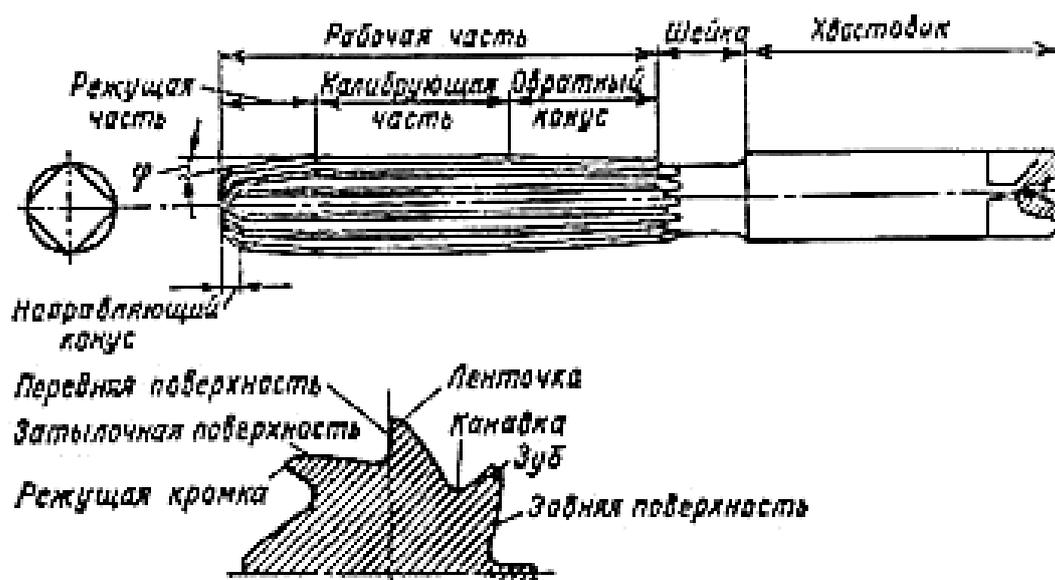


Рисунок 29. – Части и элементы развертки

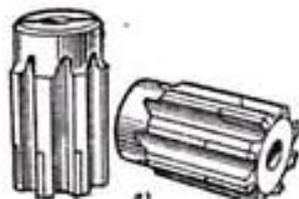
Рабочая часть состоит из режущей и калибрующей частей. Режущая часть наклонена к оси под главным углом в плане и выполняет основную работу резания. Угол конуса режущей (заборной) части составляет  $2\phi$ .

Калибрующая часть развертки состоит из двух участков: цилиндрического и конического (обратного) конуса. Обратный конус делается для уменьшения трения инструмента об обработанную поверхность и увеличения диаметра отверстия. Передний угол развертки  $\gamma = 0-10^\circ$  ( $0^\circ$  принимается для чистовых работ и при резании хрупких металлов). Задний угол  $\alpha$  на режущей части развертки делается  $6-15^\circ$  (большие значения для малых диаметров). Задний угол на калибрующей части равен нулю, так как имеется цилиндрическая ленточка.

По способу применения развертки бывают ручные и машинные. У ручных разверток на хвостовике делается квадрат под вороток. В отличие от ручных разверток машинные развертки имеют короткую рабочую часть и часто меньшее количество зубьев. Они стандартизованы.

Развертки изготавливаются преимущественно из быстрорежущей стали. Ручные развертки изготавливаются с цилиндрическим хвостовиком. Ими обрабатываются отверстия от 3 до 50 мм. Машинные развертки делаются с цилиндрическими и коническими хвостовиками и используются для развертывания отверстий диаметром от 3 до 100 мм. Этими развертками обрабатываются отверстия на сверлильных и токарных станках.

Насадные развертки служат (рис. 30) для развертывания отверстий от 25 до 300 мм.



**Рисунок 30. – Конструкции насадных разверток**

Их насаживают на специальную оправку, имеющую конусный хвостовик для крепления на станке. Насадные развертки изготавливают из быстрорежущей стали Р9 или Р6М5 и оснащают пластинками из твердого сплава.

Главный угол в плане  $\phi$  у машинных разверток (из инструментальных сталей) при обработке вязких сталей равен  $15^\circ$ , при обработке чугунов  $\phi = 5^\circ$ . При развертывании глухих и сквозных отверстий 9-го качества и грубее  $\phi = 45\text{--}60^\circ$ . У разверток, оснащенных пластинками твердых сплавов,  $\phi = 30\text{--}45^\circ$ .

Для облегчения ввода развертки в обрабатываемое отверстие на ее переднем конце имеется направляющий конус. Калибрующая часть развертки делается цилиндрической: она не участвует в резании, а лишь калибрует и зачищает отверстие. За цилиндрическим участком калибрующей части следует конус (диаметр правого конца рабочей части развертки делается на  $0,04\text{--}0,06$  мм меньше диаметра цилиндрического участка).

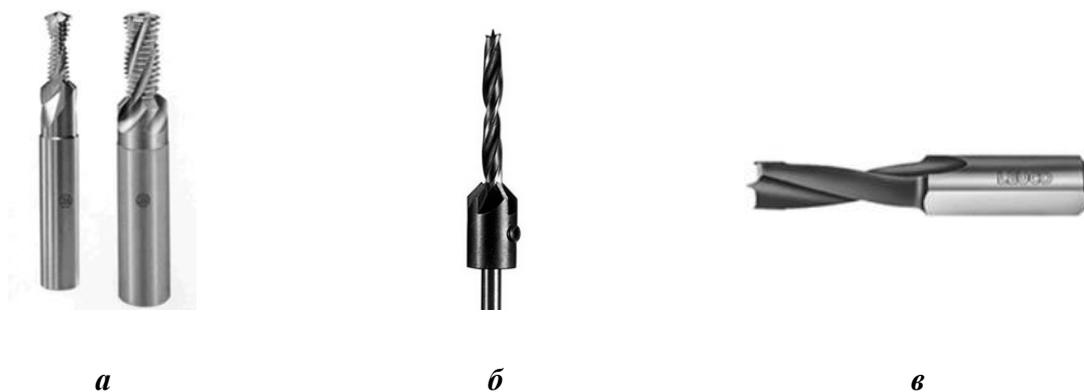
Шаг зубьев у развертки делают неравномерным, так как отверстия, обработанные разверткой с равномерным шагом, получаются иногда не круглыми, а гранеными. С другой стороны, для измерения диаметра развертки необходимо, чтобы ее зубья располагались попарно в одной диаметральной плоскости развертки.

Развертки могут закрепляться в пиноли задней бабки или в патроне так же, как и сверла. Для закрепления насадных разверток используются оправки, подобные применяемым для насадных зенкеров. Если задняя бабка хотя бы немного смещена со своего среднего положения, ось развертки не будет совпадать с осью отверстия, подготовленного для развертывания. То же самое происходит при неисправной оправке, неправильной установке на ней разверток и т.п. В результате развертка будет работать одной стороной, из-за чего диаметр развернутого отверстия получится больше требуемого. Этого не случится, если развертка будет направляться самим развертываемым отверстием, что обеспечивается ее закреплением в шарнирной оправке.

Помимо многозубых разверток применяют иногда однозубые развертки, которыми производят окончательную калибровку длинных отверстий диаметром  $25\text{--}75$  мм.

### 3.3.5. Комбинированный инструмент для обработки отверстий.

Комбинированные инструменты применяют для совмещения операций и переходов при обработке цилиндрических и ступенчатых отверстий (рис. 31).



*а* – метчик-зенковка; *б* – сверло-зенкер; *в* – сверло-зенковка

**Рисунок 31. – Конструкции комбинированного режущего инструмента**

Их использование значительно сокращает машинное и вспомогательное время и повышает производительность обработки. При их применении значительно уменьшается отклонение от соосности ступеней ступенчатых отверстий, повышается точность размеров. Комбинированные инструменты используются на сверлильных, револьверных, расточных, агрегатных станках, токарных автоматах и т.п. При обработке цилиндрических отверстий широко применяются инструменты, являющиеся соединением инструментов разных типов: сверло-зенкер, сверло-развертка, зенкер-развертка и т.д. Для обработки ступенчатых отверстий применяют соединения однотипных инструментов. Конструктивные геометрические параметры выбирают аналогично инструментам соответствующего типа. Недостатком этих конструкций является меньшее число заточек. Это устраняется в конструкциях сборных комбинированных инструментов, которые состоят из набора простых инструментов. В зависимости от размеров обрабатываемых отверстий используют как цельные инструменты, так и инструменты со вставными ножами. Так как большинство комбинированных инструментов являются специальными инструментами, то они имеют относительно высокую стоимость, из-за чего применяются в основном в серийном и массовом производстве.

**По типу** комбинированные инструменты разделяются на однотипные и разнотипные.

Однотипные инструменты применяются при обработке отверстий, расположенных последовательно на одной оси. В некоторых случаях однотипные инструменты могут применяться для последовательной обработки отверстий одного диаметра, например, черновое и чистовое развертывание отверстий, нарезание и калибрование резьбы в плашках.

Разнотипные инструменты в большинстве случаев применяются для последовательной обработки отверстий одного диаметра, например, отверстий и нарезания резьбы, зенкерования и развертывания, сверления и растачивания и т.д. Разнотипные инструменты применяются иногда для обработки отверстий разных диаметров, расположенных на одной оси, например, одновременного нарезания резьб развертывания.

**По количеству ступеней** используемый на практике комбинированный инструмент разделили на 2–6 ступенчатые. Максимальное количество ступеней (шесть) наблюдается у сверл и зенкеров. У разверток – четыре, у метчиков – две.

**По конструктивному исполнению** комбинированные инструменты разделяются на цельные, составные и насадные.

Цельные комбинированные инструменты изготавливаются из однородных по наименованию и марке материалов. К цельным комбинированным инструментам следует относить и инструменты, у которых режущая часть выполнена из инструментальной стали, а хвостовик из конструкционной. К составным комбинированным инструментам относятся инструменты, которые состоят из корпуса, к которому при помощи сварки, пайки, клея, винтов, рифлений и т.д. крепятся режущие элементы.

Эффективным является применение комбинированного инструмента с неперетачиваемыми пластинками. Неперетачиваемые пластинки позволяют относительно быстро получать любую комбинацию режущих кромок. Недостатком инструментов с неперетачиваемыми пластинками является громоздкость элементов крепления, что не позволяет изготавливать инструменты для обработки отверстий малых диаметров. Насадные комбинированные инструменты или наборы объединяют однотипные или разнотипные инструменты общей оправкой или одним из инструментов. Метчики в большинстве случаев крепятся в предохранительных патронах, что исключает их поломку.

**По схемам резания** комбинированные инструменты разделяются на инструменты с параллельной схемой, инструменты с последовательной схемой, инструменты с комбинированной схемой.

По параллельной схеме работают однотипные комбинированные инструменты, например, ступенчатый зенкер, ступенчатая развертка. По параллельной схеме могут работать и разнотипные инструменты, например, развертка-метчик. Разнотипные инструменты могут работать по параллельной схеме в том случае, когда инструменты всех ступеней позволяют работать с одинаковыми режимами резания, что является характерным, например, для развертки и метчика. Комбинированные инструменты с параллельной схемой резания обеспечивают высокую производительность обработки за счет сокращения машинного времени. Недостатком параллельной схемы является увеличение составляющих сил резания. Кроме того, при параллельной схеме увеличивается количество выделяемого тепла, что ведет к снижению стойкости инструмента. По последовательной схеме работают разнотипные режущие инструменты, например, сверло-метчик. Недостатки, наблюдаемые при параллельной схеме резания, устраняются при последовательной схеме резания.

Однако при работе разнотипными инструментами по последовательной схеме переход инструмента на работу новой ступенью требует изменения режимов резания. Комбинированная схема резания инструментов заключается в том, что в работу вступает одна или несколько ступеней, а затем вступают остальные ступени или наоборот: сначала в работу вступают все ступени, а затем количество одновременно работающих ступеней уменьшается. Последовательность работы ступеней и количество одновременно работающих ступеней определяется соотношением между длинами отверстий и ступенями инструментов. Комбинированная схема используется при работе как однотипных, так и разнотипных инструментов. Например, при обработке трехступенчатым зенкером (однотипный инструмент) двух отверстий и снятия фаски, инструмент при обработке двух отверстий работает по параллельной схеме, а при снятии фаски – по последовательной.

Обработка отверстий на станках с ЧПУ также производится с использованием ступенчатых расточных блоков, представляющих собой сборный комбинированный легко перенастраиваемый осевой инструмент.

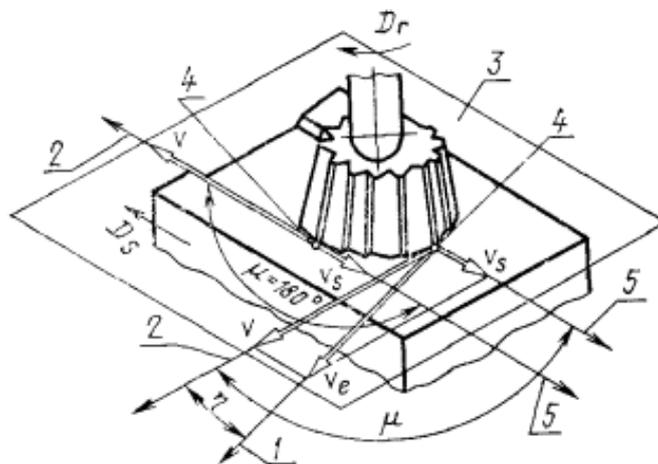
## РАЗДЕЛ 4. ФРЕЗЕРОВАНИЕ

### Тема 4.1. ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ФРЕЗАМИ

#### 4.1.1. Процесс фрезерования

Фрезерование – процесс резания металла, осуществляемый вращающимся режущим инструментом при одновременной линейной подаче заготовки. Фрезерование является производительным и универсальным технологическим способом механической обработки заготовок резанием. В машиностроении фрезерованием обрабатывают плоскости, уступы, канавки прямоугольного и профильного сечения, пазы, фасонные поверхности и т.д. Фрезерование также используют для разрезания катаных прутков, резьбо- и зубофрезерования.

Материал с заготовки снимают на определенную глубину фрезой, работающей либо торцевой стороной, либо периферией. Главным движением резания при фрезеровании является вращение фрезы  $D_r$  (рис. 32).



1 – направление скорости результирующего движения резания; 2 – направление скорости главного движения резания; 3 – рабочая плоскость; 4 – рассматриваемая точка режущей кромки; 5 – направление скорости движения подачи  
Рисунок 32. – Элементы движений в процессе резания при фрезеровании концевой угловой фрезой

Скорость главного движения определяет частоту вращения фрезы. Движением подачи  $D_s$  при фрезеровании является поступательное пере-

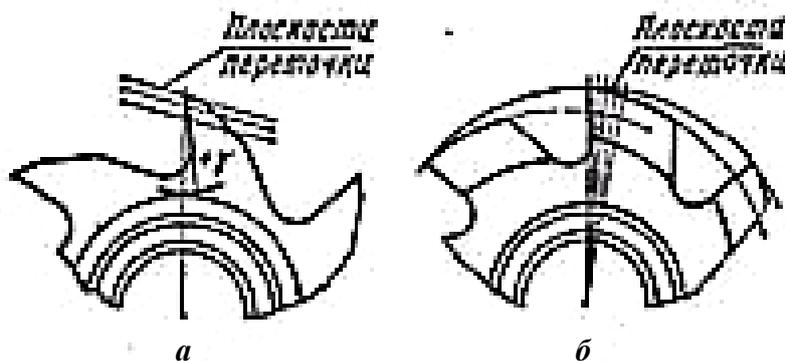
мещение обрабатываемой заготовки в продольном, поперечном или вертикальном направлениях.

Процесс фрезерования является прерывистым процессом. Каждый зуб фрезы снимает стружку переменной по своей длине толщины. При цилиндрическом фрезеровании резание осуществляется зубьями, расположенными на периферии фрезы, и обработанная поверхность  $1$  является плоскостью, параллельной оси вращения фрезы  $2$ .

Начальная и конечная толщина среза зависит от отношения ширины заготовки к диаметру фрезы. Изменение толщины среза зависит также от расположения фрезы относительно заготовки.

#### 4.1.2. Элементы режущей части цилиндрической фрезы

Фрезы делятся на фрезы с остроконечными зубьями (рис. 33, *а*) и на фрезы с затылованными (формируемыми по задней поверхности) зубьями (рис. 33, *б*).



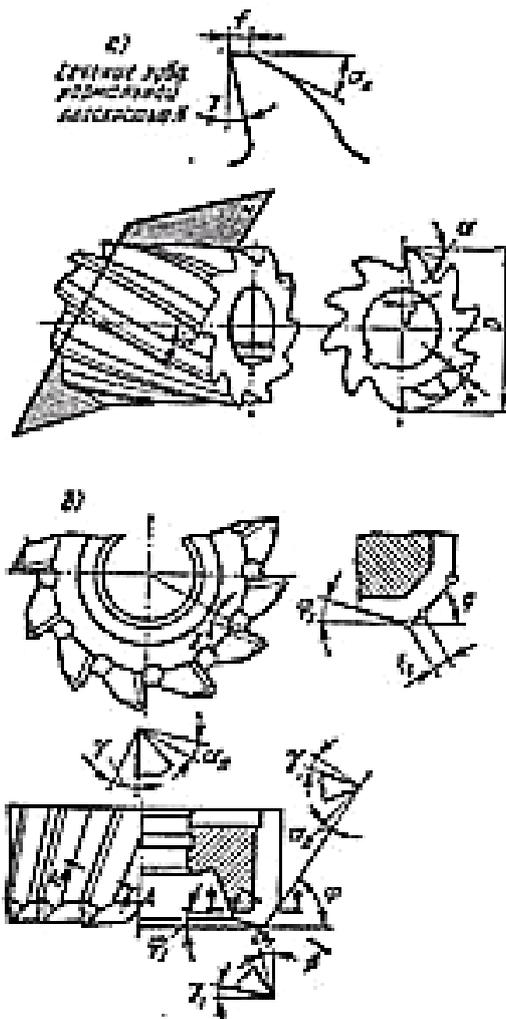
*а* – фреза с остроконечным зубом; *б* – фреза с затылованным зубом

Рисунок 33. – Типы зубьев фрез

Известны три типа остроконечных зубьев: трапецеидальной формы, параболической формы и с двойной спинкой.

Зубья трапецеидальной формы просты в изготовлении, но несколько ослаблены. Параболическая форма обладает равнопрочностью всех сечений пути на изгиб. Остроконечные зубья обладают стойкостью в 1,5–3 раза выше стойкости фрез с затылованными зубьями, простотой в изготовлении, обеспечивают низкую шероховатость обработанной поверхности детали.

На рисунке 34 показаны геометрические элементы режущей части фрезы. Главный передний угол  $\gamma$  может быть положительным и отрицательным (рис. 34, *а* и *б*). У цилиндрических фрез из быстрорежущих сталей угол  $\gamma$  принимают в пределах 10–20°.



**Рисунок 34. – Геометрические параметры режущей части фрезы**

Главный задний угол  $\alpha$  у фрез из быстрорежущих сталей равен 12–30°. У цилиндрических, концевых и дисковых фрез угол  $\lambda$  равен углу наклона винтового зуба, т.е.  $\lambda = \omega$ . Угол  $\lambda$  влияет на прочность и стойкость зуба фрезы. Угол  $\lambda$  колеблется в пределах от 0 до 15°.

Главный угол в плане  $\varphi$  влияет на толщину и ширину среза (при одной и той же подаче и глубине), на соотношение составляющих сил, действующих на фрезу, на стойкость фрезы и качество обработанной поверхности.

Главный угол в плане принимают обычно равным 45–60°. Меньшие значения угла  $\varphi$  (10–30°) используются при наличии станков повышенной жесткости и виброустойчивости.

Вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$  служит для уменьшения трения вспомогательной режущей кромки об обработанную поверхность и принимается для торцовых фрез равным 1–10°. Главный угол в плане переходной кромки  $\varphi_0$  принимается равным 15–30°. Переходная кромка затачи-

вается у торцовых фрез с напайными пластинами твердого сплава и способствует повышению стойкости фрез.

Углы в плане  $\varphi$  и  $\varphi_1$  имеют только торцовые фрезы. Значения геометрических параметров для различных фрез и условий обработки приведены в справочниках по режимам фрезерования и справочнике технолога.

#### 4.1.3. Элементы режимов резания при фрезеровании цилиндрическими фрезами

Толщиной среза  $a$  (рис. 35) при фрезеровании называется кратчайшее расстояние между двумя последовательными положениями линии контакта соответствующих точек режущих кромок двух соседних зубьев с обрабатываемой заготовкой.

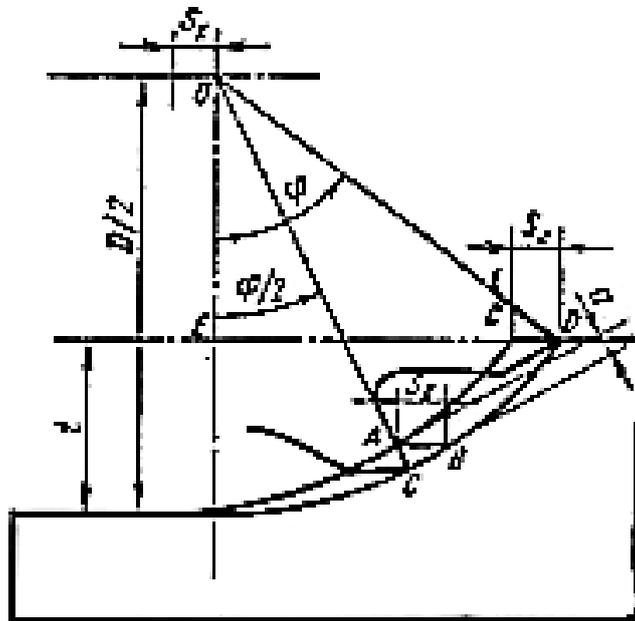


Рисунок 35. – Элементы срезаемого слоя при фрезеровании цилиндрической прямозубой фрезой

Средняя толщина среза  $a$ , мм определяется по формуле

$$a = S_o \sin \varphi / 2 = S_z \cdot \sqrt{\frac{t}{D}},$$

- где  $S_o$  – подача на оборот;  
 $\varphi$  – угол в плане;  
 $S_z$  – подача на зуб;  
 $t$  – глубина резания;  
 $D$  – диаметр фрезы.

Ширина среза  $b$  (мм) при цилиндрическом фрезеровании – это общая длина контакта режущих кромок фрезы с обрабатываемой деталью. Ширина равна произведению длины контакта одного зуба фрезы с обрабатываемой деталью  $B$  на число зубьев фрезы  $z$ , находящихся в контакте с деталью, т.е.  $b = B \cdot z$ . Ширина среза может быть определена по формуле

$$b = B \cdot z = \frac{B \cdot z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{t}{D}}$$

Скорость резания при фрезеровании – это длина пути (м), которую проходит за одну минуту наиболее удаленная от оси вращения точка главной режущей кромки.

Скорость резания  $v$  (м/мин или м/с) может быть выражена формулой

$$v = \frac{\pi D n}{1000}$$

При фрезеровании различают подачи на зуб, на оборот и минутную подачу.

Подачей на зуб  $S_z$  (мм/зуб) называется величина перемещения заготовки или фрезы за время поворота фрезы на один шаг, т.е. на угол между двумя соседними зубьями.

Подачей на оборот  $S_o$  (мм/об) называется величина перемещения детали (или фрезы) за время одного полного оборота фрезы. Подача за один оборот равняется подаче на зуб, умноженной на число зубьев фрезы:

$$S_o = S_z \cdot z,$$

где  $z$  – число зубьев фрезы.

Минутной подачей  $S_m$  (мм/мин) называется величина перемещения детали (или фрезы) в процессе резания за одну минуту. Минутная подача измеряется в мм/мин:

$$S_m = S_o \cdot n \text{ или } S_m = S_z \cdot z \cdot n.$$

Зная минутную подачу, можно подсчитать время, необходимое для фрезерования детали. Для этого достаточно разделить длину обработки (т.е. путь, который должна пройти заготовка по отношению к фрезе) на минутную подачу. Таким образом, по величине минутной подачи удобно судить о производительности.

Глубиной резания при фрезеровании ( $t$ ) называется расстояние между обработанной и обрабатываемой поверхностями.

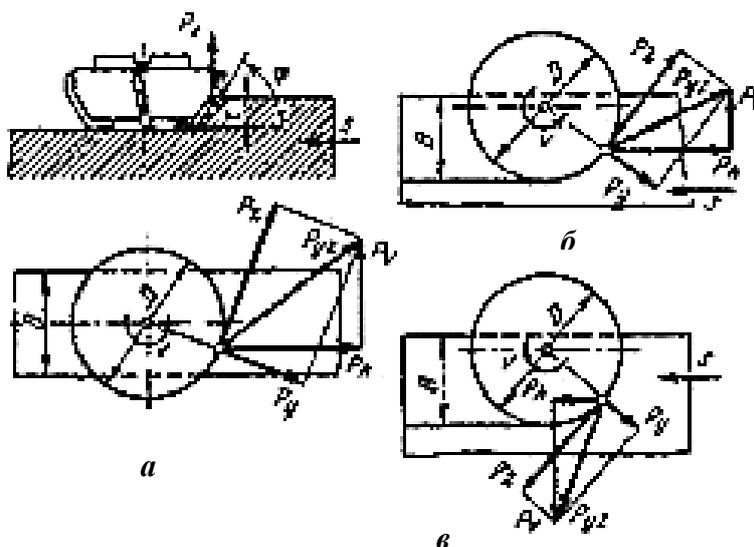
Шириной фрезерования ( $B$ ) называется ширина обработанной за один рабочий ход поверхности.

#### 4.1.4. Силы резания и мощность при фрезеровании

Для прямозубой цилиндрической фрезы (рис. 36) силу резания  $P$  всех одновременно режущих зубьев фрезы можно разложить на главную составляющую силу резания  $P_z$ , направленную по касательной к траектории движения точки на лезвии фрезы (перпендикулярно радиусу), и радиальную составляющую  $P_y$ , направленную по радиусам.

Равнодействующую силу  $R$  по правилу параллелограмма можно разложить на две взаимно перпендикулярные составляющие: горизонтальную и вертикальную.

Окружная составляющая сила резания оказывает влияние на мощность резания. Горизонтальная составляющая силы резания воздействует на механизм подачи стола фрезерного станка. Вертикальная составляющая силы резания стремится отжать стол при фрезеровании против подачи (рис. 36, *a*), а при фрезеровании по подаче (рис. 36, *б*) – прижать стол к направляющим.



*a* – симметричное фрезерование; *б* – несимметричное встречное фрезерование; *в* – несимметричное попутное фрезерование

Рисунок 36. Составляющие силы резания при торцовом фрезеровании

Мощность (Вт), необходимая для осуществления процесса резания, равна произведению окружной составляющей силы резания  $P_z$  ( $H$ ) на скорость резания  $v$  (м/мин):

$$N = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 102}$$

## Тема 4.2. ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ТОРЦОВЫМИ ФРЕЗАМИ

### 4.2.1. Назначение и особенности торцевых фрез

Торцовые фрезы предназначены для обработки плоскостей на вертикально- и горизонтально-фрезерных станках. Торцовые фрезы, в отличие от цилиндрических, имеют зубья, расположенные на цилиндрической поверхности и на торце. Торцовые фрезы делятся на насадные (ГОСТ 9304-69) с мелкими зубьями, с крупными зубьями и насадные со вставными ножами по ГОСТ 1092-69.

Торцовые фрезы, по сравнению с цилиндрическими, имеют ряд преимуществ, главными из которых являются:

1. более жесткое крепление на оправке или шпинделе;
2. более плавная работа из-за большого числа одновременно работающих зубьев;
3. для оснащения требуется меньше инструментальных материалов;
4. обладает повышенной стойкостью, т.к. отсутствует участок, на котором зуб фрезы скользит.

Поэтому обработку плоскостей в большинстве случаев целесообразно проводить торцовыми фрезами.

Торцовые фрезы, как и цилиндрические, делятся на праворежущие и леворежущие. Праворежущими называют такие фрезы, которые при работе должны вращаться по часовой стрелке, а леворежущие – против часовой стрелки, если смотреть на фрезу сверху (при работе на вертикально-фрезерном станке).

Широкое распространение получили торцовые фрезы, оснащенные пластинками твердых сплавов (рис. 37).



Рисунок 37. – Конструкция торцевых фрез со вставными ножами.

Фрезерование плоскостей торцовыми твердосплавными фрезами является более производительным, чем фрезерование цилиндрическими фрезами. В последнее время большое распространение получили торцовые фрезы с неперетачиваемыми твердосплавными пластинками.

Процесс фрезерования подразумевает выбор определенной фрезы (для чистового или чернового фрезерования). Торцевые фрезы предназначены для обработки плоских и ступенчатых поверхностей. В большинстве случаев их используют для обработки плоскостей на вертикально-фрезерном оборудовании. Фрезы имеют большое количество зубьев. Это позволяет достигать равномерности и высокой производительности фрезерования деталей. В целях обеспечения эффективности торцевой обработки на фрезерных станках следует правильно подобрать корпус фрезы, пластину и смазочно-охлаждающие жидкости.

Основное отличие торцевых фрез заключается в том, что профилирующими в них являются только вершины режущих кромок зубьев. При этом торцевые режущие кромки выполняют вспомогательную роль. Главное резание осуществляется боковыми кромками, которые находятся на наружной поверхности. Формы кромок торцевых фрез могут быть различными: кромки ломаной линии, окружности и др.

Существует несколько типов торцевых фрез:

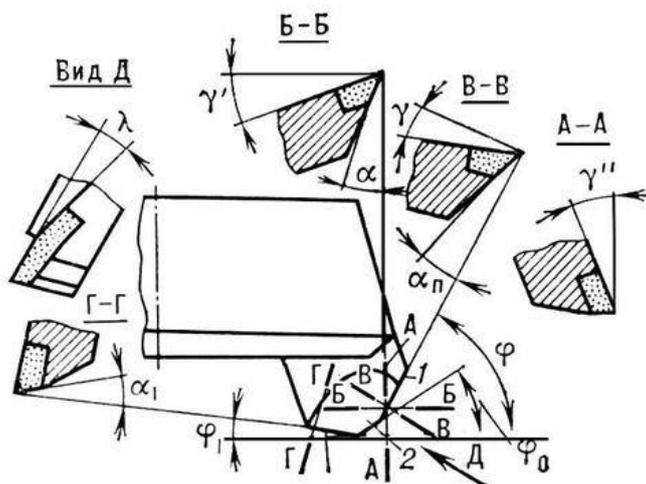
- небольшие фрезы (крепятся на оправках);
- крупные фрезы (крепятся на конце шпинделя);
- фрезы с цельными ножами;
- фрезы со сборными вставными ножами;
- фрезы с мелкими зубьями (для обработки металлов, образующих сыпучую стружку);
- фрезы с крупными зубьями (для обработки деталей из стали).

Для черновой обработки металлов используют фрезы с крупным шагом пластин, которые дают возможность уменьшить мощность оборудования и силу резания. Данный тип фрез применяют при фрезеровании деталей, образующих сливную стружку. При первоначальной обработке выбирают нешлифованные пластины. Их особенность состоит в том, что режущая кромка имеет защитную фаску для прочности обработки с большой глубиной реза. Преимущество таких пластин – их невысокая стоимость. Недостаток – несколько меньшая точность обработки, чем у шлифовальных.

Для чистовой обработки используют торцевые фрезы с мелким шагом пластин, потому что в этом случае требуется меньшая мощность машины. Глубина резания таких фрез небольшая. При окончательной обработке применяют шлифованные пластины, преимущество которых заключается в высокой размерной точности и качестве обработки.

#### 4.2.2. Геометрические параметры торцовых фрез

В большинстве случаев для обработки открытых и углубленных плоскостей применяются торцовые фрезы, имеющие периферийные лезвия (рис. 38), т.е. работающие по принципу периферийно-торцовых.



1 – главная режущая кромка; 2 – переходная режущая кромка

Рисунок 38. – Геометрические параметры режущей части торцовой фрезы

При обработке плоскостей этими фрезами основную работу по удалению припуска выполняют режущие кромки, расположенные на конической и цилиндрической поверхностях. Режущие кромки, расположенные на торце, производят как бы зачистку поверхности, поэтому шероховатость обработанной поверхности получается меньше, чем при фрезеровании цилиндрическими фрезами. Зуб торцовой фрезы имеет две режущие кромки: главную и вспомогательную.

В основной плоскости рассматриваются углы в плане: главный угол в плане  $\varphi$ , вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$  и угол при вершине  $\varepsilon$ . Главный угол в плане  $\varphi$  – это угол между плоскостью резания и рабочей плоскостью. С уменьшением главного угла в плане при постоянной подаче на зуб и постоянной глубине резания толщина среза уменьшается, а ширина увеличивается, вследствие чего стойкость фрезы повышается. Однако работа фрезы с малым углом в плане вызывает возрастание радиальной и осевой составляющих сил резания, что при недостаточно жесткой кинематической системе приводит к вибрациям обрабатываемой заготовки и станка. Поэтому для торцовых твердосплавных фрез при жесткой системе и при глубине резания  $t = 3-4$  мм принимают угол  $\varphi = 10-30^\circ$ . При нормальной жесткости системы  $\varphi = 45-60^\circ$  (обычно принимают  $\varphi = 60^\circ$ ). вспомога-

тельный угол в плане  $\phi_1$  у торцовых фрез принимают равным  $2-10^\circ$ . Чем меньше этот угол, тем меньше шероховатость обработанной поверхности.

В главной секущей плоскости рассматриваются передний угол  $\gamma$  и главный задний угол  $\alpha$ . Передний угол  $\gamma$  – это угол между основной плоскостью и передней поверхностью, главный задний угол  $\alpha$  – это угол между плоскостью резания и главной задней поверхностью.

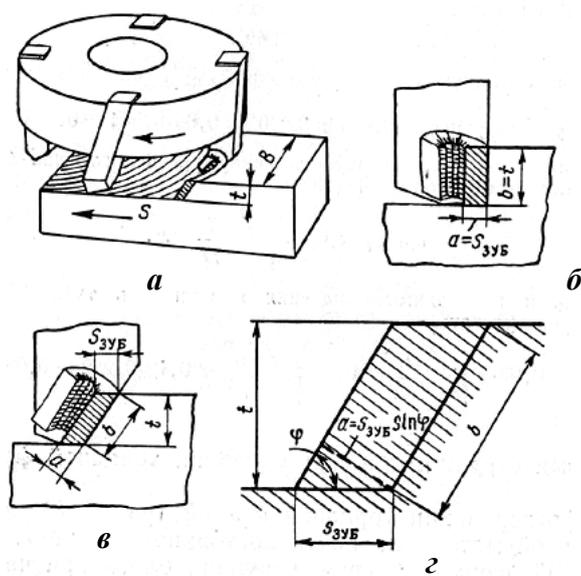
Передний угол  $\gamma$  для торцовых твердосплавных фрез  $\gamma = \text{от } +10^\circ \text{ до } -20^\circ$ .

Главный задний угол  $\alpha$  для торцовых твердосплавных фрез  $\alpha = 10-25^\circ$ .

В плоскости резания рассматривается угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  (угол между режущей кромкой и основной плоскостью). Он оказывает влияние на прочность зуба и стойкость фрезы. У торцовых твердосплавных фрез угол  $\lambda$  рекомендуется выполнять в пределах от  $+5^\circ$  до  $+15^\circ$  при обработке стали и от  $-5^\circ$  до  $+15^\circ$  при обработке чугуна.

#### 4.2.3. Элементы режимов резания

К элементам режима резания при фрезеровании относятся (рис. 39):



$a$  – принципиальная схема,  $b$  – угол в плане  $\phi = 90^\circ$ ,

$в$  – угол в плане  $\phi < 90^\circ$ ,  $z$  – сечение среза

Рисунок 39. – Фрезерование торцовой фрезой

- глубина резания  $t$ ;
- скорость резания  $v$ ;
- подача на зуб  $S_z$ ;
- ширина фрезерования  $B$ .

Глубина резания  $t$  определяется как расстояние между точками обрабатываемой и обработанной поверхностей, находящихся в плоскости резания и измеренное в направлении, перпендикулярном направлению движения подачи. В отдельных случаях эта величина может измеряться как разность расстояний точек обрабатываемой и обработанной поверхностей до стола станка или до какой-либо другой постоянной базы, параллельной направлению движения подачи.

Глубину резания выбирают в зависимости от припуска на обработку, мощности и жесткости станка. Надо стремиться вести черновое и получистовое фрезерование за один проход, если это позволяет мощность станка. Обычно глубина резания составляет 2–6 мм. На мощных фрезерных станках при работе торцовыми фрезами глубина резания может достигать 25 мм. При припуске на обработку более 6 мм и при повышенных требованиях к величине шероховатости поверхности фрезерование ведут в два перехода: черновой и чистовой.

При чистовом переходе глубину резания принимают в пределах 0,75–2 мм. Режущая кромка имеет некоторый радиус округления, который по мере износа инструмента увеличивается, при малой глубине резания материал поверхностного слоя подминается и подвергается пластическому деформированию. В этом случае резания не происходит. Как правило, при небольших припусках на обработку и необходимости проведения чистовой обработки (величина шероховатостей  $R_a = 2–0,4$  мкм) глубина резания берется в пределах 1 мм.

При малой глубине резания целесообразно применять фрезы с круглыми пластинами (ГОСТ 22086-76, ГОСТ 22088-76). При глубине резания больше 3–4 мм применяют фрезы с шести-, пяти- и четырехгранными пластинами.

При выборе числа переходов необходимо учитывать требования по шероховатости обработанной поверхности:

- черновое фрезерование –  $R_a = 12,5–6,3$  мкм (3–4 класс);
- чистовое фрезерование –  $R_a = 3,2–1,6$  мкм (5–6 класс);
- тонкое фрезерование –  $R_a = 0,8–0,4$  мкм (7–8 класс).

Для обеспечения чистовой обработки необходимо провести черновой и чистовой переходы, количество рабочих ходов при черновой обработке определяют по величине припуска и мощности станка. Число рабочих ходов при чистовой обработке определяется требованием шероховатости поверхности.

Подача при фрезеровании – это отношение расстояния, пройденного рассматриваемой точкой заготовки в направлении движения подачи, к числу оборотов фрезы или к части оборота фрезы, соответствующей угловому шагу зубьев.

Таким образом, при фрезеровании рассматривается подача на оборот  $S_o$  (мм/об) – перемещение рассматриваемой точки заготовки за время, соответствующее одному обороту фрезы, и подача на зуб  $S_z$  (мм/зуб) – перемещение рассматриваемой точки заготовки за время, соответствующее повороту фрезы на один угловой шаг зубьев.

## **Тема 4.3. КОНСТРУКЦИИ ФРЕЗ. ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ФРЕЗЫ**

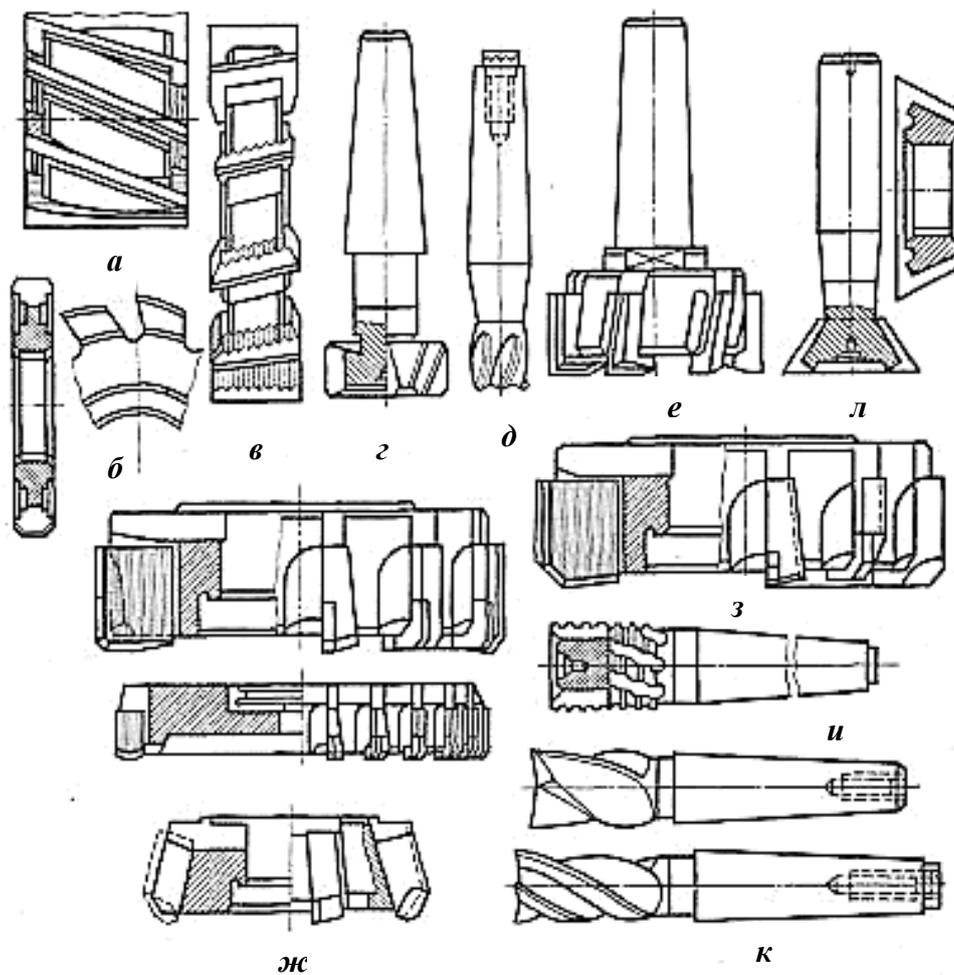
### **4.3.1. Общая классификация фрез**

По технологическому признаку различают фрезы для обработки плоскостей, пазов, шлицев, фасонных поверхностей, тел вращения, зубчатых и резьбовых поверхностей, разрезания материала и др. По конструктивным признакам фрезы подразделяют следующим образом:

- 1) по расположению зубьев на исходном цилиндре (торцовые, цилиндрические, дисковые, двухсторонние, угловые, фасонные, концевые и др.);
- 2) по конструкции зуба (с острозаточенными и затылованными зубьями);
- 3) по направлению зуба (с прямыми, наклонными, винтовыми, равнонаправленными зубьями);
- 4) по конструкции фрезы (цельные, составные, со вставными зубьями, сборные);
- 5) по способу крепления (насадные, хвостовые);
- 6) по виду инструментального материала режущей части (из быстрорежущей стали, твердых сплавов, режущей керамики, сверхтвердых материалов). Основные типы фрез показаны на рисунке 40.

Цилиндрические и торцовые фрезы предназначены для обработки плоскостей. Дисковые фрезы (пазовые, двухсторонние, трехсторонние) применяют для фрезерования пазов, уступов и боковых плоскостей. Прорезные и отрезные фрезы используют для прорезания узких пазов и разрезания материалов. Концевые фрезы применяют для обработки пазов, а также уступов и плоскостей шириной  $B < 0,8D$ , где  $D$  – диаметр концевой фрезы. Угловые фрезы применяют в основном для фрезерования стружечных канавок режущих инструментов и скосов.

Фасонные фрезы предназначены для фрезерования фасонных поверхностей. Фрезы изготовляют цельными и сборными (корпус из конструкционной стали, а режущие зубья из быстрорежущей стали или твердого сплава). Цилиндрические фрезы диаметром до 90 мм, торцовые насадные фрезы диаметром до 110 мм, дисковые трехсторонние фрезы с мелким зубом, дисковые пазовые, угловые, фасонные, отрезные, прорезные, концевые и шпоночные фрезы изготовляют цельными. Цилиндрические торцовые и дисковые фрезы диаметром более 75 мм и торцовые фрезерные головки изготовляют со вставными зубьями. Широкое распространение получили сборные фрезы со вставными ножами из быстрорежущей стали или твердого сплава с механическим креплением режущих пластин.



*a* – цилиндрическая фреза, *б* – дисковая, *в* – сборная дисковая трехсторонняя; *г* – Т-образная, *д* – концевая, *е* – торцовая с хвостовиком, *ж* – торцовая насадная, *з* – торцовая ступенчатая, *и* – концевая обдирочная, *к* – шпоночная, *л* – угловая

Рисунок 40. – Основные типы фрез

Для одновременного фрезерования нескольких поверхностей применяют набор фрез, состыкованных с помощью цилиндрических выточек на торцах фрез. Широко применяют сборные конструкции фрез с неперетачиваемыми твердосплавными пластинами. Механическое крепление пластин дает возможность их поворота для обновления режущей кромки и позволяет использовать фрезы без перекачивания. После полного износа пластина быстро заменяется новой. Торцовые фрезы общего назначения оснащаются круглыми, шестигранными, пятигранными, четырехгранными, трехгранными твердосплавными пластинами.

При фрезеровании с большими припусками используют резцовые головки ступенчатого резания. Такие фрезы позволяют снимать припуски 18–22 мм за один рабочий ход вместо двух или трех при фрезеровании

обычными фрезами. Припуск делится между отдельными зубьями фрезы, поэтому фрезерование протекает без вибраций. Выпускают торцовые фрезы с механическим креплением пластин из композита; эти фрезы позволяют снимать припуск 4–16 мм при скорости резания 800–2000 м/мин и подаче 2000–3000 мм/мин. Конструкция фрезы определяет способ ее закрепления на станке. Фрезы с осевым отверстием крепят на оправках и называют насадными. Фрезы, имеющие цилиндрический или конический хвостовик, называют хвостовыми.

Конструкция фрезы оказывает большое влияние на работоспособность фрезы и эффективность ее применения. Основным направлением в разработке новых конструкций твердосплавных фрез является применение сборных конструкций с неперетачиваемыми пластинками твердого сплава.

Механическое крепление пластинок дает возможность поворота их с целью обновления режущей кромки и позволяет использовать фрезы без затачивания. После полного износа пластинки она может быть быстро заменена новой. Резко сокращается время на восстановление фрез, так как в этих конструкциях оно сводится к замене износившихся пластинок или повороту на следующую грань, не прибегая к шлифовальным и заточным операциям. Завод-изготовитель каждую фрезу снабжает 8–10 комплектами запасных пластинок.

Применение неперетачиваемых пластинок имеет ряд преимуществ перед напаянными пластинками:

- более высокая стойкость (на 30% и более) по сравнению с напаянными пластинками за счет исключения операций пайки и переточек, снижающих режущие свойства твердых сплавов;
- быстросменность;
- возможность использования более износостойких марок твердого сплава, склонных к образованию трещин при пайке и заточке;
- возможность нанесения на пластинку износостойких покрытий (карбида титана, нитриды титана и др.);
- резкое увеличение процента возврата твердого сплава на переточку (с 15–20% для напаянного инструмента до 90% для многогранников);
- сокращение вспомогательного времени на смену и наладку затупившегося инструмента;
- сокращение номенклатуры режущего инструмента и упрощение инструментального хозяйства;
- возможность централизованного производства сменных элементов для различных видов режущего инструмента (резцы, фрезы, протяжки и др.);

– возможность централизованной заточки на базе широкой механизации и автоматизации;

– постоянство размерных и геометрических параметров режущего инструмента, что особенно важно для станков с числовым программным управлением и др.

Указанные преимущества определяют экономическую эффективность применения инструментов, оснащенных многогранными пластинками.

#### **4.3.2. Особенности конструкций фрез**

Фрезерование является одним из наиболее распространенных видов обработки. По уровню производительности фрезерование превосходит строгание и в условиях крупносерийного производства уступает лишь наружному протягиванию. Кинематика процесса фрезерования характеризуется быстрым вращением инструмента вокруг его оси и медленным движением подачи. Движение подачи при фрезеровании может быть прямолинейно-поступательным, вращательным либо винтовым. При прямолинейном движении подачи фрезами производится обработка всевозможных цилиндрических поверхностей: плоскостей, всевозможных пазов и канавок, фасонных цилиндрических поверхностей.

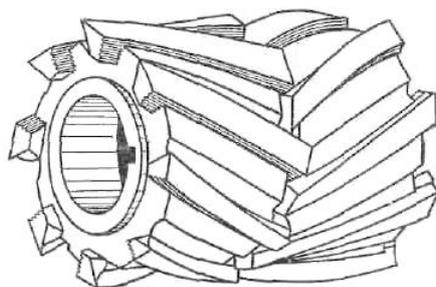
При вращательном движении подачи фрезерованием обрабатываются поверхности вращения, а при винтовом движении подачи – всевозможные винтовые поверхности, например, стружечные канавки инструментов, впадины косозубых колес и т.п. Фреза представляет собой исходное тело вращения, которое в процессе обработки касается поверхности детали, и на поверхности которого образованы режущие зубья. Форма исходного тела вращения зависит от формы обработанной поверхности и расположения оси фрезы относительно детали. Меняя положение оси инструмента относительно обработанной поверхности, можно спроектировать различные типы фрез, предназначенных для изготовления заданной детали.

Многообразие операций, выполняемых на фрезерных станках, обусловило разнообразность типов, форм и размеров фрез.

#### **Цилиндрические фрезы**

Цилиндрические фрезы применяются на горизонтально-фрезерных станках при обработке плоскостей. Эти фрезы могут быть с прямыми и винтовыми зубьями. Фрезы с винтовыми зубьями работают плавно; они широко применяются на производстве. Фрезы с прямыми зубьями используются лишь для обработки узких плоскостей, где преимущества фрез

с винтовым зубом не оказывают большого влияния на процесс резания. При работе цилиндрических фрез с винтовыми зубьями возникают осевые усилия, которые при угле наклона зуба  $\omega = 30\text{--}45^\circ$  достигают значительной величины, поэтому применяют цилиндрические сдвоенные фрезы (рис. 41), у которых винтовые режущие зубья имеют разное направление наклона. Это позволяет уравновесить осевые усилия, действующие на фрезы в процессе резания.



**Рисунок 41. – Цилиндрические сдвоенные фрезы**

В месте стыка фрез предусматривается перекрытие режущих кромок одной фрезы режущими кромками другой. Цилиндрические фрезы изготавливаются из быстрорежущей стали, а также оснащаются твердосплавными пластинками, плоскими и винтовыми.

### **Торцовые фрезы**

Торцовые фрезы широко применяются при обработке плоскостей на вертикально-фрезерных станках (рис. 42).



***a* – насадная торцовая фреза; *б* – концевая торцовая фреза**

**Рисунок 42. – Конструкции торцовых фрез**

Ось их устанавливается перпендикулярно обработанной плоскости детали. В отличие от цилиндрических фрез, где все точки режущих кромок являют-

ся профилирующими и формируют обработанную поверхность, у торцовых фрез только вершины режущих кромок зубьев являются профилирующими.

Торцовые режущие кромки являются вспомогательными. Главную работу резания выполняют боковые режущие кромки, расположенные на наружной поверхности. Так как на каждом зубе только вершинные зоны режущих кромок являются профилирующими, формы режущих кромок торцовой фрезы, предназначенной для обработки плоской поверхности, могут быть самыми разнообразными. В практике находят применение торцовые фрезы с режущими кромками в форме ломаной линии либо окружности. Причем углы в плане  $\phi$  на торцовых фрезах могут меняться в широких пределах. Наиболее часто угол в плане  $\phi$  на торцовых фрезах принимается равным  $90^\circ$  или  $45-60^\circ$ . С точки зрения стойкости фрезы его целесообразно выбирать наименьшей величины, которая обеспечивает достаточную виброустойчивость процесса резания и заданную точность обработки детали. Торцовые фрезы обеспечивают плавную работу даже при небольшой величине припуска, так как угол контакта с заготовкой у торцовых фрез не зависит от величины припуска и определяется шириной фрезерования и диаметром фрезы. Торцовая фреза может быть более массивной и жесткой, по сравнению с цилиндрическими фрезами, что дает возможность удобно размещать и надежно закреплять режущие элементы и оснащать их твердыми сплавами. Торцовое фрезерование обеспечивает обычно большую производительность, чем цилиндрическое. Поэтому в настоящее время большинство работ по фрезерованию плоскостей выполняется торцовыми фрезами.

### Дисковые фрезы

Дисковые фрезы пазовые, двух- и трехсторонние (по числу режущих лезвий) используются при фрезеровании пазов и канавок (рис. 43).

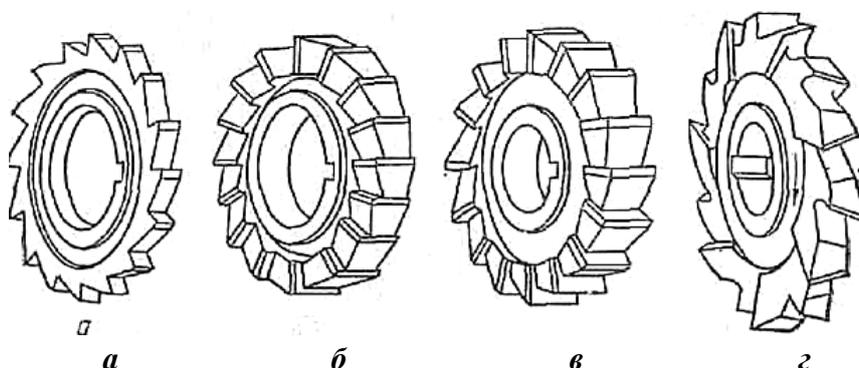


Рисунок 43. – Дисковые фрезы для обработки пазов

Пазовые дисковые фрезы имеют зубья только на цилиндрической поверхности и предназначены для обработки относительно неглубоких па-

зов (рис. 43, а). Для уменьшения трения по торцам на пазовых фрезах предусматривается вспомогательный угол в плане  $\varphi_1 \approx 30^\circ$ , т.е. толщина фрезы делается на периферии больше, чем в центральной части у ступицы. Важным элементом пазовой фрезы является ее толщина, которая выполняется с допуском 0,04–0,05 мм. Толщина фрезы уменьшается по мере стачивания зубьев, что происходит в результате поднатурения. Однако это не имеет практического значения, так как величина уменьшения невелика.

Дисковые двухсторонние (рис. 43, б) и трехсторонние (рис. 43, в) фрезы имеют зубья, расположенные не только на цилиндрической поверхности, но и на одном или обоих торцах. Главные режущие кромки располагаются на цилиндре. Боковые режущие кромки, расположенные на торцах, принимают незначительное участие в резании и являются вспомогательными. Дисковые фрезы имеют прямые или наклонные зубья. У фрез с прямыми зубьями на торцевых кромках передние углы равны нулю, что ухудшает условия их работы. Чтобы получить у двухсторонних фрез на боковых кромках положительные передние углы, применяются фрезы с наклонными зубьями. С этой же целью трехсторонние фрезы выполняются с разнонаправленными зубьями (рис. 43, г). Они работают всеми зубьями, расположенными на цилиндре. На торцах же половина зубьев, имеющих отрицательные передние углы, срезана. Однако эти фрезы обладают высокой производительностью, несмотря на частично срезанные зубья. Для прорезания узких пазов и шлицев на деталях, а также разрезания материалов применяются топкие дисковые фрезы, которые называют пилами. У таких фрез поочередно то с одного, то с другого торца затачиваются фаски под углом  $45^\circ$ . Фаска срезает обычно  $1/5$ – $1/3$  длины режущей кромки. Поэтому каждый зуб срезает стружку, ширина которой меньше ширины прорезаемого паза. Это позволяет более свободно размещаться стружке во впадине зуба и улучшает ее отвод. При ширине среза, равной ширине паза, торцы стружки соприкасаются с боковыми сторонами прорезаемого паза, что затрудняет свободное завивание и размещение стружки во впадине зуба и может привести к заклиниванию зубьев и поломке фрезы.

### **Угловые фрезы**

Угловые фрезы (рис. 44) используются при фрезеровании угловых пазов и наклонных плоскостей.

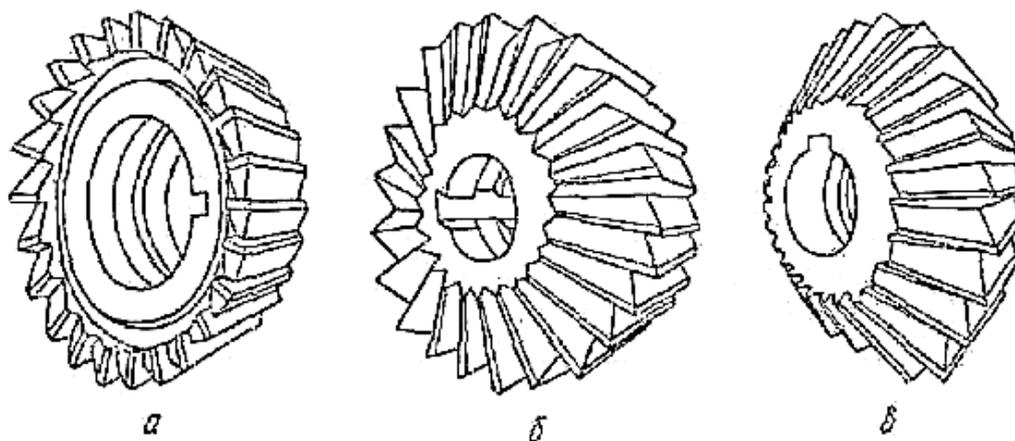


Рисунок 44. – Угловые фрезы

Одноугловые фрезы (рис. 44, *а*) имеют режущие кромки, расположенные на конической поверхности и торце. Двухугловые фрезы (рис. 44, *б*) имеют режущие кромки, расположенные на двух смежных конических поверхностях. Угловые фрезы находят широкое применение в инструментальном производстве для фрезерования стружечных канавок различных инструментов. В процессе работы одноугловыми фрезами возникают осевые усилия резания, так как срезание металла заготовки производится в основном режущими кромками, расположенными на конической поверхности. У двухугловых фрез осевые усилия, возникающие при работе двух смежных угловых кромок зуба, несколько компенсируют друг друга, а при работе симметричных двухугловых фрез (рис. 44, *в*) они взаимно уравновешиваются. Поэтому двухугловые фрезы работают более плавно. Угловые фрезы малых размеров изготавливаются концевыми с цилиндрическим или коническим хвостовиком.

Толщина среза угловых фрез изменяется по длине кромки. Она имеет максимальное значение на вершине зуба и уменьшается при удалении от нее вдоль режущей кромки, т.е. при уменьшении радиуса рассматриваемой точки кромки. Это может привести к тому, что участками кромок, расположенными у малых торцов, могут срезаться незначительные толщины среза, соизмеримые с радиусом округления режущей кромки. Это неблагоприятно отражается на характере протекания процесса резания, так как при значительных отрицательных передних углах на радиусе округления в зоне контакта наблюдаются значительный нагрев, большие усилия и быстрый износ инструмента. Чтобы на этих участках обеспечить нормальные условия работы, целесообразно уменьшить число работающих зубьев вдвое, срезая их через один зуб.

### Концевые (хвостовые) фрезы

Концевые фрезы (рис. 45, *а*) применяются для обработки глубоких пазов в корпусных деталях контурных выемок, уступов, взаимно перпендикулярных плоскостей.



*а* – хвостовая; *б* – обдирочная хвостовая; *в* – шпоночная дисковая  
Рисунок 45. – Концевая цилиндрическая фрезы

Концевые фрезы в шпинделе станка крепятся коническим или цилиндрическим хвостовиком. У этих фрез основную работу резания выполняют главные режущие кромки, расположенные на цилиндрической поверхности, а вспомогательные торцовые режущие кромки только зачищают дно канавки. Такие фрезы, как правило, изготавливаются с винтовыми или наклонными зубьями. Угол наклона зубьев доходит до 30–45°. Диаметр концевых фрез выбирают меньшим (до 0,1 мм), чем ширина канавки, так как при фрезеровании происходит разбивание канавки.

Особую группу концевых фрез составляют обдирочные фрезы для выполнения черновых работ (рис. 45, *б*). Обдирочные концевые фрезы изготовлены из твердого сплава и обладают высокой производительностью. Отлично подходит для быстрого профильного фрезерования с возможностью погружения. Фрезы изготовлены из мелкозернистого твердого сплава, что обеспечивает повышенную износостойкость и твердость.

Применяются также концевые фрезы для обработки пазов под сегментную шпонку, конструкция представителя которых показана на рисунке 45, *в*. Пазы под сегментные шпонки изготавливаются фрезерованием на обычных фрезерных станках с помощью концевых дисковых фрез.

## Шпоночные фрезы

Разновидностью концевых фрез являются шпоночные двухзубые фрезы (рис. 46).



*a* – с коническим хвостовиком; *б* – с цилиндрическим хвостовиком

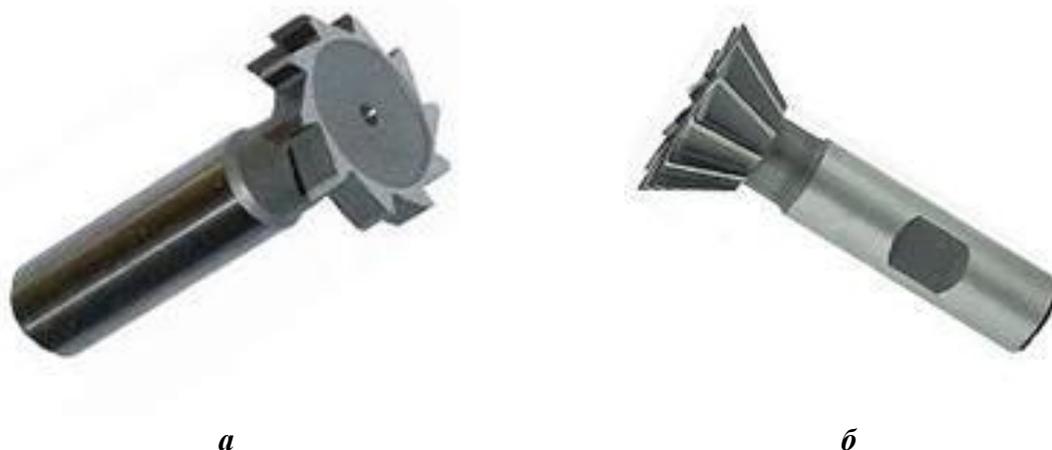
**Рисунок 46. – Концевая шпоночная фреза**

Рассматриваемые шпоночные фрезы, подобно сверлу, могут углубляться в материал заготовки при осевом движении подачи и высверливать отверстие, а затем двигаться вдоль канавки. В момент осевой подачи основную работу резания выполняют торцовые кромки. Одна из них должна доходить до оси фрезы, чтобы обеспечить сверление отверстия.

Переточка таких фрез производится по задним поверхностям торцовых кромок, поэтому при переточках их диаметр сохраняется неизменным.

### **Фрезы для обработки Т-образных пазов**

Для обработки Т-образных пазов, часто встречающихся в станкостроении, применяют Т-образные фрезы (рис. 47).



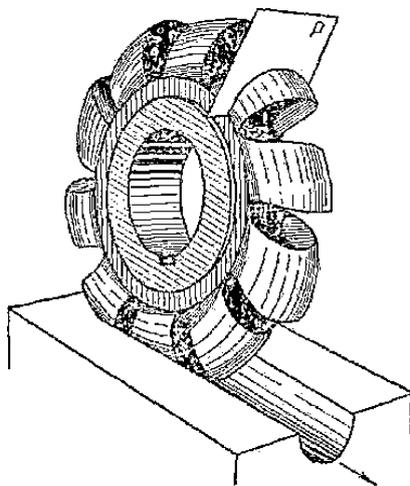
**Рисунок 47. – Фрезы для обработки пазов (a) Т-образных и (б) «ласточкин хвост»**

Они работают в тяжелых условиях и часто ломаются, что объясняется затрудненным отводом стружки. Каждый зуб работает два раза за один оборот фрезы. Такие фрезы делаются с разнонаправленными зубьями и имеют поднутрения с углом  $\varphi_1 = 1^\circ 30' - 2^\circ$  на обоих торцах. С целью улучшения условий размещения стружки производят заточку фасок на зубьях то с одного, то с другого торца под углом  $30^\circ$  и шириной 0,5 мм.

### **Фасонные фрезы**

Фасонные фрезы получили значительное распространение при обработке разнообразных фасонных поверхностей. Преимущества применения фасонных фрез особенно сильно проявляются при обработке заготовок с большим отношением длины к ширине фрезеруемых поверхностей. Короткие фасонные поверхности в условиях крупносерийного производства лучше обрабатывать протягиванием. Фасонные фрезы по конструкции зубьев разделяются на фрезы с затылованными зубьями и фрезы с остроконечными (острозаточенными) зубьями.

Фасонные затылованные фрезы (рис. 48) имеют плоскую переднюю поверхность, по которой перетачиваются в процессе эксплуатации.



**Рисунок 48. – Фасонная затылованная фреза**

Новой и переточенной фрезой можно обрабатывать одни и те же детали, если форма фасонной режущей кромки при переточках не изменяется. Это обеспечивается за счет выбора соответствующей формы задней поверхности зуба фрезы. Фасонные фрезы с остроконечными зубьями, в отличие от затылованных фрез, затачивают по задним поверхностям зубьев.

Остроконечные фасонные фрезы дают более чистую поверхность, имеют повышенную стойкость по сравнению с затылованными фасонными фрезами.

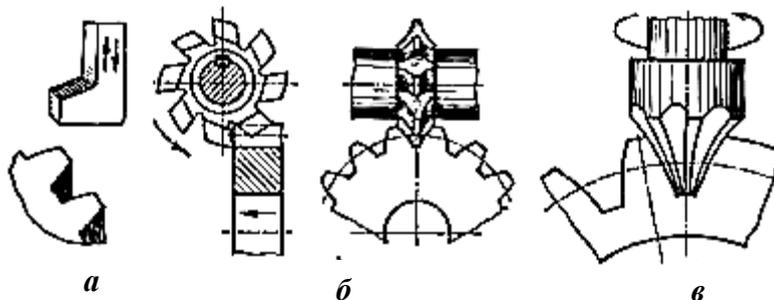
## Тема 4.4. ФРЕЗЫ ДЛЯ ЗУБОНАРЕЗАНИЯ

### 4.4.1. Методы нарезания зубчатых колес

Существуют два принципиально различных метода нарезания зубчатых колес:

- метод копирования, при котором профиль зуба получается воспроизведением формы режущего лезвия зуборезного инструмента;
- метод обкатки (огибания), при котором форма зуба получается в результате согласованных взаимных перемещений режущих лезвий зуборезного инструмента и заготовки колеса.

При нарезании колес методом копирования используются долбежные головки (рис. 49, *а*), дисковые модульные (рис. 49, *б*) или пальцевые модульные фрезы (рис. 49, *в*).



*а* – долбежная головка; *б* – дисковая модульная фреза;  
*в* – пальцевая модульная фреза

**Рисунок 49 – Методы нарезания зубчатых колес методом копирования**

Метод обкатки осуществляется фрезерованием или долблением, причем режущему инструменту и заготовке сообщается принудительное движение со строго определенным соотношением угловых скоростей, что создает обкатку. Метод обкатки дает более высокую точность и лучшую чистоту, чем метод копирования. Цилиндрические шестерни с прямыми и косыми зубьями фрезеруют дисковой или пальцевой модульной фрезой по методу копирования. После прорезки впадины первого зуба фреза отводится в исходное положение, заготовка поворачивается на шаг нарезаемой шестерни при помощи делительной головки, и процесс повторяется до тех пор, пока не будут нарезаны все впадины.

Нарезание косозубых цилиндрических шестерен производится на универсально-фрезерном станке, делительная головка которого соединяется зубчатой передачей с ходовым винтом продольной подачи стола. Стол

станка поворачивается на угол наклона зуба шестерни. Производительность при этом низкая. Способ одновременного долбления всех зубьев методом копирования на специальном полуавтомате дает высокую производительность, что достигается применением специальной головки, имеющей число резцов, соответствующее числу впадин зубчатого колеса.

Метод копирования из-за малой точности и малой производительности применяется только для изготовления шестерен, работающих с небольшой окружной скоростью (до 0,5 м/сек) и небольшой нагрузкой. Более точным является метод обкатки на зубострогальных станках. Производительность этого метода также мала, так как происходят большие потери основного машинного времени на холостые ходы резцов, обратное вращение заготовки и планшайбы с резцами.

#### **4.4.2. Дисковые и концевые модульные фрезы**

Для нарезания зубчатого колеса чаще всего используют такие многолезвийные инструменты, как дисковые и пальцевые фрезы. Дисковые фрезы более производительны и применяются чаще. Но при больших модулях, начиная примерно с  $m = 10$ , габариты дисковых фрез очень велики, поэтому в таких случаях используют пальцевые фрезы.

С помощью пальцевых фрез нарезают также шевронные колеса без дорожки между ветвями колеса. Дисковыми же фрезами это не производится, так как при нарезании зубьев с одной стороны фреза будет неизбежно врезаться в зубья с другой стороны. Модульные фрезы применяют для чернового нарезания зубьев ( $m = 5-30$  мм), для окончательной обработки колес крупных модулей, для обработки закрытых венцов (пальцевые фрезы). Полный профиль канавки зуба получается после обработки заготовки набором пальцевых фрез.

Нарезание косозубых колес концевыми (пальцевыми) и дисковыми фрезами нельзя отнести к методу копирования, так как профиль фреза не является в данном случае копией профиля впадины зуба колеса. Методом копирования стандартными фрезами нарезаются зубчатые колеса не ниже 10-й степени точности.

Черновое нарезание крупномодульных зубчатых колес (начиная с модуля  $m = 14$  и выше) дисковыми фрезами более производительно, чем червячными фрезами. При достаточной мощности станка нарезание зубьев можно производить набором из двух дисковых фрез, прорезая две впадины одновременно.

При выборе метода нарезания и модульной фрезы следует учитывать следующее:

1) для черновой обработки колес с модулем 5–30 мм рекомендуется использовать твердосплавные острозаточенные прямобочные фрезы; наиболее рационально применять фрезы жесткой конструкции, затачиваемые в сборе; для производительной обработки зубчатых колес с большим числом зубьев применяются спаренные фрезы, имеющие угловое смещение резцов на половину шага резцов;

2) дисковые фрезы (особенно прямобочные) производительнее пальцевых, они рекомендуются для черновой обработки;

3) для повышения стойкости чистовых червячных фрез крупных модулей (свыше 20 мм) рекомендуются черновые фрезы с уменьшенным профильным углом ( $2\alpha = 35^\circ$ );

4) чистовая обработка зубьев должна производиться модульными заточенными фрезами, выбираемыми в зависимости от числа зубьев колеса.

Для обработки косозубых колес фреза принимается по эквивалентному числу зубьев  $z_v$ , определяемому как  $z_v = K \beta z$ .

#### 4.4.3. Особенности конструкций косозубых и шевронных колес

Конструкция косозубых колес отличается от прямозубых колес тем наклоном зуба, что достигается по мере возвратно-поступательного движения долбяка, который получает дополнительный поворот.

Для нарезания косозубых колес внешнего зацепления долбяк должен быть также косозубым и с тем же углом наклона, но с противоположным направлением. Колеса с правым направлением зубьев нарезают левым долбяком, а колеса с левым направлением – правым долбяком. При обкатке долбяк и заготовка вращаются в разных направлениях.

Конструкция шевронного зубчатого колеса (рис. 50) представляет собой сборку из двух разнонаправленных косозубых колес, что получают на горизонтально-строгальных станках двумя спаренными косозубыми долбяками с правым и левым наклоном зуба.



Рисунок 50. – Шевронное колесо

Долбяки работают попеременно. Если один из них производит обработку до середины ширины зубчатого венца, другой в это время перемещается обратно и наоборот, образуя таким образом шевронный зуб.

Долбяки для шевронных колес изготавливают комплектно – один правый и один левый для обработки обеих половин шевронного колеса. После затачивания диаметры долбяков в комплекте должны быть одинаковыми. Долбяки со специальной заточкой могут нарезать зубья шевронного колеса без разделительной канавки. На горизонтальных зубодолбежных станках последних моделей можно одновременно обрабатывать два колеса, расположенных на одном валу и имеющих различный модуль, диаметры, угол наклона зуба и т.д.

При обработке открытых венцов перебеги долбяка выше и ниже торца практически равны между собой. Ширину канавок для выхода долбяка в закрытых венцах необходимо учитывать при проектировании зубчатого колеса. Ширина должна быть достаточной для выхода долбяка и стружки. У косозубых колес ширина канавки для выхода долбяка должна быть такой, чтобы между режущей кромкой долбяка и торцом был достаточный зазор.

#### **4.4.4. Конструкции зуборезного инструмента по методу обкатки**

##### **Фрезы червячные**

Фрезы червячные – инструмент, предназначенный для нарезания цилиндрических зубчатых колес и шлицевых валов с эвольвентным профилем, нарезания шлицевых валов с прямобочным профилем, а также нарезания зубьев звездочек к приводным роликовым и втулочным цепям. Как правило, червячные фрезы изготавливаются из быстрорежущей стали Р6М5, реже – из Р9. Для труднообрабатываемых материалов допускается применение напайных режущих зубьев из твердого сплава. Червячная фреза (ГОСТ 9324-80, 6637-80) обычно изготовлена в виде винта, на котором перпендикулярно к направлению резки профрезерованы канавки винта, образующие режущие зубья. При этом задние участки зубьев обтачиваются по спирали, что помогает фрезе сохранять свой профиль. Режущие зубцы имеют трапециевидную форму, из-за чего режущий инструмент, используемый при нарезании, имеет прямолинейные торцовые режущие кромки.

Технические условия на червячные фрезы определены следующими стандартами:

1. ГОСТ 10331-81 «Фрезы червячные мелко модульные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем».

2. ГОСТ 9324-80 «Фрезы червячные чистовые однозаходные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем».

3. ГОСТ 6637-80 «Фрезы червячные чистовые для шлицевых валов с эвольвентным профилем».

4. ГОСТ 8027-86 «Фрезы червячные для шлицевых валов с прямобочным профилем».

5. ГОСТ 15127-83 «Фрезы червячные цельные для нарезания зубьев звездочек к приводным роликовым и втулочным цепям».

### 5.2.2. Конструкция и геометрия червячной фрезы

Червячные фрезы являются наиболее распространенным зуборезным инструментом и применяются для чернового и чистового зубонарезания (рис. 51).

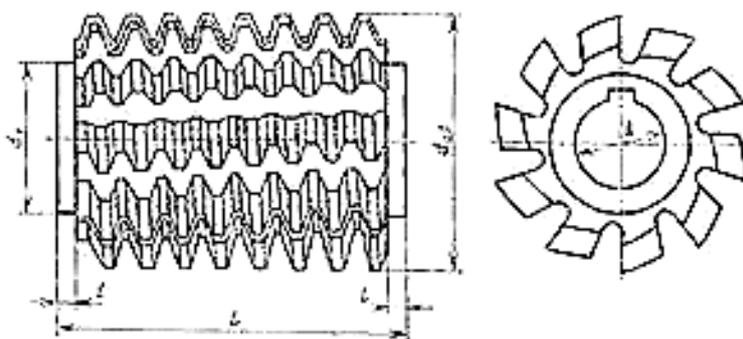


Рисунок 51. – Чертеж червячной фрезы

Червячная фреза представляет собой исходный червяк с точечным мгновенным касанием с поверхностью обрабатываемой детали, превращенный в режущий инструмент.

До модуля 10 червячные фрезы обычно выполняются цельными с основными размерами, принятыми по ГОСТ 9324-80. Фрезы более крупных модулей изготавливаются сборными.

Для модулей от 10 до 16 применяются сборные червячные фрезы со вставными гребенками. Гребенки изготавливаются из ковanej или литой быстрорежущей стали P18 и P9.

Червячные фрезы для модулей от 18 до 30 часто выполняются в сварном варианте. Для этого к корпусу из углеродистой стали приваривают предварительно обработанные отдельные зубья из быстрорежущей стали.

На некоторых предприятиях крупные червячные фрезы, включая модуль 30, выполняются литыми из быстрорежущей стали.

Чтобы трансформировать червяк в работоспособный инструмент, необходимо прорезать стружечные канавки, т.е. образовать пространство для схода образующейся при резании стружки и переднюю поверхность, создать заднюю поверхность, обеспечивающую беспрепятственное ее перемещение в процессе резания и положительные задние углы на режущих кромках.

При нарезании цилиндрических зубчатых колес червячной фрезой режущие кромки инструмента получают неравномерную загрузку. Наиболее нагруженными элементами являются вершинные кромки зубьев. Рассматривая процесс зубофрезерования, можно установить, что в работе обычно участвует около  $1/25$  общего режущего периметра фрезы. При затуплении сравнительно малого участка возникает необходимость стачивания зубьев червячной фрезы по всей ее длине, хотя часть зубьев совсем или почти совсем не участвовала в работе. Таким образом, режимы резания и производительность связаны с характером загрузки режущих кромок червячной фрезой.

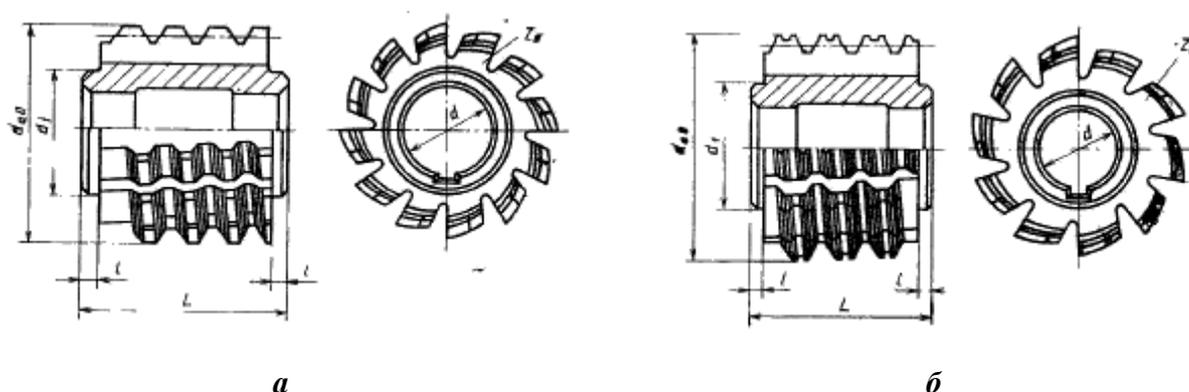
Хотя фрезы рассчитываются для определенного диапазона числа зубьев нарезаемой заготовки, ими можно нарезать колеса с другими числами зубьев. Однако в этом случае приходится изменять величину подачи против расчетной.

#### Червячные фрезы для фрезерования шлицов и звездочек

ГОСТ 8027-86 устанавливает единые требования на фрезы червячные чистовые и черновые для нарезания зубьев на валах зубчатых (шлицевых) соединений с прямобочным профилем по ГОСТ 1139-80.

Изготавливаются фрезы двух типов (рис. 52):

- тип 1 – для обработки шлицевых валов с центрированием по наружному диаметру;
- тип 2 – для обработки шлицевых валов с центрированием по внутреннему диаметру.



*a* – тип 1; *б* – тип 2

Рисунок 52. – Общий вид шлицевой червячной фрезы

Фрезы изготавливаются правозаходными с левым направлением винтовых стружечных канавок.

Изготавливаются червячные фрезы пяти классов точности: С – пониженной точности; В – нормальной точности; А – повышенной точности; АА – высокой точности; ААА – особо высокой точности.

### Долбяки

Зуборезные долбяки используются для нарезания цилиндрических колес любого типа. Однако долбяки имеют и особые области применения, в которых другие типы инструментов применять нельзя или нерационально, а именно: нарезание зубьев «в упор» на блочных колесах и на колесах с буртиками, нарезание колес внутреннего зацепления и т.п. (рис. 53).

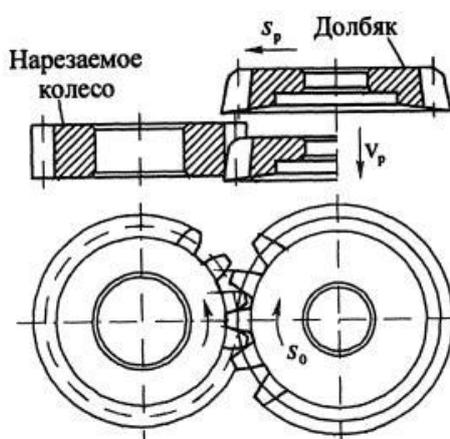
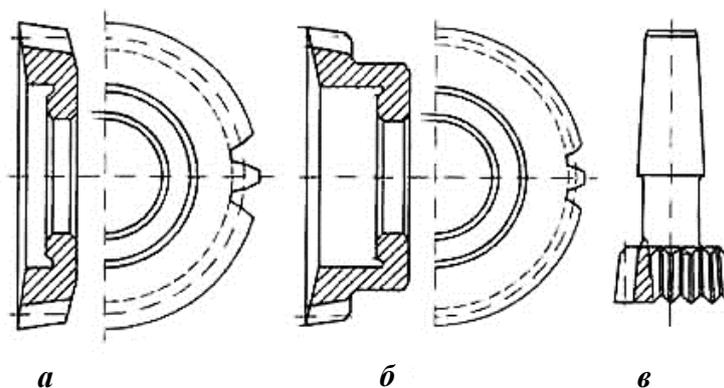


Рисунок 53. – Схемы работы и конструкция зуборезного долбяка

Для обработки цилиндрических зубчатых колес долбяки предпочтительно применять при нарезании колес с меньшими модулями, большими числами зубьев, меньшими ширинами венца, большими углами наклона зубьев.

Зуборезный долбяк представляет собой зубчатое колесо, сопряженное с обрабатываемым колесом, превращенное в режущий инструмент (рис. 54).



а – дисковый; б – чашечный; в – хвостовой долбяк

Рисунок 54. – Типы конструкций долбяков

Если обычное цилиндрическое прямозубое зубчатое колесо установить на зубодолбежный станок и использовать его в качестве инструмента, то у него передние и задние углы будут равны нулю. Такой инструмент неработоспособен. Поэтому, превращая зубчатое колесо в долбяк, необходимо обеспечить на его режущих кромках положительные задние углы и соответствующие передние углы. Задняя поверхность зуборезного долбяка создается с помощью гребенки, у которой передний угол равен нулю и передняя плоскость которой идет перпендикулярно оси долбяка.

При обработке гребенками на станке осуществляется движение обкатки начальной прямой инструмента по начальной окружности детали. Это движение обкатки может быть получено в результате вращения вокруг своей оси заготовки, в рассматриваемом случае долбяка, и поступательного движения гребенки вдоль средней линии ее профиля. Требуемая скорость резания создается за счет возвратно-поступательных движений гребенки. При обработке обычных прямозубых колес эти возвратно-поступательные движения гребенки совершаются вдоль оси заготовки.

Чтобы получить на режущих кромках долбяка положительные задние углы, гребенка при обработке задней поверхности совершает возвратно-поступательные движения резания под углом к оси долбяка, не меняя при этом характер движения обкатки. В этом случае наружная (внешняя) поверхность зубьев долбяка будет конической, и на вершинных режущих кромках будут образованы задние углы, равные углам между осью долбяка и направлением возвратно-поступательных движений резания гребенки.

Переточка долбяка производится по передней поверхности. По мере перетачивания меняется величина коррекции эвольвентного профиля зубьев долбяка. Корригированное колесо может находиться в правильном зацеплении как с корригированными, так и с некорригированными колесами. Поэтому новым и переточным долбяком можно нарезать одни и те же колеса.

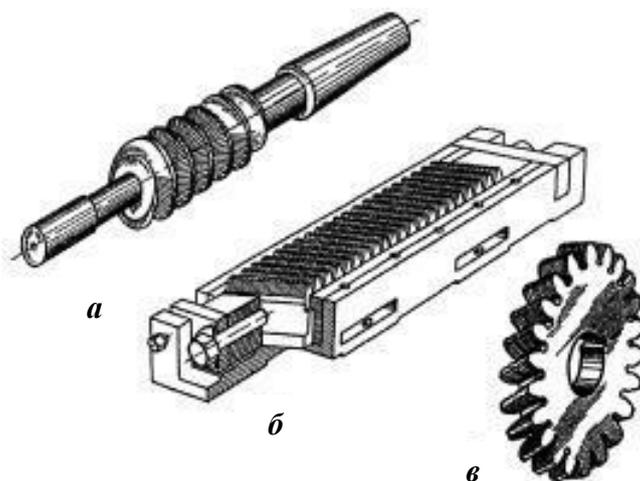
Для обеспечения лучших условий резания передняя поверхность долбяка затачивается под углом  $\gamma$ . Этот угол превращает переднюю торцовую плоскость в коническую поверхность, ось которой совпадает с осью долбяка. В результате заточки по передней конической поверхности создается режущая кромка долбяка как линия пересечения его задней и передней поверхностей.

### **Шеверы**

В промышленности при чистовой обработке зубчатых колес применяются шеверы-рейки, дисковые и червячные шеверы (рис. 55).

В условиях массового производства чаще используется червячный шевер (рис. 55, *а*). Однако ввиду сложности наладки и эксплуатации их использование весьма ограничено.

Шевер-рейка представляет собой зуборезную рейку, сопряженную с обрабатываемым колесом, на боковой поверхности зубьев которой прорезаны стружечные канавки (рис. 55, *б*).



*а* – червячный шевер; *б* – шевер-рейка; *в* – дисковый шевер  
Рисунок 55. – Конструкции шеверов

В процессе шевингования обрабатываемое колесо на оправке устанавливается свободно в центрах и вводится в зацепление с шевером-рейкой. Шевер-рейка, закрепленная на столе станка, движется возвратно-поступательно. Для последовательного удаления припуска периодически осуществляется подача, т.е. приближение оси заготовки к шеверу-рейке на величину 0,025–0,080 мм. Для прямозубых зубчатых колес применяют рейку с наклонными зубьями, а для косозубых колес – рейку с прямыми зубьями.

Шевер-рейка состоит из отдельных зубьев, смонтированных на плите. На боковых поверхностях зубьев прорезаются стружечные канавки (шириной 0,8–1,0 мм, глубиной 1,0 мм, с шагом 1,6–2,0 мм), образующие режущие кромки. Длина шевера-рейки выбирается из условия обработки всех зубьев колеса.

Число зубьев шевера-рейки берется на 2 зуба больше числа зубьев обрабатываемого зубчатого колеса. Ширина шевера-рейки берется в 3–4 раза больше ширины заготовки, что позволяет за счет периодических перемещений заготовки поперек рейки увеличивать срок службы инструмента.

Шеверы-рейки не получили распространения на отечественных заводах в силу сложности их изготовления и монтажа.

Дисковый шевер находит наибольшее применение и представляет собой цилиндрическое зубчатое колесо, сопряженное с нарезаемым, на боковой поверхности зубьев которого образованы стружечные канавки (рис. 55, в).

Оси шевера и обрабатываемого зубчатого колеса являются скрещивающимися прямыми. При обработке шевер и колесо вводятся в беззазорное зацепление и образуют винтовую передачу. Шевер приводится во вращение и ведет обрабатываемое зубчатое колесо, насаженное на оправку, свободно установленную в центрах. Как известно, винтовая пара характеризуется точечным контактом зубьев, т.е. мгновенным контактом между шевером и зубчатым колесом, который будет происходить не по линии, как при шевинговании рейкой, а в одной точке. Точки контакта, наблюдаемые в различные моменты времени, образуют на поверхности зуба линию, идущую на боковой поверхности от дна впадины до вершины зуба. Эта линия контакта и будет обработана шевером при неизменном взаимном расположении осей шевера и колеса. Поэтому, чтобы обработать полностью боковую поверхность зубьев, обрабатываемому колесу сообщают возвратно-поступательное движение вдоль своей оси. После каждого двойного хода колеса происходит радиальная подача, т.е. оси шевера и колеса сближаются до тех пор, пока толщина зубьев обрабатываемого колеса не будет равна требуемой.

Шеверы средних модулей выполняются с номинальными делительными диаметрами, равными 180, 240 и 280 мм. При проектировании дисковых шеверов необходимо стремиться к выбору максимальных делительных и наружных диаметров шевера. С увеличением диаметров шеверов возрастает число их зубьев, обеспечивается более удобная для изготовления форма зубьев, повышается стойкость инструмента и стабильность процесса шевингования. Диаметр отверстия под оправку у рассматриваемых шеверов принимается равным 63,5 мм. Ширина среднемодульных шеверов общего назначения равна 20, 25, 30 мм. Минимальная ширина должна быть такой, чтобы линии контакта зубьев шевера с зубьями обрабатываемых колес не выходили за его торцы. Практически ширина шевера принимается в несколько раз больше расчетной и может достигать до 50–60 мм.

Общее число зубьев шевера должно соответствовать принятому размеру диаметра делительной окружности. Число зубьев шевера не должно быть кратным и не должно иметь общих множителей с числом зубьев обрабатываемых колес. В результате обеспечивается контакт различных зубьев шевера с одним и тем же зубом обрабатываемого колеса.

## РАЗДЕЛ 5. РЕЗЬБОНАРЕЗНОЙ ИНСТРУМЕНТ

### Тема 5.1. НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ РЕЗЦАМИ, ГРЕБЕНКАМИ, ПЛАШКАМИ И МЕТЧИКАМИ

#### 5.1.1. Методы резьбонарезания

Простейшими способами нарезания резьбы являются: нарезание при помощи метчиков и плашек (рис. 56). Способ осуществляется вручную или с использованием специальных станков: гайконарезных, болтонарезных или токарных.

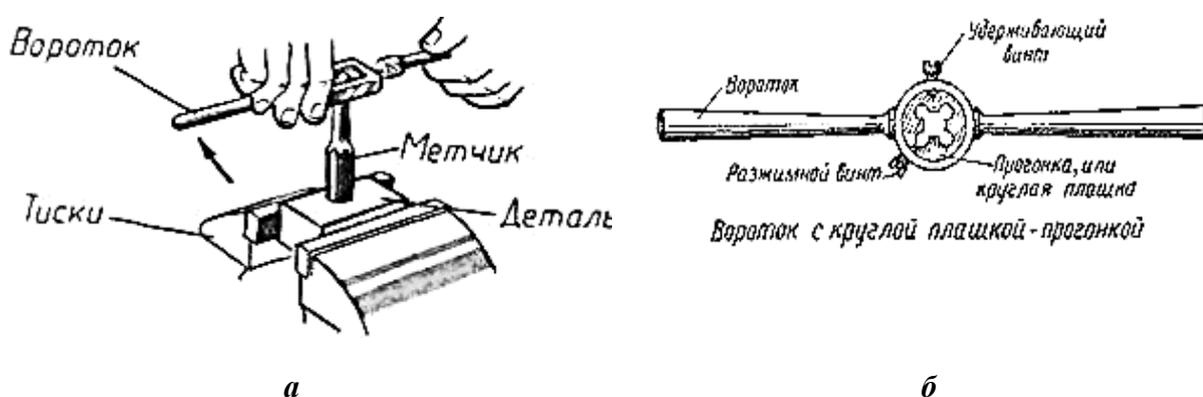
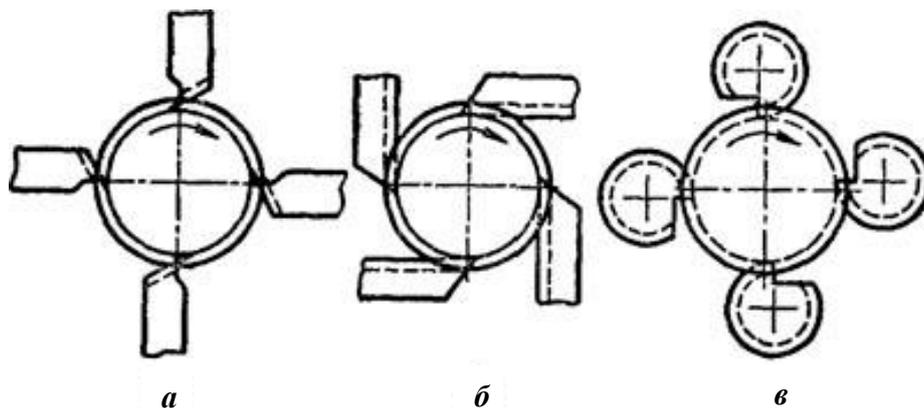


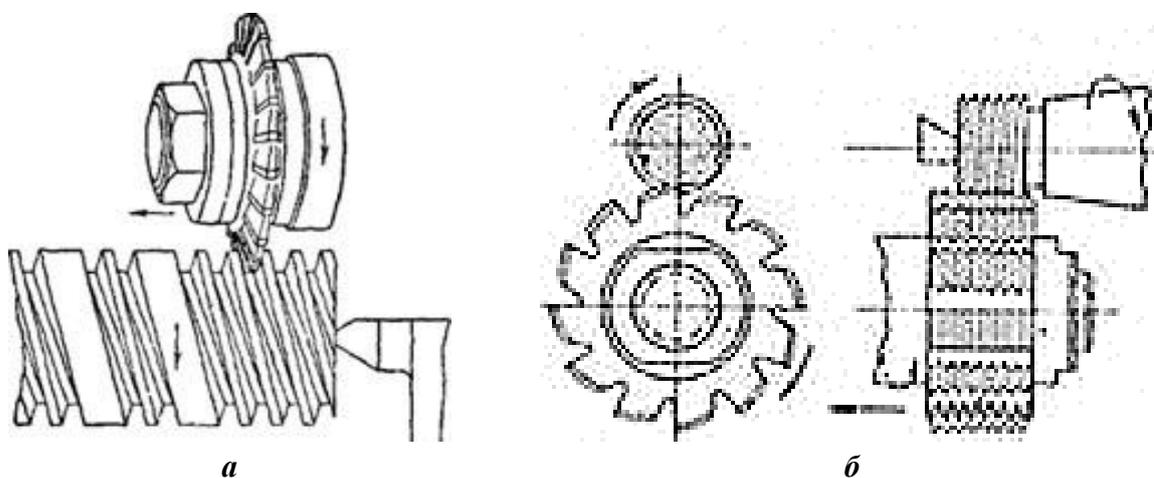
Рисунок 56. – Нарезание резьбы ручным метчиком (а) и плашкой (б)

На токарно-винторезных станках резьбу нарезают резцами за несколько проходов. Резьбу с шагом  $P \leq 2,5$  мм нарезают по профильной схеме с радиальной подачей, резьбу с шагом  $P \geq 2,5$  мм нарезают вначале по генераторной схеме с боковой подачей (черновые проходы), затем по профильной схеме (чистовые). Нарезание резьбы резцом – процесс малопродуктивный, но позволяющий при небольших подачах получать резьбу с малой шероховатостью поверхности и высокой точностью.

Производительность повышается при нарезании резьбы резьбовыми гребенками и резьбовыми фрезами, так как при этом нарезание резьбы можно осуществить за один проход (рис. 57 и рис. 58).



*a* – радиальные схемы, *б* – тангенциальные, *в* – круглые  
 Рисунок 57. – Схемы формообразования резьбовыми головками

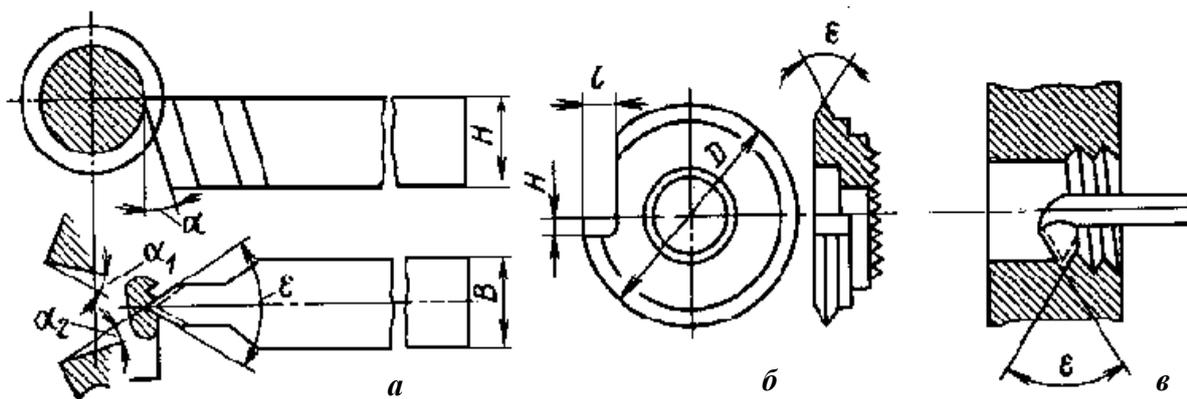


*a* – фрезерование дисковой фрезой, *б* – фрезерование гребенчатой фрезой  
 Рисунок 58. – Схемы фрезерования резьб

Наиболее прогрессивный способ, названный скоростным или вихревым, обеспечивает повышение производительности в 2–2,5 раза по сравнению с резьбофрезерованием и более чем в 10 раз по сравнению с нарезанием резьбы резцом. Резцовая головка с одним или несколькими резцами, оснащенными пластинами из твердого сплава, расположена эксцентрично по отношению к обрабатываемой заготовке. Заготовка совершает от 30 до 300 об/мин в одном направлении, а резцовая головка – от 1000 до 3000 об/мин в противоположном направлении. Заготовке за один ее оборот сообщается осевая подача на один шаг резьбы; каждый резец приходит в соприкосновение с заготовкой один раз за оборот головки. Скорость резания достигает 400 м/мин.

### 5.1.2. Конструкция и геометрия резьбового резца

Форма режущей части резьбового резца должна соответствовать профилю резьбы. Угол профиля режущей части должен быть для метрической резьбы  $60^\circ$ , для дюймовой и трубной резьбы –  $55^\circ$ . Чтобы избежать при нарезании резьбы искажения ее профиля, резьбовые резцы обычно затачивают с передним углом  $\gamma = 0$  и устанавливают вершину резца на высоте линии центров станка. Различают резьбовые резцы для нарезания наружной (рис. 59, *а* и *б*) и внутренней резьбы (рис. 59, *в*).



*а* – прямой резец, *б* – круглый, *в* – изогнутый; *а* и *б* – резцы для нарезания наружной резьбы, *в* – для нарезания внутренней резьбы

Рисунок 59. – Резьбонарезные резцы

Те и другие могут быть цельными или вставными, стержневыми, призматическими и дисковыми, подобно фасонным резцам. Головка резьбового резца для внутренней резьбы должна быть перпендикулярна к оси стержня резца.

Их геометрические параметры не отличаются от геометрических параметров фасонных резцов. Наружную резьбу нарезают прямыми или отогнутыми резцами, внутреннюю – изогнутым (в отверстиях малого диаметра) и прямым резцом, установленным в оправку (в отверстиях большого диаметра). Расположение режущих кромок резца должно соответствовать профилю обрабатываемой резьбы. Резьбы треугольного профиля нарезают резцами с углом в плане при вершине  $\varphi = 60^\circ \pm 10'$  для метрической резьбы и  $\varphi = 55^\circ \pm 10'$  для дюймовой резьбы.

Вершина резца может быть скругленной или с фаской в соответствии с формой впадины нарезаемой резьбы. Боковые задние углы резца с правой и левой сторон обычно делают одинаковыми и равными 3–5 градусам (для нарезания резьбы с углом подъема до 4 градусов) или 6–8 градусов

(при нарезании резьбы с углом подъема свыше 4 градусов). Величина боковых задних углов выбирается так, чтобы при нарезании резьбы исключить трение боковых поверхностей резца о винтовую поверхность резьбы. При нарезании метрической резьбы задний угол резца  $\alpha = 10\text{--}15$  градусов при обработке незакаленных стальных деталей и  $\alpha = 6$  градусов при обработке закаленных стальных деталей. При нарезании внутренних резьб треугольного профиля в отверстиях диаметром до 50 мм  $\alpha$  увеличивают до 18 градусов. Передний угол резьбонарезных резцов  $\gamma = 0\text{--}25^\circ$  (в зависимости от обрабатываемого материала). Для твердых и хрупких материалов выбирают меньшие значения  $\gamma$ , для вязких и цветных – большие значения  $\gamma$ . При нарезании резьбы на деталях из высоколегированных жаропрочных сталей  $\gamma = 5\text{--}10$  градусов для черновых и чистовых резцов. При нарезании резьбы чистовыми резцами на деталях из конструкционных сталей принимают  $\gamma = 0$ . Правильность заточки резцов проверяют шаблоном.

Резьбонарезные резцы оснащают пластинами из быстрорежущей стали и твердых сплавов. При обработке стальных деталей применяют резцы с пластинами из твердых сплавов марок Т15К6 и Т14К8 (на предварительных операциях), Т30К4 и Т15К6 (на окончательных операциях). При обработке чугуновых деталей применяют резцы с пластинами из твердых сплавов марок ВК6М, ВК3М, В2К или ВК4.

Предварительно деталь обтачивают таким образом, чтобы ее наружный диаметр был меньше наружного диаметра нарезаемой резьбы. Для метрической резьбы диаметром до 30 мм эта разница ориентировочно составляет 0,14–0,28 мм; диаметром до 48 мм – 0,17–0,34 мм; диаметром до 80 мм – 0,2–0,4 мм. Уменьшение диаметра заготовки обусловлено тем, что при нарезании резьбы материал заготовки деформируется, и в результате этого наружный диаметр резьбы увеличивается.

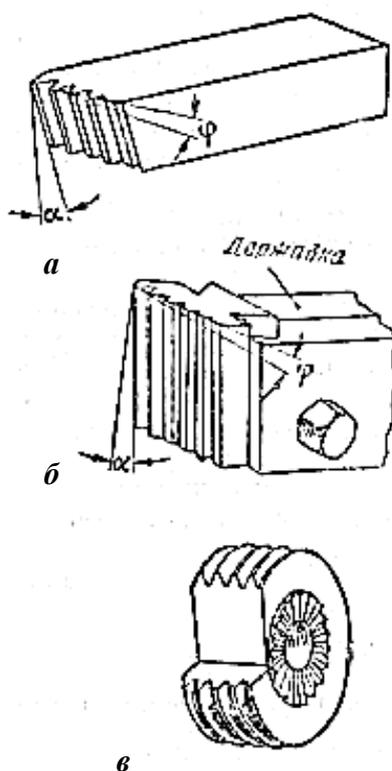
### 5.1.3. Нарезание резьбы гребенками

Наружную и внутреннюю треугольную резьбу можно нарезать также и резьбовыми гребенками. Резьбовые гребенки в отличие от обычных резьбовых резцов имеют на режущей части не один, а несколько зубьев, выполненных по форме профиля резьбы. Гребенки бывают плоские стержневые (рис. 60, а), призматические (рис. 60, б), круглые с винтовой резьбой (рис. 60, в).

Рабочая часть гребенки состоит из режущих и калибрующих зубьев. Режущие зубья (примерно 2–3) срезаны под углом  $\phi$  так, что каждый последующий зуб режет несколько глубже предыдущего. Калибрующая

часть, которая следует за режущей, имеет также несколько зубьев (2–3) и предназначена для зачистки резьбы.

При нарезании резьбы гребенками, благодаря распределению нагрузки между несколькими зубьями, можно увеличить поперечную подачу и уменьшить число проходов по сравнению с резьбовыми резцами. Гребенки служат дольше, чем резьбовые резцы. Призматические гребенки закрепляют в специальных державках и устанавливают в резцедержателе точно на высоте центров.



***a* – плоская стержневая гребенка; *b* – призматическая гребенка; *в* – круглая гребенка с винтовой резьбой**

**Рисунок 60. – Резьбовые гребенки**

Значительно большее применение при нарезании треугольных резьб (как наружных, так и внутренних) получили круглые винтовые гребенки (рис. 60, *в*) как более простые в изготовлении. Они состоят из нескольких винтовых витков. Рабочая часть этих гребенок также имеет несколько режущих зубьев, срезанных под углом, и несколько калибрующих зубьев.

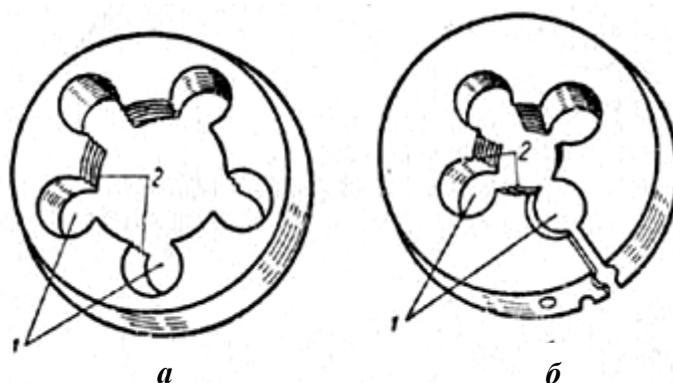
При нарезании наружной резьбы направление резьбы у круглой винтовой гребенки должно быть обратным направлению резьбы на детали, т.е. если нужно нарезать правую резьбу, то на гребенке должна быть левая резьба.

При нарезании внутренней резьбы направление резьбы круглой винтовой гребенки должно совпадать с направлением резьбы детали, т.е., например, при нарезании правой резьбы и на гребенке должна быть правая резьба.

Крепление круглых резьбовых гребенок производится на оправках подобно круглым фасонным резцам.

#### 5.1.4. Конструкции плашек и метчиков

Наружную треугольную резьбу небольших размеров можно нарезать плашками. Плашка (рис. 61) представляет собой цельное или разрезное кольцо с резьбой на внутренней поверхности и стружечными канавками (1); канавки служат для образования режущих кромок (2), а также для выхода стружки.



*a* – цельная плашка; *б* – разрезная плашка

Рисунок 61. – Конструкция плашек

Плашки изготавливают из углеродистой или легированной стали. Круглые плашки изготавливают цельными (рис. 61, *a*) или разрезными (рис. 61, *б*). Диаметр разрезных плашек можно регулировать в небольших пределах, тем самым несколько восстанавливая размер инструмента после износа, что удлиняет срок его службы. Разрезные плашки применяют для нарезания резьбы невысокой точности. Более точную резьбу дают цельные плашки, так как они обладают большей жесткостью. Срок службы цельных плашек меньше.

**Приемы нарезания резьбы плашками.** Для работы плашку вставляют в специальный плашкодержатель (рис. 62) и закрепляют винтами, которые входят в углубления на боковой поверхности плашки.

Нарезаемую деталь закрепляют в патроне; она должна быть предварительно обточена по наружному диаметру резьбы болта. На торце детали нужно снять фаску, чтобы плашка легче врезалась.

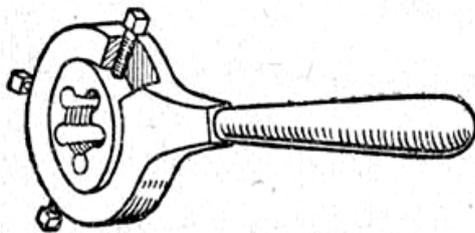


Рисунок 62. – Конструкция плашкодержателя

Если диаметр детали слишком мал, резьба получается недостаточно глубокой, неполного профиля. Если же диаметр заготовки слишком велик, то в процессе нарезания резьба может быть сорвана, так как плашка будет срезать много металла, и в лучшем случае резьба получится нечистой.

**Нарезание треугольной резьбы метчиками.** Внутреннюю резьбу небольших размеров нарезают метчиками. Метчик представляет собой винт с несколькими продольными канавками, которые образуют режущие кромки и одновременно служат для выхода стружки.

Конструкция и элементы метчика показаны на рисунке 63.

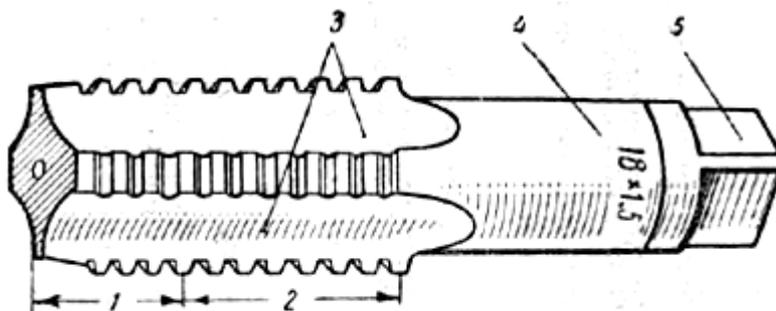


Рисунок 63. – Конструкция метчика

Основными его частями являются: коническая заборная часть (1), калибрующая часть (2), канавки (3), гладкая часть (4), называемая шейкой, квадрат (5) для закрепления метчика в воротке или в патроне.

Основную работу при нарезании резьбы производит заборная часть (1), верхушки зубьев которой срезаны и имеют переменный профиль.

Вслед за заборной частью в отверстие входит калибрующая часть (2), которая служит для зачистки (калибрования) нарезаемой резьбы.

На шейке метчика всегда клеймят диаметр резьбы: для метрических резьб – буквой М или без нее, а для дюймовой – с прибавлением значка «"» (дюйм).

Метчики изготавливают из углеродистой, легированной, а также быстрорежущей стали.

Для ручного нарезания метрической или дюймовой резьбы пользуются комплектом ручных метчиков, состоящим обычно из трех штук, которыми последовательно проходят нарезаемое отверстие.

Первым и вторым метчиками нарезают резьбу предварительно, третьим – зачищают резьбу, придавая ей окончательные размеры и форму. Номер каждого метчика комплекта узнают по числу рисок на хвостовой части: № 1 имеет одну риску, № 2 – две риски и № 3 – три риски. Иногда для нарезания мелких резьб в сквозных отверстиях применяют комплект из двух метчиков, из которых № 1 служит для предварительного нарезания, а № 2 – для окончательного.

Для нарезания резьбы в сквозных отверстиях длиной не более диаметра резьбы применяют гаечные метчики с длинной заборной частью, которыми нарезают резьбу за один проход.

При изготовлении резьбы метчиками небольшие отверстия обычно нарезают сразу же после сверления. Большие отверстия предварительно растачивают. Важно обеспечить надлежащий диаметр отверстия под резьбу – он должен быть несколько больше внутреннего диаметра резьбы. Длина глухих отверстий под резьбу должна быть больше длины резьбы хотя бы на величину заборной части метчика, т.е. на две-три нитки.

## РАЗДЕЛ 6. ПРОТЯЖНОЙ ИНСТРУМЕНТ

### Тема 6.1. ПРОЦЕСС ПРОТЯГИВАНИЯ

#### 6.1.1. Сущность процесса протягивания

Протягивание является одним из наиболее производительных видов обработки металлов резанием и широко распространено в серийном и массовом производстве. Высокая производительность при протягивании объясняется большой суммарной длиной режущих кромок, одновременно участвующих в срезании материала.

Протягиванием обеспечивается получение обработанной поверхности в пределах 7–8 квалитетов точности, с шероховатостью  $R_a$  2,5–0,16 мкм. Таким образом, протягивание является не только высокопроизводительным, но и высокоточным методом обработки.

Протяжками обрабатывают сквозные отверстия любой формы, прямые или винтовые канавки, наружные поверхности разнообразной формы, зубчатые колеса наружного и внутреннего зацепления.

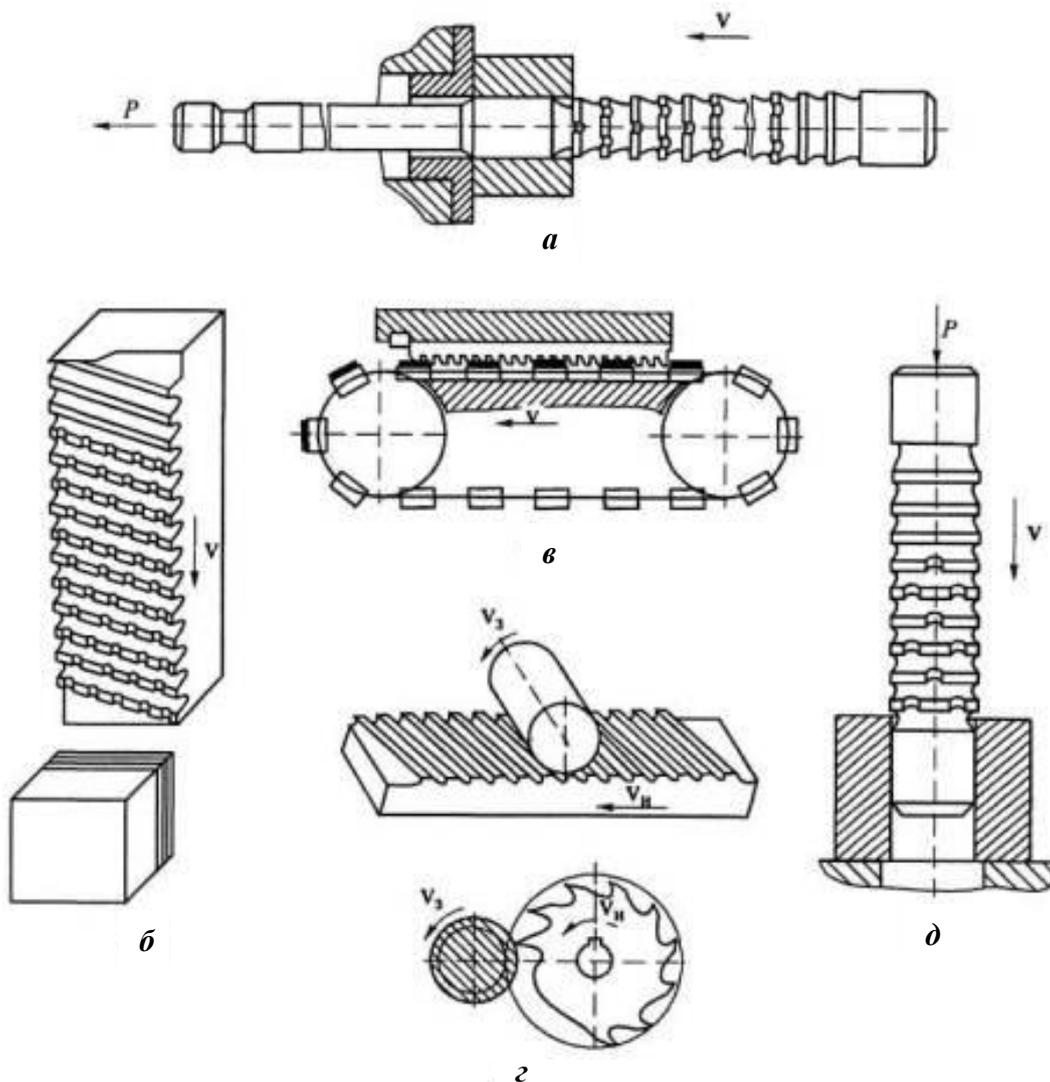
Протяжки являются сложным и дорогостоящим специальным инструментом. Поэтому экономическая эффективность от их применения может быть достигнута только при условии их применения в массовом или крупносерийном производстве, либо при нормализации формы и размеров обрабатываемых поверхностей в мелкосерийном производстве.

Движение резания при протягивании является прямолинейным, режущее – круговым или винтовым. Наиболее распространенной является схема протягивания с прямолинейным движением. Для осуществления процесса резания заготовке и инструменту сообщается относительное поступательное движение. При этом поступательное движение протяжки является главным движением резания.

Протяжки (рис. 64) подразделяют на внутренние и наружные.

Внутренние протяжки предназначены для обработки отверстий, т.е. замкнутых поверхностей, а наружные – для обработки незамкнутых поверхностей. Кроме этого, к протяжным инструментам относятся прошивки и круглые протяжки, применяемые для обработки тел вращения.

Работа протяжки может быть уподоблена работе ряда строгальных резцов, смещенных относительно друг друга на небольшую величину, которая называется подъемом и определяет толщину снимаемого каждым зубом слоя металла.



*a* – внутренняя протяжка, *б, в* – наружная протяжка, *в* – прошивка; *г* – круглая протяжка, *д* – прошивка

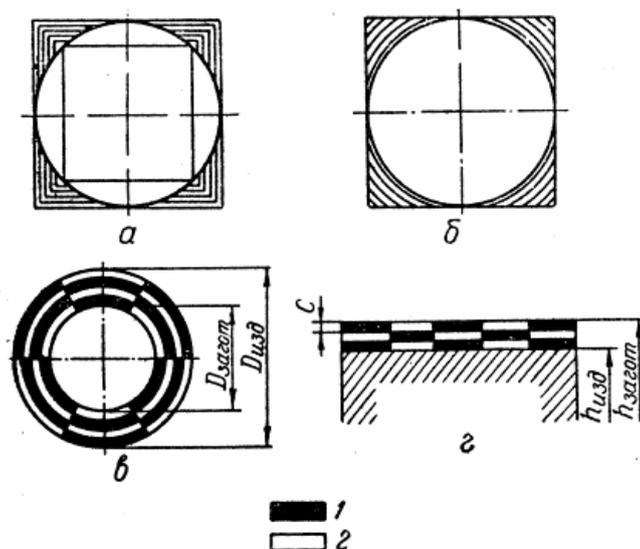
Рисунок 64. – Схемы протягивания и конструкции протяжек

При протягивании заготовка своей торцевой поверхностью опирается на приспособление станка (адаптер) и остается неподвижной. Передняя направляющая часть протяжки вставляется в предварительно просверленное отверстие заготовки и присоединяется к тяговому патрону станка.

### 6.1.2. Методы протягивания

Протягиванием могут обрабатываться поверхности как свободно расположенные относительно базовых поверхностей заготовки, так и связанные с ними определенным допуском (линейным или угловым).

Схемы резания при протягивании показаны на рисунке 65.



*a* – профильная схема; *б* – генераторная схема; *в* и *г* – прогрессивная схема;  
 1, 2 – срезы соответственно первых и вторых зубьев секции протяжки  
 Рисунок 65. – Схемы резания при протягивании отверстия

Схема резания при протягивании определяется последовательностью удаления припуска на обработку. При протягивании распространены следующие схемы резания: профильная, генераторная (предпочтительная) и прогрессивная.

При профильной схеме резания (рис. 65, *a*) профиль режущих кромок зубьев протяжки подобен профилю обработанной поверхности. Все режущие зубья протяжки снимают припуск, окончательная форма поверхности обеспечивается последним зубом. Профильная схема резания обеспечивает высокое качество обработанной поверхности, но имеет следующие недостатки: трудность изготовления и заточки фасонного профиля режущих кромок зубьев, возникновение в ряде случаев большой силы резания из-за большой ширины среза.

При генераторной схеме резания (рис. 65, *б*) профиль режущих кромок протяжки не подобен профилю обработанной поверхности и представляет собой прямые или дугообразные линии, расположенные по концентрическим окружностям вокруг оси инструмента. При этом каждый зуб протяжки формирует небольшую часть обработанной поверхности, поэтому обработанная поверхность образуется суммированием или генерированием отдельных участков поверхности, обработанных соответствующим зубом. Шероховатость обработанной поверхности при генераторной схеме большая, чем при профильной схеме резания, так как могут оставаться следы от обработки отдельными зубьями. Протягивание и заточка генерируемой протяжки значительно проще, чем профильной.

Прогрессивная схема резания (рис. 65, в) осуществляется протяжкой, у которой режущая часть разделена на несколько секций по два-четыре зуба в каждой группе с общим подъемом каждой группы относительно предыдущей. Внутри группы зубья не имеют подъема относительно друг друга. При таком методе весь срезаемый слой подразделяется на небольшое количество толстых и узких слоев. Такое распределение работы зубьев позволяет значительно снизить силу резания. Прогрессивную схему резания применяют для обработки заготовки с твердой коркой, а также для обработки с большими припусками. К недостаткам прогрессивного протягивания следует отнести высокую сложность изготовления протяжек.

Для дробления стружки и лучшего ее размещения во впадинах на режущих кромках протяжки делают специальные стружкоразделительные канавки, которые располагают в шахматном порядке. На всех калибрующих зубьях и на последнем зачищающем канавки не делаются.

Прошивание подобно протягиванию и отличается от него способом приложения усилия. Прошивка проталкивается через черновое отверстие заготовки, таким образом, протяжка при работе подвергается деформациям растяжения, а прошивка – деформациям сжатия, поэтому для обеспечения устойчивости протяжки, работающей как сжатая стойка, ее длина не должна превышать 15 диаметров  $l \leq 15d$ . Схемы резания и параметры прошивки аналогичны протяжке.

### 6.1.3. Конструктивные элементы протяжки

Наиболее полно конструкция протяжных инструментов представлена круглой протяжкой для внутреннего протягивания (рис. 66).

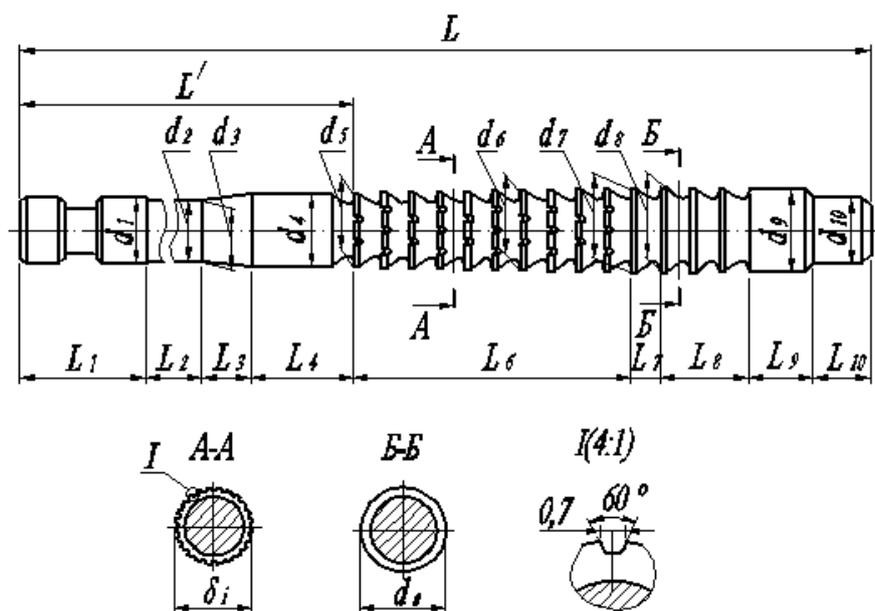


Рисунок 66. – Конструкция протяжки для внутреннего протягивания

Круглая внутренняя протяжка состоит из следующих основных элементов:

- хвостовая часть с замком для закрепления протяжки в патроне протяжного станка (11);
- шейка (12);
- переходной конус (13);
- передняя направляющая часть для управления протяжкой в начале ее работы по предварительно обработанному отверстию (14);
- рабочая часть (15);
- режущая часть, на которой расположены режущие и чистовые зубья, срезающие основной припуск, и канавки для размещения стружки (16);
- калибрующая часть, на которой расположены зубья, калибрующие отверстие и обеспечивавшие необходимую шероховатость обработанной поверхности (17);
- задняя направляющая часть, служащая для устранения перекоса заготовки в момент резания последним калибрующим зубом и для удержания протяжки от провисания (18);
- задняя часть для установки в адаптер (19, 110).

К геометрическим параметрам зуба протяжки относятся: передний угол  $\alpha$ , задний угол  $\gamma$ , угол заострения  $\beta$ , угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$ . Величина заднего угла  $\alpha$  выбирается небольшой ( $\alpha = 3^\circ$ ;  $\alpha_t = 1,5^\circ$ ) для сохранения размеров при переточках.

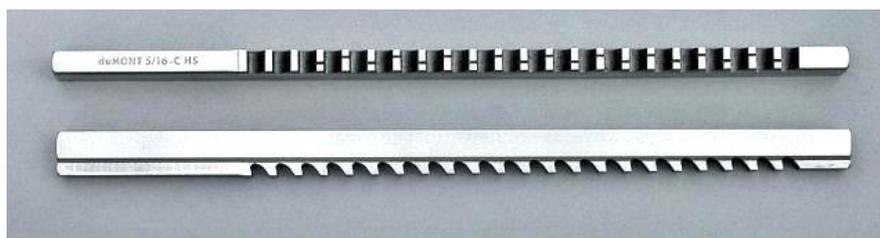
На калибрующих зубьях имеются цилиндрические ленточки для калибрования обрабатываемой поверхности  $f = 0,05\text{--}0,3$  мм. После перетачивания по передней поверхности высота калибрующих зубьев уменьшается, зубья начинают работать как переходные, а затем как режущие.

Особенности конструкции прошивок сводятся к отсутствию замковой части, шейки, переходного конуса.

Наружные протяжки (рис. 67) не имеют направляющих, шейки и переходного конуса.

Задний угол таких протяжек может назначаться до  $10^\circ$ , так как возможны регулировки высоты зубьев за счет прокладок или клиньев, располагаемых между столом и протяжкой. Заточка таких протяжек может вестись как по передней, так и по задней поверхностям. Конструктивное оформление протяжных инструментов разнообразно.

Протяжка для глубокого протягивания имеет двухзаходные зубья на конической поверхности с углом конусности. Для лучшего отвода стружки протяжке сообщается винтовое движение. Износ зубьев протяжки происходит по задней и передней поверхностям, по ленточке калибрующих зубьев и по уголкам.



**Рисунок 67. – Протяжки для наружного протягивания**

Критерием износа служит величина износа по задней грани. Наибольшая величина износа имеет место в местах сопряжения стружко-разделительной канавки с задней поверхностью зубьев. Объясняется это тем, что на данных участках температура нагрева режущей кромки несколько выше, чем на всей остальной части зуба из-за увеличения здесь сил трения, возникающего в результате образования радиусов округления режущих кромок.

Стойкость протяжек определяется материалом их режущей части, обрабатываемым материалом, размерами протяжек и заданной точностью обработки.

Несмотря на то, что протяжки работают на небольших скоростях резания (0,5–14 м/мин), их целесообразно изготавливать из быстрорежущих сталей. В отдельных случаях применяют сталь ХВГ, которая технологична при термической обработке. При обработке чугунных деталей, а также труднообрабатываемых материалов находят применение твердосплавные протяжки. Такие протяжки делаются сборными. Стойкость твердосплавных протяжек в несколько раз выше стойкости протяжек из быстрорежущей стали, однако технологические трудности их изготовления и заточки препятствует их широкому применению.

## РАЗДЕЛ 7. ШЛИФОВАНИЕ

### Тема 7.1. АБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

Шлифование – процесс обработки заготовок резанием абразивными инструментами. Шлифование позволяет достигать величину шероховатости поверхности до  $Ra\ 0,16$  мкм. Наряду с этим применяются обдирочное и глубинное виды шлифования, обеспечивающие высокую производительность и экономичность.

Абразивный инструмент содержит огромное количество режущих зерен разнообразной формы. Каждое зерно, снимая стружку, работает по схеме фрезерования как режущий клин. Если радиус округления  $\rho$  зерна меньше глубины резания  $t$ , то происходит резание. Если  $\rho > t$ , то пластическое деформирование не происходит.

Главным движением при всех видах шлифования является окружная скорость круга  $v_k$ , м/с

$$v_k = \frac{\pi D_k n_k}{60 \cdot 1000},$$

где  $D_k$  – диаметр шлифовального круга в мм;  
 $n_k$  – частота вращения круга в  $\text{мин}^{-1}$ .

Подача при шлифовании может быть различной, в зависимости от вида шлифования, определяемого совокупностью необходимых движений.

#### 7.1.1. Абразивные материалы

Абразивные материалы делятся на искусственные (синтетические) и естественные (природные). В промышленности для изготовления абразивных инструментов используются главным образом искусственные абразивные материалы: электрокорунд, карбид кремния, карбид бора, синтетические алмазы, кубический нитрид бора (эльбор).

*Электрокорунд.* Подавляющая часть (около 80%) абразивного инструмента изготавливается из электрокорунда, который имеет несколько разновидностей: электрокорунд нормальный, содержащий 91–96%  $Al_2O_3$ ; электрокорунд белый, содержащий 97–99%  $Al_2O_3$ ; электрокорунд хромистый; монокорунд.

*Карбид кремния* – химическое соединение кремния с углеродом. Его зерна имеют более высокую твердость, чем электрокорунд. Применяются две разновидности карбида кремния: черный, содержащий 95–97% SiC

и зеленый, содержащий 98–99% SiC. Недостаток карбида кремния – высокая хрупкость и малая прочность.

*Карбид бора* – химическое соединение бора с углеродом. Он состоит из кристаллического B<sub>4</sub>C и имеет высокую твердость, большую хрупкость и применяется в виде порошков для доводочных процессов.

*Кубический нитрид бора (эльбор)* состоит из 44% бора и 56% азота; его твердость уступает лишь алмазу, а теплостойкость в два раза выше.

Кубический нитрид бора (эльбор): ЛО, ЛП – для абразивного инструмента на органической, керамической и металлокерамической связках, шлифовальной шкурки, абразивных паст; ЛВМ, ЛПМ – для микрошлифпорошков с высоким и повышенным содержанием основной фракции для абразивных паст.

*Синтетические алмазы* в зависимости от прочности делятся на пять марок: низкой прочности – АСО, повышенной прочности – АСР, высокой прочности – АСВ, монокристалльные – АСК и АСС.

Помимо буквенных обозначений добавляют цифровые индексы:

– в шлифпорошках из природных алмазов цифровой индекс соответствует десяткам процентов содержания зерен изометричной формы, например: А1, А2, А3, А5, А8;

– в шлифпорошках из синтетических алмазов цифровой индекс соответствует среднеарифметическому значению показателей нагрузки при сжатии единичных зерен всех зернистостей данной марки, выраженному в ньютонах, например: АС2, АС4, АС6, АС15, АС20, АС32, АС50;

– в шлифпорошках из синтетических поликристаллических алмазов индекс соответствует среднеарифметическому значению показателей нагрузки на сжатие единичных зерен всех зернистостей данной марки, выраженному в сотых долях ньютонов;

– в субмикропорошках цифровой индекс означает долю зерен крупной фракции в процентах, например: АМ5, АСМ5, АМ1, АСМ1.

*Природный алмаз*: А8 – используется для буровых и правящих инструментов, инструментов для камнеобработки; А5 – для абразивных инструментов для кругов на металлической связке, дисковых пил и инструментов на гальванической связке; А3 – для абразивного инструмента на металлической связке; А1, А2 – для абразивных инструментов на металлической связке, предназначенных для шлифования технического стекла, керамики, камня, бетона.

Алмазные шлифпорошки в зависимости от вида сырья, из которого они изготовлены, обозначают буквенными индексами по ГОСТ 9206-80: А

– из природных алмазов; АС – из синтетических алмазов; АР – из синтетических поликристаллических алмазов.

Микропорошки и субмикропорошки из природных алмазов обозначаются буквенными индексами АМ, из синтетических алмазов – АСМ: АМ – для инструментов, паст и суспензий для доводки и полирования деталей машин и приборов из закаленных сталей, стекла, полупроводниковых и других материалов; АМ5 используется для изготовления пасты и суспензии для сверхтонкой доводки и полирования; АН – для инструментов, паст и суспензий для доводки и полирования твердых, сверхтвердых труднообрабатываемых материалов (например, корунд, керамика, алмазы, драгоценные камни).

При обозначении микропорошков из природных и синтетических алмазов повышенной абразивной способности индекс М заменяют на индекс Н, т.е. АН, АСН.

Шлифпорошки из синтетических поликристаллических алмазов типа «баллас» (В), «карбонадо» (К) или «спеки» (С) обозначают соответственно АРВ, АРК, АРС в зависимости от типа поликристаллического алмаза.

### **7.1.2. Классификация абразивного инструмента**

Одними из основных характеристик абразивного инструмента являются вид, марка и зернистость используемого для его изготовления шлифовального материала.

Абразивный инструмент подразделяется на:

– инструмент, в котором зерна шлифовальных материалов жестко закреплены тем или иным видом связки; инструмент на жесткой основе – на керамических, органических и специальных связках;

– шлифовальную шкурку и изделия из нее (бесконечные шлифовальные ленты, шлифовальные ленты, бобины, конусы, диски, лепестковые круги), фибровые диски; инструмент на основе из нетканых материалов; инструмент, изготовленный на гибкой основе (фибра, бумага, ткань или их комбинация, нетканый материал) с нанесенным на основу слоем шлифовального материала, закрепленного связкой; инструмент на гибкой основе (гибкий абразивный инструмент);

– абразивные (шлифовальные и полировальные) пасты твердой и жидкой консистенции, представляющие собой композицию из шлифовальных материалов и органических связующих, закрепляющих абразивные зерна так, что при работе они имеют значительную свободу перемещений, а также смазывающих и поверхностно-активных веществ. К этой же группе

относят полировальники различных конструкций из хлопчатобумажных и сизалевых материалов (ткани, канатика), с помощью которых производится машинная обработка различных деталей абразивными пастами.

К указанным абразивным инструментам относятся:

- шлифовальные круги – абразивные инструменты в виде тела вращения, работающие при вращательном движении и движении подачи в любом заданном направлении;
- шлифовальные головки – шлифовальные круги с глухими отверстиями для крепления, в ряде случаев закрепленные на металлической оправке;
- шлифовальные сегменты, являющиеся составной частью сборного или составного шлифовального круга;
- шлифовальные бруски – абразивный инструмент призматической или цилиндрической формы. Шлифовальные бруски могут быть конструктивной, составной частью хона, представляющего собой инструмент в виде тела вращения, работающий при вращательном движении и движении подачи вдоль оси вращения;
- шлифовальные шевера – абразивные инструменты, имеющие форму зубчатого колеса, используемые для зубошлифования;
- абразивные галтовочные тела, представляющие собой призмы и другие геометрические формы, используемые для виброабразивной обработки.

Абразивной промышленностью выпускается широкая номенклатура угловых и фасонных кругов, в том числе комплектных, технические требования к которым оговорены в ГОСТ 52588-2006. Геометрическая форма и размеры угловых и фасонных кругов, а также комплектов кругов должны соответствовать чертежам, согласованным заводом-изготовителем и заводом-потребителем.

Изготавливают также комплекты кругов прямого профиля различных диаметров (от двух до двенадцати кругов в комплекте), используемых в основном для операции шлифования коленчатых и распределительных валов на автоматических и полуавтоматических линиях.

Согласно ГОСТ 21963-2002 промышленностью выпускается широкая номенклатура неармированных отрезных кругов, изготавливаемых с применением бакелитовых и вулканизованных связок диаметром 50–500 мм и толщинами 0,3–5 мм для работы со скоростями резания 50–60 м/с.

Обеспечение надежности кругов и прочности при повышенных скоростях резания заставило ввести в конструкцию круга армирующие прокладки, изготавливаемые из стеклосетки.

Освоен выпуск широкой номенклатуры армированных отрезных кругов диаметром 50–1250 мм, обеспечивающих рабочую скорость резания 60–80 м/с, а также кругов диаметром 1500–2000 мм, выпускаемых по отдельной нормативной документации.

На операциях зачистки стальных заготовок широко применяют силовые скоростные обдирочные круги, работающие со скоростью 60–80 м/с и силой прижима до 10 кН из циркониевого электрокорунда 38А или монокорунда. Круги для силового обдирочного шлифования выпускаются диаметром 500 и 600 мм.

Для снятия забоин и заусенцев, снижения шероховатости обработанной поверхности и уровня шума, окончательной обработки стальных закаленных цилиндрических зубчатых колес наружного зацепления со скорректированным профилем применяются шлифовальные шеверы.

### **7.1.3. Характеристика абразивного инструмента**

#### **Связующие вещества (связки)**

Вещество или совокупность веществ, применяемых для закрепления зерен шлифовального материала и наполнителя в абразивном инструменте, называют связкой. Наполнитель в связке предназначен для придания инструменту необходимых физико-механических, технологических и эксплуатационных свойств. Связка влияет на геометрию рельефа рабочей поверхности инструмента, износ абразивного инструмента и параметры шероховатости обработанной поверхности.

Области применения связок абразивных инструментов приведены ниже.

Керамические связки используются для всех основных видов шлифования, кроме прорезки узких пазов, обдирочных работ на подвесных станках.

Бакелитовые связки – круги с упрочненными элементами для шлифования при скоростях круга 65, 80 и 100 м/с; круги для скоростного обдирочного шлифования, обдирочного шлифования на подвесных станках и ручную, плоского шлифования торцом круга, отрезки и прорезки пазов, заточки режущих инструментов, шлифования прерывистых поверхностей; мелкозернистые круги для отделочного шлифования; алмазные и эльборовые круги; бруски хонинговальные; сегменты шлифовальные, в том числе для работы со скоростью резания 80 м/с.

Вулканитовые и прочие связки – ведущие круги для бесцентрового шлифования; гибкие круги для полирования и отделочного шлифования на связке В5; круги для отрезки, прорезки и шлифования пазов; круги для некоторых чистовых операций профильного шлифования (сферо-шлифования и

др.); шлифовальные круги на вулканической связке ВЗ, изготовленные методом прессования; гибкие плиты на связке В5; полировальные высокопористые круги на связке Пф; круги на магнезиальной связке; тонкозернистые круги на глифталевой связке и с графитовым наполнителем для окончательного полирования.

Металлические связки – алмазные круги повышенной износостойкости для обработки твердых сплавов, а также круги для электрохимической абразивной обработки.

### **Твердость абразивных инструментов**

Твердостью абразивного инструмента называют величину, характеризующую свойство абразивного инструмента сопротивляться нарушению сцепления между зернами и связкой при сохранении характеристик инструментов в пределах установленных норм.

Твердость оценивают определенными показателями в зависимости от метода измерения. Установлена следующая шкала степеней твердости абразивного инструмента:

- весьма мягкий;
- мягкий;
- среднемягкий;
- средний;
- среднетвердый;
- твердый;
- весьма твердый;
- чрезвычайно твердый.

Твердость абразивных инструментов для кругов на керамической, бакелитовой и вулканической связках определяют по ГОСТ 18118-82, ГОСТ 19202-80 и ГОСТ 21323-77.

Мягкие и среднемягкие круги используются для плоского шлифования торцом круга (на бакелитовой связке), периферией круга (на керамической связке), для шлифования заготовок и заточки инструментов из твердых сплавов, минералокерамики и закаленных углеродистых и легированных сталей, для шлифования цветных металлов и сплавов.

Среднемягкие и средние круги используются для чистового (круглого, бесцентрового, внутреннего плоского периферией круга) шлифования заготовок из закаленных сталей; для шлифования резьб с крупным шагом.

Средние и среднетвердые круги – для шлифования (круглого, бесцентрового, профильного, резьбошлифования) заготовок из незакаленных углеродистых и легированных сталей и сплавов, чугуна и других вязких

металлов и материалов; для плоского шлифования сегментами, хонингования брусками.

Среднетвердые и твердые круги используются для обдирочного и предварительного шлифования, для шлифования профильных и прерывистых поверхностей, заготовок малого диаметра; для снятия заусенцев бесцентрового шлифования, хонингования закаленных сталей.

Весьма твердые и чрезвычайно твердые круги используются для правки шлифовальных кругов методом обкатки и шлифования, шлифования деталей приборов с малым съемом материала (часовые механизмы), шлифования шариков подшипников.

### **Форма абразивного инструмента**

Абразивный инструмент выпускается в основном в виде лент, шкурок и кругов.

*Шлифовальную шкурку* выпускают в виде рулонов, листов, лент, дисков, трубочек, колец, конусов. Размеры рулонов, листов и лент зависят от материала гибкой основы. Различают бумажную, тканевую, комбинированную, фибровую и другие основы.

Шлифовальные рулонные шкурки на тканевой основе выпускают: по ГОСТ 5009-82 шириной 725, 740, 770, 800, 830 мм, длиной 30 и 50 м; по ГОСТ 13344-79 шириной 600, 725, 745, 775, 800, 840 мм, длиной 30 и 20 м.

Шлифовальные рулонные шкурки на бумажной основе выпускают по ГОСТ 6456-82 шириной 720, 750, 800.

Абразивный инструмент на гибкой основе с нанесенным на нее слоем шлифовального материала, закрепленного связкой, называют шлифовальной шкуркой. Шлифовальные шкурки рулонные на бумажной основе выпускают: по ГОСТ 6456-82 шириной 720, 250, 800, 850, 900, 1000 и 1250 мм, длиной 20, 30, 50 и 100 м; по ГОСТ 10054-82 шириной 500, 650, 700, 750, 950, 1000 мм, длиной 30, 50 и 100 м.

В зависимости от свойств связки и основы различают водостойкую, неводостойкую, термостойкую и другие шкурки.

Шкурка бывает однослойной или двухслойной в зависимости от числа слоев шлифовального материала на одной из сторон гибкой основы. Если рабочие слои шлифовального материала расположены на обеих сторонах гибкой основы, то такую шкурку называют двусторонней.

Шлифовальную шкурку в виде полосы прямоугольной формы, длина которой в направлении основы не более 1000 мм, называют шлифовальным листом. Шлифовальные листы по ГОСТ 22773-77 выпускают шириной 70, 80, 90, 100, 115, 125, 140, 155, 180, 190, 200, 210, 235, 300, 310, 360,

380, 400, 410 мм и длиной 125, 140, 150, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 300, 310, 360, 400, 500, 600, 630, 720, 760, 820, 900, 1000 мм.

*Шлифовальной лентой* называют шлифовальную шкурку в виде полосы прямоугольной формы, длина которой более чем в 2 раза превышает ее ширину (ГОСТ 21445-84).

Шлифовальную ленту с замкнутым контуром называют бесконечной шлифовальной лентой. Ее основные размеры: по ширине – 2,5–2650 мм, по длине – 220–12500 мм.

Шлифовальную шкурку формы круга называют *шлифовальным диском*. Диски могут иметь радиальные прорезы заданной глубины. Материал основы дисков может быть тканью, бумагой, фиброй и т.д. Диски типов Д и ДО выпускают по ГОСТ 22773-77 со следующими основными размерами: наружный диаметр – 80, 95, 100, 125, 140, 150, 180, 201, 225, 235, 250, 300, 320, 340 мм; диаметр отверстия – 6, 12, 22, 30, 40 мм. Диски с прорезями типа ДП выпускают по ГОСТ 22773-77 с наружным диаметром 100, 125, 140, 150, 160, 170 мм.

Шлифовальную шкурку в форме цилиндра называют *шлифовальной трубкой*. По ГОСТ 22774-77 ее выпускают высотой 180 мм с диаметром отверстия 10, 15, 20, 25, 32, 40, 45, 50, 55, 60, 65 мм. Шлифовальную трубку, диаметр которой равен или превышает ее высоту, называют шлифовальным кольцом.

Шлифовальную шкурку в форме конуса называют *шлифовальным конусом* или усеченным шлифовальным конусом. По ГОСТ 22774-77 выпускают: шлифовальные конусы типа К с наружным диаметром 25, 30, 40, 50 мм, высотой 50, 60, 80, 100 мм; усеченные шлифовальные конусы типа КУ с наружным диаметром 40, 45 мм, высотой 100, 140, 145 мм, с внутренним диаметром 32, 35 мм.

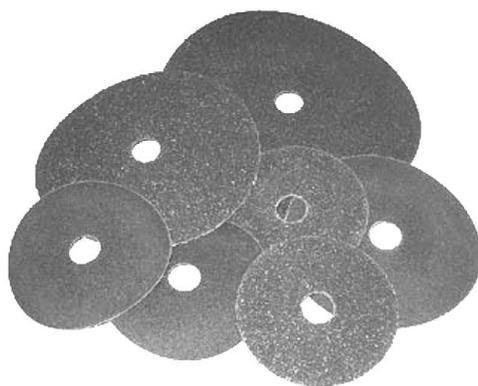
Шлифовальные круги, состоящие из радиально расположенных и закрепленных одной стороной шлифовальных листов заданной формы, называют *лепестковыми шлифовальными кругами* (рис. 68).



**Рисунок 68. – Лепестковые шлифовальные круги**

Лепестковые круги выпускают по ГОСТ 22775-77 с наружным диаметром 120, 175, 300, 350, 400, 500 мм, высотой 25, 40, 50, 75, 100, 140 мм, с диаметром отверстия 32, 40 мм. Лепестковые круги с оправкой выпускают по ГОСТ 22775-77 с наружным диаметром 40, 50, 60, 80, 112, 140 мм, высотой 10, 20, 30, 40 мм, с диаметром оправки 6, 8 мм.

Диски на фибровой основе (рис. 69) выпускают по ГОСТ 8692-82 с наружным диаметром 60, 70, 100, 150, 178, 200, 215 и 225 мм, диаметром отверстия 6 и 22 мм.



**Рисунок 69. – Шлифовальные диски**

Диски на основе из нетканых материалов (объемного полотна) выпускают с наружным диаметром 125 мм и диаметром отверстия 32 мм.

Изготавливаются шлифовальные круги следующих типов: прямого профиля, с двусторонним коническим профилем, с коническим профилем, с выточкой, с конической выточкой, с двусторонней выточкой, тарельчатые, кольцевые, чашечные цилиндрические, чашечные конические, с двусторонней выточкой и ступицей, с двусторонней конической выточкой, параметры которых регламентированы ГОСТ 2424-83.

Круги прямого профиля имеют универсальное применение. Круги могут иметь выточки. Назначение выточек – лучший доступ круга при его подходе к обрабатываемой детали.

Круги с коническим профилем используются для резьбошлифования, шлицешлифования, зубошлифования, заточки некоторых видов многолезвийного инструмента и пил.

Специальные круги используются для обдирочного плоского шлифования. Рифленая поверхность кругов снижает нагрев обрабатываемой детали. Иногда их применяют для чистового шлифования на специальных станках.

Диски используются для шлифования глубоких узких пазов, отрезных и прорезных работ, шлифования профильных поверхностей на профильно-шлифовальных станках.

Кольцевые круги используются для плоского шлифования торцом круга. Круги закрепляются на планшайбе при помощи цементирующих веществ.

Чашечные цилиндрические круги используются для заточки и доводки режущего инструмента, внутреннего и плоского шлифования (например, для шлифования направляющих станин и корпусных деталей).

Чашечные конические круги используются для заточки и доводки инструментов, плоского шлифования в случае, когда затруднена обработка кругами других форм.

Тарельчатые круги используются для заточки и доводки многолезвийного режущего инструмента, зубошлифования и шлифования.

#### **7.1.4. Абразивный инструмент из сверхтвердых материалов**

Алмазные и эльборовые шлифовальные круги классифицируются по ГОСТ 24747-90 (рис. 70).



**Рисунок 70. – Конструкция алмазного шлифовального круга**

В зависимости от формы корпуса, формы и расположения алмазосодержащего и эльборосодержащего слоя, а также от модификации корпуса устанавливаются определенные обозначения форм кругов. Первые одна или две цифры (с 1 по 15) в коде относятся к обозначению формы сечения корпуса. Следующие одна или две буквы (А, АН, В, ... D, DD, Е, ЕЕ, F, FF, ... V, V, Y) относятся к обозначению формы сечения алмазосодержащего или абразивосодержащего слоя. Последующие один или два цифровой и буквенный индексы (1, IP, 1R, IV, IX, 2, ... 10) означают расположение абразивосодержащего слоя на корпусе, а индексы А, В, С, Н, Т, М – модификацию корпуса.

## **РАЗДЕЛ 8. ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ДЕРЕВООБРАБОТКИ**

### **Тема 8.1. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ДЕРЕВООБРАБОТКИ**

#### **8.1.1. Методы деревообработки**

##### **Пиление и распиловка**

Пиление и распиловка – один из самых древних видов работы с деревом. Первоначально в его основе было разрубание. Позднее добавились еще два способа. При резании возможно разделить материал на нужные заготовки, а также убрать лишнюю длину, ширину, объем. В результате должна получиться деталь нужного размера.

Особенность процесса состоит в том, что происходит разрыв между элементами структуры клеток и волокон материала. Существует несколько принципов такой обработки. В зависимости от количества ножей (резцов), принимающих участие в этом процессе, выделяют два вида работы с деревом.

Разрезать заданный материал можно с выделением стружки (путем фрезерования, пиления):

- строгание при помощи резца, который движется строго по заданным прямым линиям;
- фрезерование; процесс происходит при помощи резца, который непрерывно вращается;
- распиловка древесины;
- дробление, а именно выработка определенных отверстий на заданную глубину;
- сверление (сквозное или частичное);
- точение древесины;
- лущение элементов заготовок;
- шлифование.

Разрезать материал можно также без стружкообразования (например, при создании шпона, а затем дальнейшего его раскроя при помощи ножниц):

- раскол как готовых заготовок, так и целых бревен;
- разрезание, процесс происходит при помощи специальных ножниц;
- штампование листовой древесины при помощи высечки.

Согласно техническим условиям, механическая обработка древесины разрешает наличие некоторых погрешностей, в том числе во внешнем виде заготовок. Это могут быть внутренние трещины и свилеватость на месте распила.

## **Строгание древесины**

После распиловки на деревянных заготовках остаются следы распила, шероховатости и неровности. Для улучшения внешнего вида и общего качества древесины необходимо проводить следующий этап ее механической обработки.

Способ, при котором происходит постепенное снятие слоев древесины, называется строганием. При нем изделиям придают нужную форму с гладкой поверхностью. Работать можно как на строгальных инструментах, так и на станках.

Стационарные устройства имеют разные режимы работы, а также несколько скоростей. При выполнении строгания на стационарных станках необходимо соблюдать технику безопасности. Методы работы практически такие же, как при работе с ручными инструментами.

## **Токарная обработка**

Для деревянных деталей, которые используются для украшения мебели, применяется способ обработки древесины путем обтачивания ее на токарных станках. В результате получают заготовки и полностью готовые части овальных, круглых, волнистых, витых и других форм.

Стационарные станки, а также иные токарные приспособления позволяют вращать детали равномерно. В это время ножи или резцы снимают стружку. В станках, предназначенных для работы с деревом, есть планшайбы и патроны. В них находятся отверстия с резьбой.

Самый распространенный – трехкулачковый патрон. Он прочно закрепляет деталь благодаря радиальному перемещению зажимных кулачков. При помощи такого устройства можно обрабатывать легкие детали.

Для более тяжелых деталей используется патрон с трезубцем. Зубцы устройства вдавливаются в торцовую часть детали, а после включения станка происходит передача вращательного момента от шпинделя самой заготовке.

В любом случае нужно надежно закрепить обрабатываемую деталь на устройстве. Чем равномернее будет вращаться заготовка, тем более качественной получится ее обработка.

## **Фрезерование**

Во время этого процесса от древесины отделяется некоторое количество стружки. Фрезерование проходит вращающимся резцом. Можно обрабатывать профильные и плоские поверхности. Фрезерование может быть коническим, торцевым, цилиндрическим.

После обработки древесина остается шероховатой, иногда имеет надломы. Если деталь готова, то ее следует отшлифовать. Иногда после фрезерования проводятся другие работы.

### **Сверление**

Такой принцип работы используется для образования отверстий в заготовках или полузаготовках. Метод сверления заключается в том, что сверло, углубляясь в древесину, при помощи своих граней достает внутреннюю часть дерева. При работе необходимо размечать центры и устанавливать глубину опускания сверла.

### **Метод шлифования**

Шлифовка проводится при помощи абразивных материалов. Мягкая наждачная бумага для дерева не подходит, а вот та, у которой жесткость не меньше 10, сможет хорошо отполировать поверхность.

Главная цель такого механического метода обработки древесины состоит в том, чтобы качественно удалить дефекты, возникшие ранее. При плавных движениях можно достичь полной гладкости деревянной поверхности. При работе можно зернистость бумаги постепенно уменьшать.

### **Полировка древесины**

После того, как дерево было спилено и прошло механическую обработку, завершающим этапом может стать его полирование. Для этого абсолютно гладкую, отшлифованную поверхность покрывают политурой.

Если правильно подобрать материал, то можно изменить цвет дерева, несколько упрочить его структуру, придать зеркальный блеск.

## **8.1.2. Конструкция инструмента для обработки древесины**

### **Фрезы**

Есть разные виды фрез: торцовые, цилиндрические, фасонные, дисковые, угловые, концевые и шпоночные. Каждый из этих видов имеет свои индивидуальности, которые имеют важное значение при выборе этого режущего инструмента.

На фрезерных станках горизонтального вида употребляются цилиндрические фрезы (рис. 71). Обрабатываемая при их помощи поверхность должна быть плоской. Зубья на этих станках могут быть винтовыми либо прямыми.



**Рисунок 71. – Цилиндрические насадные фрезы**

Прямые зубья дают возможность обрабатывать плоскости маленькой ширины, а для винтовых подходят широкие поверхности. При применении этих устройств возникают осевые усилия, которые непосредственно зависят от наклона оси зуба. Избегать схожих неудобств разрешают особые фрезы, которые имеют два ряда зубьев, расположенных в разных направлениях. Производительность самих торцовых фрез на порядок выше, чем у их цилиндрических аналогов.

Фрезы употребляются на вертикально-фрезерных станках, а верхняя часть режущих кромок зубьев у них является профилирующей. В торцах у них находятся дополнительные режущие кромки. Но основную режущую функцию выполняет внешняя боковая кромка. Угловая фреза находит свое применение в тех вариантах, когда нужно на углах сделать паз и для угловых профилей сформировать канавку. Такая фреза может быть двухугловой либо одноугловой. Одноугловая модель имеет расположенную на конической поверхности и торцах кромку. В двухугловой фрезе кромка находится рядом на двух поверхностях. Такое размещение обеспечивает плавную работу, компенсируя возникающее осевое усилие. Чтоб понизить износ, вершину угловой фрезы делают закругленной формы.

Фрезы могут различаться по форме задней поверхности режущих кромок. Режущие кромки могут быть прямой либо криволинейной формы. Для работы с профилем в затылованных фрезах употребляются спиралевидные ножи. Остроконечная фреза используется в случае необходимости производства пазошипных соединений. Она выполнена в форме цилиндра, на котором присутствуют режущие кромки.

Фрезы подразделяются на виды по способу установки их на шпиндель. По данной характеристике инструмент бывает насадным и концевым. Концевые фрезы имеют и другое наименование – хвостовые, поскольку закрепляются зажимным патроном и цангой, а насадная фреза ввинчивается в шпиндель. Фреза вкручивается в направлении, противоположном направлению ее вращения. Также фреза бывает черновой и чистовой. Черновые

используются для стремительной грубой обработки, а чистовые – для получения гладкой поверхности высокого качества.

### Пилы

Круглые пилы, применяемые в продольном лесопилении, имеют сравнительно небольшое количество зубьев. Это объясняется большой нагрузкой на зубья пил и необходимостью в крупных межзубных впадинах, служащих для удаления большого количества опилок. Они занимают значительный объем, несмотря на то, что находятся во впадине в спрессованном состоянии.

Пилы с большим количеством зубьев при той же энергетике станка пилят быстрее. Пилы с меньшим количеством зубьев имеют более прочный зуб, благодаря чему этот зуб можно реже формировать и быстрее затачивать пилу (рис. 72).



*а* – дисковая пила; *б* – ленточная пила

**Рисунок 72. – Конструкции пил для деревообработки**

На пилах большого диаметра иногда делают вырезы всевозможных форм. Добавляют зачистные или стабилизирующие ножи. По сравнению с пилами меньших диаметров, на больших пилах очень большие соотношения диаметра к толщине пилы. По этому критерию они относятся к сверхтонкому классу и работают на пределе своей поперечной устойчивости. Поэтому приходится увеличивать толщину пилы, что увеличивает ширину реза.

Дисковая пила по дереву – один из самых востребованных пильных инструментов, который имеет широкие возможности для бытовых и профессиональных нужд. Выполняется в виде металлической пластины, на рабочей кромке которой расположены зубья (рис. 72, *а*).

Дисковая пила обладает несколькими важными характеристиками: глубина пропила, частота вращения, количество и форма зубьев.

Глубина пропила – расстояние в мм, на которое тело пилы входит в материал. Она зависит от диаметра диска. Когда важны маневренность и аккуратность в работе с тонким материалом, используются малые и средние пильные диски по дереву с глубиной пропила 30–50 мм, в то

время как пилы с глубиной пропила 65–140 мм и выше относятся к профессиональному классу и их применение целесообразнее в деревообрабатывающей промышленности. Результат работы качественнее, а рез точнее к разметке и чище при большем количестве оборотов. На чистоту реза влияет также наличие твердосплавных напаяек, с которыми пильный диск лучше подходит к твердым породам дерева.

Ленточная пила по дереву получила свое название потому, что рабочий инструмент этого стационарного пильного станка представляет собой непрерывную ленту с зубьями по краю (рис. 72, б).

Существуют 3 вида ленточных пил, которые различаются по характеру пилящей части ленты:

- Зубчатые пилы, обычно замкнутые в кольцо. Такие пилы применяются в деревообрабатывающей и пищевой промышленности;
- Ленточные пилы трения. Также с зубьями, усиливающими трение для выделения большего количества тепла, посредством чего повышается производительность данного аппарата;
- Электроискровые ленточные пилы. Они отлично подойдут для производства заготовок, толщина которых больше 150 мм, с которыми не может справиться даже дисковая пила.

Особое внимание следует уделить типу полотна, используемого для пиления ленточными пилами. Существуют стандартные размеры таких полотен: ширина 25, 32, 38, 50 мм и толщина 0,9 и 1,1 мм. Такие полотна чаще всего состоят из углеродистой стали и проходят разные тепловые обработки. В случаях специальных работ используются биметаллические ленты, ленты с напайками и наплавками, так как они более гибкие, а их зубья более прочные.

Твердосплавные пилы имеют металлокерамические пластинки из твердого спеченного сплава из карбида вольфрама и кобальта твердостью около 90 HRS. Например, российский сплав К-6 имеет 6% кобальта, а сплав ВК-15 – 15%. Чем больше в сплаве кобальта, тем выше прочность на изгиб и лучше механические свойства, но в то же время хуже твердость сплава и его износостойкость. При уменьшении содержания кобальта ухудшаются условия пайки и уменьшается усилие отрыва пластин. Паяют металлокерамические пластинки на латунные и серебряные припои. Сталь для корпусов пил применяют марки 9ХФ или 50ХФА. При оснащении наконечников пил импортной металлокерамикой, период между заточками увеличивается на 30–50%.

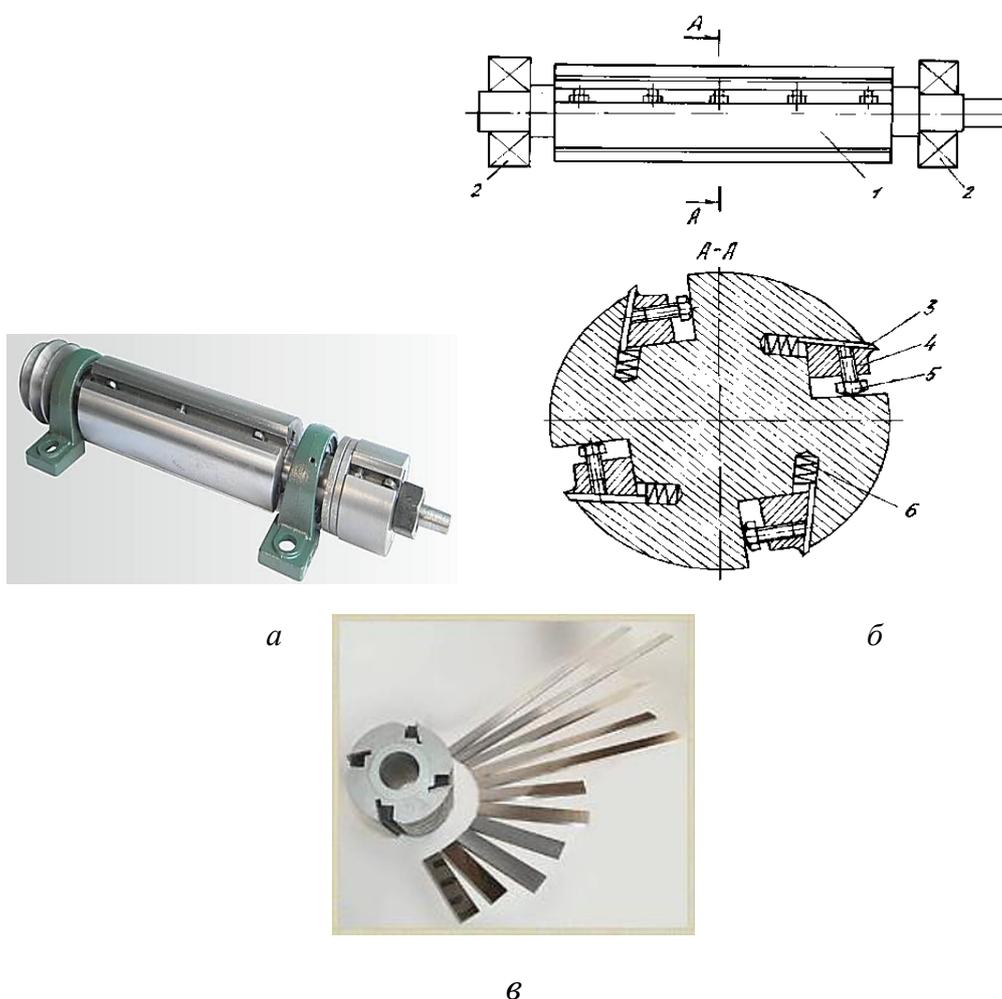
Твердосплавные пластины имеют слабую прочность при ударных нагрузках и в связи с этим могут быть повреждены даже на еловых сучках. Для нормальной работы таких пил необходимо принимать меры к равномерной подаче заготовки и надежной фиксации от вибрации.

Пластинки обладают высокой стойкостью к истиранию и могут работать без заточки до 30 часов и более. Заточку твердосплавных пластин производят по передней и задней граням алмазными кругами с водяным охлаждением.

### Ножи

Вал для деревообрабатывающего станка используется с целью крепления таких режущих инструментов, как фрезы, ножи, шлифовальные диски, сверла, круглые пилы и тому подобное, а также обеспечивает им вращение.

Вал состоит из формы, напоминающей цилиндр, и двух продольных пазов, в которые устанавливаются ножи. Режущие инструменты крепко прижимаются к поверхностям пазов клиновидными вкладышами и болтами (по три в каждом пазе). В строении вала также присутствует пара выступающих концов, один из которых используется для крепления рабочих органов, а второй – для шкива (рис. 73).



*а* – общий вид; *б* – чертеж-схема: 1 – корпус, 2 – подшипники, 3 – нож, 4 – прижимной клин, 5 – винт, 6 – пружина; *в* – виды ножей

**Рисунок 73. – Ножевой вал фуговального станка СФК6-1**

На каждом конце имеется резьба. Вал для деревообрабатывающего станка устанавливается на двух опорах и соединяется клиноременной передачей с двигателем. Все инструменты, используемые для обработки древесины, устанавливаются на шпиндель при помощи зажимных фланцев, промежуточных и центрирующих колец и гайки.

Фланцы очень важны для работы вала, так как они принимают участие в обеспечении крутящего момента и придают максимальную жесткость пильному диску. Для таких целей специально делают пояс, что обеспечивает максимальное прилегание к зажимаемому инструменту.

### **Сверла**

Зачастую при ремонтных или строительных работах приходится сверлить дерево. На рисунке 74 представлены спиральное, винтовое и перовое сверла.



**Рисунок 74. – Сверла для деревообработки**

Спиральное сверло предназначено для высверливания в дереве отверстий различного диаметра. Размерный ряд от 3 до 52 мм. На конце имеется острие, служащее для того, чтобы удобно было начать сверление. Большие сверла (от 10 мм), в отличие от маленьких, имеют шестигранный хвостовик, что позволяет им не проворачиваться во время процесса сверления. Длина сверла бывает от 80 до 600 мм. Сверла маленького диаметра имеют небольшую длину, так как длинное и тонкое может сломаться. Чем больше диаметр, тем длиннее может быть сверло.

Винтовое сверло, в отличие от сверла по металлу, не «плавает» по поверхности детали и хорошо сверлит дерево. Спиральное сверло делает это лучше и режет ЛДСП с более высокой эффективностью. Основным минусом данных сверл можно назвать то, что оба имеют хвостовик, выступающий над кончиком сверла, из-за чего они непригодны для сверления несквозных отверстий.

Перовое сверло имеет размеры от 10 до 55 мм. Чаще всего его используют для сверления ДВП, ДСП и тонких досок, поскольку нет отвода для стружки, как у спирального сверла, глубокое отверстие делать не очень удобно. Также у него имеется центровочное острие. Хвостовик шестигранной формы служит для более плотного зажима в патроне. Отлично подходит для врезания дверных замков.

#### *Сверло Форстнера*

Оно нужно для высверливания глухих отверстий. Например, для мебельной петли. Фома сверла позволяет делать отверстие снизу плоским, оно получается ровным и гладким. Диаметры варьируются от 10 мм до 50 мм.

#### *Коронки по дереву*

Их плюс состоит в том, что можно делать большие отверстия в дереве, которые нельзя сделать с помощью простых сверл. Коронки диаметром 19–127 мм продаются чаще всего в наборах. Коронка выглядит как кольцо с зубьями и центровочным сверлом по центру.

## РАЗДЕЛ 9. РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

### Тема 9.1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ КОНСТРУИРОВАНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Каждый инструмент имеет рабочую и присоединительную части. Присоединительная часть служит для соединения инструмента со станком. Она имеет базовые поверхности, которыми инструмент ориентируется относительно станка, и элементы передачи усилий со станка на инструмент. Рабочая часть отделяет срезаемые слои от заготовки и отводит стружку из зоны резания. В свою очередь, режущая часть может состоять из элементов, последовательно выполняющих черновую, получистовую и чистовую обработку. Оптимальная конструкция рабочей части режущего инструмента обеспечивает высокую производительность и хорошее качество обработки, обеспечивает энергосбережение при резании.

Режущее лезвие и остальные элементы конструкции инструмента образуются путем сопряжения поверхностей, определенным образом расположенных в пространстве. Это предопределяет общий подход к проектированию режущих инструментов всех видов и любого назначения.

*Проектирование рабочей части* производится в следующем порядке:

- 1) выбор режущего материала и способа закрепления режущих инструментов;
- 2) выбор схемы резания и разработка структурной схемы инструмента;
- 3) выбор геометрических параметров: формы рабочих поверхностей, структуры режущего контура (главных, вспомогательных, переходных, зачистных режущих кромок) и углов заточки;
- 4) выбор способов формирования и отвода стружки из зоны резания;
- 5) расчет зубьев и тела инструмента на прочность и жесткость;
- 6) оптимизация шага, размеров и формы зубьев, а также стружечных канавок инструмента;
- 7) определение размеров, формы, полей допусков рабочей части;
- 8) выбор способов отвода теплоты из зоны резания;
- 9) окончательная оптимизация конструкции рабочей части по минимуму приведенных затрат.

**Проектирование присоединительной части** производится в следующей последовательности:

- 1) выбор способа присоединения инструмента к станку (подвижность или неподвижность, быстрота смены, возможность регулирования размеров, точность, жесткость);
- 2) выбор формы базовых поверхностей;
- 3) выбор материала присоединительной части;
- 4) выбор способа соединения с рабочей частью;
- 5) расчет присоединительной части на передачу усилия резания, прочность, жесткость, точность базирования.

### **Конструирование рабочей части инструментов**

Под конструированием понимается определение всех размеров и форм режущего инструмента путем расчетов и графических построений. Задача конструктора сводится к следующему:

1) на основании данных учения о резании найти оптимальные углы заточки, определить силы, действующие на режущие поверхности инструмента, подобрать наиболее подходящий материал для изготовления рабочей части инструмента и такую форму рабочей части, которая обеспечивала бы свободное отделение стружки в процессе резания;

2) на основании данных технологии металлов найти наиболее удобную для обработки форму рабочей и соединительной частей инструмента, определить допуски на размеры рабочей и соединительной частей в зависимости от условий работы и требуемой точности обработки детали;

3) на основании данных учения о сопротивлении материалов произвести расчеты рабочей и соединительной частей инструмента на прочность и жесткость;

4) составить рабочий чертеж инструмента и технические условия, внося в чертеж все необходимые данные о форме и размерах инструмента, а в технические условия – допуски, требования, предъявляемые к инструменту, данные для испытания инструмента и т.д.

Для конструирования рабочей части инструментов необходимо знать кинематическую схему резания. Любой режущий инструмент снимает стружку только в том случае, если его режущая кромка перемещается относительно обрабатываемой заготовки. Обычно относительное движение режущей кромки получается в результате сложения абсолютных движений инструмента и заготовки. Если рассмотреть движения, осуществляемые в различных металлорежущих станках, можно увидеть, что эти движения складываются из поступа-

тельных прямолинейных и вращательных движений. Кинематическую схему резания конструктору важно знать для того, чтобы определить действительные значения углов резания, которые при работе инструмента зависят от кинематики резания.

Превращение срезаемого слоя в стружку при нарезании резьбы резцом проходит в крайне сложных условиях. Это связано с тем, что при радиальном врезании все три кромки резца участвуют в резании, срезая слои материала по всему рабочему периметру.

Пересекающиеся встречные потоки деформируемого материала детали, перемещаясь по передней поверхности резца в направлениях, перпендикулярных к режущим кромкам, мешают друг другу, увеличивая тем самым степень деформации срезаемого слоя.

Чем больше глубина врезания резца, тем тяжелее условия стружкообразования и хуже качество обработки, так как боковые поверхности резьбы все более ограничивают свободное формирование стружки.

Инструментами, предназначенными для обдирочных работ, важно срезать как можно больше материала при наименьших силах и затратах энергии. Инструментом, предназначенным для чистовой обработки, важно обеспечить требуемый класс шероховатости и точность изготовления детали.

Различают однолезвийные инструменты (резцы) и многолезвийные (сверла, фрезы и т.д.). Каждый зуб инструмента можно рассматривать как отдельный резец со всеми присущими последнему геометрическими элементами. Переточка зуба инструмента заключается в снятии с его слоя металла, изношенного в процессе резания. Переточка может быть произведена тремя способами:

- 1) только по задней поверхности;
- 2) только по передней поверхности;
- 3) одновременно по задней и передней поверхностям.

Применение того или иного метода заточки обуславливается назначением инструмента и условиями его эксплуатации.

Принятый метод затачивания по задней или передней поверхностям определяет основные геометрические размеры зуба инструмента и его форму. Рассматривая условия работы и износа инструмента, конструктор выбирает соответствующий метод затачивания, а следовательно, и форму зуба.

Во время резания происходит интенсивное стружкообразование. Непременное условие хорошей работы режущего инструмента – беспре-

пятственный отвод стружки от режущей кромки и достаточное пространство для ее размещения.

Процесс образования стружки сопровождается выделением значительного количества теплоты, что приводит к интенсивному износу инструмента. Одним из основных принципов конструирования рабочей части инструмента является снижение тепловыделения и обеспечение у проектируемого инструмента более интенсивного отвода теплоты от режущей кромки. При конструировании сложных инструментов приходится обеспечивать правильный отвод теплоты путем изготовления тела зуба инструмента достаточного размера, а также системой каналов для подвода охлаждающей жидкости к режущим кромкам резания. В особо сложных и ответственных случаях производится испытание нескольких различных опытных вариантов конструкции и выбирается лучший из них.

На прочность инструмента влияет термическая обработка. При закалке инструмент получает значительные внутренние напряжения, которые могут привести к трещинам и разрушению инструмента.

При проектировании режущих инструментов, предназначенных для обработки сложных и фасонных поверхностей, например резьбы, зубчатых колес и т.д., необходимо определить форму и размеры режущей кромки, так как форма режущей кромки будет обеспечивать получение заданной фасонной поверхности. Обработка фасонной поверхности инструментом может производиться двумя методами. Первый метод предусматривает получение профиля фасонной поверхности прямым копированием поверхности инструмента. Второй метод предусматривает получение заданной поверхности детали путем обкатывания.

При проектировании инструмента конструктор должен учитывать экономический расход инструментальных материалов. Сталь для режущего инструмента, особенно быстрорежущая, значительно дороже конструкционной стали, а твердые сплавы в несколько раз дороже быстрорежущей стали. Поэтому в машиностроении получили чрезвычайно широкое распространение такие конструкции режущего инструмента, в которых режущая часть выполняется из быстрорежущей стали или из твердых сплавов, а корпус – из конструкционной стали или инструментальной легированной стали.

Кроме экономного расходования материала, сборный инструмент имеет еще одно важное преимущество перед цельным – сборный инструмент позволяет производить регулирование размера. Например, у сборной развертки со вставными ножами можно регулировать диаметр развертки после износа пу-

тем раздвигания ножей. Регулировка позволяет увеличить срок службы инструмента. Поэтому нередко инструмент делается сборным только для возможности регулирования размера.

### ***Конструирование присоединительной части инструментов***

Соединительная часть режущего инструмента (хвостового или насадного) должна передавать мощность, получаемую от шпинделя станка, на режущую часть инструмента. Если соединительная часть будет недостаточно прочна, т.е. рассчитана неправильно, то она будет лимитировать использование мощности инструментом.

При конструировании соединительной части режущего инструмента важно обеспечить необходимую точность установки инструмента в рабочий шпиндель (сверла, зенкеры, развертки и т.д.) или в гнездо (фасонные резцы, ножи и т.д.). С этой целью соединительные части инструментов изготавливаются очень точно, чем обеспечивается полная взаимозаменяемость.

Конструкторы должны выбирать такую форму соединительной части, которая обеспечивает минимальное время, необходимое для закрепления инструмента на станке и закрепления инструмента без остановки шпинделя станка (например, быстрая смена инструмента на сверлильном станке).

Конструкции соединительных частей разнообразны (рис. 75):

1) для хвостовых инструментов с вращательным движением используют квадрат на цилиндрическом хвостовике, инструментальный конус с лапкой и без лапки, быстросменные зажимы различных конструкций и т.д.;

2) для насадных инструментов с вращательным движением – цилиндрическое отверстие с продольной шпонкой, цилиндрическое отверстие с торцевой шпонкой, замки различных конструкций, конусы;

3) для инструментов с движением вдоль оси (протяжки, прошивки) – хвостовик с клиновидной чекой, быстросменные замки различных конструкций и т.д.

При определении формы и размеров инструмента должен учитываться способ его изготовления.

Если, например, предполагается получать спиральное сверло путем прокатки и завивки, а не путем фрезерования, то приходится учитывать особенности процесса прокатки и завивки в конструкции сверла.

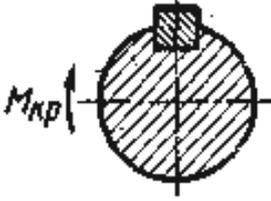
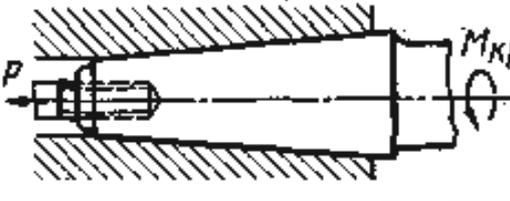
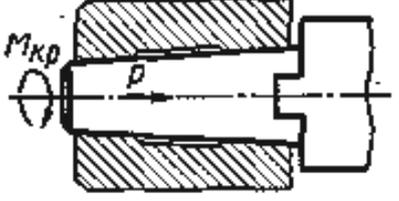
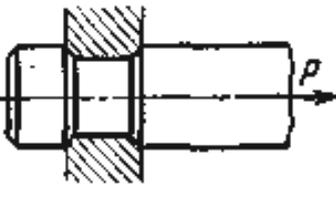
| Схема закрепления   | Назначение соединительной части                             | Примечание  |
|---|---|---|
|    | <p>Передача крутящего момента</p>                           | <p>Крепление насадных инструментов продольной шпонкой на цилиндрической оправке</p>     |
|    | <p>Передача крутящего момента и восприятие осевой силы.</p> | <p>Крепление хвостовых инструментов конусом с затяжкой</p>                              |
|   | <p>То же</p>  | <p>Крепление насадных инструментов (разверток, зенкеров) конусом и торцевой шпонкой</p> |
|  | <p>Передача осевой силы</p>                                 | <p>Крепление протяжек в кулачковом патроне</p>  |
|  | <p>Передача крутящего момента и восприятие осевой силы.</p> | <p>Крепление хвостовых инструментов штифтовым замком</p>                                |
|  | <p>То же</p>  | <p>Крепление хвостовых инструментов конусом с лапкой</p>                                |

Рисунок 75. – Наиболее применимые соединительные части инструмента

## Тема 9.2. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

В практике металлообработки используются следующие типы резцов, оснащенных напайными пластинками из быстрорежущей стали и твердых сплавов.

*Твердосплавные и минералокерамические резцы с механическим креплением многогранных пластин*

Применение многогранных твердосплавных неперетачиваемых пластин на резцах обеспечивает:

- повышение стойкости на 20–25% по сравнению с напайными резцами ввиду отсутствия перегрева пластин, наблюдаемого в процессе пайки;
- возможность повышения режимов резания за счет простоты восстановления режущих свойств многогранных пластин путем их поворота;
- сокращение затрат на инструмент в 2–3 раза, потерь вольфрама и кобальта в 4–4,5 раза, вспомогательного времени на смену и переточку резцов;
- упрощение инструментального хозяйства;
- уменьшение расхода абразивов.

Многогранные пластины различных форм имеют плоскую переднюю поверхность с выкружкой или вышлифованные лунки для частных случаев обработки. Ряд конструкций резцов может оснащаться многогранными пластинами из минералокерамики (в случае крепления пластин без отверстия с плоской передней поверхностью). Форма и размеры пластин из минералокерамики аналогичны форме и размерам пластин из твердого сплава.

*Резцы с лезвиями из композита*

Сверхтвердые инструментальные материалы предназначены для чистовой обработки материалов с высокими скоростями резания (скорость резания свыше 500 м/мин), а также материалов с большой твердостью ( $HRC > 60$ ). Наиболее распространенными сверхтвердыми материалами являются материалы на основе кубического нитрида бора.

Изготавливают резцы, оснащенные режущими пластинами из композита, причем режущие элементы могут быть как перетачиваемыми, так и в виде многогранных неперетачиваемых пластин.

Форма поперечного сечения корпуса зависит от назначения резца:

- прямоугольную форму с отношением высоты к ширине  $H/B = 1,6$  имеют чистовые и получистовые резцы, с отношением  $H/B = 1,25$  – черновые резцы;
- квадратная форма – у автоматных и расточных резцов, а также резцов, оснащаемых многогранными неперетачиваемыми пластинками твердого сплава;

- круглая форма – у расточных и резьбовых резцов;
- трапецеидальная форма – у резцовых вставок для автоматических линий и агрегатных станков.

Размеры поперечного сечения корпуса зависят от характера нагрузок и назначения резца. Критическое поперечное сечение задается в зоне крепления резца в резцедержателе станка.

При точении с большими припусками необходимо рассчитать корпус на прочность. Рассматривая резец как защемленную балку с вылетом  $l$ , нагруженную главной составляющей силы резания  $P_z$ , легко получить для корпусов прямых резцов прямоугольного сечения

$$BH^2 = \frac{6P_z \cdot l}{\sigma_{и}},$$

для  $H = 1,6B$  имеем

$$B = \sqrt[3]{\frac{2,3P_z \cdot l}{\sigma_{и}}},$$

где  $\sigma_{и}$  – допускаемое напряжение на изгиб материала державки.

При работе отогнутых резцов условная точка приложения силы резания значительно смещена относительно оси симметрии корпуса, и расчет на прочность необходимо вести для случая одновременного действия изгибающих сил и кручения. В этом случае расчетная формула для прямоугольного сечения державки резца имеет следующий вид:

$$BH = \frac{P_z \sqrt{225q^2 - 147q + 96}}{[\sigma]_{\sigma}},$$

где  $q = l / H$  – относительный вылет;

$[\sigma]_{\sigma}$  – допускаемое напряжение на растяжение материала корпуса.

Проверочный расчет корпуса на жесткость выполняется для инструментов с малыми сечениями и большим вылетом (отрезных, расточных). Стрела прогиба не должна превышать 0,1 мм при черновой и 0,02 мм при чистовой обработке и находится по следующей формуле:

$$f = \frac{P_z \cdot l^3}{3EI},$$

где  $E = 200\text{--}220$  ГПа – модуль упругости материала корпуса;

$I$  – момент инерции державки.

### Тема 9.3. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ

Сверла – один из наиболее широко используемых типов режущих инструментов, подразделяющихся на множество разновидностей: центровочные, перовые, спиральные, для глубокого сверления и др. Наиболее распространены среди них спиральные сверла, которые можно эксплуатировать в самых разнообразных условиях. Ниже излагается методология их проектирования, которую с некоторыми поправками можно распространить и на другие типы сверл.

#### *Инструментальные материалы*

Рабочая часть сверла изготавливается из различных марок быстрорежущих сталей и твердых сплавов, выбор которых может быть осуществлен в соответствии с общепринятыми рекомендациями. Присоединительная часть (хвостовик) для сверл диаметром свыше 8 мм изготавливается из сталей 45 или 40Х и приваривается к рабочей части.

Твердость рабочей части сверл составляет 62–65 HRC<sub>Э</sub>, хвостовика – 40–50 HRC<sub>Э</sub>.

Твердосплавные пластины припаиваются, приклеиваются или крепятся к корпусу механически.

#### *Геометрические параметры сверл*

Геометрия сверл определяется в соответствии с требованиями нормативов.

Задний угол  $\alpha$  и угол наклона винтовой канавки  $\omega$  зависят от диаметра сверла и могут быть найдены из следующих соотношений:

$$\alpha = \alpha_T \left( \frac{3,33}{d + 3,25} + 0,79 \right);$$

$$\omega = \omega_T \left( 1,1 - \frac{1,624}{d + 3,5} \right).$$

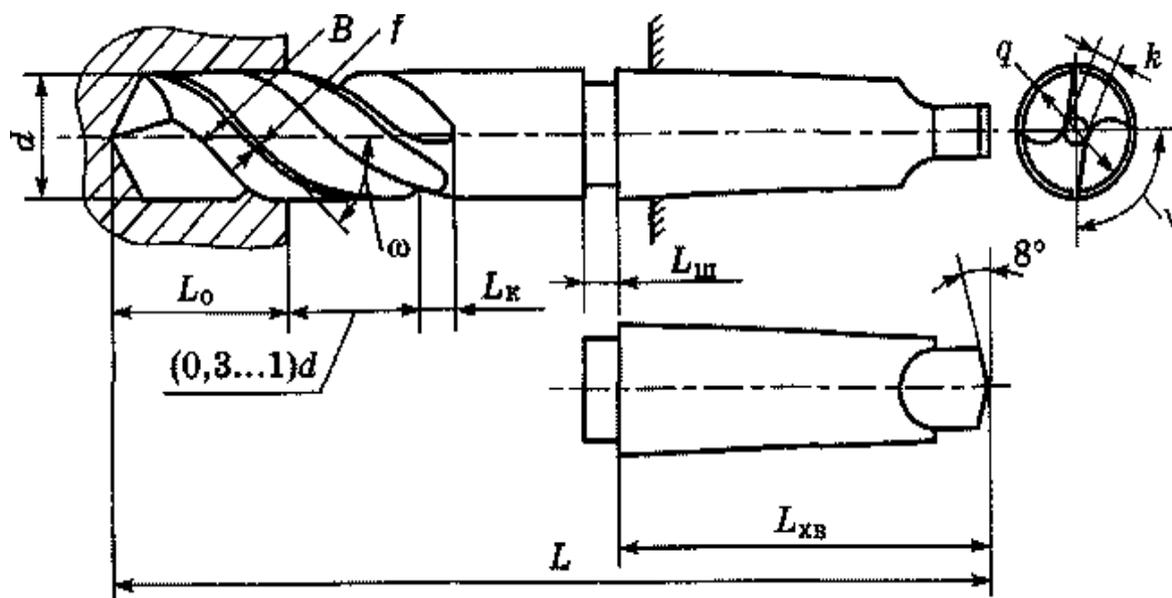
Расчетные значения  $\alpha$  и  $\omega$  округляются до ближайшего целого числа. Угол наклона поперечной кромки  $\psi$  сверл диаметром до 16 мм равен  $\psi = 45^\circ$ , а свыше 16 мм –  $50^\circ$ . Допуски углов  $2\phi$  и  $\alpha$  равны  $\pm 3^\circ$ , угла  $\omega$  –  $\pm 2^\circ$ , угла  $\psi$  –  $\pm 5^\circ$ .

Наряду с основными углами в конструкциях сверл широко используют более сложные заточки и подточки режущих кромок, улучшающие условия эксплуатации сверл.

Приняты следующие формы заточки спиральных сверл: нормальная (Н), двойная (Д) и дополнительные с подточкой перемычки (НП, ДП) и подточкой перемычки и ленточки (НПЛ, ДПЛ).

*Конструктивные элементы рабочей части*

Сверло имеет достаточно сложную конструкцию и характеризуется диаметром и длиной сверла, шириной  $f$  и высотой ленточки, диаметром спинки  $q$ , центральным углом канавки  $\nu$  и шириной пера  $B$ , толщиной сердцевины  $k$  (рис. 76).



**Рисунок 76. – Конструктивные элементы спирального сверла**

В том случае, если после сверла отверстие будет обрабатываться другим инструментом, диаметр сверла принимают равным диаметру отверстия с округлением до ближайшего стандартного значения. Если же отверстие обрабатывается окончательно, то расчетный диаметр определяется по формуле

$$d_p = D + ES - 0,0737TD,$$

где  $D, ES, TD$  – диаметр, верхнее отклонение и допуск отверстия.

Выбранное значение анализируется с точки зрения запаса:

- на разбивку сверла
- на износ сверла.

Если приведенные условия выдерживаются, то  $d_p$  округляется до значения  $d$ , кратному 0,05 для  $d_p < 14$  мм, кратному 0,1 – для  $d_p < 32$  мм и кратному 0,25 – для  $d_p < 50$  мм.

Далее производится расчет ширины и высоты ленточки сверла, диаметра спинки, ширины пера и размера центрального угла канавки. Выбирается толщина сердцевины сверла.

Для повышения прочности и жесткости сверла его сердцевина обычно утолщается к хвостовику на 1,4–1,8 мм на каждые 100 мм длины.

Длина сверла  $L$  в общем случае равна:

$$L = L_0 + (0,3-1)d + L_{\text{КОН}} + L_{\text{СТ}} + L_{\text{К}} + L_{\text{Ш}} + L_{\text{ХВ}},$$

где  $L_0$  – длина отверстия с учетом врезания и перебега;

$(0,3-1)d$  – запас для выхода стружки из отверстия;

$L_{\text{КОН}}$  – длина кондукторной втулки;

$L_{\text{СТ}}$  – длина стачивания;

$L_{\text{К}} = 0,5d$  – длина стружечной канавки неполной глубины;

$L_{\text{Ш}} = 8-12$  мм – длина шейки;

$L_{\text{ХВ}}$  – длина хвостовика.

*Присоединительная часть*

Форма хвостовика сверла определяется его диаметром. Если диаметр конечной ступени не более 6 мм, то принимается цилиндрическая форма хвостовика. При этом диаметры хвостовика и конечной ступени сверла равны.

Конические хвостовики следует выполнять в виде конусов Морзе – с лапками, которые необходимы для съема инструмента со станка и не должны нагружаться во время работы.

Размеры конусов и лапок стандартизированы. Допускается также использование конусов Морзе с резьбовым отверстием, если сверло используется на фрезерном станке. Для сверл, работающих на автоматизированном оборудовании, можно использовать цилиндрические хвостовики с лыской для зажима винтами и регулировочной гайкой. Диаметр конуса Морзе определяется крутящим моментом, который он должен передать при сверлении с учетом затупления инструмента.

Для расчета среднего диаметра конуса Морзе используют следующую зависимость:

$$d = 0,5933 \cdot M_{\text{кр}} / P_0,$$

где  $M_{кр}$ ,  $P_0$  – крутящий момент и осевая сила при сверлении, найденные из аналитического расчета.

### **Проверка сверла на прочность и жесткость**

Чтобы сверло надежно противостояло силам резания, оно должно иметь запас прочности, превышающий действующие нагрузки. Необходимо выдерживать следующие соотношения:

$$3M_{кр} \leq 0,026 \cdot 10^{1,4m+0,2n} \tau_k \cdot q^3;$$

$$3P_0 \leq KF\sigma_T;$$

$$P_0 = \frac{\eta \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{l^2},$$

где  $m = k / d$ ;

$n = B / d$ ;

$B$  – ширина пера;

$q$  – диаметр спинки;

$m_k = 1650$  МПа – предел прочности материала сверла на кручение;

$K = 0,22-0,25$ ;

$F = 1,67$  – коэффициенты, учитывающие завитость сверла;  $F = 0,314d^2$  – площадь поперечного сечения рабочей части сверла;

$\sigma_T = 3-3,2$  ГПа – предел текучести при сжатии материала сверла;

$E = 225$  ГПа – модуль упругости материала сверла;

$I_{min} = 0,0054d^4$  – минимальный момент инерции сверла;

$l = L - L_{XB}$  – вылет сверла из шпинделя.

Если расчеты не удовлетворяют хотя бы одному из соотношений, то сверло признается неработоспособным в данных условиях нагружения.

#### *Технические требования к изготовлению сверл*

К сверлам предъявляются достаточно высокие технические требования, к которым относятся:

- допуск радиального биения на всей рабочей части сверла относительно оси хвостовика;
- форма заточки;
- допускается изготовление сверл с цилиндрическим хвостовиком диаметром до 6 мм с наружным центром;
- сверла с конусом Морзе более 2 крепятся с помощью переходной втулки с конусом отверстия шпинделя сверлильного станка.

## Тема 9.4. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФРЕЗ

Фрезы – один из самых распространенных видов инструмента. По назначению они делятся на фрезы для обработки плоскостей, пазов, уступов, фасонных поверхностей, прорезки, отрезки, обработки резьб и зубьев. По способу крепления – на фрезы хвостовые и фрезы насадные. По конструктивному исполнению – на фрезы цельные и сборные.

### *Материалы для изготовления фрез*

Режущая часть цельных фрез изготавливается из быстрорежущих сталей или твердых сплавов. При этом хвостовые фрезы из быстрорежущих сталей диаметром менее 12 мм изготавливаются цельными, а фрезы более 12 мм делают сварными, с хвостовиком из конструкционных сталей. Твердосплавные фрезы могут изготавливаться целиком из твердого сплава, иметь цельную твердосплавную рабочую часть из пластин, припаиваемых или приклеиваемых к хвостовику или корпусу. Сборные фрезы оснащаются ножами из быстрорежущих сталей с напаянными пластинами из твердого сплава или сверхтвердых материалов, а также неперетачиваемыми пластинами из различных материалов.

Выбор материала для режущей части осуществляется в соответствии с нормативными данными, рекомендующими применять либо быстрорежущую сталь типа Р6М5, либо твердый сплав типа Т5К10 и ВК6. Корпуса и хвостовики фрез изготавливаются из сталей 45, 40Х, 50Х, 40ХНМА, 50ХФА твердостью 30–55 НРСэ.

Державки сборных фрез, а также детали крепления и регулирования изготавливаются из сталей 45, 40Х, У8, 9ХС, 40ХГНМ твердостью 45–62 НРСэ.

### *Геометрические параметры фрез*

Правильное их назначение позволяет обеспечить высокую стойкость фрезы и необходимую шероховатость обработанной поверхности. При выборе главного заднего угла можно руководствоваться следующими рекомендациями.

При изготовлении фрезы и ее заточке необходимо знать нормальный задний угол фрезы  $\alpha_N$  в сечении, перпендикулярном главной режущей кромке. Он равен для торцовых и угловых фрез:

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \operatorname{tg} \alpha \sin \varphi / \cos \lambda;$$

для цилиндрических, дисковых и концевых фрез:

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \operatorname{tg} \alpha / \cos \omega,$$

где  $\varphi$  – угол в плане;

$\lambda$  – угол наклона главной режущей кромки;

$\omega$  – угол наклона винтовых канавок фрезы.

Передний угол должен одновременно обеспечить необходимую прочность режущей кромки и минимальные силы и мощность фрезерования.

Выбор переднего угла производится на основе таблиц.

Главный угол фрезы в плане в значительной степени определяет стойкость и производительность фрез и соотношения между составляющими силы резания.

Выбор угла в плане производится на основе таблиц.

Вспомогательный угол в плане определяет точность и шероховатость обработанной поверхности. При работе мерными дисковыми трехсторонними фрезами:

$$\varphi = \text{arctg} (\delta / 2\Delta),$$

где  $\delta$  – допуск на ширину паза;

$\Delta$  – наибольшая величина стачивания фрезы в ходе ее эксплуатации.

Угол наклона режущей кромки служит для направления отвода стружки, упрочнения режущей кромки и обеспечения равномерного фрезерования.

#### *Конструктивные элементы фрез*

Фрезы цельные состоят из рабочей режущей части и корпуса в виде хвостовика у концевой инструмента либо в виде втулочного или дискового тела у насадного инструмента. Сборные фрезы состоят из корпуса, режущих, крепежных и регулировочных элементов.

Важнейший конструктивный элемент фрезы – ее диаметр. Он определяет стойкость и виброустойчивость фрезы, надежное ее закрепление на оправке, уровень сил резания, производительность обработки и многие другие показатели фрезерования. Исходя из условия необходимой жесткости оправки насадной фрезы, диаметр фрезы можно найти для цилиндрических фрез по формуле

$$D_{\min} \approx 0,2B^{0,28}t^{0,09}S_z^{0,06}l^{0,78}y_{\max}^{-0,26},$$

для дисковых фрез:

$$D_{\min} \approx 0,12B^{0,25}t^{0,09}S_z^{0,06}l^{0,75}y_{\max}^{-0,25} + 2(t_1 + \Delta),$$

для концевых фрез при обработке уступов или плоскостей:

$$D_{\min} \approx 0,4B^{0,21}t^{0,175}z^{0,21}S_z^{0,14}l^{0,62}y_{\max}^{-0,21},$$

где  $B$  – ширина фрезерования;

$t$  и  $S_z$  – максимальные глубина фрезерования и подача;

$z$  – число зубьев;

$l$  – расстояние между опорами оправки или вылет фрезы относительно шпинделя;

$U_{\max}$  – максимально допустимый прогиб оправки (0,2 и 0,4 мм соответственно при чистовом и черновом фрезеровании);

$t_1$  – общая глубина паза или уступа;

$\Delta = 10$  мм – зазор между оправкой и поверхностью заготовки.

Диаметр торцевой фрезы для случая симметричного фрезерования равен

$$D_{\min} = \sqrt{\frac{S_z^2 B^2 \sin^2 \varphi}{S_z^2 \sin^2 \varphi - \rho^2}},$$

где  $\rho \approx 35-0,55(\alpha + \gamma)$  мкм – радиус округления режущей кромки.

Рассчитанные по приведенным выше формулам значения  $D$  округляются до ближайшего стандартного значения по ГОСТ 29116-91.

Диаметр посадочного отверстия можно найти из соотношения  $d = 0,44D$  с последующим округлением до ближайшего стандартного значения по ГОСТ 9472-90.

#### *Число зубьев фрезы*

Число зубьев определяет производительность обработки. При его назначении можно стремиться к обеспечению равномерности фрезерования, к наибольшему числу переточек (с учетом равномерности фрезерования), к максимальному использованию эффективной мощности оборудования. В первом случае число зубьев рассчитывается по формуле

$$z \geq \pi D k \operatorname{ctg} w / B,$$

где  $k = 2$  или  $3$  – коэффициент равномерности фрезерования.

Во втором случае число зубьев рассчитывается по формуле

$$z = \pi D / 4 i \Delta,$$

где  $i$  – принятое число переточек;

$\Delta$  – толщина слоя, снимаемого за одну переточку.

Максимальное число зубьев из условия использования эффективной мощности оборудования при обработке сталей рассчитывается по формуле

$$z_{\max} = \frac{N_{\cdot} D^{0,1}}{3,6 \cdot 10^{-5} n t^{1,1} B^{0,95} S_z^{0,74}},$$

при обработке чугуна:

$$z_{max} = \frac{N_{\text{э}} D^{0,14}}{2,53 \cdot 10^{-5} n t^{1,14} B^{0,9} S_z^{0,4}},$$

где  $N_{\text{э}}$  – эффективная мощность станка;  
 $n$  – частота вращения фрезы.

При черновой обработке число зубьев можно найти также из условия размещения стружки. Для торцовых фрез используется следующая формула:

$$z = \frac{0,6D}{\sqrt{t_{\text{max}} S_{\text{max}}}};$$

для цилиндрических, дисковых, концевых, фасонных фрез:

$$z = \frac{0,2D}{\sqrt{t_{\text{max}} S_{\text{max}}}}.$$

Число зубьев фрез сборных конструкций обычно в 1,8–2 раза меньше, чем у цельных, поскольку необходимо разместить в корпусе зажимные и регулировочные элементы.

#### *Форма и размеры зубьев и стружечных канавок*

При выборе формы зуба необходимо обеспечить его необходимую прочность, свободное размещение срезаемой стружки в канавке, большое число переточек, простоту изготовления. Наиболее распространенные профили зубьев цельных фрез представлены на рисунке 77, а области их использования в различных типах фрез указаны в таблице 5.

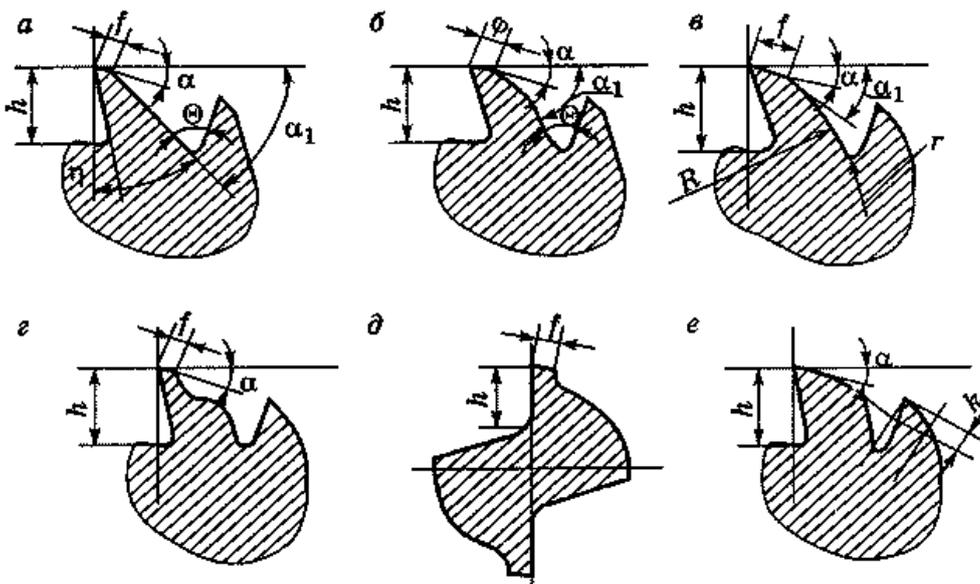


Рисунок 77. – Профили зубьев фрез

Таблица 8. – Рекомендуемые области применения профилей зубьев фрез

| Область применения   | Тип фрезы   |             |                |                |             |          |
|--|-------------|-------------|----------------|----------------|-------------|----------|
|  | торцовые    | дисковые    | цилиндрические | концевые       | шпоночные   | фасонные |
| Обработка хрупких материалов и обработка с малыми глубинами  | <i>a</i>    | <i>a</i>    | <i>a, б</i>    | <i>б, в, г</i> | <i>г, д</i> | <i>е</i> |
| Обработка сталей и обработка с большими подачами и глубинами | <i>б, г</i> | <i>а, б</i> | <i>б, г</i>    |                |             |          |
| Обработка легких сплавов                                     | <i>б, г</i> | <i>б, в</i> | <i>б, в, г</i> |                |             |          |

Расчет высоты зуба:  $h = k D / z$ , где  $k$  равно:

- для концевых фрез – 0,9–1,2;
- для торцовых и цилиндрических с крупным зубом – 1,2–1,5;
- с мелким зубом – 0,8–0,9;
- дисковых – 1,4–1,8.

Радиус закругления дна стружечной канавки  $r$ :

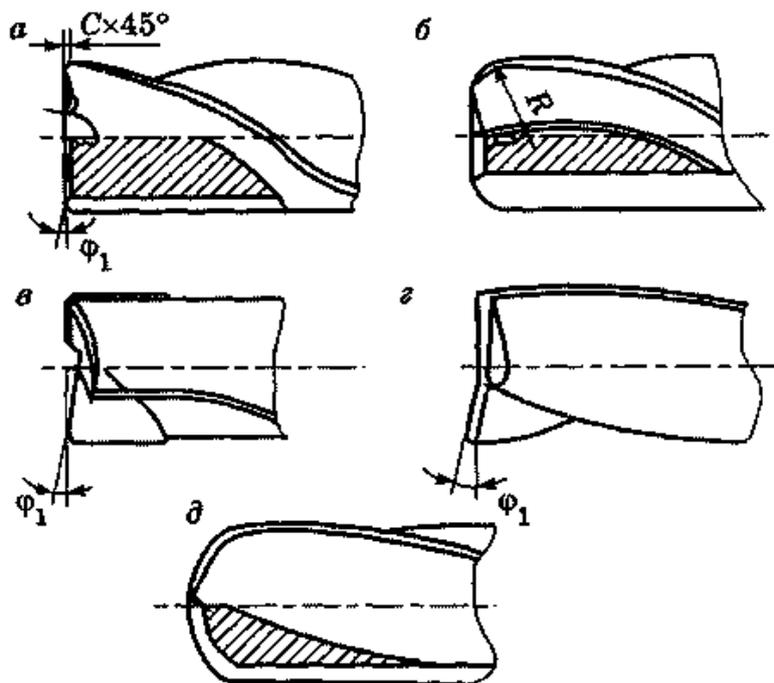
- для формы  $a$  равен 0,5–2 мм;
- для форм  $б$  и  $в$  выбирается в пределах  $(0,4–0,75)h$ ;
- для формы  $е$  – в пределах 1–5 мм в зависимости от размера фрезы и характера обработки профиля (шлифованный или нешлифованный).

Углы спинки  $\alpha_1 = 20–30^\circ$ ,  $\eta = 47–52^\circ$ . Радиус спинки  $R \approx (0,3–0,45)D$ , при этом касательная в точке сопряжения радиуса с ленточкой должна проходить под углом  $\alpha_1 = \alpha + (10–15^\circ)$ . Ширина ленточки  $f = 1–2$  мм в зависимости от диаметра фрезы. Угол для формы  $б$  обычно равен  $60$  или  $65^\circ$ , в общем случае он может лежать в пределах  $45–100^\circ$  через каждые  $5^\circ$ .

Углы  $\Theta$  и  $\eta$  связаны между собой:

$$\eta = \Theta - \frac{360^\circ}{z} \text{ – для фрез с прямым зубом;}$$

$$\eta = \Theta - \frac{360^\circ \cos^3 \omega}{z} \text{ – для фрез с винтовым зубом.}$$



*a, б* – концевых фрез общего назначения; *в, г* – шпоночных; *д* – фасонных  
**Рисунок 78. – Формы торцовых зубьев**

Форма и размеры стружечных канавок сборных фрез обычно выбираются из конструктивных соображений. Формы торцовых зубьев фрез приведены на рисунке 78. Варианты *a* и *б* используются в концевых фрезах общего назначения; *в* и *г* – в шпоночных фрезах; *д* – в фасонных фрезах.

Профиль канавки угловых фрез изменяется, так как зубья имеют неравномерную высоту.

### **Схемы резания**

Выбор схемы резания при фрезеровании определяется условиями обработки: свойствами обрабатываемого материала, снимаемым припуском, формой обработанной поверхности и т.д. Например, при обработке плоскостей торцовыми фрезами с большими припусками используется ступенчатая схема резания, где общая глубина резания распределяется между двумя или тремя зубьями. В последнем случае первый зуб удаляет слой металла  $t_1 = (0,5-0,6)t$ , второй  $t_2 = 0,3t$  и третий  $t_3 = 0,1t$ . Для улучшения шероховатости обработанной поверхности зубья могут иметь зачистные кромки длиной  $l = 1,2S_z$  (рис. 79, *a*).

Зубья в корпусе расположены так, что первый расположен на наибольшем диаметре и имеет наименьший вылет из корпуса, а третий – расположен на наименьшем радиусе и имеет наибольший вылет. Такая схема позволяет срезать слой металла до  $t = 20-25$  мм, снизить уровень вибраций, повысить период стойкости фрезы.

Еще более эффективны, хотя и сложнее в изготовлении и эксплуатации, фрезы со спирально-ступенчатой схемой резания. В этом случае число ступеней возрастает, поскольку черновые зубья *I* расположены в радиальном направлении по спирали Архимеда, а их вершины равномерно смещены вдоль оси фрезы. Чистовые зубья *II* расположены концентрично в одной торцовой плоскости, выступающей по сравнению с последующим черновым зубом (рис. 79, б), т.е. работают по традиционной схеме лобового торцового фрезерования.

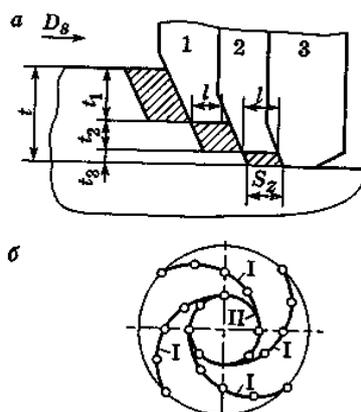


Рисунок 79. – Ступенчатая (а) и спирально-ступенчатая (б) схемы резания торцовыми фрезами

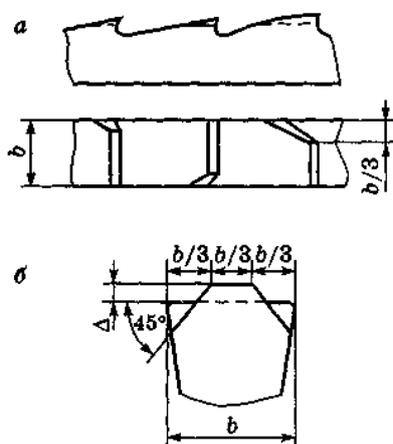


Рисунок 80. – Схемы резания прорезными и отрезными фрезами

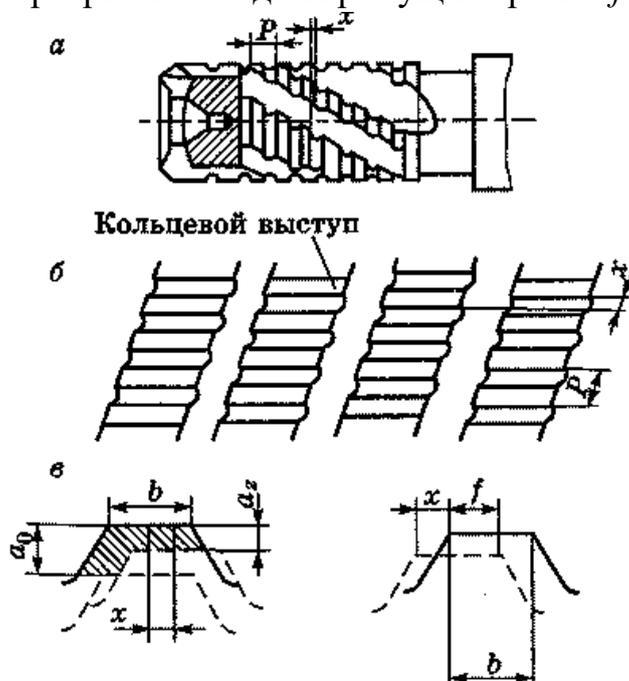
При фрезеровании глубоких пазов прорезными фрезами у отрезных фрез и пил также широко используются усовершенствованные схемы резания. Например, у прорезных фрез поочередно с каждой стороны снимают фаски на  $1/3$  ширины фрезы под углом  $45^\circ$  (рис. 80, а). Такие фаски

снижают нагрузку на зубьях, улучшают условия резания, предохраняют фрезу от защемления и поломки.

Близкая по замыслу схема используется в отрезных фрезах (пилах). В этом случае на первом зубе секции выполняют фаски под углом  $45^\circ$  с двух сторон, а второй зуб без фасок делают ниже первого на  $\Delta = 0,5-0,8$  мм (рис. 80, б).

Для снятия больших припусков используются так называемые кукурузные цилиндрические или концевые фрезы (рис. 81, а). В этом случае на цилиндрических режущих кромках выполняют кольцевые стружкоразделительные канавки, смещенные друг относительно друга на соседних зубьях на величину  $x = P / z$ , где  $P$  – шаг канавок;  $z$  – число зубьев фрезы (рис. 81, б). В результате отдельные зубья срезают стружки шириной  $b$  (рис. 81, в), соответствующей ширине режущей кромки и толщиной в одной своей части  $a_z$ , соответствующей подаче на зуб  $S_z$ , а в другой –  $a_0$ , соответствующей подаче на оборот фрезы  $S_0$ .

Расположение режущих кромок на зубьях фрезы со смещением в осевом направлении приводит к тому, что основная масса металла срезается с увеличенной толщиной стружки и, как следствие, с меньшими усилиями и мощностью резания. Для обеспечения достаточного смещения кольцевых выступов при требуемой шероховатости обработанной поверхности необходимо обеспечить перекрытие соседних режущих кромок  $f = b - x$  (рис. 81, г).



а – внешний вид; б – развертка зубьев; в – схема резания; г – перекрытие режущих кромок  
Рисунок 81. – Кукурузная концевая фреза

Обычно для фрез диаметром 20–40 мм принимают  $P = 6$  мм, для фрез диаметром свыше 40 мм принимают  $P = 9$  мм. Глубина канавок составляет 1–1,5 мм в зависимости от диаметра,  $b = 0,5P$ . Задняя поверхность зубьев затылована.

#### *Особенности конструкций сборных фрез*

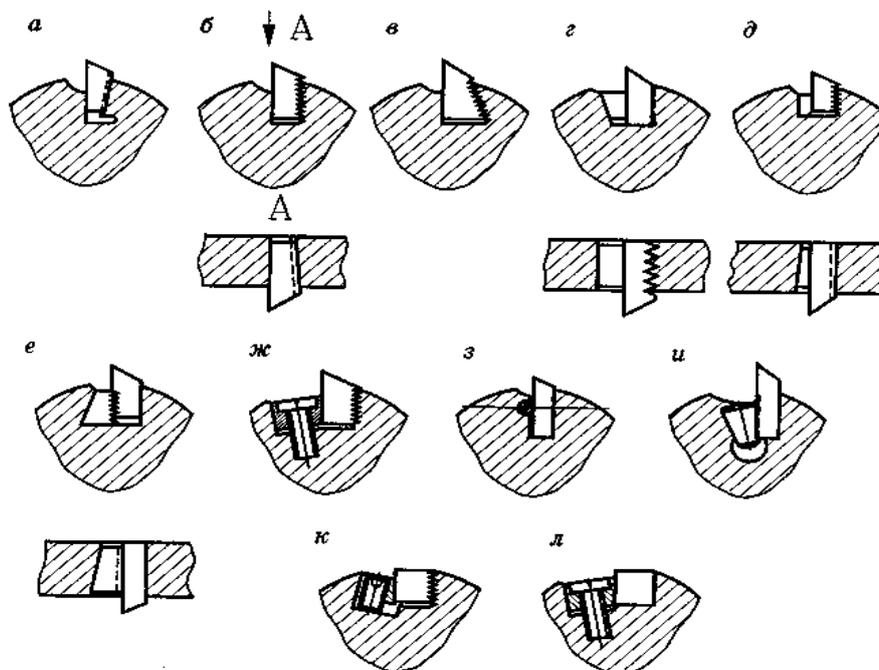
Сборные фрезы позволяют сильно сократить расход дорогостоящего инструментального материала, многократно повысить срок службы корпуса. Режущие элементы таких фрез могут быть в виде ножей из быстрорежущей стали, оснащенных пластинами твердого сплава или СТМ, а также в виде сменных неперетачиваемых пластин. Существует много способов крепления ножей в корпусе:

– ножи, имеющие форму одинарного (рис. 82, а, б) или двойного (рис. 82, в) клина с углом  $5^\circ$ , закрепляются непосредственно в корпусе. На клине имеются радиальные, косые либо осевые рифления. Размеры рифлений принимаются по ГОСТ 2568-71;

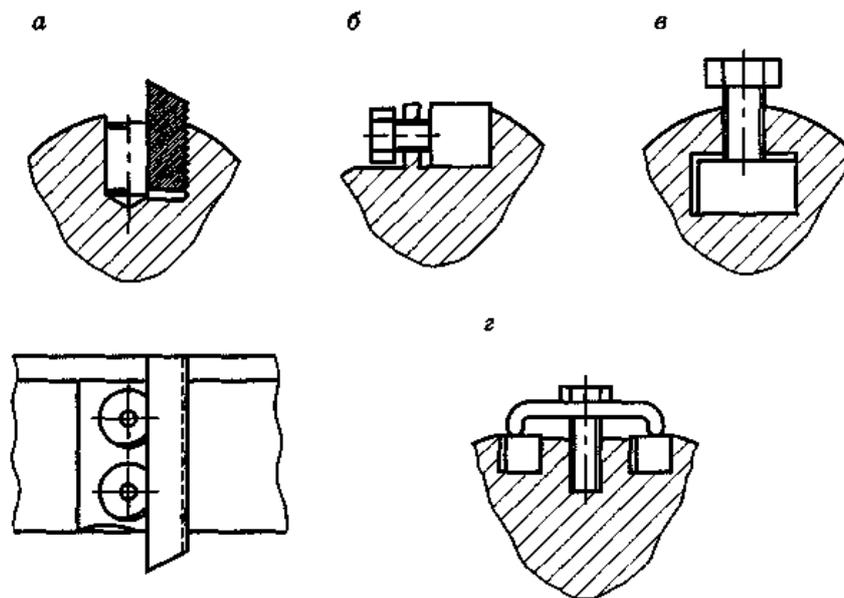
– ножи призматической формы с рифлениями или гладкие ножи закрепляются в корпусе с помощью клиньев (рис. 82, г–ж), штифтов (рис. 82, з, и), круглых втулок с лыской (рис. 82, к, л);

– ножи призматической формы закрепляются в корпусе эксцентриками или винтами (рис. 83).

Многогранные пластины в корпусе закрепляются прихватами, клиньями, винтами.



**Рисунок 82.** – Схемы крепления вставных зубьев при помощи плоских клиньев, штифтов, втулок



**Рисунок 83. – Схемы крепления вставных зубьев эксцентриками (а) или винтами (б–г)**

#### *Точность конструктивных элементов фрез*

Принимается по соответствующим стандартам. Особое внимание следует обратить на уровни радиальных и торцовых биений, которые определяют работоспособность фрезы. Чем жестче условия работы и выше требования к точности детали, тем меньше должны быть биения. Например, для торцовых фрез, оснащенных многогранными пластинами без возможности их регулировки, ГОСТ 26596-91 допускает биения до 0,08 мм, а для фрез, оснащенных сверхтвердыми материалами, с возможностью регулировок по трем осям координат биения не превышают 1–2 мкм.

#### *Расчеты на прочность*

Расчет прочности фрезы производится при черновой обработке и сводится к расчету на срез цилиндрической или торцовой шпонки либо шейки фрезы для Т-образных пазов, определению минимального конуса Морзе для хвостовой фрезы, расчету резьбы в хвостовике на срез и смятие. Расчет конуса Морзе можно произвести по формуле

$$d_{\text{ср}} = \frac{6M_{\text{кр}} \sin \alpha}{\mu P_x (1 - 0,04\Delta\alpha)} \pi,$$

где  $d_{\text{ср}}$  – средний диаметр конуса;

$M_{кр}, P_x$  – крутящий момент и осевая сила при фрезеровании;

$\mu \approx 0,1$  – коэффициент трения;

$\alpha \approx 1^\circ 30'$  – угол конуса;

$\Delta\alpha$  – погрешность изготовления конуса, определяемая по ГОСТ 2848-75 с учетом технических требований к фрезе.

С некоторым приближением можно принять  $d_{ср} = 0,5933M_{кр} / P_x$ .

Найденное значение  $d_{ср}$  округляется в сторону ближайшего большего конуса по ГОСТ 25557-82.

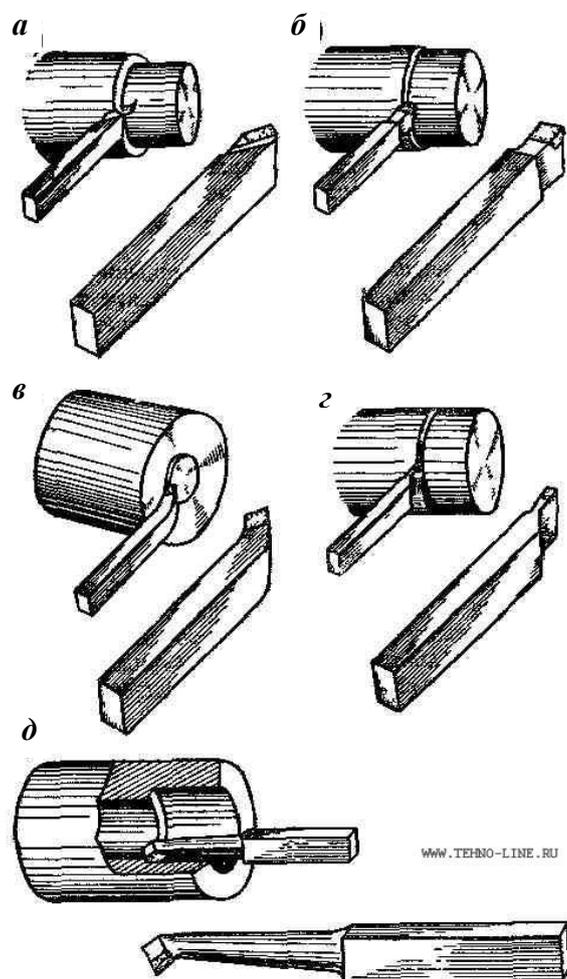
Производят расчет резьбы в концевых фрезах на срез и на смятие с использованием общепринятых методик. Для расчета дисковых и цилиндрических фрез, в конструкции которых для передачи крутящего момента используют призматическую шпонку, применяется методика расчета шпоночного соединения на смятие.

# **ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

## 1. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ

Большое разнообразие работ, выполняемых на токарных станках, обуславливает необходимость применения разнообразных токарных резцов. Основными и наиболее употребляемыми из них являются проходные, чистовые, подрезные, отрезные и расточные.

Проходные или обдирочные резцы (рис. 84, *а* и *в*) используются для предварительной обточки и подрезания деталей, во время которых снимается наибольшая часть припуска. Поэтому проходные резцы имеют такую форму, при которой обеспечивается наибольшая производительность станка. Шероховатость обработанной поверхности, а также соблюдение точных размеров детали при этом имеют второстепенное значение.



*а* – проходной прямой, *б* – подрезной, *в* – проходной отогнутый,  
*z* – отрезной и *д* – расточной токарные резцы  
Рисунок 84. – Основные типы токарных резцов

Подрезные (чистовые) резцы (рис. 84, б) применяются для окончательной отделки деталей. Припуски, которые снимаются в данном случае, обычно невелики. Основное требование, предъявляемое к чистовому резцу, – это обеспечение требуемой чистоты обработанной поверхности (малой ее шероховатости).

Подрезные резцы используются для обработки торцовых поверхностей. Для этих целей используются также проходные отогнутые резцы (рис. 84, в).

Отрезные резцы (рис. 84, г) служат для отрезания от прутков требующихся кусков материала. При отрезании необходимо обеспечить как можно меньшую потерю материала, поэтому отрезные резцы делают узкими (с малой протяженностью длины режущей кромки), вследствие чего они получаются непрочными, часто ломаются и работа с ними требует большой осторожности и умения.

Расточные резцы (рис. 84, д) применяются для растачивания различных отверстий, выемок, и т.д. Размеры расточного резца (поперечное сечение и длину стержня) выбирают в соответствии с размерами обрабатываемого отверстия.

Кроме перечисленных, при токарной обработке используются прорезные, фасонные, резьбовые и некоторые другие резцы более или менее специального назначения.

### **Материалы токарных резцов**

Основное требование, предъявляемое к материалу рабочей части резца, – это твердость, которая должна быть больше твердости любого материала, обрабатываемого данным резцом. Твердость не должна заметно уменьшаться от теплоты резания. Одновременно с этим материал резца должен быть достаточно вязким (не хрупким); режущая кромка резца не должна выкрашиваться во время работы. Материал резца должен хорошо сопротивляться истиранию, которое происходит от трения стружки о переднюю поверхность резца, а также от трения задней поверхности резца о поверхность резания.

Данным требованиям в различной степени соответствуют инструментальные материалы – металлокерамические твердые сплавы, минералокерамика, быстрорежущие, легированные и углеродистые стали разных марок. Для некоторых работ в последние годы стали применять алмазы.

Наиболее современными и распространенными материалами для токарных резцов являются металлокерамические твердые сплавы, сохраняющие свои режущие свойства при нагревании в процессе работы до темпе-

ратуры 800–900 °С. Эти сплавы состоят из тончайших зерен карбидов тугоплавких металлов – вольфрама, титана и тантала, сцементированных кобальтом. Металлокерамические твердые сплавы разделяются на три группы: вольфрамовые (ВК), титано-вольфрамовые (ТК) и титано-тантало-вольфрамовые (ТТК).

Вольфрамовые твердые сплавы предназначены для обработки чугуна, цветных металлов и их сплавов и неметаллических материалов. Для изготовления токарных резцов используются вольфрамовые твердые сплавы марок ВК2, ВК3М, ВК4, ВК6, ВК6М, ВК8, ВК8В. Буква В в каждой из этих марок означает карбид вольфрама, буква К – кобальт; цифра, стоящая в марке после буквы К указывает количество (в процентах) содержащегося в данном сплаве кобальта. Остальное – карбид вольфрама. Например, в сплаве марки ВК2 содержится 2% кобальта и 98% карбида вольфрама.

Буква М, приведенная в конце некоторых марок, означает, что данный сплав мелкозернистый (величина зерен 0,5–1,5 мкм). Буква В приписывается к марке сплава, если он крупнозернистый (величина зерен 3–5 мкм). Мелкозернистость сплава сообщает ему большую износостойкость, чем у нормального сплава данной марки при меньшей прочности и сопротивляемости ударам, вибрациям и выкрашиванию. Крупнозернистость сплава повышает его прочность и сопротивляемость ударам, вибрациям и выкрашиванию и понижает износостойкость сплава.

Титано-вольфрамовые твердые сплавы применяются для обработки всех видов сталей. При токарной обработке используются сплавы марок Т5К10, Т5К12В, Т14К8, Т15К6, Т30К4. В каждой из этих марок буква Т и поставленная за ней цифра указывают количество (в процентах) содержащегося в данном сплаве карбида титана, а цифра после буквы К – содержание (в процентах) кобальта. Остальное в данном сплаве – карбид вольфрама. Например, в сплаве марки Т5К10 содержится 5% карбида титана, 10% кобальта и 85% карбида вольфрама.

Титано-тантало-вольфрамовые сплавы используются в особо тяжелых случаях, например для обработки по корке стальных отливок и поковок, жаропрочных и других труднообрабатываемых сталей и т.п. Применяются сплавы марок ТТ7К12 и ТТ10К8В, содержащие соответственно 7 и 10% карбидов титана и тантала, 12 и 8% кобальта, остальное – карбид вольфрама.

Металлокерамические сплавы выпускаются в виде пластинок различных форм и размеров.

При определенных условиях в качестве инструментального материала находят применение минералокерамический материал марки ЦМ-332, основной частью которого является окись алюминия. В состав этого материала не входят относительно редкие элементы: вольфрам, титан, кобальт и др. Теплостойкость резцов, оснащенных минералокерамикой, очень высока и достигает 1200 °С и более. В этом главное преимущество минералокерамических материалов в сравнении с твердыми сплавами, основными составляющими которых являются редкие и дорогие элементы, теплостойкость которых ниже. Недостатком минералокерамического сплава является его относительно небольшая и нестабильная прочность на изгиб (хрупкость). Поэтому он применяется при полустойкой и чистой обработке чугуна, стали и цветных сплавов. Выпускается он также в виде пластинок.

В последнее время появились новые инструментальные материалы, называемые керметами. Основой этих материалов является также минералокерамика, но для повышения прочности в нее вводят молибден, вольфрам или другие металлы.

Для изготовления токарных резцов широко используются так называемые быстрорежущие стали. Они содержат в качестве легирующих элементов вольфрам и хром, что обеспечивает большое сопротивление резцов износу и сохранение твердости и режущих свойств при многократном нагреве до температуры 620–640 °С (свойство самозакаливаемости).

Быстрорежущие стали нормальной производительности изготавливаются марок Р18, Р12 и Р9. Они содержат вольфрам (соответственно 17,5–19,0; 12,0–13,0; 8,5–10,0%), хром (3,1–4,4%), ванадий (1,0–2,6%), молибден (0,3–0,4%), углерод (0,7–0,95%) и некоторые другие элементы. Углерод, соединяясь с легирующими элементами, повышает твердость стали.

Быстрорежущие стали повышенной производительности изготавливаются марок Р18Ф2, Р14Ф4, Р9Ф5, Р9К5, Р18К5Ф2, Р10К5Ф5, Р6М3 и некоторых других. Буква Р в этих марках обозначает вольфрам, буква Ф – ванадий, буква К – кобальт, буква М – молибден (если содержание его более 0,5%). Цифры, стоящие после букв, определяют содержание в данной стали этих элементов в процентах. Кроме характеризующих данные марки стали элементов, указанных в их обозначениях, эти стали содержат также углерод, хром и некоторые другие составляющие.

Значительно реже для резцов и других инструментов, применяемых при токарной обработке, используются углеродистые и легированные инструментальные стали.

Из углеродистых сталей применяются стали марок У12А и У10А. В данных марках буква У условно обозначает, что сталь углеродистая; следующие за ней цифры указывают среднее содержание углерода в десятых долях процента, а буква А также условно указывает, что сталь высококачественная. Таким образом, маркой У12А обозначается высококачественная углеродистая сталь со средним содержанием углерода 1,2%.

Кроме углерода, в этих сталях в весьма малом количестве содержатся марганец, кремний, хром, никель, сера и фосфор.

Углеродистые стали теряют свои режущие свойства при температуре нагрева до 200–250 °С и могут применяться только при низких скоростях резания и для легко обрабатываемых материалов.

Легированные инструментальные стали, содержащие в основном те же элементы, что и быстрорежущие стали, но в значительно меньших количествах, несколько улучшают некоторые свойства стали, но обладают также низкой теплостойкостью (не выше 300–350 °С).

Определить материал резца при отсутствии на нем маркировки можно «по искре».

При затачивании резца из быстрорежущей стали образуется небольшое количество похожих на звездочки искр красного цвета. Чем больше в стали вольфрама, тем темнее искры и тем их меньше.

При затачивании резца из углеродистой стали образуется много желтых искр в виде прямых линий.

Кроме перечисленных выше материалов, в последние годы для токарных резцов стали применять в некоторых условиях высокопроизводительные и обладающие очень большой стойкостью материалы – алмазы и эльбор. Алмазы применяют как естественные, так и искусственные (синтетические), допускающие температуру в зоне резания до 800 °С. Эльбор – синтетический высокотвердый инструментальный материал, впервые полученный в лабораториях института физики высоких давлений Академии наук РФ. Он представляет собой нитрид бора (соединение бора с азотом). Высокие физико-механические свойства этого соединения позволяют обрабатывать резцами, оснащенными эльбором, самые твердые материалы – закаленную сталь, металлокерамику и др. При этом температура в зоне резания может достигать 1400–1500 °С без потери резцом его режущих свойств.

## **Общие сведения о конструкциях токарных резцов**

Цельные резцы, головка и тело которых состоят из одного материала, применяются очень редко. Резцы такой конструкции встречаются только из углеродистой инструментальной стали, стоимость которой сравнительно невелика, а также из быстрорежущих сталей для небольших резцов, используемых главным образом в державках. Резцы могут быть прямыми и отогнутыми (левыми и правыми).

Напайные и наварные резцы (резцы с напаянными или приваренными пластинками из быстрорежущей стали или из твердого сплава) имеют широкое распространение. Стержень такого резца, обычно нормального сечения, изготавливается из обыкновенной углеродистой стали марок Ст. 6 и Ст. 7 либо из качественной углеродистой стали марки 45 или 50. Стержни резцов, работающих в особо тяжелых условиях и прочность которых нельзя усилить увеличением сечения, изготавливаются из углеродистой инструментальной стали марок У7 и У8 или из легированной стали марки 40Х.

Изготовление резцов производится в инструментальном цехе специальными рабочими и начинается с подготовки припаяваемой пластинки, у которой шлифованием должно быть устранено коробление опорной плоскости, если таковое имеется. Эта плоскость и боковые стороны пластинки, соприкасающиеся со стержнем резца, должны быть тщательно очищены от окалины и случайных загрязнений.

Стержни резцов, изготовленные кузнечным способом из углеродистой стали, должны быть подвергнуты отжигу при температуре 800–850 °С, а стержни, изготовленные из сталей марок 40Х и 45Х, – при температуре 840–870 °С. Опорная поверхность стержня должна быть обработана. Гнездо в нем под пластинку должно быть обработано так, чтобы пластинка ложилась на стержень резца без качки.

Припайвание минералокерамических пластинок производится латуной марки Л62. Этот процесс должен выполняться очень тщательно во избежание отскакивания пластинки или ее растрескивания. Заточка минералокерамических резцов производится на шлифовальных кругах из зеленого карбида кремния на керамической связке твердостью не выше СМ1. При освоении процесса заточки этих резцов следует пользоваться кругами твердостью М2–М3. Зернистость кругов при предварительной заточке – 40, при окончательной – 25–16.

*Изготовление быстрорежущих и углеродистых резцов.* Быстрорежущие резцы только небольших размеров делают цельными. Резцы средних и крупных размеров для экономии дорогостоящей быстрорежущей стали должны быть наварными.

Пластинки из быстрорежущей стали привариваются к стержню резца при помощи различных порошков. Сварочный порошок накладывается слоем толщиной около 3 мм между пластинкой и стержнем резца. После этого резец помещают в индуктор высокочастотной установки (в крайнем случае в печь или кузнечный горн), где он нагревается до светло-красного цвета. Убедившись в том, что пластинка не сдвинулась, по ней ударяют один раз молотком для закрепления ее на месте. Затем резец снова помещают в печь и нагревают до температуры сварки, т.е. до светло-желтого, почти белого цвета и появления пузырей на пластинке. Вынув резец из печи, пластинку плотно прижимают к стержню с помощью ручного пресса или легкими, но частыми ударами кузнечной кувалды через гладилку. Охлажденный резец можно закаливать как цельный.

Несмотря на высокое качество современных способов напайки пластинок твердого сплава, изготовление таких резцов сопровождается иногда образованием трещин и в дальнейшем разрушением пластинки. Поэтому в последнее время напайку или приварку пластинок (особенно минерало-керамических) заменяют их механическим закреплением.

Пластинка 1 в этом случае (рис. 85) закрепляется в стержне 4 резца посредством прижима 3 и болта 2. Один конец прижима опирается на пластинку, а другой – на рифленую поверхность (шаг рифлей – 1,5 мм). При износе пластинки на 1,5 мм прижим можно сдвинуть вперед (для этого отверстие для болта, закрепляющего прижим, сделано продолговатым). Пластинка в рабочем положении правой кромкой упирается в заплечик, имеющийся с нижней стороны прижима.

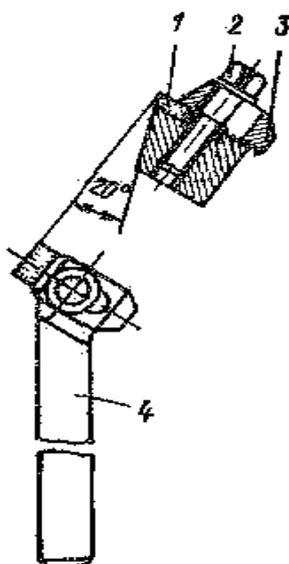


Рисунок 85. – Резец с механическим креплением твердосплавных пластинок

При замене затупившейся пластинки нет надобности снимать резец со станка. Недостаток такого способа закрепления пластинок состоит в том, что они используются примерно лишь наполовину. Кроме того, быстро изнашиваются болты, прижимы и другие детали, посредством которых осуществляется крепление пластинки.

В последние годы применительно к механическому креплению стали выпускаться многогранные неперетачиваемые пластинки.

В случае, когда длина режущей кромки резца, например расточного, может иметь небольшую протяженность, он изготавливается коротким и небольшого сечения. Для закрепления таких резцов используются державки различных конструкций. Державки применяются также для закрепления фасонных и резьбовых резцов. Наиболее употребительные конструкции подобных державок рассматриваются в соответствующих главах.

### **Геометрия режущего лезвия**

Заточка и доводка твердосплавных резцов должна производиться на алмазных кругах. Наиболее качественная заточка и доводка твердосплавных резцов достигается при использовании кругов из естественного (обозначается буквой А) или искусственного (обозначается буквами АС) алмаза. Дело в том, что высокая режущая способность алмаза позволяет производить заточку, прижимая резец к кругу с меньшей силой, чем это требуется при использовании кругов из других материалов. Благодаря этому температура нагрева резца в процессе заточки на алмазном круге в четыре-пять раз ниже, чем при других кругах. Это исключает образование трещин на пластинке в процессе заточки. Трещины иногда бывают незаметны на глаз, но хорошо видны в лупу. Чувствительность к образованию трещин при заточке особенно велика у резцов с малокобальтовыми и высокотитановыми твердыми сплавами (ВК2, ВК3М и Т30К4 и т.д.). Для уменьшения трудоемкости и экономии заточного и доводочного кругов рекомендуется при заточке резцов принимать для главной и вспомогательной задних поверхностей тройной угол заточки, а для передней поверхности – двойной (рис. 86).

Для заточки твердосплавных резцов рекомендуются алмазные круги марок А12, А10, А8 и А6 (где 12, 10 и т.д. – зернистость круга; например, зернистость 12 указывает, что наименьший размер зерна данного круга – 0,12 мм) с концентрацией 100% и металлической связкой (обозначается буквой М). Можно использовать в этом случае круги марки АС, т.е. из искусственного алмаза. При выборе зернистости следует учитывать припуск на заточку: чем больше припуск, тем крупнее должно быть зерно. С увеличением размера зерна уменьшается расход алмаза, резко возрастает производительность, но ухудшается чистота обработанной поверхности.

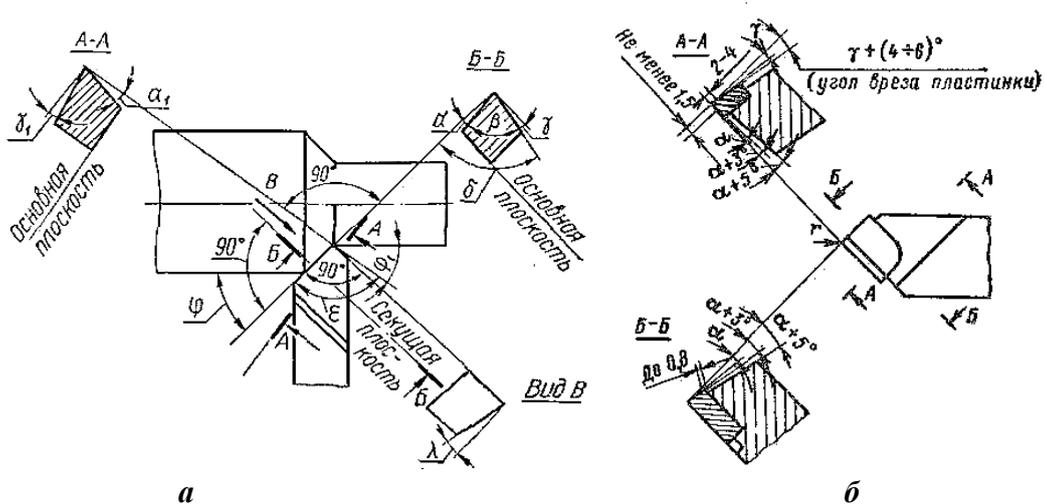


Рисунок 86. – Углы заточки (а) и доводка (б) резцов алмазными кругами

### Контроль углов заточки резцов

Для проверки углов заточки применяют угломеры и шаблоны.

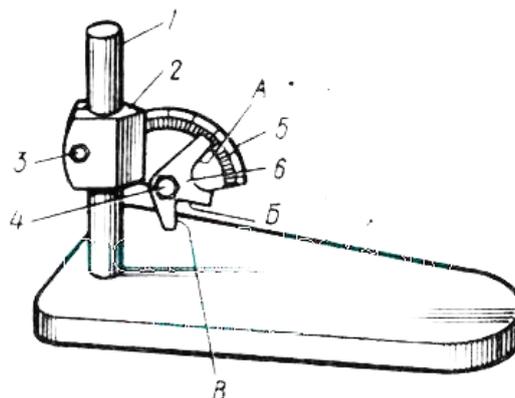
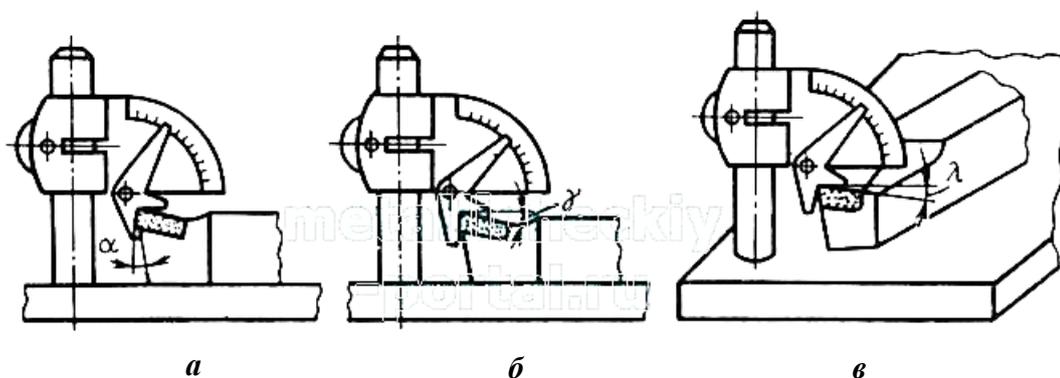


Рисунок 87. – Настольный угломер для измерения углов заточки реза

На рис. 87 показан настольный угломер, предназначенный для измерения переднего, заднего углов и угла наклона режущей кромки. По вертикальной стойке 1, закрепленной в плите, передвигается ползунок 2, зажимаемый винтом 3.

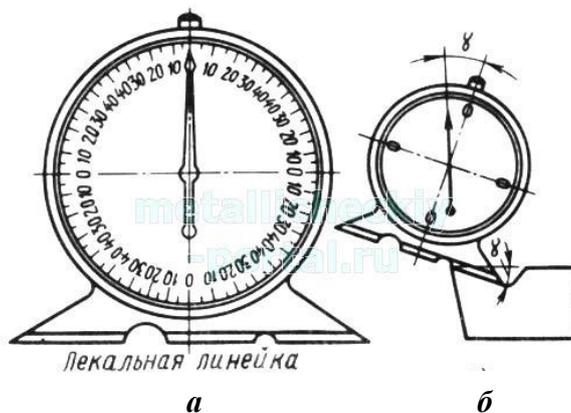
Скругленная пластина 5, врезанная в ползунок, имеет шкалу, по которой может двигаться рычаг 6, вращаясь вокруг оси 4. Рычаг имеет три ребра: А, В и В. На ребре А нанесена риска, совпадающая с нулевым делением шкалы, когда ребро В стоит горизонтально. Угол между ребрами В и В равен 90°, поэтому при горизонтальном положении ребра В ребро В будет расположено вертикально. Для измерения переднего угла у ребро В по-

ворачивают до соприкосновения с передней поверхностью резца, установленного на плиту угломера. Для измерения заднего угла  $a$  ребро  $B$  поворачивают до соприкосновения с задней поверхностью резца. При выполнении измерений плоскость качания рычага  $b$  устанавливают перпендикулярно проекции режущей кромки на плоскость опорной плиты, т.е. на основную плоскость, в которой задаются углы заточки резца. Для измерения угла наклона главной режущей кромки  $\lambda$  ребро  $B$  направляют вдоль режущей кромки. Величины углов фиксируют по совпадению риски на ребре  $A$  с делением шкалы. Настройка угломера для измерения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda$  показана на рисунке 88.



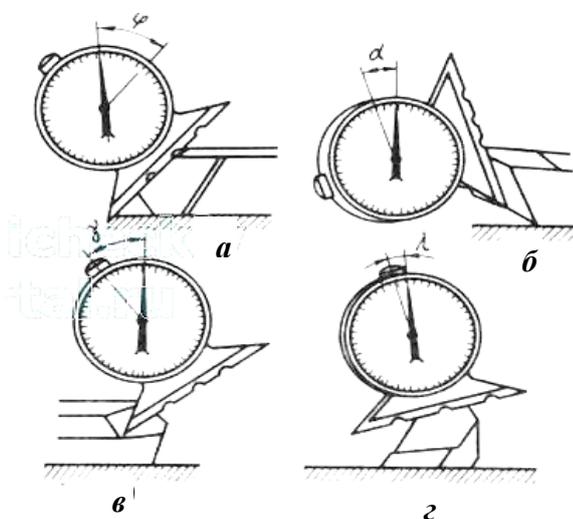
$a$  – задний угол;  $b$  – передний угол;  $v$  – угол наклона режущей кромки  
**Рисунок 88.** – Настройка настольного угломера для измерения углов

Измерение углов заточки может быть выполнено с помощью маятникового угломера. В основу конструкции прибора положен принцип отвеса. Стрелка угломера (рис. 89) связана с грузом, поэтому всегда устанавливается вертикально.



**Рисунок 89.** – Маятниковый угломер 3 УРИ-М

При горизонтальном и вертикальном расположении лекальной линейки, жестко закрепленной на корпусе прибора, стрелка угломера совпадает с нулевым делением шкалы. При наклонном положении проверяемой поверхности наложение на нее лекальной линейки вызовет поворот шкалы, а расположенная вертикально стрелка укажет на отклонение проверяемой поверхности от вертикали или горизонтали. Для закрепления стрелки по отношению к шкале прибор оснащен тормозным устройством. Маятниковым угломером можно пользоваться непосредственно на рабочем месте. При горизонтальном расположении опорной поверхности резца могут быть проверены углы заточки. В настроенном положении для заточки резца проверяют правильность установки базовых поверхностей приспособления. Для измерения углов заточки резец следует положить опорной или боковой поверхностью на горизонтальную поверхность контрольной плиты, точно установленной по уровню. Лекальную линейку прикладывают к измеряемой поверхности и, нажимая на кнопку, отпускают тормоз. Установленная вертикально стрелка укажет на циферблате величину угла. Настройка маятникового угломера для измерения углов резца показана на рисунке 90.



*a* – угол в плане; *b* – задний угол; *b'* – передний угол;  
*z* – угол наклона режущей кромки

**Рисунок 90. – Настройка маятникового угломера на измерение углов**

Радиус округления при вершине резцов обычной точности измеряют радиусными шаблонами, а прецизионных резцов – на инструментальном микроскопе с помощью радиусной головки.

## **Лабораторная работа № 1.1**

### **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТОКАРНОГО ПРОХОДНОГО РЕЗЦА**

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции токарного проходного резца с напайными инструментальными пластинами; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды токарных проходных резцов с напайными инструментальными пластинами;
- особенности их конструкции;
- устройство инструментального угломера 3 УРИ-М.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальным угломером и измерять углы режущей части токарного проходного резца;
- вычерчивать конструкцию токарного проходного резца с напайными инструментальными пластинами.

**Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект токарных проходных резцов;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер 3 УРИ-М.

**Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- 1) идентифицировать и изучить заданную конструкцию проходного резца;
- 2) изучить конструкцию и принцип работы инструментального угломера 3 УРИ-М;
- 3) измерить основные геометрические параметры режущей ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$ ) и хвостовой частей резца (длина, высота и ширина державки);
- 4) выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

**Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:

- тип инструмента;
  - вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);
  - вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);
  - характер расположения режущей части (левый, правый);
  - вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
  - способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
  - материал режущей части.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
  - 4) измерить и указать на чертеже резца фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$ ;
  - 5) идентифицировать и дать реальное изображение формы заточки резца.

**Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж резца с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

## **Лабораторная работа № 1.2**

### **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТОКАРНОГО ПОДРЕЗНОГО РЕЗЦА**

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции токарного подрезного резца с напайными инструментальными пластинами; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды токарных проходных резцов с напайными инструментальными пластинами;
- особенности их конструкции;
- устройство инструментального угломера 3 УРИ-М.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальным угломером и измерять углы режущей части токарного подрезного резца;
- вычерчивать конструкцию токарного подрезного резца с напайными инструментальными пластинами.

**Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект токарных подрезных резцов;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер 3 УРИ-М.

**Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- идентифицировать и изучить заданную конструкцию подрезного резца;
- изучить конструкцию и принцип работы инструментального угломера 3 УРИ-М;
- измерить основные геометрические параметры режущей ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$ ) и хвостовой частей резца (длина, высота и ширина державки);
- выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

**Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип инструмента;
  - вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);

- вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);
  - характер расположения режущей части (левый, правый);
  - вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
  - способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
  - материал режущей части.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
  - 4) измерить и указать на чертеже резца фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$ ;
  - 5) идентифицировать и дать реальное изображение формы заточки резца.

**Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж резца с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

## **Лабораторная работа № 1.3**

### **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТОКАРНОГО ОТРЕЗНОГО РЕЗЦА**

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции токарного отрезного резца с напайными инструментальными пластинами; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- вид токарного отрезного резца с напайными инструментальными пластинами;
- особенности их конструкции;
- устройство инструментального угломера 3 УРИ-М.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальным угломером и измерять углы режущей части токарного отрезного резца;
- вычерчивать конструкцию токарного отрезного резца с напайными инструментальными пластинами.

**Используемое оборудование и оснастка:**

- набор токарных отрезных резцов;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер 3 УРИ-М.

**Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- идентифицировать и изучить заданную конструкцию отрезного резца;
- изучить конструкцию и принцип работы инструментального угломера 3 УРИ-М;
- измерить основные геометрические параметры режущей ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$ ) и хвостовой частей резца (длина, высота и ширина державки);
- выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

**Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип инструмента;
  - вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);

- вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);
  - характер расположения режущей части (левый, правый);
  - вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
  - способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
  - материал режущей части.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
  - 4) измерить и указать на чертеже резца фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$ ;
  - 5) идентифицировать и дать реальное изображение формы заточки резца.

**Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж резца с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

## Лабораторная работа № 1.4

### ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТОКАРНОГО РАСТОЧНОГО РЕЗЦА

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции токарных расточных резцов с напайными инструментальными пластинами; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды токарных расточных резцов с напайными инструментальными пластинами;
- особенности их конструкции;
- устройство инструментального угломера 3 УРИ-М.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальным угломером и измерять углы режущей части токарного расточного резца;
- вычерчивать конструкцию токарного расточного резца с напайными инструментальными пластинами.

**Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект токарных расточных резцов;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер 3 УРИ-М.

**Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- идентифицировать и изучить заданную конструкцию расточного резца;
- изучить конструкцию и принцип работы инструментального угломера 3 УРИ-М;
- измерить основные геометрические параметры режущей ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$ ) и хвостовой частей резца (длина, высота и ширина державки);
- выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

**Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип инструмента;
  - вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);

- вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);
  - характер расположения режущей части (левый, правый);
  - вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
  - способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
  - материал режущей части.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
  - 4) измерить и указать на чертеже резца фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$ ;
  - 5) идентифицировать и дать реальное изображение формы заточки резца.

**Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж резца с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

## **Лабораторная работа № 1.5**

### **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТОКАРНОГО РЕЗЬБОВОГО РЕЗЦА**

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции токарных резьбовых резцов с напайными инструментальными пластинами; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды токарных резьбовых резцов с напайными инструментальными пластинами;
- особенности их конструкции;
- устройство инструментального угломера 3 УРИ-М.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальным угломером и измерять углы режущей части токарного резьбового резца;
- вычерчивать конструкцию токарного резьбового резца с напайными инструментальными пластинами.

**Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект токарных резьбовых резцов;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер 3 УРИ-М.

**Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- идентифицировать и изучить заданную конструкцию резьбового резца;
- изучить конструкцию и принцип работы инструментального угломера 3 УРИ-М;
- измерить основные геометрические параметры режущей ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$ ) и хвостовой частей резца (длина, высота и ширина державки);
- выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

**Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип инструмента;
  - вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);

- вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);
  - характер расположения режущей части (левый, правый);
  - вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
  - способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
  - материал режущей части.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
  - 4) измерить и указать на чертеже резца фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$ ;
  - 5) идентифицировать и дать реальное изображение формы заточки резца.

**Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж резца с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

## **Лабораторная работа № 1.6**

### **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТОКАРНОГО РЕЗЦА С МЕХАНИЧЕСКИМ КРЕПЛЕНИЕМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ**

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции токарного резца с механическим креплением инструментальных пластин; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- конструкции токарных резцов с механическим креплением инструментальных пластин;
- виды крепления инструментальных пластин;
- устройство инструментального угломера 3 УРИ-М.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальным угломером и измерять углы режущей части токарного резца с механическим креплением инструментальных пластин;
- вычерчивать конструкцию токарного резца с механическим креплением инструментальных пластин.

**Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект токарных резцов с механическим креплением инструментальных пластин;
- набор специального слесарного инструмента;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер 3 УРИ-М.

**Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- идентифицировать и изучить заданную конструкцию резца с механическим креплением инструментальных пластин;
- изучить конструкцию и принцип работы инструментального угломера 3 УРИ-М;
- измерить основные геометрические параметры режущей ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\phi$ ,  $\phi_1$ ) и хвостовой частей резца (длина, высота и ширина державки);
- выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

**Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;

2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:

- тип инструмента;
- вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);
- вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);
- характер расположения режущей части (левый, правый);
- вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
- способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
- материал режущей части.

3) измерить габаритные размеры инструмента;

4) измерить и указать на чертеже резца фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$ ;

5) идентифицировать и дать реальное изображение формы заточки резца.

#### **Содержание отчета:**

1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;

2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;

3) чертеж резца с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

## 2. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА СВЕРЛА

Спиральные сверла позволяют обеспечить обработку отверстий квалитетов точности 11–12 с шероховатостью поверхности  $R_z = 20\text{--}80$  мкм. Сверла изготавливаются из быстрорежущих сталей, твердых сплавов и сверхтвердых инструментальных материалов. Основные типы и размеры спиральных сверл стандартизованы. В ГОСТ 885-77 приведены рекомендации по выбору диаметров сверл в зависимости от назначения.

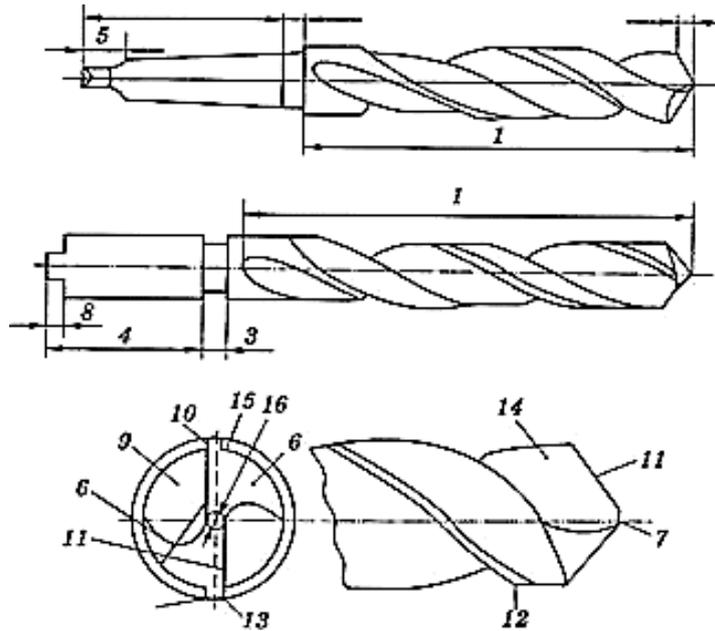
### Конструктивные элементы сверла

Сверло состоит из рабочей части, шейки и хвостовика (рис. 91). Конический или цилиндрический *хвостовик* служит для закрепления сверла в шпинделе станка, удлинителе или патроне. Для сверл диаметром свыше 6 мм хвостовик чаще всего имеет коническую форму и заканчивается лапкой. Лапка предназначена для выбивания сверла из конического отверстия.

*Шейка* – промежуточная часть между хвостовиком и рабочей частью сверла. Она имеет несколько меньший диаметр, чем рабочая часть.

*Рабочая часть* состоит из режущей и направляющей частей. Условия работы сверла определяются главным образом конструкцией *его режущей части*. Она имеет два лезвия, которые соединены между собой *сердцевиной*, расположенной вдоль оси сверла. Размер сердцевины соответствует диаметру окружности, касательной к поверхности канавок, и может увеличиваться по направлению к хвостовику для большей прочности и жесткости сверла. *Главные задние поверхности* лезвий образуются при затачивании сверла по конической, винтовой или плоской поверхности. *Передние поверхности* лезвий сверла имеют винтовую форму, по ним стружка транспортируется из зоны резания. Пересечения передних поверхностей (винтовых канавок) с главными задними поверхностями образуют *главные режущие кромки*, которые должны быть расположены симметрично относительно оси сверла. При пересечении двух задних поверхностей на сердцевине образуется *поперечная кромка* или *перемычка*.

*Направляющая часть* обеспечивает ориентацию сверла в кондукторной втулке или обрабатываемом отверстии и служит резервом для образования режущей части при переточках сверла. Направляющая часть сверла для уменьшения трения соприкасается с отверстием только по шлифованным винтовым *ленточкам*, расположенным по краю винтовой канавки. Ленточки шлифуются по окружности с очень малой конусностью по направлению к хвостовику. Они являются вспомогательными задними поверхностями лезвий сверла. Пересечения передних поверхностей (винтовых канавок) со вспомогательными задними поверхностями (ленточками) образуют вспомогательные режущие кромки.



1 – рабочая часть; 2 – режущая часть; 3 – шейка; 4 – хвостовик; 5 – лапка; 6 – зуб; 7 – поперечная кромка; 8 – поводок; 9 – стружечная канавка; 10 – задняя поверхность; 11 – режущая кромка; 12 – ленточка; 13 – кромка ленточки; 14 – передняя поверхность; 15 – спинка зуба; 16 – сердцевина

Рисунок 91. – Конструктивные элементы спирального сверла

### Геометрические параметры сверла

Углы в плане сверла, как и для всех инструментов, рассматриваются в основной плоскости. *Главным углом в плане  $\varphi$*  называется угол между плоскостью резания и рабочей плоскостью. От угла  $\varphi$  зависит ширина и толщина срезаемого слоя, условия теплоотвода, прочность режущей части сверла.

Для упрощения измерения углов на сверлах указывается не  $\varphi$ , а  $2\varphi$ . Величину угла  $2\varphi$  (рис. 92) назначают в зависимости от свойств обрабатываемого материала.

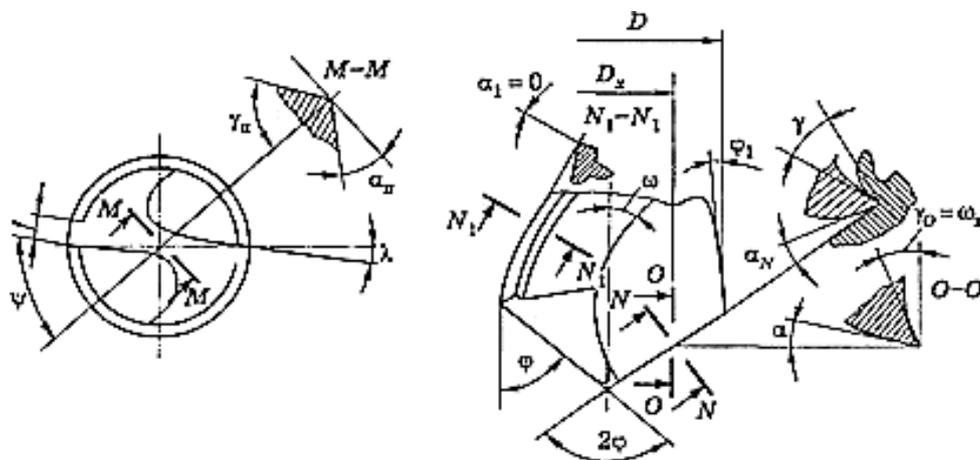


Рисунок 92. – Геометрия спирального сверла

В основной плоскости рассматриваются также вспомогательные углы в плане  $\varphi_1$ . Чтобы избежать защемления сверла в просверленном отверстии, диаметр рабочей части сверла уменьшают по направлению к хвостовику, т.е. выполняют обратную конусность в пределах 0,03–0,15 мм на 100 мм длины сверла.

*Вспомогательным углом в плане  $\varphi_1$*  называется угол между проекцией вспомогательной режущей кромки (ленточки) на основную плоскость сверла и рабочей плоскостью.

*Углом наклона винтовой канавки  $\omega$*  называется угол между осью сверла и касательной к винтовой линии ленточки. Винтовая поверхность канавки сверла состоит из семейства винтовых линий с одинаковым шагом  $H$  и различным углом наклона  $\omega_x$ . Развернув на плоскость винтовые линии, которые берут начало в различных точках режущей кромки  $x$ , можно определить для указанных точек величину угла  $\omega$ :

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\pi D}{H};$$

$$\operatorname{tg} \omega_x = \frac{\pi D_x}{H},$$

где  $\pi D$ ,  $\pi D_x$  – развертки окружностей, на которых лежат точки режущей кромки.

В общем случае:

$$\operatorname{tg} \omega_x = \frac{D_x}{D} \operatorname{tg} \omega.$$

Для всех винтовых линий канавки шаг одинаковый. Следовательно, чем меньше  $D$ , на котором расположена точка режущей кромки, тем меньше угол  $\omega$ . Угол  $\omega$  выбирают в зависимости от диаметра сверла  $D$ , свойств обрабатываемого материала, глубины просверливаемого отверстия и других факторов. Сверла изготавливаются с углами  $\omega = 15\text{--}60^\circ$ .

*Наклон винтовой стружечной канавки* – это наклон передней поверхности сверла в продольном направлении. Следовательно, это продольный передний угол сверла, т.е.  $\omega = \gamma_{\text{пр}}$ . Но для характеристики процесса сверления необходимо знать передний угол в главной секущей плоскости, определяющий условия резания.

Главная секущая плоскость  $N\text{--}N$  перпендикулярна к главной режущей кромке.

*Главным передним углом  $\gamma$*  называется угол между касательной к передней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и нормалью в той же точке к поверхности резания. Поскольку угол наклона винтовой канавки, являющейся передней поверхностью сверла, уменьшается при приближении к оси сверла, то и передний угол для разных точек режущей кромки будет переменным. Он тем меньше, чем ближе рассматриваемая точка к оси сверла. Передний угол  $\gamma$  в плоскости  $N-N$  можно найти из упрощенной формулы:

$$\operatorname{tg}\gamma_x = \frac{D_x \operatorname{tg}\omega}{D \sin \varphi}.$$

*Главным задним углом сверла  $\alpha$*  называется угол между касательной к задней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и плоскостью резания.

*Вспомогательный задний угол сверла  $\alpha_1$*  измеряется в плоскости  $NI-NI$ , нормальной к вспомогательной режущей кромке (кромке ленточки). Так как ленточка шлифуется по окружности, вспомогательные задние углы сверла  $\alpha_1$  равны нулю.

*Углом наклона главной режущей кромки  $\lambda$*  называется угол между режущей кромкой и прямой, проходящей через вершину режущей кромки параллельно основной плоскости. Если крайняя точка режущей кромки самая низкая, то угол  $\lambda$  считается положительным, если же самая высокая – отрицательным.

*Углом наклона поперечной кромки  $\psi$*  называется угол между проекциями поперечной и главной режущих кромок на плоскость, перпендикулярную к оси сверла. Величина этого угла при правильной заточке сверла равна 50–55°.

### **Форма задней поверхности сверла**

Задние поверхности сверла образуются заточкой в процессе изготовления или переточкой его после затупления. От точности выполнения этой операции зависят эксплуатационные характеристики сверла.

Технологически наиболее простой является *заточка сверла по плоскости* (рис. 93, а). Чтобы гарантировать задний угол между задней поверхностью и поверхностью резания в процессе сверления, следует обеспечивать угол заточки не менее  $\alpha = 25-27^\circ$ . Однако это создает опасность выкрашивания режущих кромок. Данный метод используется при заточке сверл диамет-

ром менее 3 мм. Для его применения на сверлах большего диаметра при углах  $\alpha = 8-12^\circ$  необходимо удалять затылочную часть пера сверла.

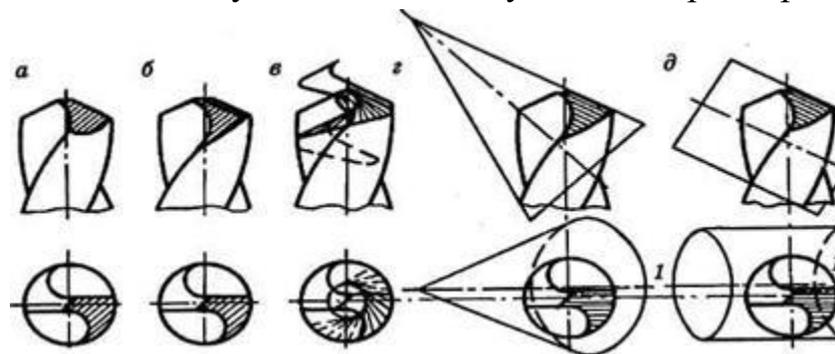


Рисунок 93. – Формы задней поверхности сверла

Чтобы на режущей части сверла получить независимые величины заднего угла на периферии, угла при вершине и угла наклона поперечной кромки, следует использовать *заточку сверла по двум плоскостям* (рис. 93, б). Поперечная кромка сверла при такой заточке состоит из двух наклонных прямых с выступающей центральной точкой, которая улучшает работу сверла в момент врезания в заготовку и повышает точность сверления. Задний угол для первой плоскости выбирают в зависимости от свойств обрабатываемого материала, а для второй – принимают в пределах  $25-40^\circ$ . Однако большой наклон второй плоскости уменьшает жесткость пера сверла, ослабляет режущий клин и ухудшает теплоотвод.

При *винтовой заточке* (рис. 93, в) сверло совершает три формообразующих движения: вращение вокруг своей оси, возвратно-поступательные движения затылования и осциллирования. Преимущества винтовой заточки состоят в универсальности ее применения для различных стержневых инструментов, а также легкой автоматизации. Поперечная кромка имеет выпуклую форму, что улучшает самоцентрирование сверла.

При *конической* (рис. 93, г) или *цилиндрической* (рис. 93, д) заточке сверло покачивается вокруг оси  $1-1$ , скрещивающейся с осью сверла. Задний угол для этих видов заточки возрастает от периферии к центру сверла, причем наиболее интенсивно при заточке по конусу. Это создает более благоприятные условия резания на участках, прилегающих к поперечной кромке сверла.

При *эллиптической заточке* требуемая форма задней поверхности создается путем разворота шлифовального круга, имеющего форму цилиндрической чашки. В заточке участвует внутренняя угловая кромка круга, которая при прямолинейном перемещении сверла образует заднюю по-

верхность в виде эллиптического цилиндра. Такая заточка может производиться на универсально-заточном станке.

Для улучшения режущих свойств и выравнивания нагрузки по длине режущих кромок используют *сверла с криволинейными режущими кромками*, которые могут иметь полностью радиусный профиль либо радиусный профиль, сопряженный с прямолинейным. Радиус профиля  $\rho$  может приниматься в зависимости от диаметра сверла:  $\rho = (0,5-1,2)D$ . Такие сверла имеют в несколько раз больший период стойкости, чем сверла с обычной заточкой. Задняя поверхность каждого лезвия поочередно обрабатывается шлифовальным кругом криволинейного профиля. Необходимый профиль наносится на периферию или торец шлифовального круга путем его правки.

Криволинейная режущая кромка сверла может быть заменена ломаной линией, состоящей из двух участков при *двойной заточке*. Широкое распространение получила двойная заточка, при которой сверло затачивается с углом при вершине  $2\varphi = 116^\circ$ , и на периферии сверла создается дополнительная режущая кромка длиной  $B = 0,2D$  сверла с углом при вершине  $2\varphi_0 = 70-90^\circ$ .

### Подточки сверл

Поперечную кромку сверла диаметром свыше 12 мм подтачивают главным образом для уменьшения ее длины до  $(0,1-0,12)D$  или полного устранения, что значительно снижает осевую силу при сверлении, увеличивает период стойкости сверла и точность просверленного отверстия. Наиболее целесообразна подточка, при которой с уменьшением длины поперечной кромки изменяется передний угол. Поперечную кромку подтачивают на универсально-заточном станке с использованием специальных приспособлений.

Существует несколько типов подточки поперечной кромки сверла:

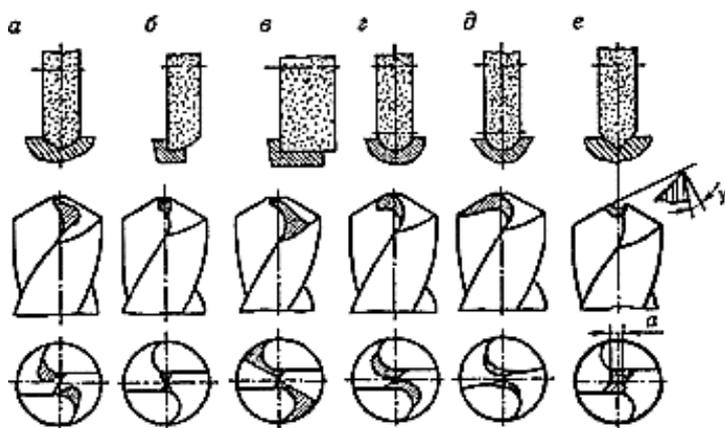


Рисунок 94. – Типы подточки поперечной кромки сверла

а) канавка на передней поверхности сверла образуется кругом радиусной формы, причем канавка касается поперечной кромки только в крайней ее точке (рис. 94, а). Длина и геометрия поперечной кромки не изменяется. Такая подточка может использоваться для большинства встречающихся на практике условий сверления, так как не требует высокой точности исполнения;

б) канавка проходит непосредственно через поперечную кромку и увеличивает передние углы (рис. 94, б);

в) применяется более простая форма круга. При этом увеличиваются передние углы поперечной кромки и срезается затылочная часть зуба (рис. 94, в);

г) частично срезается поперечная кромка с образованием новой режущей кромки (рис. 94, г). Эта подточка широко распространена и рекомендуется для сверления отверстий на глубину не более трех диаметров;

д) применяется в тех случаях, когда необходимо дополнительно приупить или заострить главные кромки (рис. 94, д);

е) является дальнейшим развитием предыдущих подточек и приводит к полному срезанию поперечной кромки с образованием  $\gamma' = 3-5^\circ$ ;  $\alpha = (0,05-0,10)D$  (рис. 94, е).

Наряду с подточкой поперечной кромки широко применяется подточка ленточек. Ленточки у сверл как вспомогательные режущие кромки режут обрабатываемый материал, а также направляют сверло по изготавливаемому отверстию. При этом задние углы на них равны  $0^\circ$  и излишняя ширина ленточки приводит к увеличению сил трения, температуры резания, а следовательно, к более интенсивному изнашиванию уголков сверла и самой ленточки. Подточка ленточек применяется при обработке вязких и труднообрабатываемых материалов. Приведем наиболее распространенные варианты подточки ленточек:

а) подточка части ленточки длиной  $(0,06-0,1)D$  с образованием заднего угла  $\alpha_d = 6-8^\circ$  и фаски  $0,2-0,4$  мм (рис. 95, а);

б) подточка ленточки по всей длине с образованием фаски  $0,2-0,4$  мм (рис. 95, б);

в) ленточка заточена доостра под углом  $\omega_d = 5-6^\circ$  без оставления фаски (рис. 95, в);

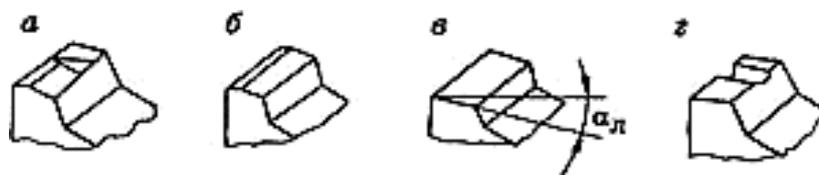


Рисунок 95. – Формы подточки ленточек

Для подточек типа *б* и *в* требуется более высокая точность выполнения операции. Эти подточки применяются для сверл глубокого сверления.

г) ленточка снабжена неглубокими канавками, расположенными в шахматном порядке поперек ленточки (обычно используется для конических сверл) (рис. 95, *г*).

*Подточка передней поверхности* (рис. 96) в виде лунки или порожка используется для дробления стружки. Лунки могут располагаться вдоль всей длины главной режущей кромки (рис. 96, *а*) или ее части (рис. 96, *б*) на расстоянии  $f_1 = 0,2-0,3$  мм от режущей кромки.

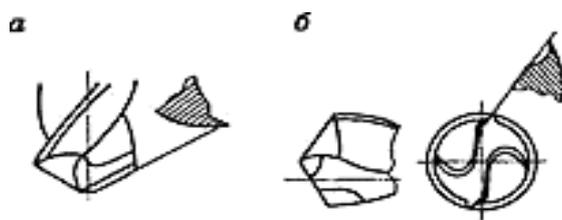


Рисунок 96. – Формы подточки передней поверхности

При этом на лунке обеспечивается передний угол  $\gamma_n = 20^\circ$ . Порожки затачивают по всей длине режущих кромок под углом  $\gamma_n = 10^\circ$ . Размеры лунки и порожка зависят от подачи и свойств обрабатываемого материала.

### Сверла, оснащенные твердым сплавом

Для повышения скорости резания сверла оснащают твердыми сплавами. *Монолитные твердосплавные сверла* и *сверла с твердосплавной рабочей частью* по конструктивным параметрам похожи на спиральные быстрорежущие сверла. Однако все твердосплавные сверла имеют по сравнению с быстрорежущими сверлами ряд особенностей:

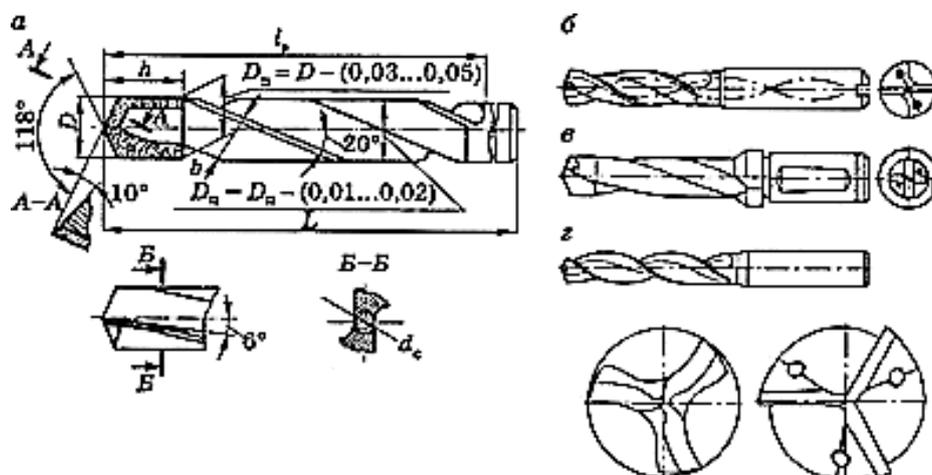
1) на 30–40% уменьшена длина рабочей части  $l_p$ ; она определяется из зависимости  $l_p = L_0 + 2D$ , где  $L_0$  – глубина сверления;  $D$  – диаметр сверла;

2) увеличен диаметр сердцевины  $d_c$  до  $0,3D$  (у быстрорежущих сверл обычно  $d_c = 0,2D$ );

3) уменьшен угол наклона винтовых канавок  $\omega$  у сверл с напаянными пластинами: на пластине он равен  $6^\circ$ , а на корпусе  $\omega_k = 15-20^\circ$  (рис. 97, *а*);

4) увеличена обратная конусность по корпусу до  $0,15$  мм на  $100$  мм длины и на пластине –  $0,5$  мм на  $100$  мм длины.

Для сверления отверстий в печатных платах на станках с ЧПУ разработаны *сверла повышенной жесткости и виброустойчивости*. Это достигается увеличением диаметра хвостовика до  $3$  мм с выполнением двух переходных конусов с углами  $18^\circ$  и  $60^\circ$ . Сверла имеют коническое утолщение сердцевины от вершины сверла к хвостовику на  $0,1-0,15$  мм на каждые  $10$  мм длины.



***a*** – сверло с напаянной пластиной; ***б, в*** – монолитные сверла; ***г*** – монолитные сверла с тремя стружечными канавками;  $D_n$  – минимальный диаметр твердосплавной пластины;  $D_c$  – диаметр цилиндрической части корпуса  
**Рисунок 97. – Сверла с твердосплавной рабочей частью**

Для лучшего размещения стружки увеличена ширина стружечной канавки, ширина пера  $b = (0,45–0,5)D$ . Угол наклона спиральных канавок –  $28^\circ$ , угол при вершине –  $125^\circ$ . Заточка сверл двухплоскостная. Главный задний угол равен  $15^\circ$ , а вспомогательный –  $30^\circ$ .

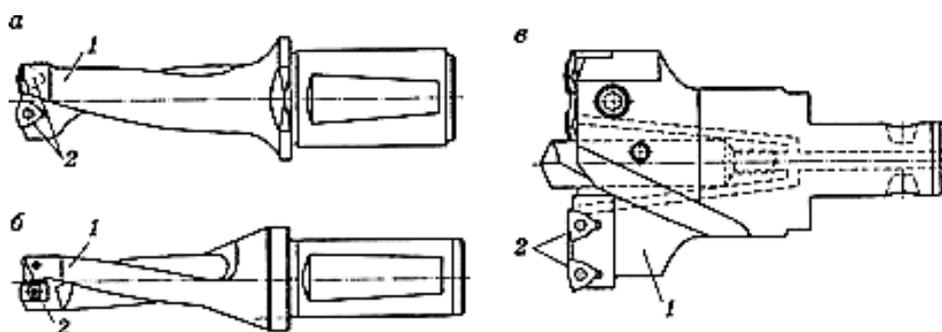
*Сверла с цельной твердосплавной рабочей частью* (рис. 97, б и в) имеют увеличенную толщину сердцевины  $d_c = (0,33–0,4)D$  и ширину пера  $b = (0,6–0,7)D$ . Угол наклона спиральных канавок равен  $30–40^\circ$ . Предусмотрены подточки перемычки сверла и каналы для подвода СОЖ под давлением в зону резания.

В последнее время получили распространение *трехперые монолитные спиральные сверла из твердого сплава* (рис. 97, г). Они имеют значительно большую жесткость, чем сверла традиционных конструкций, и обеспечивают хорошее врезание сверла в заготовку благодаря ликвидации поперечной режущей кромки. Наличие внутри перьев сверла каналов для подвода СОЖ существенно улучшает условия резания. Такие сверла используются для обработки отверстий со скоростями резания свыше 100 м/мин.

Все большее распространение получают сверла диаметром свыше 12 мм с *многогранными неперетачиваемыми твердосплавными пластинами* (рис. 98). Конструкция сверла представляет собой корпус 1 с двумя прямыми или винтовыми стружечными канавками, на переднем торце которого закреплены твердосплавные пластины 2 различной формы. Одна из пластин располагается у оси сверла, вторая – на периферии. Сверла диаметром 20–60 мм оснащаются двумя неперетачиваемыми твердосплавными пла-

стинами, а большего диаметра – четырьмя, устанавливаемыми непосредственно в корпусе сверла или в сменных кассетах. Для подачи СОЖ в зону резания в корпусе сверла предусмотрены специальные отверстия.

Снимаемый припуск делится по ширине между взаимно перекрывающимися пластинами, которые располагаются в корпусе таким образом, что радиальная нагрузка с обеих сторон от оси сверла сбалансирована, благодаря чему отпадает необходимость в предварительно засверленном отверстии или кондукторной втулке в момент.



**Рисунок 98. – Сверла с неперегачиваемыми твердосплавными пластинами засверливания**

Обладая высокой жесткостью и надежной системой подачи СОЖ в зону резания, эти сверла позволяют вести обработку с повышенными подачами и скоростями по сравнению со спиральными сверлами из быстрорежущей стали.

### **Перовые сверла**

*Перовые сверла* применяются при обработке твердых материалов, а также ступенчатых и фасонных отверстий. Они могут быть *цельными*, *сварными* и *составными*. Рабочая часть перового сверла может быть получена ковкой или фрезерованием круглого или квадратного стержня. В составных перовых сверлах она выполняется в виде пластины и вставляется в паз державки.

Перовые сверла имеют ряд недостатков:

- большие отрицательные передние углы (рис. 99, а);
- плохое направление в отверстиях, затруднительные условия отвода стружки;
- допускают малое количество переточек.

Для получения положительных передних углов и улучшения процесса резания передняя поверхность таких сверл снабжается лункой (рис. 99,

б, в), но это приводит к снижению прочности режущей части. Для облегчения процесса резания у сверл больших диаметров на режущих кромках делают стружкоразделительные канавки шириной 2–3 мм, которые должны располагаться несимметрично относительно оси сверла. Расстояние между канавками 8 мм.

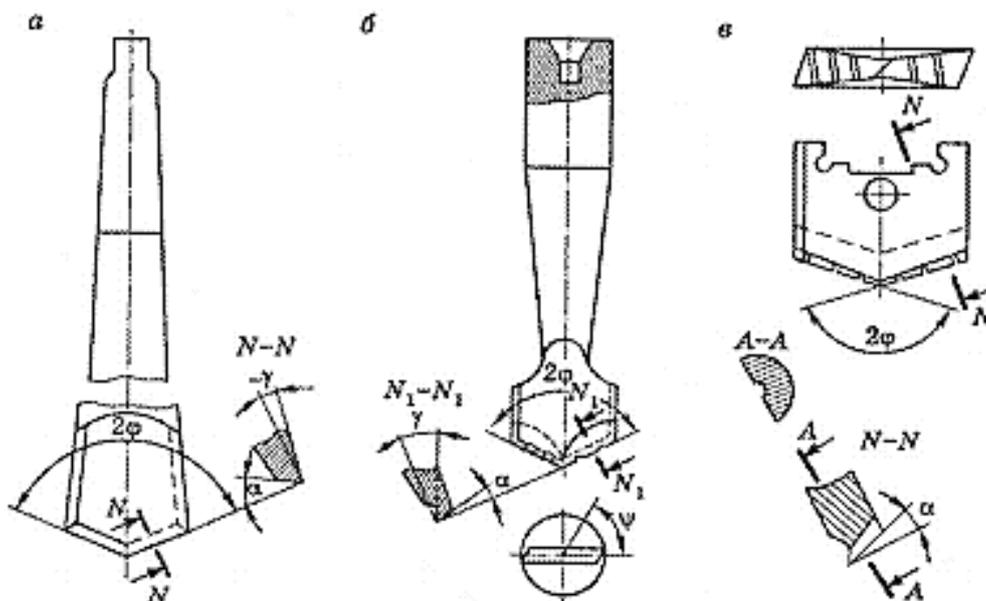


Рисунок 99. – Перовые сверла

Угол при вершине  $2\varphi$  выбирается в зависимости от свойств обрабатываемого материала. Для уменьшения трения калибрующая часть выполняется с углом  $\varphi_1 = 5\text{--}8^\circ$ . Задний угол  $\alpha$  выбирается в пределах  $10\text{--}20^\circ$ : большие значения принимают для вязких и мягких материалов, меньшие — для хрупких и твердых.

#### Сверла для глубокого сверления

Отверстия, глубина которых превышает диаметр в 5 раз и более, называют *глубокими*. Обработка таких отверстий производится сверлами для сплошного ( $D \leq 80$  мм) и кольцевого ( $D > 80$  мм) сверления. При сверлении глубоких отверстий значительно ухудшается подвод охлаждающей жидкости к режущим кромкам, затрудняется отвод теплоты и стружки из зоны резания, уменьшается жесткость инструмента, поэтому такие сверла имеют ряд особенностей.

Для лучшего удаления стружки из зоны резания применяют *спиральные сверла с отверстиями для подвода СОЖ* (рис. 100).

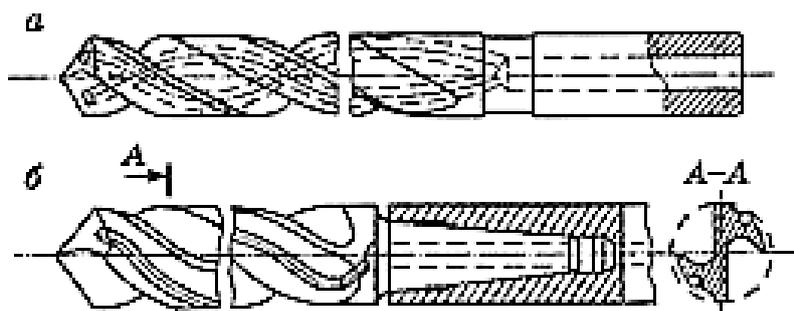


Рисунок 100. – Сверла спиральные с канавками в теле сверла (а) и с трубками, впаянными в спинки (б)

Для получения мелкой стружки, легко удаляемой из отверстия потоком СОЖ, на передних поверхностях сверла вдоль винтовых канавок или на задних поверхностях зубьев в шахматном порядке делают стружкоразделительные канавки. Сверла с отверстиями имеют стойкость в 5–8 раз большую, чем стандартные спиральные сверла.

При сверлении глубоких отверстий небольших диаметров (3–30 мм) и невысокой точности хорошо зарекомендовали себя *шнековые сверла* (рис. 101). Они отличаются увеличенным диаметром сердцевины по всей длине (до 0,5 диаметра сверла) и углом  $\omega = 45\text{--}60^\circ$ . Стружечные канавки шнековых сверл имеют в осевом сечении треугольный профиль с закруглением во впадине. В конструкции сверл выделяют режущую и транспортирующую части. Первая часть отделяет и формирует стружку, вторая – отводит ее из зоны резания.

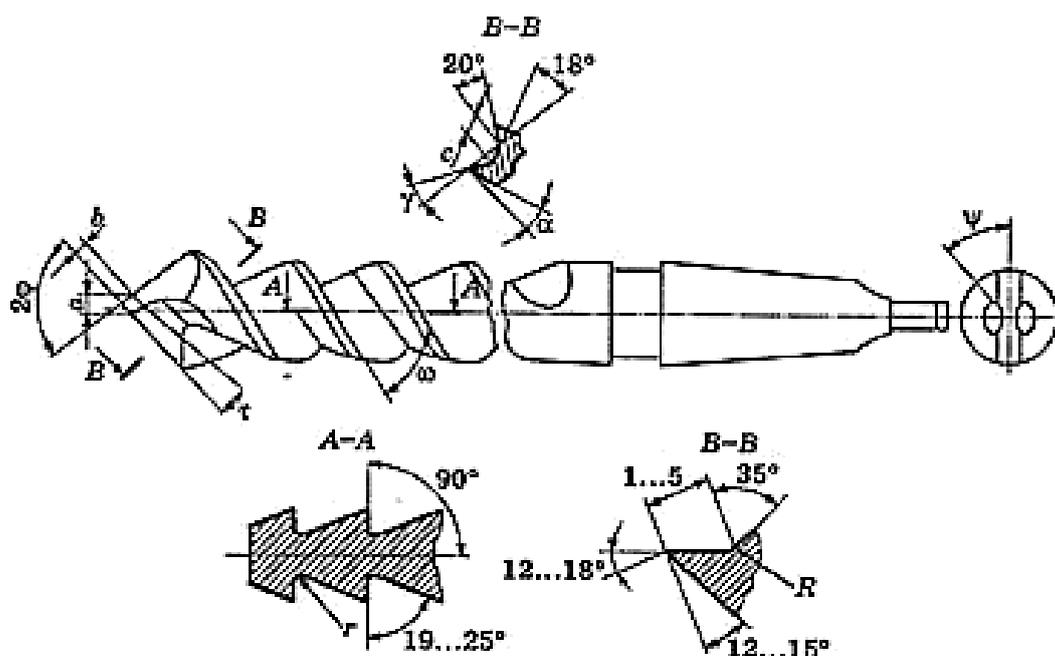


Рисунок 101. – Шнековое сверло

Режущая часть сверла имеет специальную заточку, задние поверхности затачиваются по плоскости. Для дробления стружки на передней поверхности затачивается порожек трапецевидной формы. Это позволяет получать оптимальные геометрические параметры исходя из физико-механических свойств обрабатываемого материала и условий обработки независимо от угла наклона винтовой канавки  $\omega$ .

Для сверления отверстий повышенной точности с малым отводом оси используют *сверла одностороннего резания* (ружейные, пушечные и др.). Эти сверла делят на сверла с внутренним подводом СОЖ и наружным отводом стружки диаметром 3–30 мм и на сверла с наружным подводом СОЖ и внутренним отводом стружки диаметром 16–65 мм. Сверла первого типа изготавливают из быстрорежущей стали или оснащают пластинами или коронками из твердого сплава.

*Ружейное сверло с наружным отводом стружки* (рис. 102) состоит из режущей части и стебля. Стебель выполняется из углеродистой стали в виде трубки с провальцованной по длине стружечной канавкой с углом профиля  $\psi = 110\text{--}140^\circ$  и полостью для подачи СОЖ в зону резания. При этом обеспечивается достаточная жесткость сверла и создается необходимое пространство для отвода стружки. На шлифованной цилиндрической поверхности расположены направляющие.

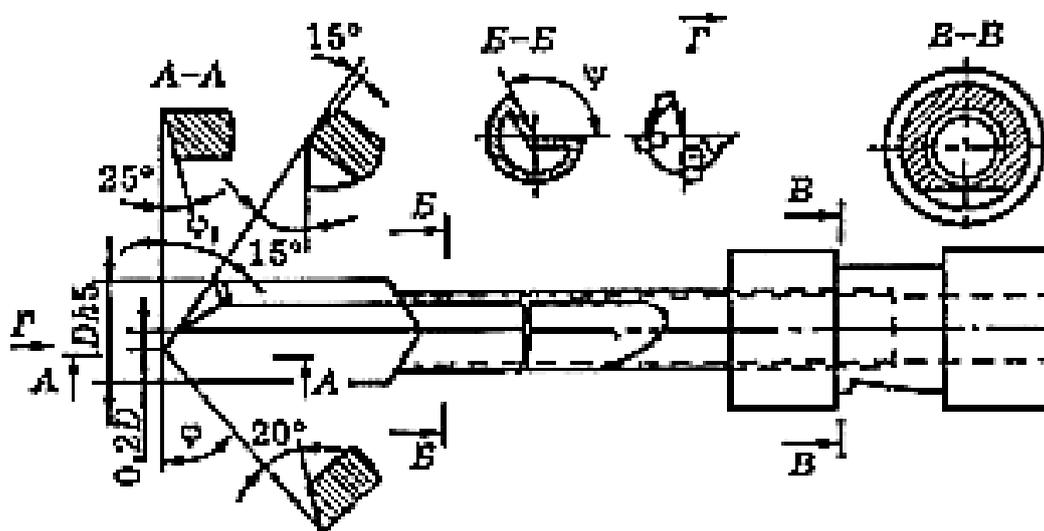


Рисунок 102. – Ружейное сверло с наружным отводом стружки

Сверло имеет одну режущую кромку, состоящую из двух частей – наружной и внутренней. Вершина сверла для лучшего направления при работе смещена относительно оси на некоторую величину, равную при-

мерно  $0,2D$ . В процессе работы сверла на детали образуется конус, обеспечивающий сверлу дополнительное направление.

На различных отрезках режущей кромки имеют место различия в действующих на них радиальных силах. В результате сверло прижимается направляющей частью к обработанной поверхности отверстия. Это предохраняет сверло от увода, отверстие – от разбивки, а также повышает период стойкости сверла. Для уменьшения трения при работе калибрующая часть имеет обратную конусность в пределах  $0,1–0,3$  мм на длине 100 мм. Вдоль вспомогательной режущей кромки на калибрующей части оставляется ленточка шириной  $0,2–0,6$  мм

### Центровочные сверла

Для изготовления центровых отверстий применяются центровочные сверла (рис. 103) трех типов: простые, комбинированные, комбинированные с предохранительным конусом.

*Простые сверла* по конструкции не отличаются от спиральных. *Комбинированные сверла* изготавливаются двухсторонними для лучшего использования материала. Канавки делаются или прямыми, или наклонными с углом наклона  $\omega = 5–8^\circ$ . Угол при вершине режущей части  $\varphi = 50–60^\circ$ , угол наклона поперечной кромки  $\psi = 50–55^\circ$ .

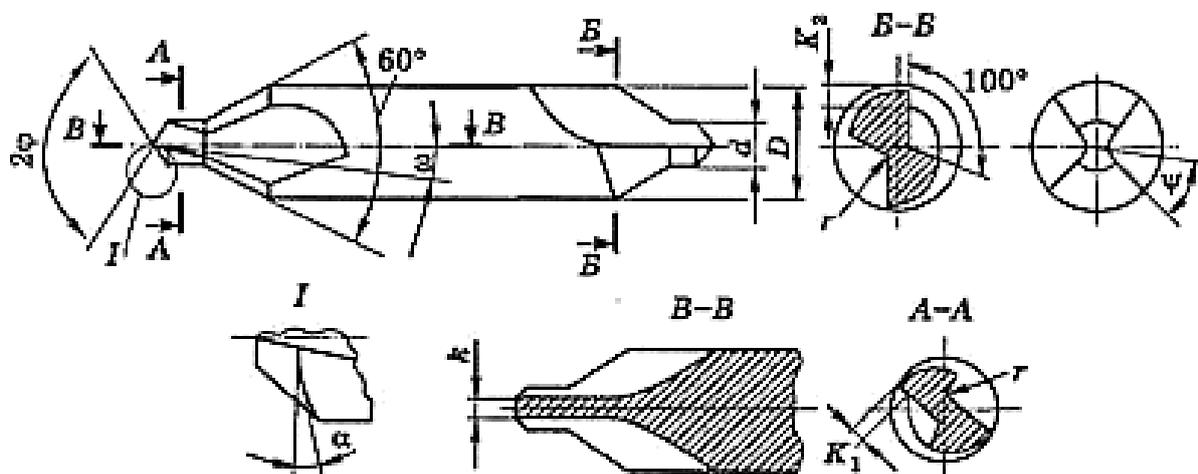


Рисунок 103. – Центровочные сверла

Толщина сердцевины  $K = (0,25–0,17)D$  и увеличивается по направлению к хвостовику под углом  $3^\circ$ . Передний угол  $\gamma = 5–6^\circ$ . Заточка комбинированного сверла производится так же, как и спирального. Задний угол  $\alpha$  на периферии режущей части равен  $8^\circ$ .

## ЗЕНКЕРЫ

Более производительным по сравнению со спиральным сверлом инструментом для увеличения диаметра отверстий, полученных сверлением, отливкой или штамповкой, является *зенкер*. Зенкеры (рис. 104) изготавливаются из быстрорежущей стали; иногда (для тяжелых условий резания), оснащаются пластинками из твердого сплава.

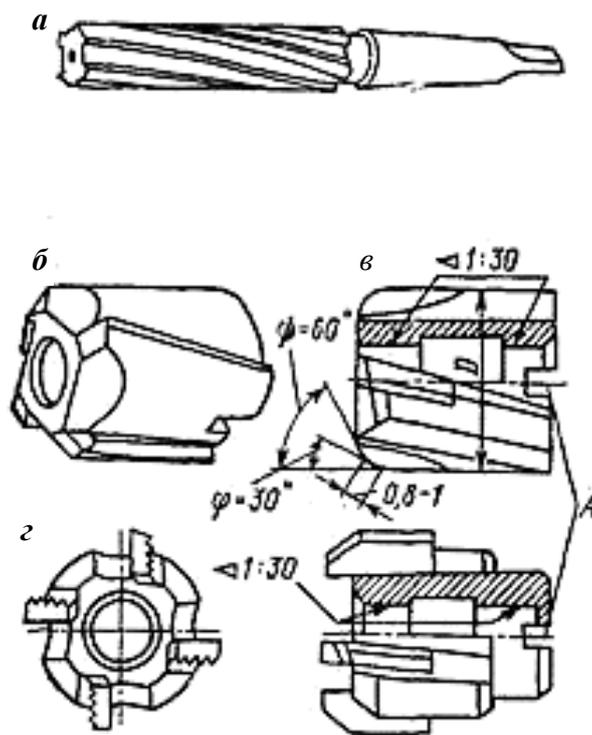


Рисунок 104. – Зенкеры

Зенкеры с коническим хвостовиком (рис. 104, а) используются для обработки отверстий диаметром 10–40 мм. По внешнему виду они несколько похожи на спиральные сверла, но имеют три винтовые канавки и три режущие кромки, что увеличивает жесткость их конструкции, позволяет повышать режимы резания по сравнению с рассверливанием, а следовательно, и производительность. Насадные зенкеры – цельный (рис. 104, б) и оснащенный пластинками твердого сплава (рис. 104, в) применяются для обработки отверстий диаметром 32–80 мм. Такие зенкеры имеют четыре винтовые канавки и четыре режущие кромки. Они крепятся в пиноли задней бабки станка при помощи оправки, на которой центрируются коническим отверстием. Для обработки больших отверстий диаметром 50–100 мм

насадные зенкеры изготавливаются со вставными ножами (рис. 104, з). Геометрические параметры зенкера (передний и задний углы) (рис. 105) измеряются в главной секущей плоскости  $N-N$ , перпендикулярной к проекции режущей кромки на основную плоскость.

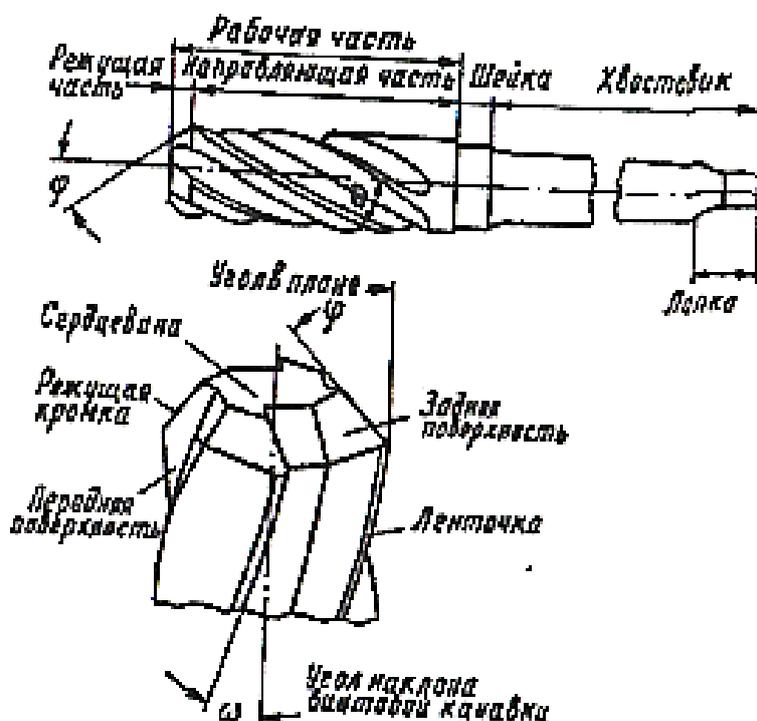


Рисунок 105. – Конструктивные параметры зенкеров

В зависимости от механических свойств обрабатываемого материала и материала зенкера передний угол  $\varphi$  назначается от 0 до 15°. Задний угол  $\alpha$  выполняется в пределах 8–10°. Угол наклона винтовой канавки  $\omega$  принимают в пределах 10–30°. Зенкер имеет обратный конус под углом 1–2°. Для предупреждения провертывания зенкера во время работы на оправке делаются два выступа (шпонки), которые входят в соответствующие пазы.

Угол при вершине у цельных и насадных зенкеров делается равным 120°. Диаметр отверстия, обработанного зенкером, снимающим небольшой припуск и направляемым тремя–четырьмя ленточками, получается точнее, чем при сверлении. Зенкер в сравнении со сверлом имеет большее количество режущих кромок, поэтому толщина стружки, снимаемой каждой из кромок, получается меньше толщины стружки при сверлении. Благодаря этому поверхность отверстия, обработанного зенкером, получается чище.

## РАЗВЕРТКИ

*Режущая часть* (заборный конус) имеет длиной режущие кромки, выполняющие основную работу резания.

*Калибрующая часть* – калибрует отверстие и направляет развертку в отверстие. *Обратный конус* на калибрующей части служит для уменьшения трения развертки о поверхность отверстия.

Расположенные на рабочей части развертки ее режущие зубья выполняются прямыми (прямозубые развертки) или с винтовыми канавками (спиральные развертки).

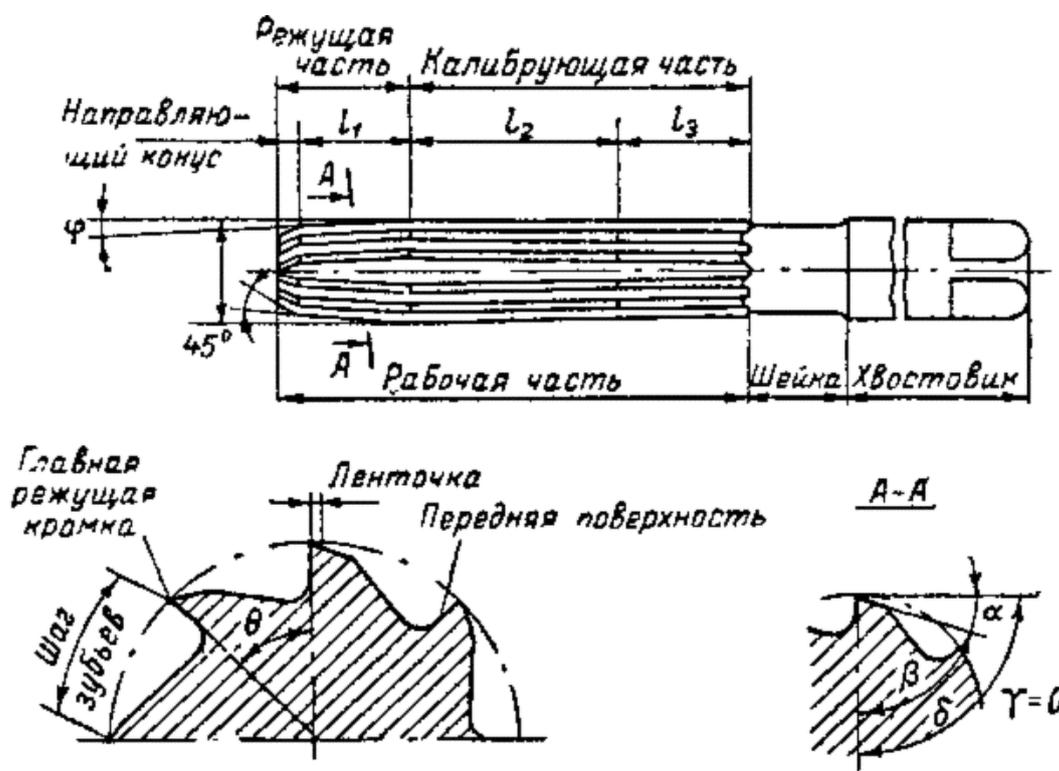


Рисунок 106. – Конструкция и геометрия развертки.

Развертки с правой винтовой канавкой называются праворежущими, а с левой – леворежущими. Обычно принимают четное число зубьев, при этом проще измерять диаметр развертки микрометром.

Хвостовик ручной развертки имеет цилиндрическую шейку и квадрат для передачи крутящего момента с помощью воротка. Хвостовики машинных разверток диаметром до 10–12 мм выполняются цилиндрическими, а у более крупных разверток – коническими.

Основную работу резания выполняет заборная (*режущая*) часть развертки.

*Угол в плане  $\varphi$*  (рис. 106) принимается для ручных разверток равным  $0,5-1,5^\circ$ , а для машинных  $\varphi = 3-5^\circ$  при разворачивании твердых и  $\varphi = 12-15^\circ$  при разворачивании мягких и вязких металлов.

На конце заборной части зубья имеют скос под углом  $45^\circ$ . Это предохраняет режущие зубья от выкрашивания.

*Задний угол* зуба развертки  $\alpha$  принимается равным  $6-15^\circ$ . Большие значения берутся для разверток больших диаметров. *Передний угол*  $\gamma$  для черновых разверток берется в пределах от  $0$  до  $10^\circ$ , а для чистовых  $\gamma = 0^\circ$ .

В целях повышения чистоты поверхности отверстия и предотвращения появления погрешностей его формы (огранки) зубья разверток делают с неравномерным шагом.

## КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОСЕВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Диаметр сверла на рабочей части измеряется по ленточке с помощью микрометра или штангенциркуля.

Толщина сердцевины у вершины сверла измеряется с помощью микрометра со специальными вставками. Общая длина сверла  $L$ , длина рабочей части  $l$ , размеры шейки  $l_3$  и хвостовика  $l_4$ , ширина ленточки измеряются масштабной линейкой или штангенциркулем.

Размеры конусного хвостовика характеризуются стандартизированным номером конуса.

Таблица 9. – Размеры конусного хвостовика

| № конуса<br>Морзе | Диаметр хвостовика $D_1$ , мм | № конуса<br>Морзе | Диаметр хвостовика $D_1$ , мм |
|-------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| 0                 | 9,212                         | 4                 | 31,542                        |
| 1                 | 18,240                        | 5                 | 44,731                        |
| 2                 | 17,980                        | 6                 | 63,760                        |
| 3                 | 24,051                        |                   |                               |

Для определения номера конуса измеряется наибольший диаметр конуса  $D_1$ .

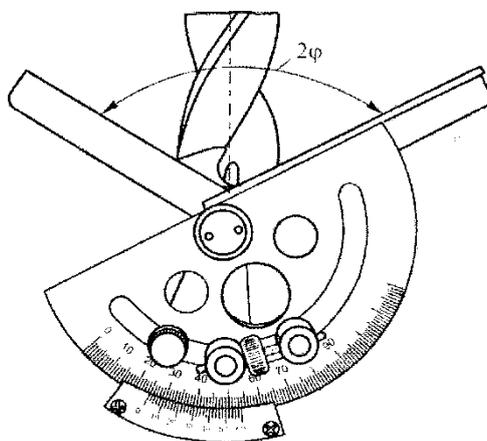
- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип инструмента;
  - вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);
  - по виду соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);
  - по виду материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
  - по способу крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
  - по материалу режущей части.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
- 4) измерить и указать на чертеже фрезы фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $\lambda$ ,  $\omega$ ;
- 5) дать реальное изображение формы цилиндрической фрезы (Формат А4).

### **Определение угла наклона винтовой канавки $\omega$**

Определение угла наклона винтовой канавки производится развертыванием винтовой линии сверла на плоскость. Развертывание осуществляется прокатыванием сверла через копировальную бумагу на плоскость. Величина угла измеряется между линией, отпечатавшейся от развертки винтовой ленточки и прямой, перпендикулярной к торцу развертки и параллельной направлению сверла. Измерение угла производится при помощи транспортира или угломера.

### **Измерение угла при вершине $2\varphi$**

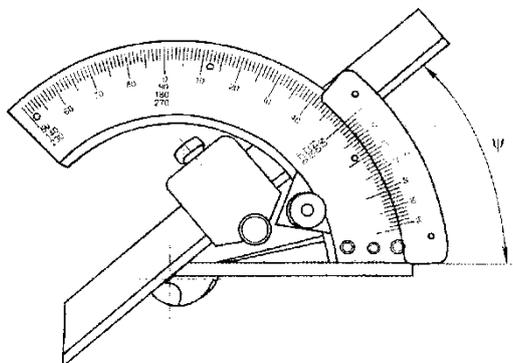
Измерение угла при вершине  $2\varphi$  универсальным угломером УМ производится по схеме, представленной на рисунке 107.



**Рисунок 107. – Схема измерения угла  $2\varphi$  при вершине сверла**

### **Измерение угла наклона поперечной режущей кромки $\psi$**

Измерение угла наклона поперечной режущей кромки  $\psi$  производится также универсальным угломером (рис. 108).



**Рисунок 108. – Схема измерения угла наклона поперечной режущей кромки  $\psi$**

### **Измерение переднего угла $\gamma$**

Передняя поверхность спирального сверла представляет собой винтовую поверхность. Вследствие изменения угла наклона винтовой линии для различных точек лезвия сверла величина переднего угла постепенно увеличивается от центра к периферии.

Передний угол в различных точках лезвия определяется в плоскости, проходящей перпендикулярно к режущей кромке. Измерения производят маятниковым угломером 3 УРИ-М.

### **Определение величины заднего угла $\alpha$**

Задний угол сверла может быть рассчитан косвенным методом с использованием простых тригонометрических формул, измерения для которых можно получить с помощью специального индикаторного приспособления, устанавливаемого на токарном станке, либо принять стандартные.

## Лабораторная работа № 2.1

### ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ СПИРАЛЬНОГО СВЕРЛА

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции спиральных сверл; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды спиральных сверл;
- особенности их конструкции;
- устройство инструментального угломера УМ.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальным угломером и измерять углы режущей части спирального сверла;
- вычерчивать конструкцию спирального сверла.

#### **Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект спиральных сверл;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер УМ;
- копировальная бумага.

#### **Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- 1) идентифицировать и изучить заданную конструкцию спирального сверла;
- 2) изучить конструкцию и принцип работы инструментального угломера УМ;
- 3) измерить основные геометрические параметры режущей ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\psi$ ,  $\omega$ ,  $2\phi$ ) и хвостовой частей сверла (длина, диаметр);
- 4) выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

#### **Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип инструмента;
  - вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);
  - вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);

- вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
  - способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
  - материал режущей части.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
  - 4) измерить и указать на чертеже сверла фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ,  $2\varphi$ ;
  - 5) идентифицировать и дать реальное изображение формы заточки сверла.

**Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж сверла с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

## **Лабораторная работа № 2.2**

### **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗЕНКЕРА**

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции зенкеров; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды зенкеров;
- особенности их конструкции;
- устройство инструментального угломера УМ, 3 УРИ-М.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальными угломерами и измерять углы режущей части зенкеров;
- вычерчивать конструкцию зенкера.

#### **Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект зенкеров;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер УМ, 3 УРИ-М;
- копировальная бумага.

#### **Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- идентифицировать и изучить заданную конструкцию зенкера;
- изучить конструкцию и принцип работы инструментальных угломеров УМ, 3 УРИ-М;
- измерить основные геометрические параметры режущей ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ,  $2\phi$ ) и хвостовой частей зенкера (длина, диаметр);
- выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

#### **Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип инструмента;
  - вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);
  - вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);

- вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
  - способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
  - материал режущей части.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
  - 4) измерить и указать на чертеже зенкера фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ,  $2\varphi$ ;
  - 5) идентифицировать и дать реальное изображение формы заточки зенкера.

**Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж зенкера с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

## **Лабораторная работа № 2.3**

### **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ РАЗВЕРТКИ**

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции разверток; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды разверток;
- особенности их конструкции;
- устройство инструментального угломера УМ, 3 УРИ-М.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальными угломерами и измерять углы режущей части развертки;
- вычерчивать конструкцию развертки.

**Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект зенкеров;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер УМ, 3 УРИ-М;
- копировальная бумага.

**Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- идентифицировать и изучить заданную конструкцию развертки;
- изучить конструкцию и принцип работы инструментальных угломеров УМ, 3 УРИ-М;
- измерить основные геометрические параметры режущей ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ,  $2\phi$ ) и хвостовой частей развертки (длина, диаметр);
- выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

**Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип инструмента;
  - вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);
  - вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);

– вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);

– способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);

– материал режущей части.

3) измерить габаритные размеры инструмента;

4) измерить и указать на чертеже развертки фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ .

5) идентифицировать и дать реальное изображение формы заточки зенкера.

#### **Содержание отчета:**

1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;

2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;

3) чертеж развертки с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

## **Лабораторная работа № 2.4**

### **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ СПИРАЛЬНОГО СВЕРЛА ДЛЯ ДЕРЕВООБРАБОТКИ**

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции спиральных сверл для деревообработки; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды спиральных сверл для деревообработки;
- особенности их конструкции;
- устройство инструментального угломера УМ.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальным угломером и измерять углы режущей части спирального сверла для деревообработки;
- вычерчивать конструкцию спирального сверла для деревообработки.

**Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект спиральных сверл для деревообработки;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер УМ;
- копировальная бумага.

**Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- идентифицировать и изучить заданную конструкцию спирального сверла для деревообработки;
- изучить конструкцию и принцип работы инструментального угломера УМ;
- измерить основные геометрические параметры режущей ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\psi$ ,  $\omega$ ,  $2\varphi$ ) и хвостовой частей сверла (длина, диаметр);
- выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

**Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип инструмента;

- вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);
  - вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);
  - вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
  - способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
  - материал режущей части.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
  - 4) измерить и указать на чертеже сверла фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ,  $2\varphi$ ;
  - 5) идентифицировать и дать реальное изображение формы заточки сверла.

**Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж сверла с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

## **Лабораторная работа № 2.5**

### **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВИНТОВОГО СВЕРЛА ДЛЯ ДЕРЕВООБРАБОТКИ**

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции винтовых сверл; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды винтовых сверл;
- особенности их конструкции;
- устройство инструментального угломера УМ.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальным угломером и измерять углы режущей части винтового сверла;
- вычерчивать конструкцию винтового сверла.

**Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект спиральных сверл;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер УМ;
- копировальная бумага.

**Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- идентифицировать и изучить заданную конструкцию винтового сверла;
- изучить конструкцию и принцип работы инструментального угломера УМ;
- измерить основные геометрические параметры режущей ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\psi$ ,  $\omega$ ,  $2\phi$ ) и хвостовой частей сверла (длина, диаметр);
- выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

**Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип инструмента;
  - вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);

- вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);
  - вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
  - способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
  - материал режущей части.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
  - 4) измерить и указать на чертеже сверла фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ,  $2\varphi$ ;
  - 5) идентифицировать и дать реальное изображение формы заточки сверла.

**Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж сверла с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

## Лабораторная работа № 2.6 ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПЕРОВОГО СВЕРЛА ДЛЯ ДЕРЕВООБРАБОТКИ

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции перовых сверл; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды перовых сверл;
- особенности их конструкции;
- устройство инструментального угломера УМ.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальным угломером и измерять углы режущей части перового сверла;
- вычерчивать конструкцию перового сверла.

**Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект перовых сверл;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер УМ;
- копировальная бумага.

**Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- 1) идентифицировать и изучить заданную конструкцию перового сверла;
- 2) изучить конструкцию и принцип работы инструментального угломера УМ;
- 3) измерить основные геометрические параметры режущей ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\psi$ ,  $\omega$ ,  $2\phi$ ) и хвостовой частей сверла (длина, диаметр);
- 4) выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

**Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип инструмента;
  - вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);
  - вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);

- вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
  - способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
  - материал режущей части.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
  - 4) измерить и указать на чертеже сверла фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ,  $2\varphi$ ;
  - 5) идентифицировать и дать реальное изображение формы заточки сверла.

**Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж сверла с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

### 3. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ФРЕЗ

#### Конструкции фрез

Фрезы являются одним из самых распространенных инструментов и отличаются большим разнообразием типов. Классификацию фрез производят по различным показателям:

- по конструкции инструмента: цельные и сборные фрезы;
- по расположению зубьев относительно оси: цилиндрические (рис. 109, а), торцовые (рис. 109, б), угловые (рис. 109, в), фасонные (рис. 109, г), дисковые двух- и трехсторонние (рис. 109, д);

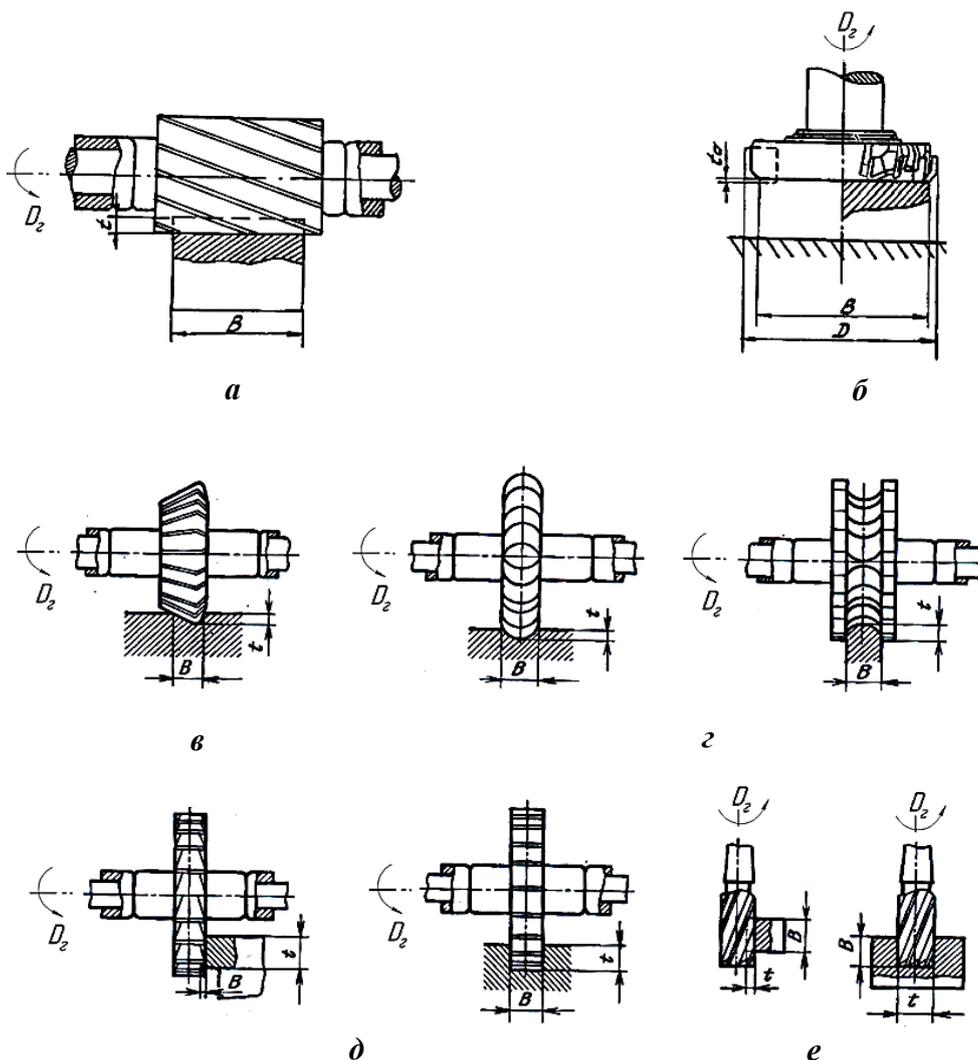


Рисунок 109. – Типы фрез

– по направлению зубьев: прямозубые (рис. 109, д), с наклонным или винтовым зубом (рис. 109, е). Два последних типа зубьев обеспечивают более плавное фрезерование;

– по способу крепления на станке: насадные с отверстием под оправку (рис. 109, *a–d*) и концевые с коническим или цилиндрическим хвостовиком (рис. 109, *e*);

– по конструкции зубьев: с острозаточенными (остроконечными) и затылованными зубьями (рис. 109, *z*).

Таблица 10. – Рекомендуемые материалы для изготовления фрез

| Материал фрезы  | Обрабатываемый материал                       |
|---|---|
| P6M5, P6M3, P9M4K8, P12, P6M5K5 и др.   | Детали из конструкционных сталей              |
| P14Ф14, P9Ф5, P9K5, P9K10, P18Ф2, P10K5Ф5, P18K5Ф2                                      | Титановые сплавы и жаропрочные стали          |
| T5K10, T14K8, T15K6, T30K4, TT8K6, T5K12B, TT10K8B, TT7K15, TT7K12, KHT12, KHT16, KHT30 | Конструкционные и легированные стали          |
| BK8, BK8B, BK60M, BK10M, BK6M и др.   | Чугун и труднообрабатываемые материалы        |
| ЦМ332, В3, ВОК60, ВОК63   | Серый чугун и конструкционные стали           |
| Эльбор-Р, гексанит-А, карбонадо (АСПК)  | Высокопрочные сплавы, стали, титановые сплавы |

Геометрические параметры зуба фрезы – передний  $\gamma$  и задний угол  $\alpha$  в главной секущей плоскости, угол спирали зуба  $\beta$  (он же является углом наклона режущей кромки), высота зуба  $H$ , угол впадины стружечной канавки  $\theta$  и радиус впадины  $r$  – принимаются в зависимости от обрабатываемого материала и условий обработки.

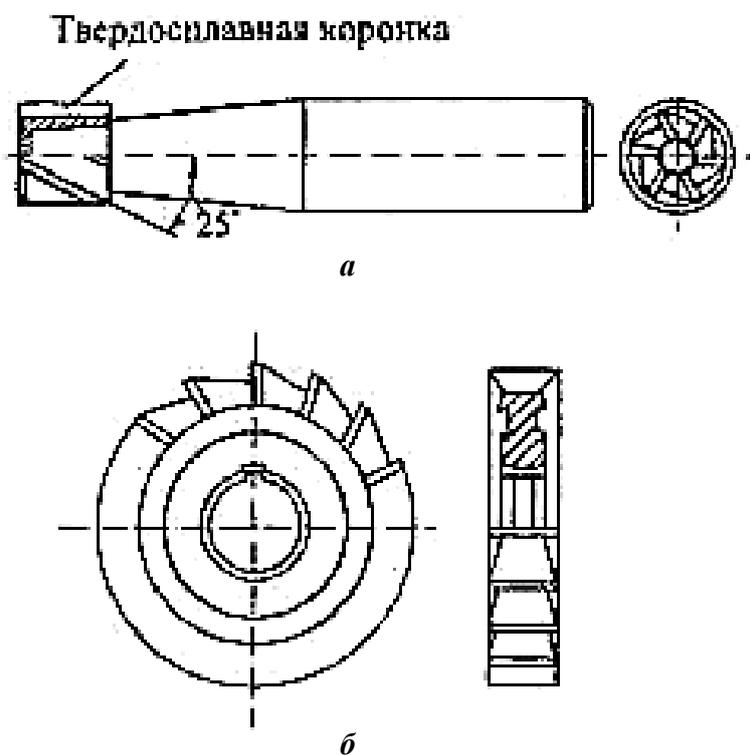
### Особенности конструкций твердосплавных фрез

Конструкции фрез и условия их работы позволяют широко использовать для их оснащения высокопроизводительные твердые сплавы, минералокерамику и сверхтвердые материалы (СТМ), которые обладают пониженной прочностью на изгиб и хрупкостью. Эти свойства обусловили благоприятные возможности для применения сменных пластин (СМП), а большие размеры корпусов фрез позволяют размещать на них элементы крепления сменных пластин.

Напайные пластины используют только при изготовлении мелкоразмерных фрез, в которых не удастся разместить элементы механического крепления пластин. Однако даже в этих случаях при резании труднообрабатываемых материалов предпочтение отдается монолитным фрезам, изготовленным целиком из твердого сплава и полученным путем прессования в специальных пресс-формах.

Применяются также способы изготовления монолитных фрез или их режущей части методом вышлифовывания из твердосплавных заготовок алмазными кругами, а также резанием из пластифицированных заготовок с последующим их спеканием. Освоено, например, производство цельных твердосплавных концевых фрез диаметром 3–12 мм (рис. 110, *а*), а также узких дисковых и других видов фрез с прямыми или винтовыми зубьями (рис. 110, *б*). При этом концевые фрезы изготавливают или заодно с цилиндрическим хвостовиком, или в виде коронок и вставок, соединяемых пайкой со стальным хвостовиком.

В настоящее время в конструкциях фрез средних и крупных размеров способ пайки твердосплавных пластин на корпусы инструментов используется в том случае, когда режущие пластины имеют фасонную форму. Так, например, на рисунке 110 показана цилиндрическая фреза с напайными винтовыми пластинами, которые удается изготавливать только небольшой длины. Каждый зуб представляет собой набор из таких пластин, а их стыки оформлены в виде стружколомающих канавок.



*а* – концевая фреза с цельной твердосплавной частью;

*б* – дисковая твердосплавная фреза

Рисунок 110. – Твердосплавные фрезы малых диаметров

Основным недостатком такой фрезы является необходимость повторной пайки и заточки всех зубьев в случае поломки хотя бы одной из пластин. С винтовыми напайными пластинами изготавливаются также концевые фрезы с небольшой длиной рабочей части.

**Цилиндрические фрезы** в силу специфики их конструкций и условий резания значительно реже, по сравнению с торцовыми, оснащаются твердосплавными СМП.

**Торцовые фрезы** допускают большее разнообразие способов крепления многогранных пластин, поэтому в настоящее время освоен выпуск огромного числа различных типов таких фрез, наиболее сложные из которых позволяют производить регулировку положения пластин в корпусе с целью получения минимального радиального и торцового биений режущих кромок.

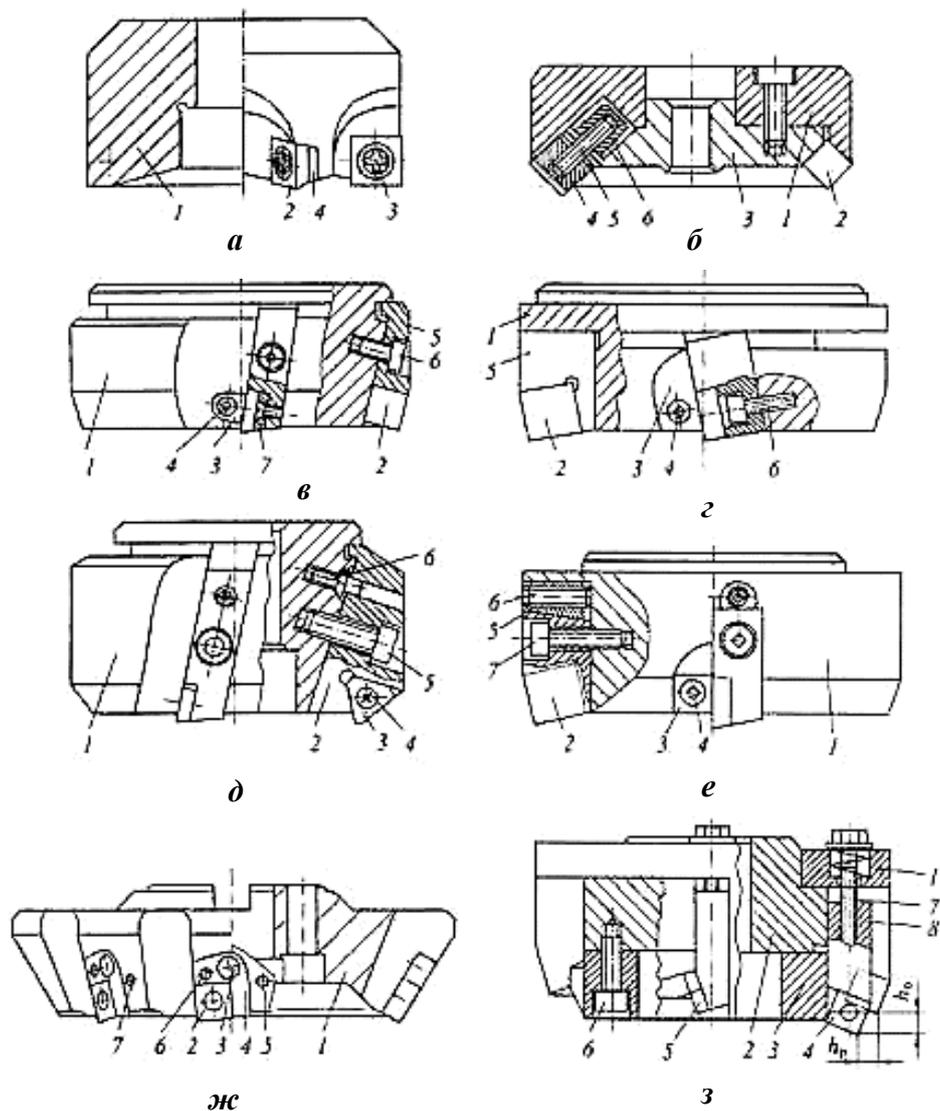
Анализ современных конструкций торцовых фрез показывает, что основными направлениями в использовании СМП являются:

- крепление пластин непосредственно на корпусе или его составных частях;
- использование вкладышей с двумя–тремя базами под пластины;
- использование механизма регулирования положения режущих кромок пластин относительно оси вращения фрезы.

При этом широко применяются пластины трех- и четырехгранные, в форме параллелограмма, реже круглые и пятигранные, негативные и позитивные по геометрическим параметрам, с отверстиями для крепления или без них. Крепление пластин осуществляется винтами или рычагами через отверстие, а также клиньями, прижимающими пластину к гнезду в корпусе или во вкладыше.

На рисунке 111, *a* приведена фреза с креплением пластин 2 в гнездах корпуса 1.

Крепление осуществляется винтами 3 с конической головкой. Для предохранения корпуса от повреждений при поломке пластин часто используют подкладки 4 из твердого сплава или закаленной стали, имеющие форму, подобную форме режущих пластин. Фрезы такого типа наиболее просты по конструкции, компактны, имеют минимальное количество деталей, но корпуса этих фрез сложны в изготовлении. Серьезными недостатками этих фрез являются: опасность механического повреждения корпусов в процессе эксплуатации и повышенное биение режущих кромок, вызываемое погрешностями изготовления гнезд под пластины.



**а** – базы под пластины в корпусе фрезы; **б** – базы под пластины на составных частях корпуса; **в** – с вкладышами и двумя базами; **г** – с вкладышами; **д** – с вкладышами, регулируемые винтом; **е** – с вкладышами, регулируемые клином; **ж** – с тангенциальным креплением пластин; **з** – со ступенчатым расположением пластин

**Рисунок 111. – Торцовые фрезы, оснащенные СМП**

Иногда с целью упрощения технологии изготовления фрез и повышения точности положения режущих кромок базы под пластины создают на составных частях корпуса. Примером таких фрез является представленная на рисунке 111, **б** фреза фирмы «Clarkson» (Англия). Она состоит из корпуса **1** и опорного кольца **3**, на каждом из которых имеется одна база под пластины **2**. При этом пластины крепят клином **4** с дифференциальным винтом **5**, который ввертывается не в корпус фрезы, а в специальный вкладыш **6**.

Использование вкладышей для крепления пластин показано также на рисунке 111, в на примере фрезы фирмы «Widia Krupp» (Германия). Здесь режущие пластины 2 крепятся во вкладышах 5, устанавливаемых в пазах корпуса 1 и закрепляемых винтами 6. Вылет вкладышей вдоль оси задан точно благодаря тому, что они упираются в стенку кольцевого паза корпуса, получаемого точением на проход. Режущие пластины 2 опираются на дно гнезда во вкладыше, а в радиальном направлении – на корпус фрезы. Крепление пластин производится клином 3 и винтом 4. Под режущие пластины устанавливаются предохранительные пластины 7, закрепляемые винтами. Таким образом, корпус получается технологичным, а крепление обеспечивает малое биение режущих кромок. Использование вкладышей также позволяет избегать повреждения дорогостоящего корпуса при поломке пластин и осуществлять их быструю замену. В данной конструкции использованы вкладыши с двумя базами под пластины: по опорной плоскости и одной грани пластины.

Созданы также конструкции фрез с базированием пластин во вкладыше по трем плоскостям. Примером таких фрез являются фрезы фирмы «Sandvik Coromant» (Швеция) (рис. 111, г). Здесь вкладыши (кассеты) 5 в осевом направлении упираются в стенку кольцевого паза и крепятся в корпусе 1 винтом 6. Режущие пластины 2 прижимаются клином 3 с помощью винта 4. При этом в одном и том же корпусе фрезы могут устанавливаться вкладыши с гнездами под различные формы и размеры режущих пластин, в том числе из разных инструментальных материалов, что упрощает ведение инструментального хозяйства. Такой метод конструирования фрез получил название модульно-кассетного. Его особенно выгодно использовать в условиях гибкого автоматизированного производства, характеризующегося быстрой сменностью номенклатуры изделий и требующего особой мобильности в обеспечении инструментальной оснасткой.

Для обеспечения высокой точности расположения режущих кромок относительно оси вращения фрезы создан ряд конструкций фрез с регулировкой в осевом направлении положения вкладышей в пазах корпуса с помощью винтов или клиньев, в результате чего удается довести торцовое биение до 0,005 мм. При этом, в зависимости от диаметра фрезы, радиальное биение составляет 0,05–0,10 мм, что достигается за счет высокой точности исполнения корпусов фрез, кассет и использования прецизионных пластин. Примером таких инструментов может служить фреза фирмы «Walter» (Германия), представленная на рисунке 111, д. Здесь вкладыши 2, установленные в пазах корпуса 1, крепятся винтами 5. Ре-

жущие трехгранные пластины 3 крепят винтами 4 через их центральные отверстия. В случае применения этих фрез для чистовой обработки используют регулировочный винт 6, ось цилиндрической части которого смещена относительно оси конического отверстия в корпусе. За счет этого при вращении винта 6 происходит перемещение вкладыша вдоль паза корпуса и тем самым регулируется положение режущих кромок пластин в осевом и радиальном направлениях.

Простой способ регулировки положений вкладышей с помощью клиньев показан на примере фрезы фирмы «Sandvik Coromant» (Швеция) (рис. 111, е). Здесь крепление пластин 2 осуществляется прижатием клина 3 винтом 4, а крепление вкладыша к корпусу 1 – винтом 7. Смещение вкладыша вдоль оси фрезы регулируется с помощью винта 6 и клина 5.

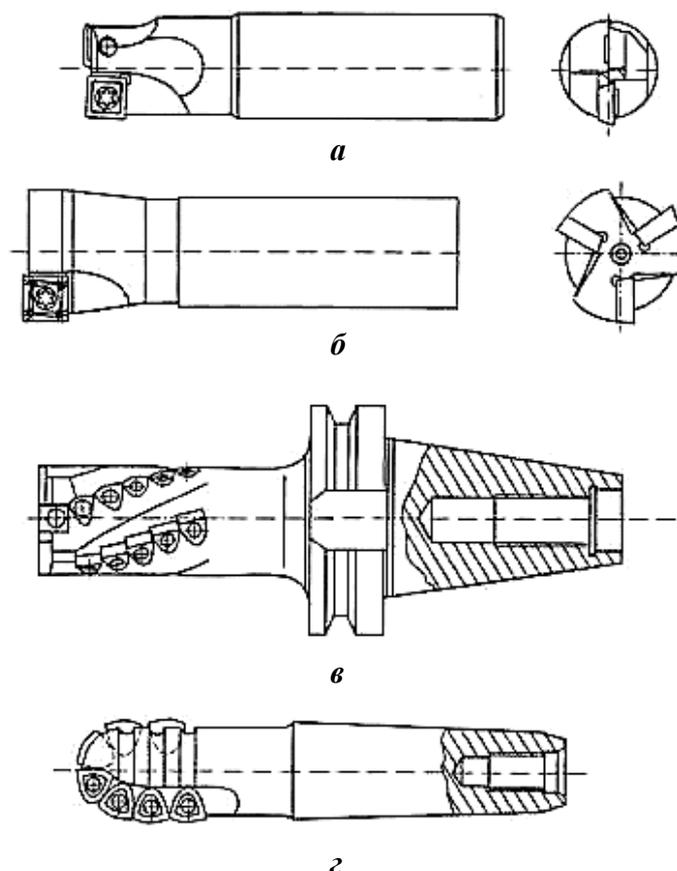
Рассмотрим еще две разновидности торцовых фрез, оснащенных СМП: с тангенциальным (рис. 111, ж) и ступенчатым расположением пластин (рис. 111, з).

Фрезы с тангенциальным по отношению к корпусу расположением пластин впервые были предложены фирмой «Hertel» (Германия). За счет такого расположения пластин резко увеличивается их прочность при ударной нагрузке. При этом крепление пластин 2 с отверстием производится винтом 3 через изогнутый в виде рычага штифт. Для базирования пластин 2 используют вкладыши 4 и 5. Первый вкладыш фиксируют в гнезде корпуса 1 штифтом 6, а второй, регулируемый в осевом направлении, винтом 7. Такие фрезы позволяют значительно увеличить подачу, а следовательно, и производительность, но из-за уменьшенной длины режущих кромок они пригодны только для снятия небольших припусков.

Для фрезерования заготовок с большими припусками рекомендуются фрезы со ступенчатым расположением пластин вдоль оси, которые, как показала практика, обеспечивает хорошее деление припуска по ширине и безвибрационную работу инструмента, что особенно важно для фрез, оснащенных твердым сплавом. На рисунке 111, з показана двухступенчатая фреза конструкции ВНИИинструмент, которая отличается тем, что ее режущие пластины 4 и 5 расположены на разных уровнях от торца. Пластины опираются на кольцо 3 с пазами и внешней конической ступенчатой формой, которое крепится винтами 6 на корпусе 2, имеющем такие же пазы. Таким образом, сменные пластины 4 и 5 оказываются смещенными в радиальном и осевом направлениях. Пластины прижимаются к пазам в корпусе 2 и кольце 3 с помощью винтов 7, ввертываемых в державки 8, на

которые они устанавливаются с посадкой на штифты. Винты 7 опираются на кольцо 1, напрессованное на корпус 2.

**Концевые и дисковые фрезы** труднее всего поддаются оснащению механически закрепляемыми пластинами в силу их конструктивных особенностей и условий резания. В настоящее время такие фрезы выпускают во все больших объемах. Некоторые из конструкций данных фрез приведены на рисунке 112.



*a* – двузубая; *б* – трехзубая; *в* – для обработки глубоких пазов;  
*г* – для копировальных работ

**Рисунок 112. – Концевые фрезы оснащенные СМП**

Из-за малых диаметров концевых фрез и малой ширины среза у дисковых фрез базы под пластины выполняются непосредственно в корпусах инструментов. Крепление режущих пластин осуществляется винтами через отверстия, клиньями и прихватами сверху или упругими деформируемыми элементами (у пластин без отверстия). Формы режущих пластин – треугольные, квадратные, круглые, ромбические, прямоугольные или специальные, разработанные только для таких инструментов. Число режущих

пластин определяется конструктивными размерами инструментов. Так, например, у концевых фрез диаметром  $d < 12$  мм  $z = 1$ , а  $d = 12-40$  мм  $z = 2-4$ . Для лучшего дробления стружки и создания положительных передних углов рекомендуется использовать позитивные или негативные пластины со стружкодробящими канавками на передней грани.

На рисунке 112, *а, б* приведены двузубая и трехзубая концевые фрезы фирмы «Sandvik Coromant» (Швеция), оснащенные позитивными ( $\alpha = 11^\circ$ ) прямоугольными пластинами и применяемые для обработки уступов, пазов и выемок.

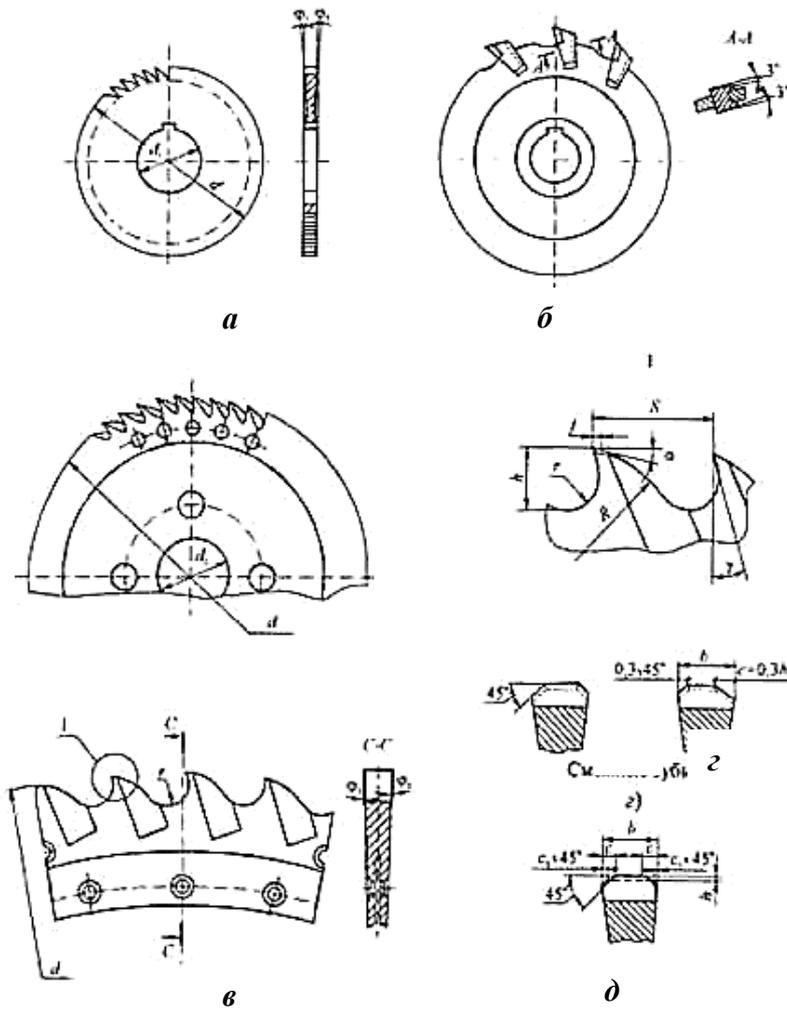
На рисунке 112, *в* показана концевая фреза  $d = 20-50$  мм для обработки глубоких пазов или высоких уступов длиной до 70 мм с креплением пластин винтами в гнездах, расположенных по винтовой линии. На рисунке 112, *г* показана фреза для копировальных работ, применяемая при обработке фасонных выемок в пресс-формах, оснащенная специальными пластинами радиусной формы.

Хвостовики концевых фрез могут быть цилиндрическими, коническими или специальными короткими цилиндрическими. На станках с ЧПУ эти фрезы закрепляются в специальных патронах.

**Дисковые фрезы**, оснащенные твердосплавными пластинами, до недавнего времени применяли обычно в напайном варианте. Однако вследствие сложности заточки и особенно из-за отпаивания режущих пластин при нагреве (особенно на трехсторонних фрезах) все большее распространение получают фрезы с механическим креплением СМП (рис. 113). В конструкциях этих фрез в основном использованы те же способы и элементы крепления, что и в конструкциях торцовых фрез. Однако здесь возникают дополнительные трудности, связанные с необходимостью размещения элементов крепления в узких корпусах фрез. У трехсторонних фрез необходимо также обеспечить надежный стружкоотвод и положительные передние углы на торцовых режущих кромках.

Выпускают также фрезы с вкладышами, имеющими две-три базы для крепления пластин. На рисунке 113, *б* схематично показано крепление трехгранных пластин 2 во вкладышах 5 клиньями 3 и винтами 4. Вкладыши 5 имеют V-образные пазы под пластины и располагаются со стороны передней поверхности пластин 2. Они крепятся в корпусе 1 винтами 6.

У таких фрез вкладыши сменные, корпус хорошо предохраняется от повреждений, обеспечивается нормальный стружкоотвод, но они могут успешно применяться только при относительно небольших глубинах резания.



*a* – прорезная и отрезная цельная фрезы; *б* – отрезная сборная фреза; *в* – сегментная фреза; *г, д* – схемы резания

**Рисунок 113. – Фрезы прорезные и отрезные**

Более технологичное, компактное и надежное крепление пластин 2 достигается винтами с конической головкой через отверстие к вкладышу 3, а крепление вкладыша в корпусе 1 осуществляется с помощью клина 4 и винта 5. Для предохранения вкладышей от смещения при больших нагрузках и регулировке по высоте на их опорных поверхностях и в гнездах создают рифления (рис. 113, *в*).

При обработке резанием пазов небольшой ширины ( $B = 5-10$  мм) и большой глубиной реза ( $h = 18-84$  мм) фирмой «Sandvik Coromant» (Швеция) разработаны дисковые фрезы диаметром  $d = 80-250$  мм с непосредственным креплением специальных пластин винтами с двух сторон корпуса (рис. 113, *г*). Эти пластины имеют положительные передние углы. При

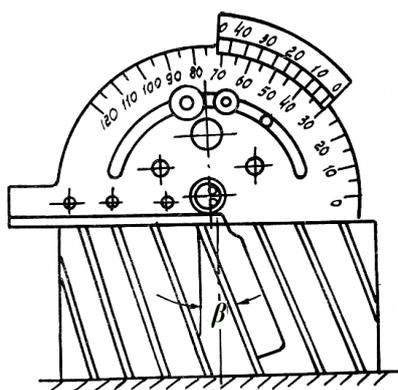
тангенциальном креплении они обладают наибольшей прочностью, а при наличии четырех режущих кромок – большей стойкостью.

Для отрезных работ с  $B = 2-6$  мм,  $h = 17-87$  мм этой же фирмой созданы фрезы диаметром 80–315 мм (рис. 113, д) со вставными пластинами специальной формы, разработанными для отрезных резцов. Крепление пластин в корпусе осуществляется за счет упругих деформаций стенок пазов и сил трения при установке их в клинообразных пазах.

Замена пластин при поломках или выкрашивании производится с помощью специального ключа (рис. 113, д). Специальная форма передней грани пластин обеспечивает хорошее дробление стружки, наименьшие силы резания и высокую надежность фрез.

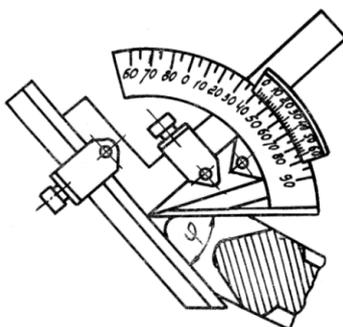
### **Контроль геометрических параметров**

Линейные размеры фрез измеряются штангенциркулем и микрометром. Измерение угла наклона спирали фрез  $\beta$  производится с помощью универсального угломера, как показано на рисунке 114.

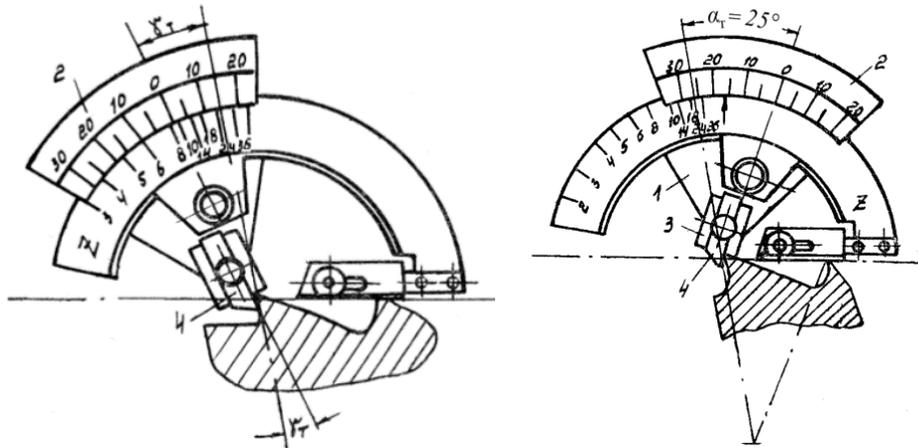


**Рисунок 114. – Измерение угла спирали  $\beta$  с помощью универсального угломера**

Измерение угла профиля  $\phi$  угловых фрез производится универсальным угломером (рис. 115).



**Рисунок 115. – Измерение угла профиля  $\phi$  с помощью универсального угломера УМ**



1 – основание, 2 – сектор, 3 – направляющая,  
4 – измерительная ножка, 5 – подвижная линейка

Рисунок 116. – Измерение переднего  $\gamma_T$  (а) и заднего  $\alpha_T$  (б) углов с помощью угломера УМ

Определение передних  $\gamma$  и задних  $\alpha$  углов в главной секущей плоскости производится в следующей последовательности: сначала измеряют передний  $\gamma_T$  и задний  $\alpha_T$  углы в торцевой плоскости фрезы при помощи угломера УМ, как показано на рисунке 116, а затем путем расчета определяют углы  $\gamma_T$  и  $\alpha_T$  по формулам:

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma_T \cos \beta;$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha_T}{\cos \beta}$$

## **Лабораторная работа № 3.1**

### **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФРЕЗЫ**

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции цилиндрической фрезы; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды цилиндрических фрез;
- особенности их конструкции;
- устройство инструментального угломера УМ.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальным угломером и измерять углы режущей части цилиндрической фрезы;
- вычерчивать конструкцию цилиндрической фрезы.

**Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект цилиндрических фрез;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер УМ.

**Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- идентифицировать и изучить заданную конструкцию цилиндрической фрезы;
- изучить конструкцию и принцип работы инструментального угломера УМ;
- измерить основные геометрические параметры режущей ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$ ) и хвостовой частей фрезы (длина, наружный диаметр и диаметр посадочного отверстия);
- выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

**Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип инструмента;
  - вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);

- вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);
  - вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
  - способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
  - материал режущей части.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
  - 4) измерить и указать на чертеже фрезы фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$ ;
  - 5) идентифицировать и дать реальное изображение формы цилиндрической фрезы.

**Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж цилиндрической фрезы с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

## **Лабораторная работа № 3.2**

### **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ УГЛОВОЙ ФРЕЗЫ**

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции угловой фрезы; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды угловых фрез;
- особенности их конструкции;
- устройство инструментального угломера УМ.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальным угломером и измерять углы режущей части угловой фрезы;
- вычерчивать конструкцию угловой фрезы.

#### **Используемое оборудование и оснастка**

- комплект угловых фрез;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер УМ.

#### **Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- идентифицировать и изучить заданную конструкцию угловой фрезы;
- изучить конструкцию и принцип работы инструментального угломера УМ;
- измерить основные геометрические параметры режущей ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$ ) и хвостовой частей фрезы (длина, наружный диаметр и диаметр посадочного отверстия);
- выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

#### **Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип инструмента;
  - вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);
  - вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);

- вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
  - способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
  - материал режущей части.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
  - 4) измерить и указать на чертеже фрезы фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$ ;
  - 5) идентифицировать и дать реальное изображение формы угловой фрезы.

**Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж угловой фрезы с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

### **Лабораторная работа № 3.3**

## **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТОРЦОВОЙ ФРЕЗЫ**

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции торцовой фрезы; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды торцовых фрез;
- особенности их конструкции;
- устройство инструментального угломера УМ, 3 УРИ-М.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальным угломером и измерять углы режущей части торцовой фрезы;
- вычерчивать конструкцию торцовой фрезы.

**Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект угловых фрез;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер УМ, 3 УРИ-М.

**Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- идентифицировать и изучить заданную конструкцию торцовой фрезы;
- изучить конструкцию и принцип работы инструментальных угломеров УМ, 3 УРИ-М;
- измерить основные геометрические параметры режущей части ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$ ) и корпуса фрезы (длина, наружный диаметр и диаметр посадочного отверстия);
- выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

**Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип инструмента;
  - вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);
  - вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);

- вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
  - способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
  - материал режущей части.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
  - 4) измерить и указать на чертеже фрезы фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$ ;
  - 5) идентифицировать и дать реальное изображение формы торцовой фрезы.

**Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж торцовой фрезы с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

## **Лабораторная работа № 3.4**

### **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ КОНЦЕВОЙ ФРЕЗЫ**

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции концевой фрезы; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды концевых фрез;
- особенности их конструкции;
- устройство инструментального угломера УМ, 3 УРИ-М.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальным угломером и измерять углы режущей части концевой фрезы;
- вычерчивать конструкцию концевой фрезы.

**Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект концевых фрез;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер УМ, 3 УРИ-М.

**Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- идентифицировать и изучить заданную конструкцию концевой фрезы;
- изучить конструкцию и принцип работы инструментальных угломеров УМ, 3 УРИ-М;
- измерить основные геометрические параметры режущей части ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ), корпуса и хвостовика фрезы (длина, наружный диаметр и диаметр посадочного отверстия);
- выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

**Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип инструмента;
  - вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);
  - вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);

- вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
  - способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
  - материал режущей части.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
  - 4) измерить и указать на чертеже фрезы фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ;
  - 5) идентифицировать и дать реальное изображение формы концевой фрезы.

**Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж концевой фрезы с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

## Лабораторная работа № 3.5

### ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ШПОНОЧНОЙ КОНЦЕВОЙ ФРЕЗЫ

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции шпоночной концевой фрезы; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды шпоночных концевых фрез;
- особенности их конструкции;
- устройство инструментального угломера УМ, 3 УРИ-М.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальным угломером и измерять углы режущей части шпоночной концевой фрезы;
- вычерчивать конструкцию шпоночной концевой фрезы.

**Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект шпоночных концевых фрез;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер УМ, 3 УРИ-М.

**Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- идентифицировать и изучить заданную конструкцию шпоночной концевой фрезы;
- изучить конструкцию и принцип работы инструментальных угломеров УМ, 3 УРИ-М;
- измерить основные геометрические параметры режущей части ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ), корпуса и хвостовика фрезы (длина, наружный диаметр и диаметр посадочного отверстия);
- выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

**Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип инструмента;
  - вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);

- вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);
  - вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
  - способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
  - материал режущей части.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
  - 4) измерить и указать на чертеже фрезы фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ;
  - 5) идентифицировать и дать реальное изображение формы шпоночной концевой фрезы.

**Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж шпоночной концевой фрезы с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

## **Лабораторная работа № 3.6**

### **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ДИСКОВОЙ ФРЕЗЫ**

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции дисковой фрезы; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды дисковых фрез;
- особенности их конструкции;
- устройство инструментального угломера УМ.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальным угломером и измерять углы режущей части дисковой фрезы;
- вычерчивать конструкцию дисковой фрезы.

**Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект дисковых фрез;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер УМ.

**Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- идентифицировать и изучить заданную конструкцию дисковой фрезы;
- изучить конструкцию и принцип работы инструментального угломера УМ;
- измерить основные геометрические параметры режущей ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ) и присоединительной частей фрезы (длина, наружный диаметр и диаметр посадочного отверстия);
- выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

**Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип инструмента;
  - вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);
  - вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);

- вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
  - способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
  - материал режущей части.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
  - 4) измерить и указать на чертеже фрезы фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ;
  - 5) идентифицировать и дать реальное изображение формы дисковой фрезы.

**Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж дисковой фрезы с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

## Лабораторная работа № 3.7

### ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ДИСКОВОЙ ОТРЕЗНОЙ ФРЕЗЫ

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции дисковой отрезной фрезы; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды дисковых отрезных фрез;
- особенности их конструкции;
- устройство инструментального угломера УМ.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальным угломером и измерять углы режущей части дисковой отрезной фрезы;
- вычерчивать конструкцию дисковой отрезной фрезы.

**Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект дисковых отрезных фрез;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер УМ.

**Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- идентифицировать и изучить заданную конструкцию дисковой отрезной фрезы;
- изучить конструкцию и принцип работы инструментального угломера УМ;
- измерить основные геометрические параметры режущей ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ) и присоединительной частей фрезы (длина, наружный диаметр и диаметр посадочного отверстия);
- выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

**Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип инструмента;
  - вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);

- вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);
  - вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
  - способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
  - материал режущей части.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
  - 4) измерить и указать на чертеже фрезы фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ;
  - 5) идентифицировать и дать реальное изображение формы дисковой отрезной фрезы.

**Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж дисковой отрезной фрезы с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

## Лабораторная работа № 3.8

### ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПАЗОВОЙ ФРЕЗЫ

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции пазовой фрезы; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды пазовых фрез;
- особенности их конструкции;
- устройство инструментального угломера УМ.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальным угломером и измерять углы режущей части пазовой фрезы;
- вычерчивать конструкцию пазовой фрезы.

**Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект пазовых фрез;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер УМ.

**Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- идентифицировать и изучить заданную конструкцию пазовой фрезы;
- изучить конструкцию и принцип работы инструментального угломера УМ;
- измерить основные геометрические параметры режущей части ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ), корпуса и хвостовика фрезы (длина, наружный диаметр и диаметр посадочного отверстия);
- выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

**Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип инструмента;
  - вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);
  - вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);

- вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
  - способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
  - материал режущей части.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
  - 4) измерить и указать на чертеже фрезы фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ;
  - 5) идентифицировать и дать реальное изображение формы пазовой фрезы.

**Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж пазовой фрезы с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

## **Лабораторная работа № 3.9**

### **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ МОДУЛЬНОЙ ФРЕЗЫ**

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции модульной фрезы; получить навыки работы с инструментальным угломером.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды модульных фрез;
- особенности их конструкции;
- устройство инструментального угломера УМ.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться инструментальным угломером и измерять углы режущей части модульной фрезы;
- вычерчивать конструкцию модульной фрезы.

**Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект модульных фрез;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- инструментальный угломер УМ.

**Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- идентифицировать и изучить заданную конструкцию модульной фрезы;
- изучить конструкцию и принцип работы инструментального угломера УМ;
- измерить основные геометрические параметры режущей части ( $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ), корпуса и хвостовика фрезы (длина, наружный диаметр и диаметр посадочного отверстия);
- выполнить чертеж инструмента с указанием формы заточки, геометрических размеров и основных технических требований.

**Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект режущего инструмента;
- 2) идентифицировать режущий инструмент с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип инструмента;
  - вид инструмента (цельный, сборный, комбинированный и т.п.);
  - вид соединения режущей и хвостовой частей (контактно-стыковая сварка, сварка трением и т.п.);

- вид материала режущего лезвия (быстрорежущий, твердосплавный и т.п.);
  - способ крепления режущего лезвия (механическое крепление, паяное и т.п.);
  - материал режущей части.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
  - 4) измерить и указать на чертеже фрезы фактические значения углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ;
  - 5) идентифицировать и дать реальное изображение формы модульной фрезы.

**Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж модульной фрезы с указанием формы заточки и геометрии режущего лезвия. Формат А4.

## 4. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

### Маркировка шлифовального круга

Шлифовальные круги характеризуются геометрической формой (типом), видом абразивного материала, его зернистостью, типом связки, твердостью и пр.

Полная маркировка шлифовальных кругов содержит:

- тип круга;
- его размеры;
- вид абразивного материала;
- номер зернистости;
- степень твердости;
- структуру (соотношение между абразивом, связкой и порами в теле инструмента);
- вид связки;
- максимальную скорость;
- класс точности;
- класс неуравновешенности.

Маркировка кругов, выполненная в соответствии с различными редакциями ГОСТов, имеет некоторые отличия, касающиеся обозначений зернистости, твердости, марки абразива и связки.

Таблица 11. – Маркировка шлифовального круга

| Тип | Размеры, мм | Абразив | Зернистость | Твердость | Структура | Связка | Скорость, м/с | Класс точности | Класс неуравновешенности |
|-----|-------------|---------|-------------|-----------|-----------|--------|---------------|----------------|--------------------------|
| 1   | 150x16x32   | 25А     | F46         | L         | 6         | V      | 35            | Б              | 3                        |

Далее приведены примеры расшифровки обозначений шлифовальных кругов.

Выбор марки шлифовального круга должен делаться с учетом всех его характеристик.

## Изображение шлифовального круга



## Маркировка шлифовального круга

Порядок размещения маркеров:

- 1 – абразивный материал: 25А – электрокорунд белый;
- 2 – зернистость (старая маркировка): 60 (по ГОСТу должно быть 63) – 800–630 мкм;
- 3 – твердость: К – среднемягкий;
- 4 – структура: 6 – средняя;
- 5 – связка: V – керамическая;
- 6 – класс неуравновешенности: 2



- 1 – абразивный материал: 25А – электрокорунд белый;
- 2 – зернистость (старая маркировка): 60 (по ГОСТу должно быть 63) – 800–630 мкм;
- 3 – твердость: K–L – в зависимости от обстоятельств может быть K или L – среднемягкий;
- 4 – связка: V – керамическая.

## Типы шлифовальных кругов и их размер

Типы шлифовальных кругов регламентированы ГОСТ 2424-83. Выпускаются следующие типы (рис. 117) шлифовальных кругов (в скобках даны обозначения по старому ГОСТ 2424-75):

- 1 (ПП) – прямого профиля;
- 2 (К) – кольцевой;
- 3 (ЗП) – конический;
- 4 (2П) – двухсторонний конический;
- 5 (ПВ) – с односторонней выточкой;
- 6 (ЧЦ) – чашечный цилиндрический;
- 7 (ПВД) – с двумя выточками;
- 9 – с двусторонней выточкой;
- 10 (ПВДС) – с двусторонней выточкой и ступицей;
- 11 (ЧК) – чашечный конический;
- 12 (Т) – тарельчатый;
- 13 – тарельчатый;
- 14 (1Т) – тарельчатый;

- 20 – с односторонней конической выточкой;
- 21 – с двусторонней конической выточкой;
- 22 – с конической выточкой с одной стороны и цилиндрической выточкой с другой;
- 23 (ПВК) – с конической и цилиндрической выточками с одной стороны;
- 24 – с конической и цилиндрической выточками с одной стороны и цилиндрической выточкой с другой;
- 25 – с конической и цилиндрической выточками с одной стороны и конической выточкой с другой;
- 26 (ПВДК) – с конической и цилиндрической выточками с обеих сторон;

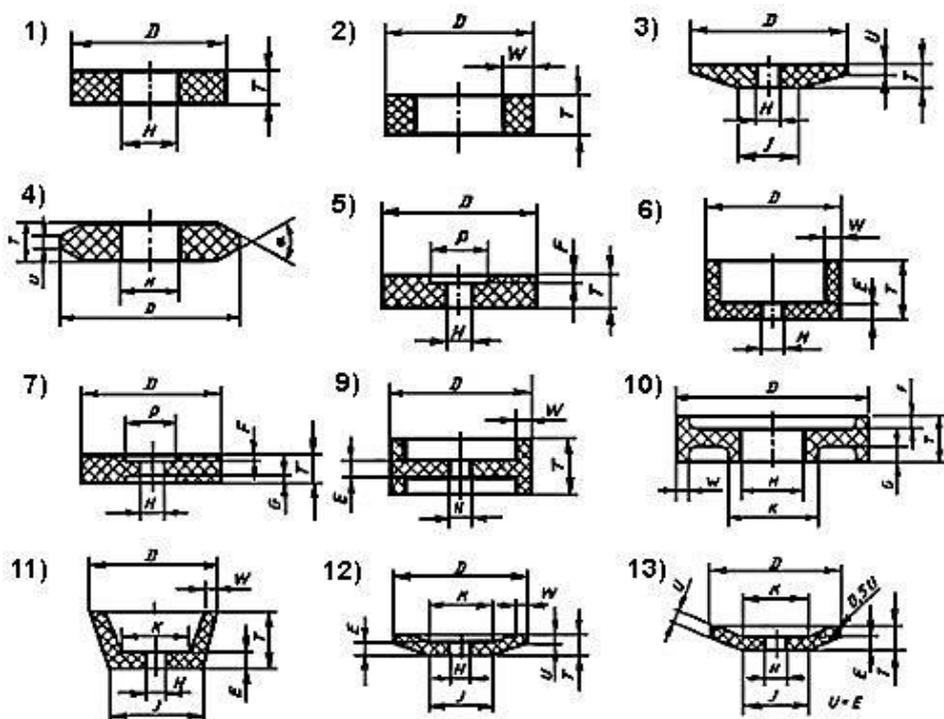


Рисунок 117. – Типы шлифовальных кругов

- 27 – с утопленным центром и упрочняющими элементами;
- 28 – с утопленным центром;
- 35 – прямого профиля, работающий торцом;
- 36 (ПН) – с запрессованными крепежными элементами;
- 37 – кольцевой с запрессованными крепежными элементами;
- 38 – с односторонней ступицей;
- 39 – с двусторонней ступицей.

Типы алмазных и эльборовых кругов регламентируются ГОСТ 24747-90. Маркировка формы эльборовых и алмазных кругов состоит из 3-х или 4-х сим-

волов, несущих информацию о форме сечения корпуса, форме сечения эльборосодержащего или алмазосодержащего слоя, о расположении последнего на круге, о конструктивных особенностях корпуса.

Кроме формы профиля, круги характеризуются размером  $D \times T \times H$ , где  $D$  – наружный диаметр,  $T$  – высота,  $H$  – диаметр отверстия.

### Обозначение алмазных или эльборовых шлифовальных кругов

Обозначение шлифовального круга с формой корпуса  $\beta$ , формой алмазосодержащего или эльборосодержащего слоя  $A$ , расположением алмазосодержащего или эльборосодержащего слоя  $2$ , конструктивными особенностями корпуса  $C$  (рис. 118).

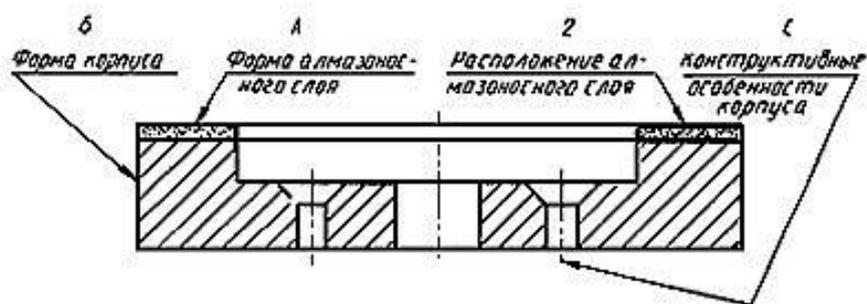


Рисунок 118. – Пример обозначения алмазного или эльборового шлифовального круга 6A2C

Все типы описаны в ГОСТ 24747-90 (рис. 119). Тип и размеры круга выбираются исходя из вида и конфигурации шлифуемых поверхностей, а также характеристики используемого оборудования или инструмента.

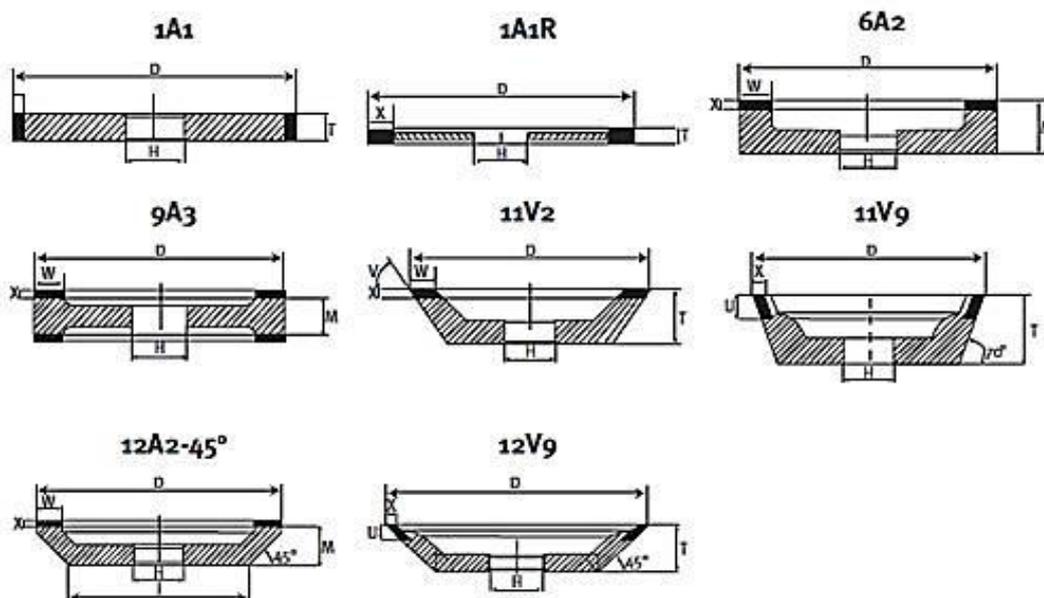


Рисунок 119. – Тип и обозначение некоторых алмазных кругов

## **Абразивы**

Наиболее часто используемыми абразивными материалами для шлифовальных кругов являются: электрокорунд, карбид кремния, эльбор, алмаз.

*Электрокорунд* выпускается следующих марок: белый – 22А, 23А, 24А, 25А (чем больше число, тем выше качество); нормальный – 12А, 13А, 14А, 15А, 16А; хромистый – 32А, 33А, 34А; титанистый – 37А; циркониевый – 38А и другие.

*Карбид кремния*. Выпускается две разновидности карбида кремния: черный – 52С, 53С, 54С, 55С и зеленый – 62С, 63С, 64С, отличающиеся друг от друга некоторыми механическими свойствами и цветом. Карбид зеленый по сравнению с карбидом черным более хрупок.

*Алмаз* широко используется для изготовления алмазных шлифовальных кругов, применяемых для доводки и заточки твердосплавного инструмента, обработки деталей из твердых сплавов, оптического стекла, керамики и пр. Он используется также для правки шлифовальных кругов из других абразивных материалов. При нагревании на воздухе до 800 °С алмаз начинает сгорать.

*Эльбор* (КНБ, СBN, боразон, кубонит) представляет собой кубическую модификацию нитрида бора. Имея такую же твердость, как алмаз, он значительно превосходит последний в термостойкости.

## **Зернистость**

Зернистость абразива – характеристика шлифовальных кругов, определяющая чистоту получаемой поверхности. Зерно представляет собой либо сrostки кристаллов, либо отдельный кристалл, либо его осколки. Как и все твердые тела, оно характеризуется тремя размерами (длиной, шириной и толщиной), однако для простоты оперируют одним – шириной. От величины зерна зависит множество параметров – количество снимаемого за один проход металла, чистота обработки, производительность шлифования, изнашиваемость круга и пр.

По ГОСТ 3647-80 в обозначении зернистости шлифовальных кругов размер зерна обозначается в единицах, равных 10 мкм (20 = 200 мкм), для микропорошков – в мкм с добавлением буквы М.

В новом ГОСТ Р 52381-2005, в основном соответствующем международному стандарту FEPA, зернистость шлифпорошков обозначается буквой F с числом. Чем больше число, тем мельче зерно и наоборот.

Алмазные и эльборовые круги имеют свои обозначения размера зерна. Их зернистость обозначают дробью, значение числителя которой соответствует величине стороны верхнего сита в мкм, а знаменателя – величине стороны нижнего сита.

В таблице ниже приведены соотношения зернистости шлифовальных кругов по старым и действующим стандартам.

Таблица 12. – Соотношения зернистости шлифовальных кругов

| Обозначение по ГОСТ 3647-80 | Обозначение по ГОСТ 9206-80 (алмазные порошки) | Размер, мкм | FEPA  |                     |
|-----------------------------|--|-------------|---|---------------------|
|                             |  |             | Обозначение для абразивных материалов, включая материалы на гибкой основе | Средний размер, мкм |
|                             |  |             | F 4   | 4890                |
|                             |  |             | F 5   | 4125                |
|                             |  |             | F 6   | 3460                |
|                             |  |             | F 7   | 2900                |
| 200                         | 2500/2000                                      | 2500–2000   | F 8   | 2460                |
|                             |  |             | F 10  | 2085                |
| 160                         | 2000/1600                                      | 2000–1600   | F 12  | 1765                |
| 125                         | 1600/1250                                      | 1600–1250   | F 14  | 1470                |
| 100                         | 1250/1000                                      | 1250–1000   | F 16  | 1230                |
|                             |  |             | F 20  | 1040                |
| 80                          | 1000/800                                       | 1000–800    | F 22  | 885                 |
| 63                          | 800/630  | 800–630     | F 24  | 745                 |
| 50                          | 630/500  | 630–500     | F 30  | 625                 |
|                             |  |             | F 36  | 525                 |
| 40                          | 500/400  | 500–400     | F 40  | 438                 |
| 32                          | 400/315  | 400–315     | F 46  | 370                 |
| 25                          | 315/250  | 315–250     | F 54  | 310                 |
|                             |  |             | F 60  | 260                 |
| 20                          | 250/200  | 250–200     | F 70  | 218                 |
| 16                          | 200/160  | 200–160     | F 80  | 185                 |
| 12                          | 160/125  | 160–125     | F 90  | 154                 |
|                             |  |             | F 100   | 129                 |
| 10                          | 125/100  | 125–100     | F 120   | 109                 |
| 8                           | 100/80   | 100–80      | F 150   | 82                  |
|                             |  |             |   |                     |
| 6                           | 80/63  | 80–63       | F 180   | 69                  |
| 5, M63                      | 63/50  | 63–50       | F 220   | 58                  |
|                             |  |             | F 230   | 53                  |
| 4, M50                      | 50/40  | 50–40       | F 240   | 44,5                |
|                             |  |             |   |                     |
| M40                         | 40/28  | 40–28       | F 280   | 36,5                |
|                             |  |             | F 320   | 29,2                |
| M28                         | 28/20  | 28–20       | F 360   | 22,8                |
|                             |  |             |   |                     |
| M20                         | 20/14  | 20–14       | F 400   | 17,3                |
|                             |  |             |   |                     |
| M14                         | 14/10  | 14–10       | F 500   | 12,8                |
|                             |  |             |   |                     |
| M7                          | 10/7   | 10–7        | F 600   | 9,3                 |
| M5                          | 7/5  | 7–5         | F 800   | 6,5                 |
|                             |  |             |   |                     |

Продолжение таблицы 12

|    |         |         |        |     |
|----|---------|---------|--------|-----|
| МЗ | 5/3     | 5–3     | F 1000 | 4,5 |
|    | 3/2     | 3–2     | F 1200 | 3,0 |
|    | 2/1     | 2–1     | F 1500 | 2,0 |
|    |         |         | F 2000 | 1,2 |
|    | 1/0     | 1 и <   |        |     |
|    | 1/0,5   | 1–0,5   |        |     |
|    | 0,5/0,1 | 0,5–0,1 |        |     |
|    | 0,5/0   | 0,5 и < |        |     |
|    | 0,3/0   | 0,3 и < |        |     |
|    | 0,1/0   | 0,1 и < |        |     |

Выбор зернистости круга должен обуславливаться целым рядом факторов – видом обрабатываемого материала, требуемой шероховатостью поверхности, величиной снимаемого припуска и пр.

**Твердость шлифовальных кругов**

Твердость шлифовального круга нельзя путать с твердостью абразивного материала. Твердость шлифовального круга характеризует способность связки удерживать абразивные зерна от их вырывания под воздействием обрабатываемого материала. Она зависит от многих факторов: качество связки, вид и форма абразива, технология изготовления круга. По твердости круги подразделяют на 8 групп.

Таблица 13. – Группы твердости шлифовальных кругов

| Наименование        | Обозначение по ГОСТ 19202-80 | Обозначение по ГОСТ Р 52587-2006 |
|---------------------|------------------------------|----------------------------------|
| Весьма мягкий       | ВМ1, ВМ2                     | F, G                             |
| Мягкий              | М1, М2, М3                   | H, I, J                          |
| Среднемягкий        | СМ1, СМ2                     | K, L                             |
| Средний             | С1, С2                       | M, N                             |
| Среднетвердый       | СТ1, СТ2, СТ3                | O, P, Q                          |
| Твердый             | T1, T2                       | R, S                             |
| Весьма твердый      | ВТ                           | T, U                             |
| Чрезвычайно твердый | ЧТ                           | V, W, X, Y, Z                    |

Выбор твердости шлифовального круга зависит от вида шлифования, точности и формы шлифуемых деталей, физико-механических свойств обрабатываемого материала, типа инструмента и оборудования.

**Структура**

Под структурой инструмента обычно понимается процентное соотношение объема абразивного материала в единице объема инструмента. Чем больше абразивного зерна в единице объема круга, тем плотнее струк-

тура инструмента. Структура абразивного инструмента влияет на величину свободного пространства между зернами.

Таблица 14. – Структура абразивного инструмента

| Структура      | Обозначение |
|----------------|-------------|
| Плотная        | 1, 2, 3, 4  |
| Средняя        | 5, 6, 7     |
| Открытая       | 8, 9, 10    |
| Высокопористая | 11, 12      |

### **Связка**

При изготовлении шлифовальных кругов абразивные зерна скрепляются с основой и друг другом при помощи связки. Наиболее широко применяемые связки: керамическая, бакелитовая и вулканитовая.

*Керамическая связка* изготавливается из неорганических веществ – глины, кварца, полевого шпата и ряда других путем их измельчения и смешивания в определенных пропорциях. Маркировка шлифовальных кругов с керамической связкой содержит букву V. Старое обозначение – К.

*Керамическая связка* придает абразивному инструменту жесткость, теплостойкость, устойчивость формы, но одновременно и повышенную хрупкость, вследствие чего круги с керамической связкой нежелательно применять при ударной нагрузке, например при обдирочном шлифовании.

*Бакелитовая связка* в основном состоит из искусственной смолы – бакелита. Маркировка кругов с бакелитом имеет в обозначении латинскую букву В. Старое обозначение – Б. В сравнении с керамической, бакелитовая связка обладает большей упругостью и эластичностью, меньше нагревает обрабатываемый металл, однако имеет меньшую химическую и температурную стойкость, худшую кромкостойкость. Бакелитовая связка может быть с упрочняющими элементами (ВF, старое обозначение – БУ), с графитовым наполнителем (В4, старое обозначение – Б4).

*Вулканитовая связка* – это подвергнутый вулканизации синтетический каучук. Маркировка абразивного круга имеет букву R. Старое обозначение – В.

### **Класс точности**

Точность размеров и геометрической формы абразивных инструментов обуславливается тремя классами – АА, А и Б. Для менее ответственных операций абразивной обработки применяют инструмент класса Б. Более точным и качественным является инструмент класса А. Для работы

на автоматических линиях, на высокоточных и многокруговых станках применяется высокоточный инструмент АА. Он отличается более высокой точностью геометрических параметров, однородностью зернового состава, уравновешенностью абразивной массы и изготавливается из лучших сортов шлифовальных материалов.

### **Класс неуравновешенности**

Класс неуравновешенности шлифовального круга характеризует неуравновешенность массы круга, которая зависит от точности геометрической формы, равномерности размешивания абразивной массы, качества прессования и термообработки инструмента в процессе его изготовления. Установлено четыре класса допускаемой неуравновешенности массы кругов: 1, 2, 3, 4.

## **Лабораторная работа № 4.1**

### **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА**

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции шлифовальных кругов общего назначения; получить навыки работы с универсальным измерительным инструментом.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды и типы шлифовальных кругов;
- особенности их конструкции;
- расшифровку обозначения круга;
- устройство и принцип работы универсального микроскопа.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться универсальным микроскопом и измерять основные контрольные параметры шлифовального круга;
- вычерчивать конструкцию шлифовального круга.

**Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект шлифовальных кругов;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- универсальный микроскоп.

**Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- идентифицировать и изучить заданную конструкцию шлифовального круга;
- изучить конструкцию и принцип работы универсального микроскопа;
- измерить основные геометрические параметры режущей и присоединительной частей шлифовального круга;
- измерить и проверить на соответствие заявленной зернистости и структуре шлифовального круга;
- выполнить чертеж шлифовального круга с указанием стандартного обозначения.

**Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект шлифовальных кругов;
- 2) идентифицировать шлифовальный круг с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип круга;
  - его размеры;

- вид абразивного материала;
  - номер зернистости;
  - степень твердости;
  - структура (соотношение между абразивом, связкой и порами в теле инструмента);
  - вид связки;
  - максимальная скорость;
  - класс точности;
  - класс неуравновешенности.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
  - 4) измерить и проверить на соответствие заявленной зернистости и структуре шлифовального круга.

**Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж шлифовального круга с расшифровкой обозначения. Формат А4.

## **Лабораторная работа № 4.2**

### **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ**

### **АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА**

**Цель выполнения работы** – изучить конструкции алмазных шлифовальных кругов общего назначения; получить навыки работы с универсальным измерительным инструментом.

В результате выполнения работы учащийся *должен знать*:

- виды и типы алмазных шлифовальных кругов;
- особенности их конструкции;
- расшифровку обозначения круга;
- устройство и принцип работы универсального микроскопа.

В результате выполнения работы учащийся *должен уметь*:

- пользоваться универсальным микроскопом и измерять основные контрольные параметры алмазного шлифовального круга;
- вычерчивать конструкцию алмазного шлифовального круга.

**Используемое оборудование и оснастка:**

- комплект алмазных шлифовальных кругов;
- штангенциркуль ШЦ-1;
- универсальный микроскоп.

**Индивидуальное задание**

Индивидуальное задание выполняется с максимальным использованием интернет-ресурсов. В процессе выполнения индивидуального задания следует:

- идентифицировать и изучить заданную конструкцию алмазного шлифовального круга;
- изучить конструкцию и принцип работы универсального микроскопа;
- измерить основные геометрические параметры режущей и присоединительной частей алмазного шлифовального круга;
- измерить и проверить на соответствие заявленной зернистости и структуре алмазного шлифовального круга;
- выполнить чертеж алмазного шлифовального круга с указанием стандартного обозначения.

**Порядок выполнения работы:**

- 1) получить комплект алмазных шлифовальных кругов;
- 2) идентифицировать алмазный шлифовальный круг с использованием справочной и другой нормативной литературы по схеме:
  - тип круга;

- его размеры;
  - вид абразивного материала;
  - номер зернистости;
  - степень твердости;
  - структура (соотношение между абразивом, связкой и порами в теле инструмента);
  - вид связки;
  - максимальная скорость;
  - класс точности;
  - класс неуравновешенности.
- 3) измерить габаритные размеры инструмента;
- 4) измерить и проверить на соответствие заявленной зернистости и структуре алмазного шлифовального круга.

#### **5. Содержание отчета:**

- 1) индивидуальное задание с изображением и описанием исследуемого инструмента;
- 2) необходимые и достаточные для идентификации исследуемого инструмента сведения из литературных и других источников;
- 3) чертеж алмазного шлифовального круга с расшифровкой обозначения. Формат А4.

## 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

### Лабораторная работа № 5.1 РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Последовательность расчета и проектирования токарного резца*

Исходными данными для расчета токарного резца является информация об условиях его эксплуатации, а именно:

- материал обрабатываемой заготовки;
- вид обработки (чистовая, черновая);
- схема установки резца в резцедержателе (величина вылета);
- условия резания (глубина резания).

Последовательность расчета включает выполнение следующих этапов:

- 1) выбор материала режущей части резца;
- 2) выбор конструктивного исполнения резца;
- 3) выбор оптимальных режимов резания;
- 4) расчет силы резания;
- 5) выбор профиля сечения корпуса резца (прямоугольный, квадратный, круглый);
- 6) выбор способа расположения режущей кромки (прямой, отогнутый);
- 7) расчет поперечного сечения корпуса резца;
- 8) проверочный расчет корпуса резца на жесткость;
- 9) анализ расчетных данных и принятия решения о работоспособности резца;
- 10) мероприятия по улучшению работоспособности резца (в случае невыполнения условий 8 этапа);
- 11) повторный расчет с выходом на положительное решение;
- 12) выбор формы и размера пластин;
- 13) назначение геометрических параметров режущего лезвия и формы заточки резца;
- 14) назначение технических условий на резец.

*Материал режущей части резца*

Материал режущей части резца выбирается в соответствии с общеизвестными рекомендациями исходя из свойств обрабатываемого материала и требований к обработанной поверхности. Корпуса и вспомогательные элементы изготавливают из сталей 45, 50, 40Х, 45Х, У8, У10, подвергая их, при необходимости, улучшению или закалке.

Таблица 15. – Выбор марки режущей части резца при различных видах точения

| Виды и характер обработки   | Марка твердого сплава при обработке |                     |                       |              |
|---|-------------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------|
|   | углерод. и легир. стали             | корр. стойкие стали | цветные мет. и сплавы | чугуны       |
| Черновое точение по корке при неравномерном сечении среза (с ударами)           | T5K10<br>BK8                        | T5K12<br>BK8        | BK4<br>BK6            | BK4<br>BK8   |
| Черновое точение по корке при неравномерном сечении среза и непрерывном резании | T14K8<br>T5K10                      | BK4<br>BK8          | BK4<br>BK6            | BK4<br>BK8   |
| Черновое точение по корке при равномерном сечении среза и непрерывном резании   | T15K6<br>T14K8                      | BK4<br>BK6M         | BK3<br>BK4            | BK3<br>BK6M  |
| Получистовое и чистовое точение при прерывистом резании                         | T15K6<br>T5K10                      | BK4<br>BK8          | BK3M<br>BK4           | BK6M         |
| Точное точение при прерывистом резании  | T30K4<br>T15K6                      | BK6M                | BK3M<br>BK4           | BK6M<br>BK3  |
| Точное точение при непрерывном резании  | T30K4                               | BK6M<br>BK3M        | BK3<br>BK3M           | BK6M<br>BK3M |
| Отрезка и прорезка канавок  | T15K6<br>T5K10                      | BK6M<br>BK4         | BK3<br>BK4            | BK6M<br>BK3  |

#### *Обоснование конструктивного исполнения резца*

При выборе и обосновании конструктивного исполнения резца решается вопрос о способе крепления рабочей части к корпусу:

- цельные;
- сварные;
- паяные;
- клееные;
- с механическим креплением пластин;
- с креплением пластин силами резания.

В последних случаях выбирается способ крепления и его конструктивное оформление.

#### *Назначение режимов резания*

Режимы резания назначают по нормативным таблицам в зависимости от вида обработки, материала режущей части резца и глубины резания. В результате анализа назначают величину станочной подачи  $S$  и значение скорости резания  $v$ .

Таблица 16. – Скорость резания (м/мин) при черновом точении заготовок из конструкционных углеродистых сталей быстрорежущими резцами

| Глубина резания, мм | Подача, мм/об |     |     |     |     |     |     |
|---------------------|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                     | 0,3           | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,5 |
| 3                   | 56            | 40  | 36  | 30  | 26  | -   | -   |
| 4                   | 52            | 38  | 33  | 28  | 24  | 21  | -   |
| 6                   | 47            | 34  | 30  | 25  | 21  | 19  | 16  |
| 8                   | -             | 31  | 28  | 23  | 20  | 18  | 15  |
| 10                  | -             | -   | 26  | 22  | 19  | 17  | 14  |
| 12                  | -             | -   | -   | 21  | 18  | 16  | 14  |

Таблица 17. – Скорость резания (м/мин) при черновом точении заготовок из сталей резцами из твердого сплава Т15К6

| Глубина резания, мм | Подача, мм/об |     |     |     |     |
|---------------------|---------------|-----|-----|-----|-----|
|                     | 1,0           | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 |
| 3                   | 125           | 111 | 101 | 95  | 90  |
| 4                   | 120           | 106 | 97  | 91  | 80  |
| 5                   | 116           | 103 | 94  | 88  | -   |

Таблица 18. – Скорость резания (м/мин) при черновом точении заготовок из чугуна резцами из твердого сплава ВК6

| Глубина резания, мм | Подача, мм/об |     |     |     |     |
|---------------------|---------------|-----|-----|-----|-----|
|                     | 1,0           | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 |
| 3                   | 100           | 86  | 76  | 69  | 64  |
| 4                   | 94            | 80  | 71  | 65  | 61  |
| 5                   | 91            | 78  | 68  | 63  | -   |

Таблица 19. – Скорость резания (м/мин) при чистовом точении заготовок из сталей резцами из твердого сплава Т15К6

| Глубина резания, мм | Подача, мм/об |      |      |      |      |      |
|---------------------|---------------|------|------|------|------|------|
|                     | 0,15          | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 |
| 1,0                 | 270           | 235  | 222  | -    | -    | -    |
| 1,5                 | 253           | 220  | 208  | 199  | -    | -    |
| 2,0                 | 244           | 211  | 199  | 191  | 176  | 166  |

Таблица 20. – Скорость резания (м/мин) при чистовом точении заготовок из чугуна резцами из твердого сплава ВК6

| Глубина резания, мм | Подача, мм/об |      |      |      |      |      |
|---------------------|---------------|------|------|------|------|------|
|                     | 0,15          | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 |
| 1,0                 | 187           | 176  | 162  | -    | -    | -    |
| 1,5                 | 175           | 165  | 152  | 144  | -    | -    |
| 2,0                 | 168           | 158  | 145  | 138  | 127  | 118  |

### *Расчет силы резания*

Силу резания принято раскладывать на составляющие силы, направленные по осям координат станка (тангенциальную  $P_z$ , радиальную  $P_y$  и осевую  $P_x$ ). При наружном продольном и поперечном точении, растачивании, отрезании, прорезании пазов и фасонном точении эти составляющие рассчитывают по формуле

$$P_{z,y,x} = 10C_p t^x S^y v^n$$

При отрезании, прорезании и фасонном точении  $t$  – длина лезвия резца. Постоянная  $C_p$  и показатели степени  $x$ ,  $y$ ,  $n$  для конкретных (расчетных) условий обработки для каждой из составляющих силы резания приведены в таблице 21.

Таблица 21. – Значения параметров в формуле для расчета силы резания

| Обраб. материал | Мат. резца | Вид обработки                         | Коэффициент и показатели степени в формулах для составляющих |     |      |       |       |     |     |      |       |     |      |      |
|-----------------|------------|---------------------------------------|--|-----|------|-------|-------|-----|-----|------|-------|-----|------|------|
|                 |            |                                       | $P_z$  |     |      |       | $P_y$ |     |     |      | $P_x$ |     |      |      |
|                 |            |                                       | $C_p$  | $x$ | $y$  | $n$   | $C_p$ | $x$ | $y$ | $n$  | $C_p$ | $x$ | $y$  | $n$  |
| Кон. сталь      | Тв. сплав  | Нар. прод. и поп. точение и растачив. | 300  | 1,0 | 0,75 | -0,15 | 243   | 0,9 | 0,6 | -0,3 | 339   | 1,0 | 0,5  | -0,4 |
|                 |            | Отрезание                             | 384  | 0,9 | 0,9  |       | 335   | 0,6 | 0,8 |      | 241   | 1,0 | 0,2  |      |
|                 | Быс. сталь | Нар. прод. и поп. точение и растачив. | 200  | 1,0 | 0,75 | 0     | 125   | 0,9 | 0,8 | 0    | 67    | 1,2 | 0,65 | 0    |
|                 |            | Отрезание                             | 247  |     | 1,0  |       | -     | -   | -   | -    | -     | -   | -    | -    |
| Чугун           | Тв. сплав  | Нар. прод. и поп. точение и растачив. | 92   | 1,0 | 0,75 | 0     | 54    | 0,9 | 0,8 | 0    | 46    | 1,0 | 0,4  | 0    |
|                 | Быс. сталь | Отрезание                             | 158  | 1,0 | 1,0  | 0     | -     | -   | -   | -    | -     | -   | -    | -    |
| Мед. сплавы     | Быс. сталь | Нар. прод. и поп. точение и растачив. | 55   | 1,0 | 0,66 | 0     | -     | -   | -   | -    | -     | -   | -    | -    |
|                 |            | Отрезание                             | 75   |     | 1,0  |       | -     | -   | -   | -    | -     | -   | -    |      |
| Ал. сплавы      | Быс. сталь | Нар. прод. и поп. точение и растачив. | 40   | 1,0 | 0,75 | 0     | -     | -   | -   | -    | -     | -   | -    | -    |
|                 |            | Отрезание                             | 50   |     | 1,0  |       | -     | -   | -   | -    | -     | -   | -    |      |

### *Выбор формы поперечного сечения корпуса резца*

Форма поперечного сечения корпуса зависит от назначения резца.

– прямоугольную форму с отношением высоты к ширине  $H / B = 1,6$  имеют чистовые и получистовые резцы, с отношением  $H / B = 1,25$  – черновые резцы;

– квадратная форма – у автоматных и расточных резцов; резцов, оснащаемых многогранными неплетачиваемыми пластинками твердого сплава;

– круглая форма – у расточных и резьбовых резцов;

– трапецеидальная форма – у резцовых вставок для автоматических линий и агрегатных станков.

### *Расчет размеров поперечного сечения корпуса*

Размеры поперечного сечения корпуса зависят от характера нагрузок и назначения резца. Критическое поперечное сечение задается в зоне крепления резца в резцедержателе станка.

При точении с большими припусками необходимо рассчитать корпус на прочность. Рассматривая резец как заземленную балку с вылетом  $l$ , нагруженную главной составляющей силы резания  $P_z$ , легко получить для корпусов прямых резцов прямоугольного сечения:

$$BH^2 = \frac{6P_z \cdot l}{\sigma_{\text{и}}},$$

для  $H = 1,6B$  имеем:

$$B = \sqrt[3]{\frac{2,3P_z \cdot l}{\sigma_{\text{и}}}},$$

где  $\sigma_{\text{и}}$  – допускаемое напряжение на изгиб материала державки.

При работе отогнутых резцов условная точка приложения силы резания значительно смещена относительно оси симметрии корпуса, и расчет на прочность необходимо вести для случая одновременного действия изгибающих сил и кручения. В этом случае расчетная формула для прямоугольного сечения державки резца имеет следующий вид:

$$BH = \frac{P_z \sqrt{225q^2 - 147q + 96}}{[\sigma]_{\text{в}}},$$

где  $q = l / H$  – относительный вылет;

$[\sigma]_{\text{в}}$  – допускаемое напряжение на растяжение материала корпуса.

Проверочный расчет корпуса на жесткость выполняется для инструментов с малыми сечениями и большим вылетом (отрезных, расточных). Стрела прогиба не должна превышать 0,1 мм при черновой и 0,02 мм при чистовой обработке и находится следующим образом:

$$f = \frac{P_z \cdot l^3}{3EI},$$

где  $E = 200\text{--}220$  ГПа – модуль упругости материала корпуса;

$I$  – момент инерции державки.

*Выбор формы пластин*

Форма режущей части резцов с напайными или клееными пластинами зависит от назначения резца, формы и размеров пластин, которые в подавляющем большинстве случаев стандартизованы.

Размеры и назначение пластин из быстрорежущих сталей оговорены в ГОСТ 2379-77, а из твердого сплава – в ГОСТ 25393-82.

Пластины характеризуются длиной  $l$ , шириной  $b$  и толщиной  $S$ . Длина  $l$  определяет длину режущей кромки и зависит от глубины резания и главного угла в плане:

$$l = (1,5\text{--}2)t / \sin \varphi$$

Толщина  $S$  влияет на прочность пластины и количество переточек по передней поверхности. Обычно она выбирается в зависимости от высоты державки резца:

$$S = (0,18\text{--}0,25)H.$$

Ширина  $b$  определяет количество переточек по задней поверхности и площадь опоры пластины. На ее увеличение накладывают ограничения габариты корпуса и возможное увеличение остаточных напряжений при пайке или склеивании. Ширина пластины:

$$b = (1,2\text{--}2,8)S.$$

Следует иметь в виду, что наиболее целесообразное расположение пластины – вдоль задней поверхности или под некоторым острым углом к ней. В этом случае увеличиваются предельно допустимые подачи, количество переточек, снижается вероятность поломки пластины.

Форма неперетачиваемых пластин выбирается в зависимости от формы обрабатываемой поверхности, их длина и толщина – в соответствии со стандартами.

Следует помнить, что длина пластины обычно больше или равна удвоенной эффективной длине режущей кромки  $l_{\text{эф}} = t / \sin \varphi$ . В соответствии с режущими пластинами выбирают также опорные пластины и стружколомы.

*Назначение геометрических параметров резца*

Геометрия режущей кромки регламентирована ГОСТом. Значения основных геометрических параметров режущей части резцов приведены в ГОСТах.

Главный угол резца в плане  $\varphi$  выбирается в зависимости от условий обработки и формы обрабатываемой поверхности детали.

Вспомогательный угол в плане  $\phi_1$  напайных резцов зависит от условий обработки. У неперетачиваемых пластин  $\phi_1 = 180^\circ - \phi - \epsilon$ , где  $\epsilon$  – угол при вершине пластины, определяемый ее формой.

Передний  $\gamma$  и задний углы  $\alpha$  определяются свойствами обрабатываемого материала и конструктивным исполнением резца.

Таблица 22. – Форма заточки режущего лезвия резцов с пластинками из быстрорежущей стали

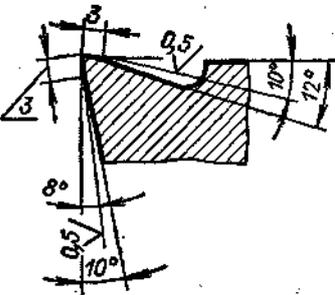
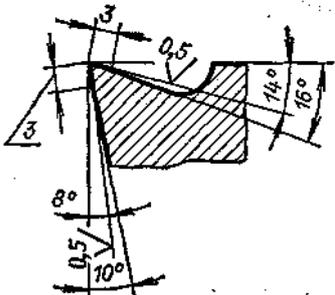
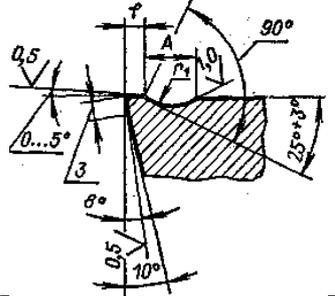
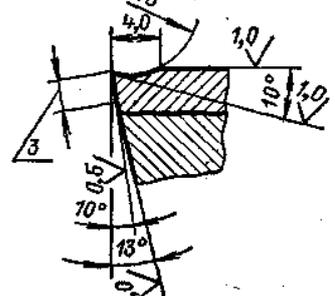
| Форма заточки |  |   | Область применения   |
|---------------|--|---|--|
| Номер         | Передняя поверхность                   | Эскиз   |  |
| I             | Плоская с положительным передним углом |   | Обработка стали, серого чугуна, бронзы и других хрупких материалов |
| II            | Плоская с положительным передним углом |  | Обработка мягких сталей и чугунов                                  |
| III           | Криволинейная с фаской                 |  | Обработка мягких сталей, вязких цветных металлов и легких сплавов  |
| IV            | Криволинейная                          |  | Обработка прочных сталей и сплавов                                 |

Таблица 23. – Форма заточки резцов, оснащенных пластинками из твердого сплава

| Форма заточки |  |       | Область применения  |
|---------------|--|-------|---|
| Номер         | Передняя поверхность                   | Эскиз |   |
| 1             | 2                                      | 3     | 4   |
| I             | Плоская с положительным передним углом |       | Обработка серого чугуна, бронзы и др. хрупких материалов        |
| II            | Плоская с отрицательной фаской         |       | Обработка ковкого чугуна, стали и стального литья               |
| III           | Криволинейная с отрицательной фаской   |       | Обработка мягких сталей   |
| IV            | Плоская с отрицательным передним углом |       | Черновая обработка стали и стального литья при работе с ударами |

Продолжение таблицы 23

| 1   | 2                                      | 3 | 4                                    |
|-----|--|---|--------------------------------------|
| V   | Криволинейная с отрицательной фаской   |   | Обработка нержавеющей сталей         |
| VI  | Криволинейная с отрицательной фаской   |   | Обработка твердых хрупких материалов |
| VII | Плоская с отрицательным передним углом |   | Обработка сверхтвердых материалов    |

Назначение технических условий на резец производится с учетом соответствующих стандартов.

Технические условия должны включать следующие требования:

- шероховатость поверхностей режущей части резца;
- шероховатость опорной поверхности державок резцов;
- форма заточки передней поверхности – в соответствии с нормативами;
- технические требования по ГОСТ 5688-91;
- марки твердого сплава, форма и размеры пластинок, химический состав, физико-механические свойства, твердость сплава должны соответствовать требованиям ГОСТ 18868-73, ГОСТ 18876-73, ГОСТ 18884-73;
- материал державки;
- материал режущей части;
- доводка передней и задней поверхностей производится вдоль главной режущей кромки и по радиусу.

## **Лабораторная работа № 5.2**

### **РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ**

*Последовательность расчета и проектирования спирального сверла*

Методика расчета и проектирования спирального сверла является основой расчета таких осевых инструментов, как хвостовой зенкер, машинная развертка. Исходными данными для расчета спирального сверла является информация об условиях его эксплуатации. А именно:

- материал обрабатываемой заготовки;
- схема установки сверла в сверлильном патроне (величина вылета);
- условия резания (сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание).

Последовательность расчета включает выполнение следующих этапов:

- 1) выбор материала режущей части сверла;
- 2) выбор конструктивного исполнения сверла;
- 3) выбор геометрических параметров сверла;
- 4) выбор формы заточки сверла;
- 5) выбор конструктивных элементов рабочей и присоединительной частей сверла;
- 6) выбор оптимальных режимов резания;
- 7) расчет силы резания и крутящего момента;
- 8) проверочный расчет сверла на прочность и жесткость;
- 9) анализ расчетных данных и принятие решения о работоспособности сверла;
- 10) мероприятия по улучшению работоспособности сверла (в случае невыполнения условий 8 этапа);
- 11) повторный расчет с выходом на положительное решение;
- 12) назначение технических условий на сверло.

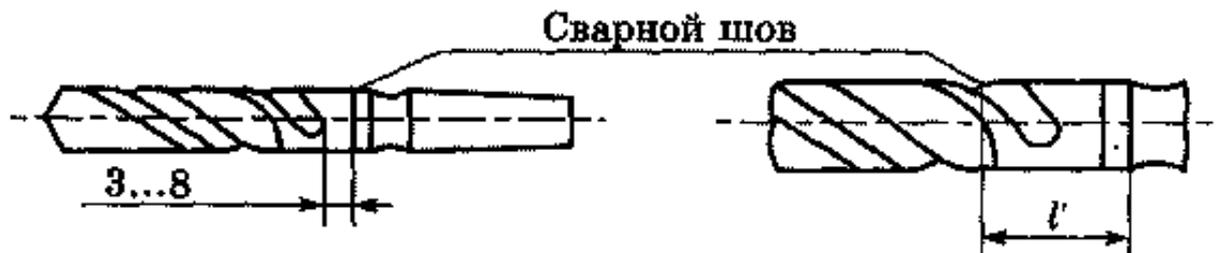
*Инструментальные материалы*

Рабочая часть сверла изготавливается из различных марок быстрорежущих сталей (Р6М5) и твердых сплавов (ВК6, Т15К6), выбор которых может быть осуществлен в соответствии с общепринятыми рекомендациями. Присоединительная часть (хвостовик) для сверл диаметром свыше 8 мм изготавливается из сталей 45 или 40Х и приваривается к рабочей части. Твердость рабочей части сверл составляет 62–65 НВС<sub>3</sub>, хвостовика – 40–50

*HBC*<sub>3</sub>. Твердосплавные пластины припаиваются, приклеиваются к корпусу или крепятся механически.

*Выбор конструктивного исполнения*

Сверло может иметь несколько конструктивных исполнений: цельное, сварное и сборное. Положение сварного шва показано на рисунке 120 и определяется размером  $l'$ , значение которого выбираются из нормативов.



**Рисунок 120.** – Положение сварочного шва на теле сверла

*Геометрические параметры сверл*

Геометрия сверл определяется в соответствии с требованиями нормативов.

Задний угол  $\alpha$  и угол наклона винтовой канавки  $\omega$  зависят от диаметра сверла и могут быть найдены из следующих соотношений:

$$\alpha = \alpha_T \left( \frac{3,33}{d + 3,25} + 0,79 \right);$$

$$\omega = \omega_T \left( 1,1 - \frac{1,624}{d + 3,5} \right).$$

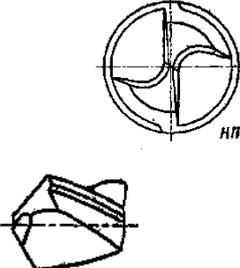
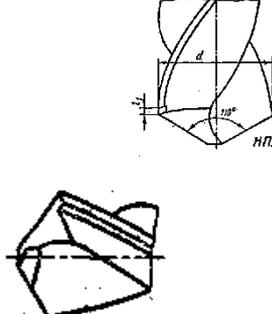
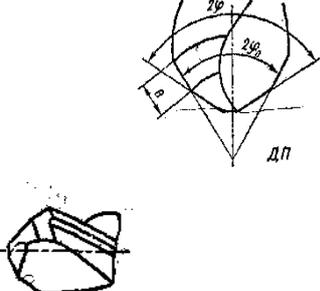
Расчетные значения  $\alpha$  и  $\omega$  округляются до ближайшего целого числа. Угол наклона поперечной кромки  $\psi$  сверл диаметром до 16 мм равен  $\psi = 45^\circ$ , свыше 16 мм –  $50^\circ$ . Допуски углов  $2\phi$  и  $\alpha$  равны  $\pm 3^\circ$ , угла  $\omega$  –  $\pm 2^\circ$ , угла  $\psi$  –  $\pm 5^\circ$ .

Наряду с основными углами в конструкциях сверл широко используют более сложные заточки и подточки режущих кромок, улучшающие условия эксплуатации сверл.

*Форма заточки спиральных сверл*

Форма заточки спиральных сверл зависит от его диаметра и вида обрабатываемого материала (табл. 24).

Таблица 24. – Форма заточки спиральных сверл

| Диаметр сверла, мм | Форма заточки                              |             |  | Обрабатываемый материал      |
|--------------------|--|-------------|--|------------------------------|
|                    | Наименование                               | Обозначение | Эскиз  |                              |
| 0,25–12            | Одинарная (нормальная)                     | Н           |    | Сталь, стальное литье, чугун |
| 12–80              | Одинарная с подточкой перемычки            | НП          |    | Стальное литье по корке      |
|                    | Одинарная с подточкой перемычки и ленточки | НПЛ         |   | Стальное литье без корки     |
| 12–80              | Двойная с подточкой перемычки              | ДП          |  | Стальное литье по корке      |
|                    | Двойная с подточкой перемычки и ленточки   | ДПЛ         |   | Стальное литье без корки     |

*Конструктивные элементы рабочей части*

Сверло имеет достаточно сложную конструкцию и характеризуется диаметром и длиной сверла, шириной  $f$  и высотой ленточки, диаметром спинки  $q$ , центральным углом канавки  $\nu$  и шириной пера  $B$ , толщиной сердцевины  $k$  (рис. 121).

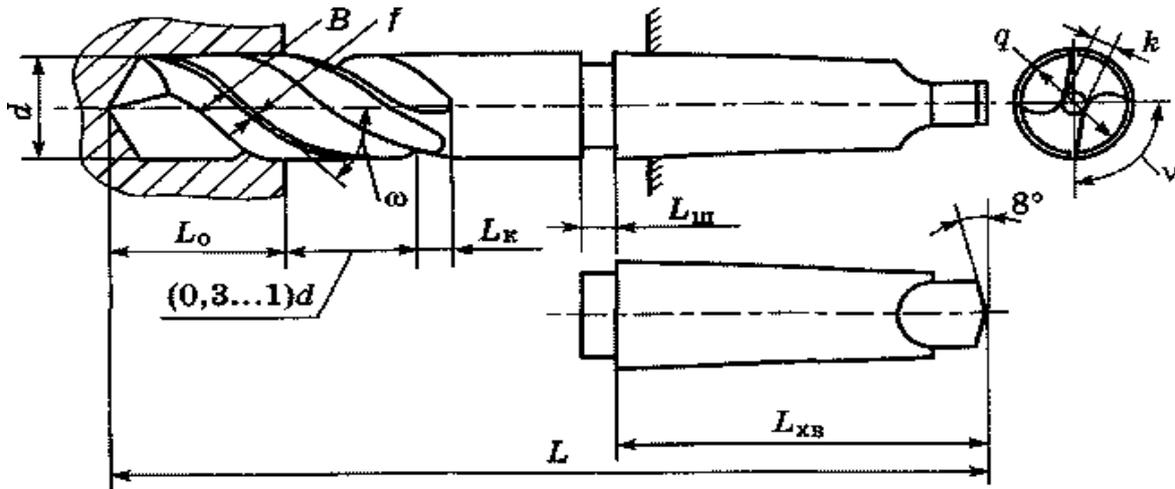


Рисунок 121. – Конструктивные элементы спирального сверла

В том случае, если после сверла отверстие будет обрабатываться другим инструментом, диаметр сверла принимают равным диаметру отверстия с округлением до ближайшего стандартного значения. Если же отверстие обрабатывается окончательно, то расчетный диаметр определяется по формуле

$$d_p = D + ES - 0,0737TD,$$

где  $D$ ,  $ES$ ,  $TD$  – диаметр, верхнее отклонение и допуск отверстия.

Выбранное значение анализируется с точки зрения запаса:

- на разбивку сверла
- на износ сверла

Если приведенные условия выдерживаются, то  $d_p$  округляется до значения  $d$ , кратному 0,05 для  $d_p < 14$  мм, кратному 0,1 – для  $d_p < 32$  мм и кратному 0,25 – для  $d_p < 50$  мм.

Производят расчет ширины и высоты ленточки сверла, диаметра спинки, ширины пера и размера центрального угла канавки.

Выбирают толщину сердцевины сверла.

Для повышения прочности и жесткости сверла его сердцевина обычно утолщается к хвостовику на 1,4–1,8 мм на каждые 100 мм длины.

Длина сверла  $L$  в общем случае равна:

$$L = L_0 + (0,3-1)d + L_{\text{кон}} + L_{\text{ст}} + L_{\text{к}} + L_{\text{ш}} + L_{\text{хв}},$$

где  $L_0$  – длина отверстия с учетом врезания и перебега;

$(0,3-1)d$  – запас для выхода стружки из отверстия;

$L_{\text{кон}}$  – длина кондукторной втулки;

$L_{СТ}$  – длина стачивания;

$L_K = 0,5d$  – длина стружечной канавки неполной глубины;

$L_{Ш} = 8-12$  мм – длина шейки;

$L_{ХВ}$  – длина хвостовика.

*Конструктивные элементы присоединительной части*

Форма хвостовика сверла определяется его диаметром. Если диаметр конечной ступени не более 6 мм, то принимается цилиндрическая форма хвостовика. При этом диаметры хвостовика и конечной ступени сверла равны. Конические хвостовики следует выполнять в виде конусов Морзе, с лапками, которые необходимы для съема инструмента со станка и не должны нагружаться во время работы.

Размеры конусов и лапок стандартизированы.

Таблица 25. – Размеры конусов

| № конуса Морзе | Диаметр хвостовика $D_1$ , мм | № конуса Морзе | Диаметр хвостовика $D_1$ , мм |
|----------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|
| 0              | 9,212                         | 4              | 31,542                        |
| 1              | 18,240                        | 5              | 44,731                        |
| 2              | 17,980                        | 6              | 63,760                        |
| 3              | 24,051                        |                |                               |

Также допускается использование конусов Морзе с резьбовым отверстием, если сверло используется на фрезерном станке. Для сверл, работающих на автоматизированном оборудовании, можно использовать цилиндрические хвостовики с лыской для зажима винтами и регулировочной гайкой. Диаметр конуса Морзе определяется крутящим моментом, который он должен передать при сверлении с учетом затупления инструмента.

Для расчета среднего диаметра конуса Морзе используют зависимость:

$$d = 0,5933 \cdot M_{кр} / P_0,$$

где  $M_{кр}$ ,  $P_0$  – крутящий момент и осевая сила при сверлении, найденные из аналитического расчета.

*Выбор оптимальных режимов резания*

Выбор оптимальных режимов резания производится по нормативам.

Таблица 26. – Подачи (мм/об) при сверлении стали, чугуна, медных и алюминиевых сплавов сверлами из быстрорежущей стали

| Диаметр сверла $D$ , мм | Сталь      |              |              |            | Серый и ковкий чугун, медные и алюминиевые сплавы |            |
|-------------------------|------------|--------------|--------------|------------|---|------------|
|                         | $HB < 160$ | $HB 160-240$ | $HB 240-300$ | $HB > 300$ | $HB < 170$  | $HB > 170$ |
| 2–4                     | 0,09–0,13  | 0,08–0,10    | 0,06–0,07    | 0,04–0,06  | 0,12–0,18   | 0,09–0,12  |
| 4–6                     | 0,13–0,19  | 0,10–0,15    | 0,07–0,11    | 0,06–0,09  | 0,18–0,27   | 0,12–0,18  |
| 6–8                     | 0,19–0,26  | 0,15–0,20    | 0,11–0,14    | 0,09–0,12  | 0,27–0,36   | 0,18–0,24  |
| 8–10                    | 0,26–0,32  | 0,20–0,25    | 0,14–0,17    | 0,12–0,15  | 0,36–0,45   | 0,24–0,31  |
| 10–12                   | 0,32–0,36  | 0,25–0,28    | 0,17–0,20    | 0,15–0,17  | 0,45–0,55   | 0,31–0,35  |
| 12–16                   | 0,36–0,43  | 0,28–0,33    | 0,20–0,23    | 0,17–0,20  | 0,55–0,66   | 0,35–0,41  |
| 16–20                   | 0,43–0,49  | 0,33–0,38    | 0,23–0,27    | 0,20–0,23  | 0,66–0,76   | 0,41–0,47  |
| 20–25                   | 0,49–0,58  | 0,38–0,43    | 0,27–0,32    | 0,23–0,26  | 0,76–0,89   | 0,47–0,54  |
| 25–30                   | 0,58–0,62  | 0,43–0,48    | 0,32–0,35    | 0,26–0,29  | 0,89–0,96   | 0,54–0,60  |
| 30–40                   | 0,62–0,78  | 0,48–0,58    | 0,35–0,42    | 0,29–0,35  | 0,96–1,19   | 0,60–0,71  |
| 40–50                   | 0,78–0,89  | 0,58–0,66    | 0,42–0,48    | 0,35–0,40  | 1,19–1,36   | 0,71–0,81  |

При рассверливании отверстий подача, рекомендованная для сверления, может быть увеличена до 2 раз.

Таблица 27. – Подачи (мм/об) при обработке отверстий зенкерами из быстрорежущей стали и твердого сплава

| Обрабатываемый материал           | Диаметр зенкера $D$ , мм |              |              |              |              |              |              |              |              |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                   | До 15                    | Св. 15 до 20 | Св. 20 до 25 | Св. 25 до 30 | Св. 30 до 35 | Св. 35 до 40 | Св. 40 до 50 | Св. 50 до 60 | Св. 60 до 80 |
| Сталь                             | 0,5–0,6                  | 0,6–0,7      | 0,7–0,9      | 0,8–1,0      | 0,9–1,1      | 0,9–1,2      | 1,0–1,3      | 1,1–1,3      | 1,2–1,5      |
| Чугун, $HB < 200$ и медные сплавы | 0,7–0,9                  | 0,9–1,1      | 1,0–1,2      | 1,1–1,3      | 1,2–1,5      | 1,4–1,7      | 1,6–2,0      | 1,8–2,2      | 2,0–2,4      |
| Чугун, $HB > 200$                 | 0,5–0,6                  | 0,6–0,7      | 0,7–0,8      | 0,8–0,9      | 0,9–1,1      | 1,0–1,2      | 1,2–1,4      | 1,3–1,5      | 1,4–1,5      |

Таблица 28. – Поддачи (мм/об) при предварительном (черновом) развертывании отверстий развертками из быстрорежущей стали

| Обрабатываемый материал                  | Диаметр развертки $D$ , мм |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  | до 10                      | 10–15 | 15–20 | 20–25 | 25–30 | 30–35 | 35–40 | 40–50 | 50–60 | 60–80 |
| Сталь                                    | 0,8                        | 0,9   | 1,0   | 1,1   | 1,2   | 1,3   | 1,4   | 1,5   | 1,7   | 2,0   |
| Чугун,<br>HB < 200 и<br>медные<br>сплавы | 2,2                        | 2,4   | 2,6   | 2,7   | 3,1   | 3,2   | 3,4   | 3,8   | 4,3   | 5,0   |
| Чугун,<br>HB > 200                       | 1,7                        | 1,9   | 2,0   | 2,2   | 2,4   | 2,6   | 2,7   | 3,1   | 3,4   | 3,8   |

Таблица 29. – Скорость резания для спиральных сверл из быстрорежущей стали

| Обрабатываемый материал                     | $v$ , м/мин    |
|---|----------------|
| Алюминиевый сплав                           | 60–90          |
| Цинковый сплав (литье под давлением)        | 90–120         |
| Магниевый сплав                             | 75–120         |
| Бронза, латунь                              | 45–90          |
| Чугун серый                                 | 22–40          |
| Сталь:<br>углеродистая,<br>инструментальная | 24–30<br>15–18 |
| Сталь высокопрочная                         | 9–12           |
| Титан                                       | 5–18           |

Таблица 30. – Режимы резания для сверл с твердосплавными пластинами

| Обрабатываемый материал                          | $v$ , м/мин | $S_o$ , мм/об |
|--|-------------|---------------|
| Сталь:<br>конструкционная<br>коррозионно-стойкая | 90–150      | 0,15–0,25     |
|  | 45–90       | 0,11–0,20     |
| Чугун  | 90–150      | 0,25–0,35     |
| Алюминиевый сплав                                | 150–300     | 0,15–0,30     |

Таблица 31. – Скорость резания (м/мин) при зенкеровании отверстий в заготовках из углеродистой стали зенкерами из быстрорежущей стали

| Диаметр зенкера, мм | Глубина резания, мм | Подача, мм/об |          |           |          |         |
|---------------------|---------------------|---------------|----------|-----------|----------|---------|
|                     |                     | до 0,3        | 0,3–0,56 | 0,56–0,75 | 0,75–1,3 | 1,3–3,2 |
| 15–35<br>(цельный)  | 0,5–1,0             | 30            | 30–22    | 22–19     | 19–14    | 13–9    |
|                     | 1,1–2,0             | 26            | 26–19    | 19–17     | 17–12    | 12–8    |
|                     | св. 2,0             | 24            | 24–17    | 17–15     | 15–11    | 11–7    |
| 36–80<br>(насадной) | 0,5–1,0             | 27            | 27–20    | 20–17     | 17–13    | 13–8    |
|                     | 1,1–2,0             | 24            | 24–18    | 18–15     | 15–11    | 11–7    |
|                     | св. 2,0             | 21            | 21–16    | 16–13     | 13–10    | 10–6    |

Таблица 32. – Скорость резания (м/мин) при зенкеровании отверстий в заготовках из серого чугуна зенкерами из быстрорежущей стали

| Твердость серого чугуна, НВ | Подача, мм/об | Диаметры зенкеров, мм |         |                  |         |
|-----------------------------|---------------|-----------------------|---------|------------------|---------|
|                             |               | 15–35 (цельных)       |         | 36–80 (насадных) |         |
|                             |               | Глубина резания, мм   |         |                  |         |
|                             |               | 0,5–1,0               | 1,1–2,0 | 1,0–2,0          | 2,1–3,0 |
| до 200                      | до 0,3        | 50–40                 | 47–37   | 45–35            | 43–34   |
|                             | 0,3–1,0       | 50–24                 | 47–23   | 45–22            | 43–21   |
|                             | 1,0–2,4       | 35–17                 | 33–16   | 31–15            | 30–15   |
| св. 200                     | до 0,3        | 35–31                 | 33–29   | 31–28            | 30–27   |
|                             | 0,3–1,0       | 35–19                 | 33–18   | 31–17            | 30–17   |
|                             | 1,0–2,4       | 22–14                 | 20–13   | 20–12            | 19–12   |

Таблица 33. – Скорость резания при чистовом развертывании цилиндрических отверстий

| Обрабатываемый материал | Материал режущей части | Шероховатость обработанной поверхности $R_a$ , мкм | Условия резания               | Скорость резания, м/мин |
|-------------------------|------------------------|--|-------------------------------|-------------------------|
| Сталь конструкционная   | Быстрорежущая сталь    | 2,5  | -                             | 4–5                     |
|                         |                        | 2,5–1,25   |                               | 2–3                     |
|                         | Твердый сплав          | 1,25–0,32  | $D \leq 20$ мм<br>$D > 20$ мм | 15<br>10                |

*Расчет силы резания и крутящего момента*

Расчет осевой силы,  $H$ :

– для сверления:

$$P_o = 10C_p D^q S^y K_p ;$$

– для рассверливания и зенкерования:

$$P_o = 10C_s t^x S^y K_p .$$

Таблица 34. – Значения коэффициента  $C_p$  и показателей степени в формуле скорости резания при сверлении

| Обрабатываемый материал   | Материал режущей части инструмента | Подача $S$ , мм/об | Коэффициент и показатели степени |      |      |       | Охлаждение |
|---|------------------------------------|--------------------|----------------------------------|------|------|-------|------------|
|   |                                    |                    | $C_v$                            | $q$  | $y$  | $m$   |            |
| Сталь конструкционная углеродистая, Ста = 750 Мпа   | P6M5                               | < 0,2              | 7,0                              | 0,40 | 0,70 | 0,20  | Есть       |
|   |                                    | > 0,2              | 9,8                              |      | 0,50 |       |            |
| Сталь жаропрочная 12X18H9T, HB 141  | P6M5                               | -                  | 3,5                              | 0,50 | 0,45 | 0,12  |            |
| Чугун серый, HB 190   | BK8                                | < 0,3              | 14,7                             | 0,25 | 0,55 | 0,125 | Нет        |
|   |                                    | > 0,3              | 17,1                             |      | 0,40 |       |            |
| Чугун ковкий, HB 150  | P6M5                               | < 0,3              | 21,8                             | 0,25 | 0,55 | 0,125 | Есть       |
|   |                                    | > 0,3              | 25,3                             |      | 0,40 |       |            |
| Чугун ковкий, HB 150  | BK8                                | -                  | 40,4                             | 0,45 | 0,3  | 0,20  | Нет        |
|   |                                    |                    |                                  |      |      |       |            |
| Медные гетерогенные сплавы средней твердости (HB 100–140)   | P6M5                               | < 0,3              | 28,1                             | 0,25 | 0,55 | 0,125 | Есть       |
|   |                                    | > 0,3              | 32,6                             |      | 0,40 |       |            |
| Силумин и литейные алюминиевые сплавы, $\sigma_T = 100\text{--}200$ МПа, HB < 65; дюралюминий, HB < 100 | P6M5                               | < 0,3              | 36,3                             | 0,25 | 0,55 | 0,125 | Есть       |
|   |                                    | > 0,3              | 40,7                             |      | 0,40 |       |            |

Расчет крутящего момента на шпинделе (Н·м) производится следующим образом:

– при сверлении:

$$M_{кр} = 10C_M D^q S^y K_p ;$$

– при рассверливании и зенкерования:

$$M_{кр} = 10C_M D^q t^x S_y K_p ,$$

где  $D$  – диаметр сверла, мм.

Таблица 35. – Значения коэффициентов и показателей степени в формулах крутящего момента и осевой силы при сверлильной обработке

| Обрабатываемый материал                                     | Наименование операции      | Материал режущей части инструмента | Коэффициент и показатели степени в формулах |       |     |      |             |      |     |      |
|---|----------------------------|------------------------------------|---|-------|-----|------|-------------|------|-----|------|
|   |                            |                                    | крутящего момента                           |       |     |      | осевой силы |      |     |      |
|   |                            |                                    | $C_m$                                       | $q$   | $x$ | $y$  | $C_p$       | $q$  | $x$ | $y$  |
| Конструкционная углеродистая сталь, $\sigma_d = 750$ МПа    | Сверление                  | Быстро-режущая сталь               | 0,0345                                      | 2,0   | -   | 0,8  | 68          | 1,0  | -   | 0,7  |
|   | Расверливание и зенкование |                                    | 0,09  | 1,0   | 0,9 | 0,8  | 67          | -    | 1,2 | 0,65 |
| Жаропрочная сталь 12X18H9T, <i>HV</i> 141                   | Сверление                  |                                    | 0,041                                       | 2,0   | -   | 0,7  | 143         | 1,0  | -   | 0,7  |
|   | Расверливание и зенкование |                                    | 0,106                                       | 1,0   | 0,9 | 0,8  | 140         | -    | 1,2 | 0,65 |
| Серый чугун, <i>HV</i> 190                                  | Сверление                  | Твердый сплав                      | 0,012                                       | 2,2   | -   | 0,8  | 42          | 1,2  | -   | 0,75 |
|   | Расверливание и зенкование |                                    | 0,196                                       | 0,85  | 0,8 | 0,7  | 46          | -    | 1,0 | 0,4  |
|   | Сверление                  | Быстро-режущая сталь               | 0,021                                       | 2,0   | -   | 0,8  | 42,7        | 1,0  | -   | 0,8  |
|   |                            |                                    | Расверливание и зенкование                  | 0,085 | -   | 0,75 | 0,8         | 23,5 | -   | 1,2  |
| Ковкий чугун, <i>HV</i> 150                                 | Сверление                  | Твердый сплав                      | 0,021                                       | 2,0   | -   | 0,8  | 43,3        | 1,0  | -   | 0,8  |
|   | Расверливание и зенкование |                                    | 0,01  | 2,2   | -   | 0,8  | 32,8        | 1,2  | -   | 0,75 |
|   |                            |                                    | 0,17  | 0,85  | 0,8 | 0,7  | 38          | -    | 1,0 | 0,4  |
| Гетерогенные медные сплавы средней твердости, <i>HV</i> 120 | Сверление                  | Быстро-режущая сталь               | 0,012                                       | 2,0   | -   | 0,8  | 31,5        | 1,0  | -   | 0,8  |
|   | Расверливание и зенкование |                                    | 0,031                                       | 0,85  | -   | 0,8  | 17,2        | -    | 1,0 | 0,4  |
| Силумин и дюралюминий                                       | Сверление                  |                                    | 0,005                                       | 2,0   | -   | 0,8  | 9,8         | 1,0  | -   | 0,7  |

*Проверка сверла на прочность и жесткость*

Чтобы сверло надежно противостояло силам резания, оно должно иметь запас прочности, превышающий действующие нагрузки. Необходимо выдерживать следующие соотношения:

$$3M_{кр} \leq 0,026 \cdot 10^{1,4m+0,2n} \tau_k \cdot q^3$$

$$3P_0 \leq KF\sigma_T$$

$$P_0 = \frac{\eta\pi^2 EI_{min}}{l^2},$$

где  $m = k / d$ ;

$n = B / d$ ;

$B$  – ширина пера;

$q$  – диаметр спинки;

$\tau_k = 1650$  МПа – предел прочности материала сверла на кручение;

$K = 0,22-0,25$ ;

$F = 1,67$  – коэффициенты, учитывающие завитость сверла;

$F = 0,314d^2$  – площадь поперечного сечения рабочей части сверла;

$\sigma_T = 3-3,2$  ГПа – предел текучести при сжатии материала сверла;

$E = 225$  ГПа – модуль упругости материала сверла;

$I_{min} = 0,0054d^4$  – минимальный момент инерции сверла;

$l = L - L_{XB}$  – вылет сверла из шпинделя.

Если расчеты не удовлетворяют хотя бы одному из соотношений, то сверло признается неработоспособным в данных условиях нагружения.

#### *Технические требования к изготовлению сверл*

К сверлам предъявляются достаточно высокие технические требования, к которым относятся:

- допуск радиального биения на всей рабочей части сверла относительно оси хвостовика;
- форма заточки;
- допускается изготовление сверл с цилиндрическим хвостовиком диаметром до 6 мм с наружным центром;
- сверла с конусом Морзе более 2 крепятся с помощью переходной втулки с конусом отверстия шпинделя сверлильного станка.

## Лабораторная работа № 5.3 РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФРЕЗ

### *Последовательность расчета и проектирования фрез*

Исходными данными для расчета фрезы является информация об условиях его эксплуатации. А именно:

- материал обрабатываемой заготовки;
- тип фрезы;
- конструктивное исполнение фрезы;
- схема установки фрезы во фрезерном станке (величина вылета и т.п.);
- условия резания (ширина, глубина фрезерования).

Последовательность расчета включает выполнение следующих этапов:

- 1) выбор материала режущей части фрезы;
- 2) выбор конструктивного исполнения фрезы;
- 3) расчет геометрических параметров фрезы;
- 4) расчет размеров конструктивных элементов фрез;
- 5) расчет числа зубьев фрезы;
- 6) выбор формы и размеров зубьев и стружечных канавок;
- 7) выбор степени точности конструктивных элементов фрез;
- 8) расчет режимов резания;
- 9) расчет силы резания и величины крутящего момента;
- 10) расчет корпуса фрезы на прочность;
- 11) анализ расчетных данных и принятия решения о работоспособности сверла;
- 12) мероприятия по улучшению работоспособности сверла (в случае невыполнения условий 8 этапа);
- 13) повторный расчет с выходом на положительное решение;
- 14) назначение технических условий на фрезу.

### *Материалы для изготовления фрез*

Режущая часть цельных фрез изготавливается из быстрорежущих сталей или твердых сплавов. При этом хвостовые фрезы из быстрорежущих сталей диаметром менее 12 мм изготавливаются цельными, а фрезы более 12 мм делают сварными, с хвостовиком из конструкционных сталей. Твердосплавные фрезы могут изготавливаться целиком из твердого сплава, иметь цельную твердосплавную рабочую часть либо пластины, припаиваемые или приклеиваемые к хвостовику или корпусу. Сборные фрезы оснащаются ножами из быстрорежущих сталей, с напаянными пластинами

из твердого сплава или сверхтвердых материалов, а также неперетачиваемыми пластинами из различных материалов.

Выбор материала для режущей части осуществляется в соответствии с нормативными данными, рекомендующими применять либо быстрорежущую сталь типа Р6М5, либо твердый сплав типа Т5К10, ВК6. Корпуса и хвостовики фрез изготавливаются из сталей 45, 40Х, 50Х, 40ХНМА, 50ХФА твердостью 30–55 НРСэ.

Державки сборных фрез, а также детали крепления и регулирования изготавливаются из сталей 45, 40Х, У8, 9ХС, 40ХГНМ твердостью 45–62 НРСэ.

#### *Конструктивное исполнение*

По способу крепления рабочей части фрезы делятся на фрезы хвостовые и фрезы насадные. По конструктивному исполнению – на фрезы цельные и сборные.

#### *Расчет геометрических параметров фрез*

Правильное их назначение позволяет обеспечить высокую стойкость фрезы и необходимую шероховатость обработанной поверхности. При изготовлении фрезы и ее заточке необходимо знать нормальный задний угол фрезы  $\alpha_N$  в сечении, перпендикулярном главной режущей кромке. Он равен для торцовых и угловых фрез:

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \operatorname{tg} \alpha \sin \varphi / \cos \lambda;$$

для цилиндрических, дисковых и концевых фрез:

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \operatorname{tg} \alpha / \cos \omega,$$

где  $\varphi$  – угол в плане;

$\lambda$  – угол наклона главной режущей кромки;

$\omega$  – угол наклона винтовых канавок фрезы.

Передний угол должен одновременно обеспечить необходимую прочность режущей кромки и минимальные силы и мощность фрезерования.

Выбор переднего угла производится на основе таблиц.

Главный угол фрезы в плане в значительной степени определяет стойкость и производительность фрез и соотношения между составляющими силы резания. Выбор угла в плане производится на основе таблиц.

Вспомогательный угол в плане определяет точность и шероховатость обработанной поверхности. При работе мерными дисковыми трехсторонними фрезами используется следующая формула:

$$\varphi = \operatorname{arctg} (\delta / 2\Delta),$$

где  $\delta$  – допуск на ширину паза;

$\Delta$  – наибольшая величина стачивания фрезы в ходе ее эксплуатации.

Угол наклона режущей кромки служит для направления отвода стружки, упрочнения режущей кромки и обеспечения равномерного фрезерования.

*Расчет размеров конструктивных элементов фрез*

Фрезы цельные состоят из рабочей режущей части и корпуса в виде хвостовика у концевой инструмента либо в виде втулочного или дискового тела у насадного инструмента. Сборные фрезы состоят из корпуса, режущих, крепежных и регулировочных элементов.

Важнейшим конструктивным элементом фрезы является ее диаметр. Он определяет стойкость и виброустойчивость фрезы, надежное ее закрепление на оправке, уровень сил резания, производительность обработки и многие другие показатели фрезерования. Исходя из условия необходимой жесткости оправки насадной фрезы, диаметр фрезы можно найти для цилиндрических фрез по формуле:

$$D_{\min} \approx 0,2B^{0,28}t^{0,09}S_z^{0,06}l^{0,78}y_{\max}^{-0,26};$$

для дисковых фрез:

$$D_{\min} \approx 0,12B^{0,25}t^{0,09}S_z^{0,06}l^{0,75}y_{\max}^{-0,25} + 2(t_1 + \Delta);$$

для концевых фрез при обработке уступов или плоскостей их диаметр:

$$D_{\min} \approx 0,4B^{0,21}t^{0,175}z^{0,21}S_z^{0,14}l^{0,62}y_{\max}^{-0,21},$$

где  $B$  – ширина фрезерования;

$t, S_z$  – максимальные глубина фрезерования и подача;

$z$  – число зубьев;

$l$  – расстояние между опорами оправки или вылет фрезы относительно шпинделя;

$y_{\max}$  – максимально допустимый прогиб оправки (0,2 и 0,4 мм соответственно при чистовом и черновом фрезеровании);

$t_1$  – общая глубина паза или уступа;

$\Delta = 10$  мм – зазор между оправкой и поверхностью заготовки.

Диаметр торцевой фрезы для случая симметричного фрезерования равен

$$D_{\min} = \sqrt{\frac{S_z^2 B^2 \sin^2 \varphi}{S_z^2 \sin^2 \varphi - \rho^2}},$$

где  $\rho \approx 35-0,55(\alpha + \gamma)$ , мкм – радиус округления режущей кромки.

Рассчитанные по приведенным выше формулам значения  $D$  округляются до ближайшего стандартного значения по ГОСТ 29116-91.

Диаметр посадочного отверстия можно найти из соотношения  $d = 0,44D$  с последующим округлением до ближайшего стандартного значения по ГОСТ 9472-90.

#### *Расчет числа зубьев фрезы*

Число зубьев определяет производительность обработки. При его назначении можно стремиться к обеспечению равномерности фрезерования, к наибольшему числу переточек (с учетом равномерности фрезерования), к максимальному использованию эффективной мощности оборудования. В первом случае число зубьев:

$$z \geq \pi \operatorname{ctg} w D k / B,$$

где  $k = 2$  или  $3$  – коэффициент равномерности фрезерования.

Во втором случае число зубьев:

$$z = \pi D / 4 i \Delta,$$

где  $i$  – принятое число переточек;

$\Delta$  – толщина слоя, снимаемого за одну переточку.

Максимальное число зубьев из условия использования эффективной мощности оборудования при обработке сталей:

$$z_{max} = \frac{N_{\text{э}} D^{0,1}}{3,6 \cdot 10^{-5} n t^{1,1} B^{0,95} S_z^{0,74}};$$

при обработке чугуна:

$$z_{max} = \frac{N_{\text{э}} D^{0,14}}{2,53 \cdot 10^{-5} n t^{1,14} B^{0,9} S_z^{0,4}},$$

где  $N_{\text{э}}$  – эффективная мощность станка;

$n$  – частота вращения фрезы.

При черновой обработке число зубьев можно найти также из условия размещения стружки:

– для торцовых фрез:

$$z = \frac{0,6D}{\sqrt{t_{max} S_{max}}};$$

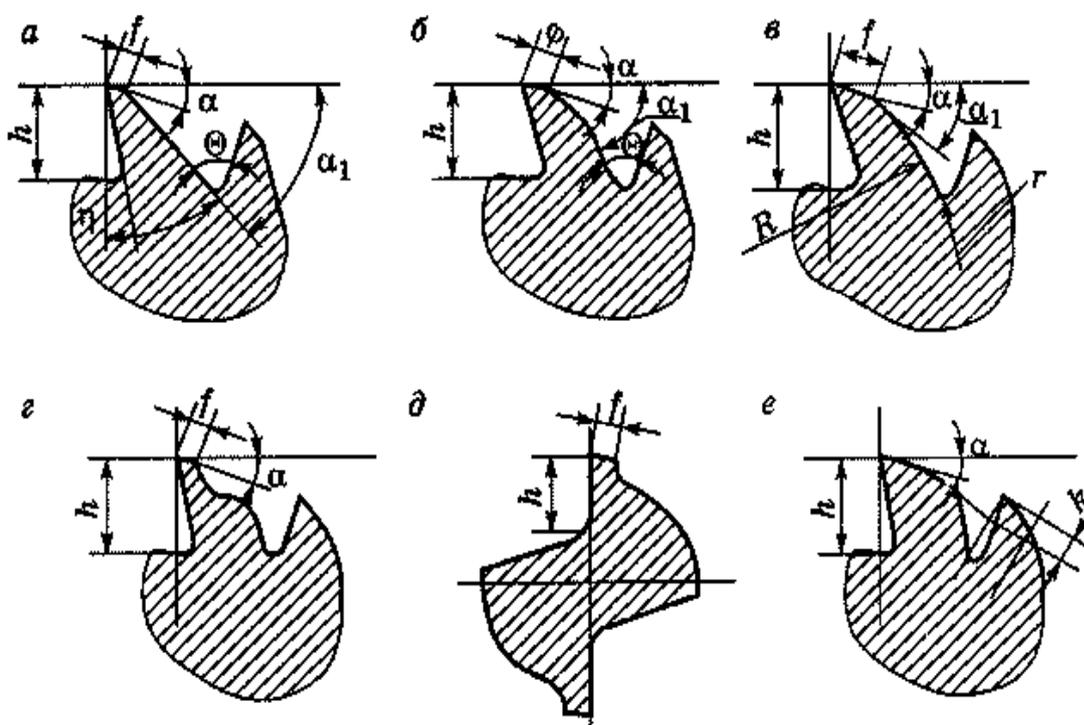
– для цилиндрических, дисковых, концевых, фасонных фрез:

$$z = \frac{0,2D}{\sqrt{t_{\max} S_{\max}}}$$

Число зубьев фрез сборных конструкций обычно в 1,8–2 раза меньше, чем у цельных, поскольку необходимо разместить в корпусе зажимные и регулировочные элементы.

*Выбор формы и размеров зубьев и стружечных канавок*

При выборе формы зуба необходимо обеспечить его необходимую прочность, свободное размещение срезаемой стружки в канавке, большое число переточек, простоту изготовления. Наиболее распространенные профили зубьев цельных фрез представлены на рисунке 122, а области их использования в различных типах фрез указаны в таблице.



**Рисунок 122. – Профили зубьев фрез**

Рекомендуемые области применения профилей зубьев фрез

Высота зуба  $h = kD / z$ , где  $k$  равно:

- для концевых фрез – 0,9–1,2;
- для торцовых и цилиндрических с крупным зубом – 1,2–1,5;
- с мелким зубом – 0,8–0,9;
- дисковых – 1,4–1,8.

Таблица 36. – Типы фрез и области их применения

| Область применения  | Тип фрезы   |             |                |                |             |          |
|---|-------------|-------------|----------------|----------------|-------------|----------|
|   | торцовые    | дисковые    | цилиндрические | концевые       | шпоночные   | фасонные |
| Обработка хрупких и с малой глубиной материалов             | <i>a</i>    | <i>a</i>    | <i>a, б</i>    | <i>б, в, г</i> | <i>г, д</i> | <i>e</i> |
| Обработка сталей и обработка с большими подачами и глубиной | <i>б, г</i> | <i>a, б</i> | <i>б, г</i>    |                |             |          |
| Обработка легких сплавов                                    | <i>б, г</i> | <i>б, в</i> | <i>б, в, г</i> |                |             |          |

Радиус закругления дна стружечной канавки  $r$ :

- для формы  $a$  равен 0,5–2 мм;
- для форм  $б$  и  $в$  выбирается в пределах  $(0,4–0,75)h$ ;
- для формы  $e$  – в пределах 1–5 мм в зависимости от размера фрезы и характера обработки профиля (шлифованный или нешлифованный).

Углы спинки  $\alpha_1 = 20–30^\circ$ ,  $\eta = 47–52^\circ$ . Радиус спинки  $R \approx (0,3–0,45)D$ , при этом касательная в точке сопряжения радиуса с ленточкой должна проходить под углом  $\alpha_1 = \alpha + (10–15^\circ)$ . Ширина ленточки  $f = 1–2$  мм в зависимости от диаметра фрезы. Угол для формы  $б$  обычно равен  $60$  или  $65^\circ$ , в общем случае он может лежать в пределах  $45–100^\circ$  через каждые  $5^\circ$ .

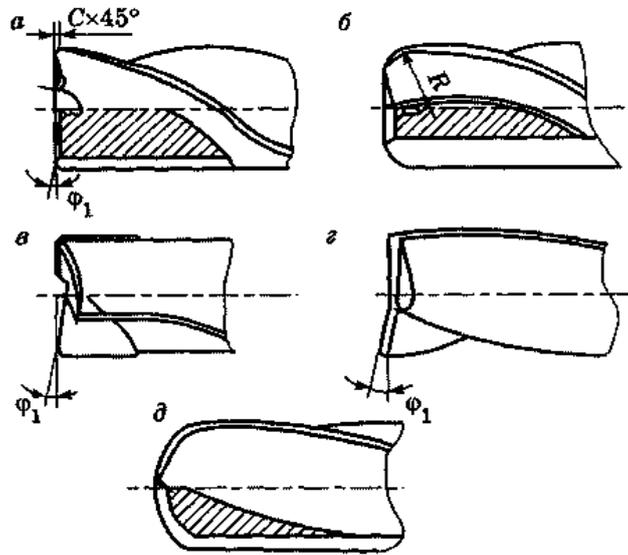
Углы  $\Theta$  и  $\eta$  связаны между собой:

$$\eta = \Theta - \frac{360^\circ}{z} \text{ – для фрез с прямым зубом;}$$

$$\eta = \Theta - \frac{360^\circ \cos^3 \omega}{z} \text{ – для фрез с винтовым зубом.}$$

Форма и размеры стружечных канавок сборных фрез обычно выбираются из конструктивных соображений. Формы торцовых зубьев фрез приведены на рисунке 123. Варианты  $a$  и  $б$  используются в концевых фрезах общего назначения;  $в$  и  $г$  – в шпоночных фрезах;  $д$  – в фасонных фрезах.

Профиль канавки угловых фрез изменяется, так как зубья имеют неравномерную высоту.



*a, б* – концевых фрез общего назначения; *в, г* – шпоночных; *д* – фасонных  
**Рисунок 123. – Формы торцовых зубьев**

*Выбор схемы резания*

Выбор схемы резания при фрезеровании определяется условиями обработки – свойствами обрабатываемого материала, снимаемым припуском, формой обработанной поверхности и т.д. Например, при обработке плоскостей торцовыми фрезами с большими припусками используют ступенчатую схему резания, где общая глубина резания распределяется между двумя или тремя зубьями. В последнем случае первый зуб удаляет слой металла  $t_1 = (0,5-0,6)t$ , второй –  $t_2 = 0,3t$  и третий –  $t_3 = 0,1t$ . Для улучшения шероховатости обработанной поверхности зубья могут иметь зачистные кромки длиной  $l = 1,2S_z$  (рис. 124, *a*).

Зубья в корпусе расположены так, что первый расположен на наибольшем диаметре и имеет наименьший вылет из корпуса, а третий – расположен на наименьшем радиусе и имеет наибольший вылет. Такая схема позволяет срезать слой металла до  $t = 20-25$  мм, снизить уровень вибраций, повысить период стойкости фрезы.

Еще более эффективны, хотя и сложнее в изготовлении и эксплуатации, фрезы со спирально-ступенчатой схемой резания. В этом случае число ступеней возрастает, поскольку черновые зубья *I* расположены в радиальном направлении по спирали Архимеда, а их вершины равномерно смещены вдоль оси фрезы. Чистовые зубья *II* расположены концентрично в одной торцовой плоскости, выступающей по сравнению с последующим

черновым зубом (рис. 124, б), т.е. работают по традиционной схеме лобового торцового фрезерования.

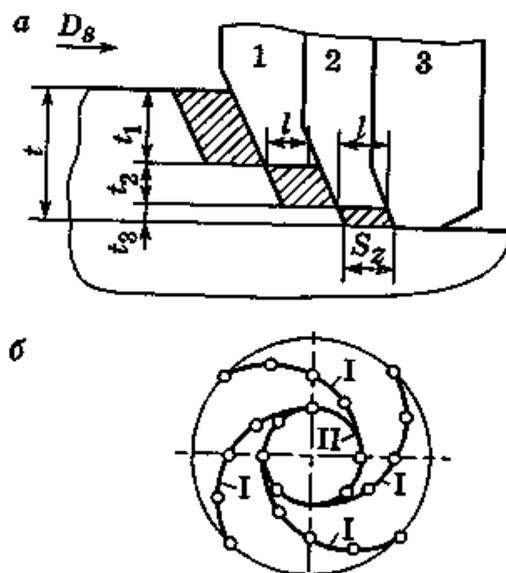


Рисунок 124. – Ступенчатая (а) и спирально-ступенчатая (б) схемы резания торцовыми фрезами

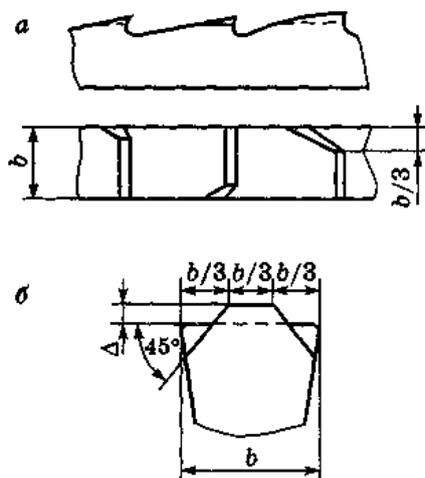


Рисунок 125. – Схемы резания прорезными и отрезными фрезами

При фрезеровании глубоких пазов прорезными фрезами, у отрезных фрез и пил также широко используются усовершенствованные схемы резания. Например, у прорезных фрез поочередно с каждой стороны снимают фаски на  $1/3$  ширины фрезы под углом  $45^\circ$  (рис. 125, а). Такие фаски снижают нагрузку на зубьях, улучшают условия резания, предохраняют фрезу от защемления и поломки.

Близкая по замыслу схема используется в отрезных фреззах (пилах). В этом случае на первом зубе секции выполняют фаски под углом  $45^\circ$  с двух сторон, а второй зуб без фасок делают ниже первого на  $\Delta = 0,5-0,8$  мм (рис. 126, б).

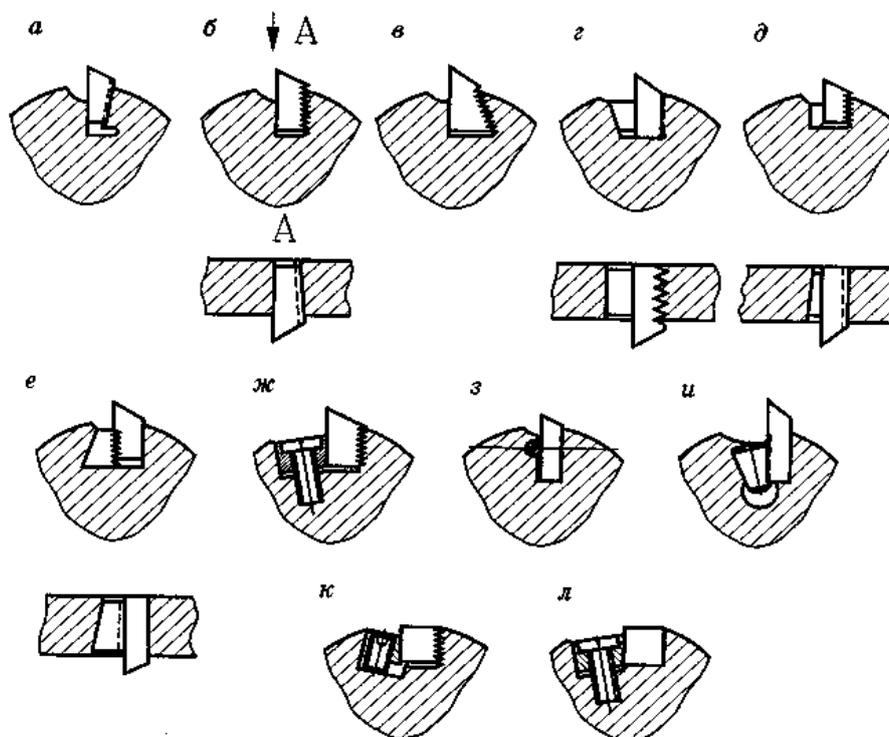
Обычно принимают  $P = 6$  мм для фрез диаметром 20–40 мм,  $P = 9$  мм для фрез диаметром свыше 40 мм. Глубина канавок 1–1,5 мм в зависимости от диаметра,  $b = 0,5P$ . Задняя поверхность зубьев затылована.

#### *Особенности конструкций сборных фрез*

Сборные фрезы позволяют резко сократить расход дорогостоящего инструментального материала, многократно повысить срок службы корпуса. Режущие элементы таких фрез могут быть в виде ножей из быстрорежущей стали, оснащенных пластинами твердого сплава или СТМ, а также в виде сменных неперетачиваемых пластин. Существует много способов крепления ножей в корпусе:

– ножи, имеющие форму одинарного (рис. 126, а, б) или двойного (рис. 126, в) клина с углом  $5^\circ$ , закрепляются непосредственно в корпусе. На клине имеются радиальные, косые либо осевые рифления. Размеры рифлений принимаются по ГОСТ 2568-71;

– ножи призматической формы с рифлениями или гладкие ножи закрепляются в корпусе с помощью клиньев (рис. 126, г–ж), штифтов (рис. 126, з, и), круглых втулок с лыской (рис. 126, к, л);



**Рисунок 126. – Схемы крепления вставных зубьев при помощи плоских клиньев, штифтов, втулок**

– ножи призматической формы закрепляются в корпусе эксцентриками или винтами (рис. 127).

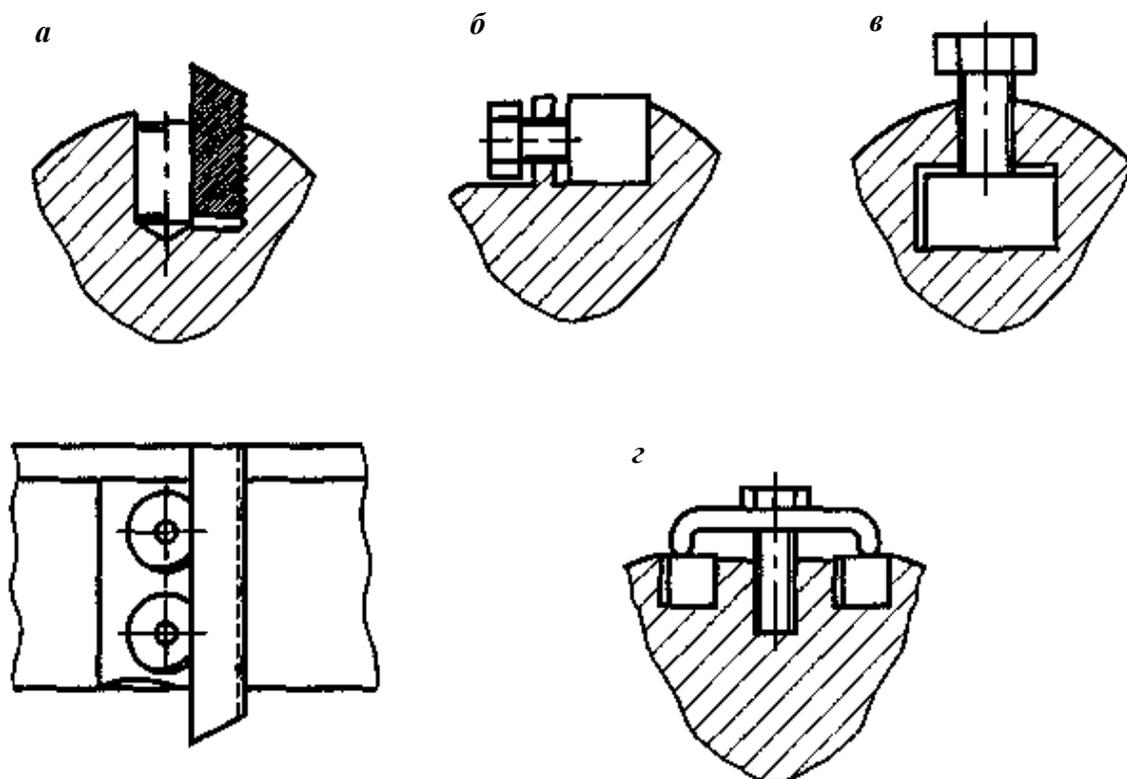


Рисунок 127. – Схемы крепления вставных зубьев эксцентриками (а) или винтами (б–г)

Многогранные пластины в корпусе закрепляются прихватами, клиньями, винтами.

*Степень точности конструктивных элементов фрез* принимается по соответствующим стандартам. Особое внимание следует обратить на уровни радиальных и торцовых биений, которые определяют работоспособность фрезы. Чем жестче условия работы и выше требования к точности детали, тем меньше должны быть биения. Например, для торцовых фрез, оснащенных многогранными пластинами без возможности их регулировки, ГОСТ 26596-91 допускает биения до 0,08 мм, а для фрез, оснащенных сверхтвёрдыми материалами, с возможностью регулировок по трем осям координат биения не превышают 1–2 мкм.

*Период стойкости*

Таблица 37. – Средние периоды стойкости фрез  $T$  в минутах

| Тип фрезы                          | Диаметр фрезы, мм | Фрезы с пластинами из твердого сплава |       | Фрезы из стали P18   |             |               |
|------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------|----------------------|-------------|---------------|
|                                    |                   | Обрабатываемый материал               |       |                      |             |               |
|                                    |                   | сталь                                 | чугун | сталь и чугун ковкий | чугун серый | медные сплавы |
| Торцовые                           | 40                | -                                     | -     | 120                  | -           | 120           |
|                                    | 63                | -                                     | -     | 180                  | -           | 180           |
|                                    | 80                | -                                     | 120   | 180                  | -           | 180           |
|                                    | 100               | 180                                   | 120   | 180                  | -           | 180           |
|                                    | 125               | 180                                   | 180   | 180                  | -           | 180           |
|                                    | 160               | 180                                   | 180   | 180                  | -           | 180           |
|                                    | 200               | 240                                   | 180   | 240                  | -           | 240           |
|                                    | 250               | 240                                   | 240   | 240                  | -           | 240           |
|                                    | 315               | 300                                   | 300   | -                    | -           | -             |
| Цилиндрические цельные             | 63                | -                                     | -     | 120                  | 120         | 120           |
|                                    | 100               | -                                     | -     | 180                  | 180         | 180           |
| Цилиндрические со вставными ножами | 62–125            | 180                                   | 180   | 180                  | 180         | 180           |
|                                    | 75–150            | -                                     | -     | 180                  | 180         | 180           |
| Концевые                           | 20                | 120                                   | -     | -                    | -           | -             |
|                                    | 25                | 90                                    | -     | 60                   | 60          | 60            |
|                                    | 40                | 120                                   | -     | 90                   | 90          | 90            |
|                                    | 63                | 180                                   | -     | 120                  | 120         | 120           |
| Дисковые                           | 80                | -                                     | -     | 120                  | 120         | 120           |
|                                    | 100               | 120                                   | -     | 120                  | 150         | 120           |
|                                    | 125               | 150                                   | -     | 150                  | 150         | 150           |
|                                    | 160               | 180                                   | -     | 150                  | 180         | 150           |
|                                    | 200               | 240                                   | -     | 150                  | 180         | 150           |
|                                    | 250               | 300                                   | -     | 180                  | 240         | 180           |
| Прорезные и отрезные               | 80                | -                                     | -     | 60                   | 90          | 60            |
|                                    | 100               | -                                     | -     | 75                   | 120         | 75            |
|                                    | 160               | -                                     | -     | 120                  | 180         | 120           |
|                                    | 200               | -                                     | -     | 150                  | 210         | 150           |
| Угловые                            | 50                | -                                     | -     | 120                  | 120         | 120           |
|                                    | 80                | -                                     | -     | 120                  | 120         | 120           |
|                                    | 100               | -                                     | -     | 180                  | 180         | 180           |

*Расчет режимов резания*

Глубина фрезерования  $t$  и ширина фрезерования  $B$  – понятия, связанные с размерами слоя заготовки, срезаемого при фрезеровании. Во всех видах фрезерования, за исключением торцового,  $t$  определяет продолжи-

тельность контакта зуба фрезы с заготовкой;  $t$  измеряют в направлении, перпендикулярном к оси фрезы. Ширина фрезерования  $B$  определяет длину лезвия зуба фрезы, участвующую в резании;  $B$  измеряют в направлении, параллельном оси фрезы. При торцовом фрезеровании эти понятия меняются местами.

Подача  $S$ . При фрезеровании различают подачу на один зуб  $S_z$  (мм/зуб), подачу на один оборот фрезы  $S$  (мм/об) и подачу минутную  $S_m$  (мм/мин), которые находятся в следующем соотношении:

$$S_m = S \cdot n = S_z \cdot n \cdot z,$$

где  $n$  – частота вращения фрезы, об/мин;

$z$  – число зубьев фрезы.

Исходной величиной подачи при черновом фрезеровании является величина ее на один зуб  $S_z$ , при чистовом фрезеровании – на один оборот фрезы  $S_0$ , по которой для дальнейшего использования вычисляют величину подачи на один зуб  $S_z = S_0 / z$ . Рекомендуемые подачи для различных фрез и условий резания приведены в таблицах ниже.

Таблица 38. – Подачи при черновом фрезеровании торцовыми, цилиндрическими и дисковыми фрезами из быстрорежущей стали

| Мощность станка, кВт  | Жесткость системы заготовка-приспособление | Вид фрезы                        |           |                       |           |
|-----------------------|--|----------------------------------|-----------|-----------------------|-----------|
|                       |  | Торцовые и дисковые              |           | Цилиндрические        |           |
|                       |  | Подача на один зуб при обработке |           |                       |           |
|                       |  | конструкционной стали            | чугуна    | конструкционной стали | чугуна    |
| Фрезы с крупным зубом |  |                                  |           |                       |           |
| Свыше 10              | Повышенная                                 | 0,2–0,3                          | 0,4–0,6   | 0,4–0,6               | 0,6–0,8   |
|                       | Средняя                                    | 0,15–0,25                        | 0,3–0,5   | 0,3–0,4               | 0,4–0,6   |
|                       | Пониженная                                 | 0,1–0,15                         | 0,2–0,3   | 0,2–0,3               | 0,25–0,4  |
| 5–10                  | Повышенная                                 | 0,12–0,20                        | 0,30–0,50 | 0,25–0,40             | 0,3–0,5   |
|                       | Средняя                                    | 0,08–0,15                        | 0,20–0,40 | 0,12–0,20             | 0,2–0,3   |
|                       | Пониженная                                 | 0,06–0,10                        | 0,15–0,25 | 0,10–0,15             | 0,12–0,2  |
| До 5                  | Средняя                                    | 0,06–0,07                        | 0,15–0,30 | 0,08–0,12             | 0,1–0,18  |
|                       | Пониженная                                 | 0,04–0,06                        | 0,10–0,20 | 0,06–0,10             | 0,08–0,15 |
| Фрезы с мелким зубом  |  |                                  |           |                       |           |
| 5–10                  | Повышенная                                 | 0,08–0,12                        | 0,20–0,35 | 0,10–0,15             | 0,12–0,20 |
|                       | Средняя                                    | 0,06–0,10                        | 0,15–0,30 | 0,06–0,10             | 0,10–0,15 |
|                       | Пониженная                                 | 0,04–0,08                        | 0,10–0,20 | 0,06–0,08             | 0,08–0,12 |
| До 5                  | Средняя                                    | 0,04–0,06                        | 0,12–0,20 | 0,05–0,08             | 0,06–0,12 |
|                       | Пониженная                                 | 0,03–0,05                        | 0,08–0,15 | 0,03–0,06             | 0,05–0,10 |

Таблица 39. – Поддачи при чистовом фрезеровании плоскостей торцовыми, дисковыми и цилиндрическими фрезами

| Параметр шероховатости Ra, мкм | Торцовые и дисковые фрезы |                        | Цилиндрические фрезы из быстрорежущей стали |         |         |         |
|--------------------------------|---------------------------|------------------------|---|---------|---------|---------|
|                                | из твердого сплава        | из быстрорежущей стали | Конструкционная сталь                       |         | Чугун   |         |
|                                |                           |                        | 40–75                                       | 90–130  | 40–75   | 90–130  |
| 6,3                            | -                         | 1,2–2,7                | -   | -       | -       | -       |
| 3,2                            | 0,5–1,0                   | 0,5–1,2                | 1,0–2,7                                     | 1,7–3,8 | 1,0–2,3 | 1,4–3,0 |
| 1,6                            | 0,4–0,6                   | 0,23–0,5               | 0,6–1,5                                     | 1,0–2,1 | 0,6–1,3 | 0,8–1,7 |
| 0,8                            | 0,2–0,3                   | -                      | -   | -       | -       | -       |
| 0,4                            | 0,15                      | -                      | -   | -       | -       | -       |

Скорость резания  $v$  – окружная скорость фрезы рассчитывается по следующей формуле:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p}$$

Значения коэффициента  $C_v$ , показателей степени и периода стойкости  $T$  приведены в следующих таблицах:

Таблица 40. – Значения коэффициентов и показателей степени в формуле для расчета скорости резания при фрезеровании

| Фреза                           | Материал фрезы | Операция         | Параметры срезаемого слоя, мм |            |             | Коэффициент и показатели степени в формуле |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------------|----------------|------------------|-------------------------------|------------|-------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                 |                |                  | $B$                           | $t$        | $S_z$       | $C_v$                                      | $q$ | $x$ | $y$ | $u$ | $p$ | $m$ |
| Обработка конструкционной стали |                |                  |                               |            |             |  |     |     |     |     |     |     |
| Торцовые                        | T15K6          | Фрез. плоскостей | -                             | -          | -           | 332  | 0,2 | 0,1 | 0,4 | 0,2 | 0   | 0,2 |
|                                 | P6M5           |                  | -                             | -          | $\leq 0,1$  | 65   | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0   | 0,2 |
|                                 |                |                  | -                             | -          | $> 0,1$     | 41   | 5   | 0,1 | 0,4 | 5   | 0   | 0,2 |
| Цилиндрические                  | T15K6          |                  | $\leq 35$                     | $\leq 2$   | -           | 390  | 0,1 | 0,2 | 0,3 | -   | 0,1 | 0,3 |
|                                 |                |                  | $> 2$                         | 443        |             | 0,4  |     |     |     | 0,0 |     |     |
|                                 |                |                  | $> 2$                         | 616        |             | 7  |     |     |     | 0,2 |     |     |
|                                 |                | $\leq 35$        | 700                           | 0,4        |             | 8  |     |     |     |     |     |     |
|                                 | P6M5           | -                | -                             | $\leq 0,1$ | 55          | 0,4  | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |     |
|                                 |                |                  | -                             | $> 0,1$    | 35          | 5  | 0,3 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |     |
| Дисковые                        | T15K6          | Фрез. уступов    | -                             | -          | $< 0,12$    | 134  | 0,2 | 0,4 | 0,1 | 0   | 0   | 0,4 |
|                                 |                |                  | -                             | -          | $\geq 0,12$ | 0  |     |     | 0,4 |     |     |     |
|                                 |                | Фрез. пазов      | -                             | -          | $< 0,06$    | 182  | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0   | 0,4 |
|                                 |                |                  | -                             | -          | $\geq 0,06$ | 5  |     |     | 0,4 |     |     |     |
|                                 |                |                  | -                             | -          |             | 690  |     |     |     |     |     |     |

Продолжение таблицы 40

| Обработка серого чугуна |      |                  |       |        |       |     |     |          |     |     |     |     |
|-------------------------|------|------------------|-------|--------|-------|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|
| Торцовые                | ВК6  | Фрез. плоскостей | -     | -      | -     | 445 | 0,2 | 0,1<br>5 | 0,4 | 0,2 | 0   | 0,3 |
|                         | Р6М5 |                  | -     | -      | -     | 42  | 0,2 | 0,1      | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| Цилиндрические          | ВК6  |                  | < 2,5 | ≤ 0,2  | > 0,2 | 923 | 0,3 | 0,1      | 0,2 | 0,2 | 3   | 0,1 |
|                         |      | > 2,5            | ≤ 0,2 | > 0,2  | 588   | 0,3 |     | 0,5      |     |     |     |     |
|                         | Р6М5 | -                | -     | ≤ 0,15 | 118   | 0,7 |     | 0,4      | 0,2 |     |     |     |
| Дисковые                | Р6М5 | Фрез. уступов    | -     | -      | -     | 0   | 0,5 | 0,5      | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
|                         |      |                  | > 2,5 | ≤ 0,2  | > 0,2 | 750 |     |          |     |     |     |     |

*Расчет силы резания и величины крутящего момента*

Главная составляющая силы резания при фрезеровании – окружная сила. Она рассчитывается по формуле:

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^n z}{D^q n^w},$$

где  $z$  – число зубьев фрезы;

$n$  – частота вращения фрезы, об/мин.

Таблица 41. – Значения коэффициента и показателей степени в формуле для расчета окружной силы при фрезеровании

| Фрезы                           | Материал инструмента | Коэффициент и показатели степени |      |      |      |      |     |
|---------------------------------|----------------------|----------------------------------|------|------|------|------|-----|
|                                 |                      | $C_p$                            | $x$  | $y$  | $u$  | $q$  | $w$ |
| Обработка конструкционной стали |                      |                                  |      |      |      |      |     |
| Торцовые                        | Тв. сплав            | 825                              | 1,0  | 0,75 | 1,1  | 1,3  | 0,2 |
|                                 | Быстр. сталь         | 82,5                             | 0,95 | 0,8  |      | 1,1  | 0   |
| Цилиндрические                  | Тв. сплав            | 101                              | 0,88 | 0,75 | 1,0  | 0,87 | 0   |
|                                 | Быстр. сталь         | 68,2                             | 0,86 | 0,72 |      | 0,86 |     |
| Дисковые                        | Тв. сплав            | 261                              | 0,9  | 0,8  | 1,1  | 1,1  | 0,1 |
|                                 | Быстр. сталь         | 68,2                             | 0,86 | 0,72 | 1,0  | 0,86 | 0   |
| Обработка серого чугуна         |                      |                                  |      |      |      |      |     |
| Торцовые                        | Тв. сплав            | 54,5                             | 0,9  | 0,74 | 1,0  | 1,0  | 0   |
|                                 | Быстр. сталь         | 50                               |      | 0,73 | 1,14 | 1,14 |     |
| Цилиндрические                  | Тв. сплав            | 58                               | 0,9  | 0,8  | 1,0  | 0,9  | 0   |
|                                 | Быстр. сталь         | 30                               | 0,83 | 0,65 |      | 0,83 |     |
| Дисковые                        | Быстр. сталь         | 30                               | 0,83 | 0,65 | 1,0  | 0,83 | 0   |
| Обработка ковкого чугуна        |                      |                                  |      |      |      |      |     |
| Торцовые                        | Тв. сплав            | 491                              | 1,0  | 0,75 | 1,1  | 1,3  | 0,2 |
|                                 | Быстр. сталь         | 50                               | 0,95 | 0,8  |      | 1,1  | 0   |

Крутящий момент  $M_{кр}$  на шпинделе рассчитывается по формуле

$$M_{кр} = \frac{P_z D}{2 \cdot 100},$$

где  $D$  – диаметр фрезы, мм.

#### *Расчет корпуса фрезы на прочность*

Расчет прочности фрезы производится при черновой обработке и сводится к расчету на срез цилиндрической или торцевой шпонки либо шейки фрезы для Т-образных пазов, определению минимального конуса Морзе для хвостовой фрезы, расчету резьбы в хвостовике на срез и смятие. Расчет конуса Морзе можно произвести по следующей формуле:

$$d_{ср} = \frac{6M_{кр} \cdot \sin \alpha}{\mu P_x \cdot (1 - 0,04\Delta\alpha)},$$

где  $d_{ср}$  – средний диаметр конуса;

$M_{кр}, P_x$  – крутящий момент и осевая сила при фрезеровании;

$\mu \approx 0,1$  – коэффициент трения;

$\alpha \approx 1^\circ 30'$  – угол конуса;

$\Delta\alpha$  – погрешность изготовления конуса, определяемая по ГОСТ 2848-75 с учетом технических требований к фрезе.

С некоторым приближением можно принять  $d_{ср} = 0,5933M_{кр} / P_x$ .

Найденное значение  $d_{ср}$  округляется в сторону ближайшего большего конуса по ГОСТ 25557-82.

При расчете резьбы на срез необходимо выдержать соотношение

$$\frac{3P_x}{\pi d_1 k H m} < [\tau],$$

где  $d_1$  – внутренний диаметр резьбы;

$k \sim 0,88$  – коэффициент полноты резьбы;

$H$  – длина свинчивания;

$m = 5P / d$  – коэффициент, учитывающий неравномерную нагрузку витков резьбы;

$[\tau] \approx 150$  МПа – допускаемое напряжение среза;

$P$  – шаг резьбы.

При расчете резьбы на смятие необходимо выдержать соотношение

$$\frac{12P_x P}{\pi(d^2 - d_1^2)H} \leq [\sigma_{см}],$$

где  $d$  – диаметр резьбы;

$[\sigma_{см}] = 350$  МПа – допускаемое напряжение смятия.

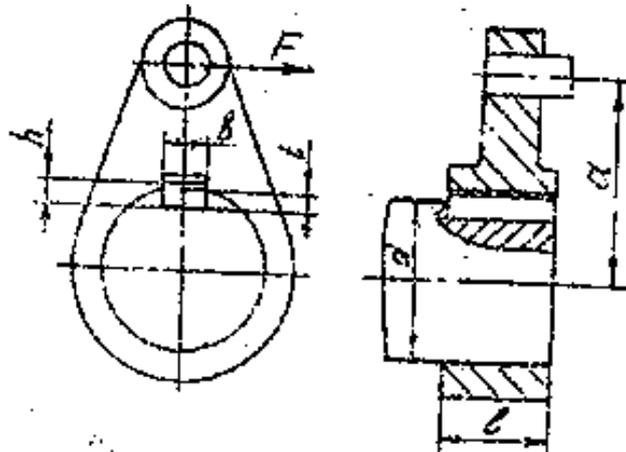


Рисунок 128. – Схема расчета шпонки на смятие

Для расчета дисковых и цилиндрических фрез, в конструкции которых для передачи крутящего момента используют призматическую шпонку (рис. 128), применяют методику расчета шпоночного соединения на смятие по формуле:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2T_{\text{к}}}{d(h-t_1)(l-b)} \leq [\sigma_{\text{см}}];$$

$$T_{\text{к}} = F \cdot a,$$

где  $F$  – усилие на валу эквивалентное силе резания  $P_z$ ,  $H$ .

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### ЛИТЕРАТУРА

#### Основная литература

1. Завистовский, С. Э. Обработка материалов и инструмент: Практикум / С. Э. Завистовский. – Минск : РИПО, 2014. – 168 с.
2. Завистовский, С. Э. Обработка материалов и инструмент: учебное пособие / С. Э. Завистовский. – Минск : РИПО, 2014. – 448 с.
3. Завистовский, С. Э. Технология обработки металлов: учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-02 06 02 «Технология (по направлениям). Дополнительная специальность» : в 2 ч. / С. Э. Завистовский. – Ч. 2 : в 2 кн. – Кн. 1., 2011. – 312 с.
4. Завистовский, С. Э. Технология обработки металлов: учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-02 06 02 «Технология (по направлениям). Дополнительная специальность» : в 2 ч. / С. Э. Завистовский. – Ч. 2 : в 2 кн. – Кн. 2., 2011. – 386 с.

#### Дополнительная литература

1. Краткий справочник металлиста / Под общ. ред. П. Н. Орлова, Е. А. Скороходова. – М. : Машиностроение, 1987. – 960 с.
2. Металлорежущие инструменты: альбом : учеб. пособие для машиностроит. техникумов / А. А. Суворов [и др.] – М. : Машиностроение, 1979. – 64 с.
3. Технический труд : учеб. пособие для 7–8 классов сред. шк. / А. А. Деркачев [и др.] ; под ред. А. А. Деркачева. – Минск : Нар. асвета, 1976.
4. Маслов, А. Р. Инструментальные системы машиностроительного производства / А. Р. Маслов. – М. : Машиностроение, 2006. – 336 с.

#### Основные стандарты

##### *Базовая оснастка*

1. **ГОСТ 3889 (DIN 6350)**. Патрон токарный трехкулачковый.
2. **ГОСТ 8522-79**. Патрон сверлильный.
3. **ГОСТ 4045-75**. Тиски слесарные поворотные.
4. **ГОСТ 16518-96 (DIN 6370)**. Тиски станочные.

*Вспомогательная оснастка*

1. **ГОСТ 13598.** Втулки переходные.
2. **ГОСТ 2682-86.** Оправки для сверлильного патрона.
3. **ГОСТ 13214-79.** Центры упорные.
4. **ГОСТ 8742-75.** Центры вращающиеся.

*Режущий инструмент*

1. **ГОСТ 18884-73.** Резцы токарные. Отрезной резец.
2. **ГОСТ 18880-73.** Резцы токарные. Подрезной резец.
3. **ГОСТ 18877-73.** Резцы токарные. Проходной резец.
4. **ГОСТ 18879-73.** Резцы токарные. Проходной упорный резец.
5. **ГОСТ 18883-73.** Резцы токарные. Расточной резец.
6. **ГОСТ 10902-77.** Сверла по металлу с цилиндрическим хвостовиком.
7. **ГОСТ 10903-77.** Сверла по металлу с коническим хвостовиком.
8. **ГОСТ 14952-75.** Сверла центровочные.
9. **ГОСТ 6228-80.** Плашки круглые.
10. **ГОСТ 19090-93.** Метчики цилиндрические.
11. **ГОСТ 17025-71.** Фрезы концевые с цилиндрическим хвостовиком.
12. **ГОСТ 17026-71.** Фрезы концевые с коническим хвостовиком.
13. **ГОСТ 9140-78.** Фрезы шпоночные.
14. **ГОСТ 2679-93.** Фрезы дисковые отрезные.
15. **ГОСТ 28527.** Фрезы дисковые трехсторонние.
16. **ГОСТ 1672-80.** Развертки машинные.
17. **ГОСТ 16172-90.** Круги алмазные.

## ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

1. Инструментальные стали.
2. Спеченные инструментальные твердые сплавы.
3. Сверхтвердые инструментальные материалы на основе кубического нитрида бора.
4. Инструментальные материалы с износостойкими покрытиями.
5. Пластины и вставки из инструментальных материалов.
6. Конструктивные элементы резца. Основные типы токарных резцов.
7. Исходные плоскости для определения геометрии резца. Углы лезвия резца.
8. Элементы режимов резания при токарной обработке.
9. Силы сопротивления резанию при точении.
10. Влияние различных факторов на силу резания.
11. Смазочно-охлаждающие технологические средства.
12. Износ лезвия резца. Стойкость резцов. Факторы, влияющие на стойкость резца.
13. Процесс сверления. Конструкция и геометрия спирального сверла.
14. Зенкерование. Конструкции зенкеров.
15. Развертывание. Конструкции разверток.
16. Комбинированный инструмент для обработки отверстий.
17. Процесс фрезерования. Элементы режущей части цилиндрической фрезы.
18. Назначение и особенности торцевых фрез. Геометрические параметры торцевых фрез.
19. Общая классификация фрез.
20. Методы нарезания зубчатых колес. Дисковые и концевые модульные фрезы.
21. Методы резьбонарезания. Конструкция и геометрия резьбового резца.
22. Конструкции плашек и метчиков.
23. Сущность процесса протягивания. Методы протягивания. Конструктивные элементы протяжки.
24. Абразивные материалы. Характеристика и классификация абразивного инструмента. Абразивный инструмент из сверхтвердых материалов.
25. Методы деревообработки. Особенности конструкции инструмента для обработки древесины.
26. Методика расчета токарных резцов.
27. Методика расчета сверл.
28. Методика расчета фрез.

## ПЛАНИРОВАНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

| Вид самостоятельной работы                  | Содержание  | Кол-во часов на выполнение |
|---|---|----------------------------|
| <b>4 семестр</b>                            |   |                            |
| Углубленное изучение тем учебной дисциплины | Тема 1.1. Сущность и виды обработки материалов резанием.<br>Осн. литература: 1–4<br>Доп. литература: 1, 2       | 2                          |
|   | Тема 1.2. Инструментальные материалы.<br>Осн. литература: 1–4<br>Доп. литература: 1, 2                          | 4                          |
|   | Тема 2.1. Геометрия токарного резца.<br>Осн. литература: 1, 2<br>Доп. литература: 2                             | 2                          |
|   | Тема 2.2. Элементы режима резания и срезаемого слоя.<br>Осн. литература: 1, 2<br>Доп. литература: 2             | 2                          |
|   | Тема 2.3. Сопротивление резанию при токарной обработке.<br>Осн. литература: 1, 2<br>Доп. литература: 2          | 2                          |
|   | Тема 2.4. Износ резцов.<br>Осн. литература: 2, 3<br>Доп. литература: 2, 3                                       | 2                          |
|   | Тема 3.1. Осевой инструмент.<br>Осн. литература: 1–4<br>Доп. литература: 1, 2                                   | 2                          |
|   | Тема 3.2. Зенкерование, развертывание.<br>Осн. литература: 1–4<br>Доп. литература: 1, 2                         | 2                          |
|   | Тема 3.3. Конструкции сверл, зенкеров, разверток.<br>Осн. литература: 1–4<br>Доп. литература: 1, 2              | 2                          |
| Работа с эмпирическим материалом            | Лабораторная работа 1. Изучение конструкции токарного проходного резца  | 2                          |
|   | Лабораторная работа 2. Изучение конструкции токарного подрезного резца  | 2                          |
|   | Лабораторная работа 3. Изучение конструкции токарного отрезного резца   | 2                          |
|   | Лабораторная работа 4. Изучение конструкции токарного расточного резца  | 2                          |
|   | Лабораторная работа 5. Изучение конструкции токарного резьбового резца  | 2                          |
|   | Лабораторная работа 6. Изучение конструкции токарного резца с механическим креплением инструментальной пластины | 2                          |

|  |  |   |
|--|--|---|
|  | Лабораторная работа 7. Изучение конструкции спирального сверла   | 2 |
|  | Лабораторная работа 8. Изучение конструкции зенкера  | 2 |
|  | Лабораторная работа 9. Изучение конструкции развертки  | 2 |
| <b>Всего за 4 семестр – 38</b>                   |  |   |
| <b>5 семестр</b>                                 |  |   |
| Углубленное изучение тем учебной дисциплины      | Тема 4.1. Обработка материалов цилиндрическими фрезами.<br>Осн. литература: 1–4<br>Доп. литература: 1, 2               | 2 |
|  | Тема 4.2. Обработка материалов торцовыми фрезами.<br>Осн. литература: 1–4<br>Доп. литература: 1, 2                     | 2 |
|  | Тема 4.3. Высокопроизводительные фрезы.<br>Осн. литература: 1–4<br>Доп. литература: 1, 2                               | 2 |
|  | Тема 4.4. Фрезы для зубонарезания.<br>Осн. литература: 1–4<br>Доп. литература: 1, 2                                    | 2 |
|  | Тема 5.1. Нарезание резьбы резцами, гребенками, плашками и метчиками.<br>Осн. литература: 1–4<br>Доп. литература: 1, 2 | 2 |
|  | Тема 6.1. Протяжной инструмент.<br>Осн. литература: 1–4<br>Доп. литература: 1, 2                                       | 2 |
|  | Тема 7.1. Абразивный инструмент.<br>Осн. литература: 1–4<br>Доп. литература: 1, 2                                      | 2 |
|  | Тема 8.1. Особенности конструкции инструментов для деревообработки.<br>Осн. литература: 1–4<br>Доп. литература: 1, 2   | 2 |
|  | Тема 9.1. Современные тенденции конструирования режущих инструментов.<br>Осн. литература: 1, 2<br>Доп. литература: 2   | 2 |
| Подготовка докладов к круглому столу и дискуссии | Тема 1.2. Инструментальные материалы.<br>Осн. литература: 1–4<br>Доп. литература: 1, 2                                 | 2 |
|  | Тема 2.1. Геометрия токарного резца.<br>Осн. литература: 1, 2<br>Доп. литература: 2                                    | 2 |
|  | Тема 3.1. Осевой инструмент.<br>Осн. литература: 1–4<br>Доп. литература: 1, 2  | 2 |

|  |  |   |
|--|--|---|
|  | Тема 7.1. Абразивный инструмент.<br>Осн. литература: 1–4<br>Доп. литература: 1, 2                                    | 2 |
|  | Тема 8.1. Особенности конструкции инструментов для деревообработки.<br>Осн. литература: 1–4<br>Доп. литература: 1, 2 | 2 |
| Работа с эмпирическим материалом   | Лабораторная работа 10. Изучение конструкции цилиндрической фрезы  | 2 |
|  | Лабораторная работа 11. Изучение конструкции угловой фрезы   | 2 |
|  | Лабораторная работа 12. Изучение конструкции торцевой фрезы  | 2 |
|  | Лабораторная работа 13. Изучение конструкции концевой фрезы  | 2 |
|  | Лабораторная работа 14. Изучение конструкции шпоночной концевой фрезы  | 2 |
|  | Лабораторная работа 15. Изучение конструкции дисковой фрезы  | 2 |
|  | Лабораторная работа 16. Изучение конструкции дисковой отрезной фрезы   | 2 |
|  | Лабораторная работа 17. Изучение конструкции пазовой фрезы   | 2 |
|  | Лабораторная работа 18. Изучение конструкции модульной фрезы   | 2 |
|  | Лабораторная работа 19. Изучение конструкции шлифовального круга   | 2 |
|  | Лабораторная работа 20. Изучение конструкции алмазного шлифовального круга   | 2 |
|  | Лабораторная работа 24. Изучение конструкции спирального сверла для деревообработки                                  | 2 |
|  | Лабораторная работа 25. Изучение конструкции винтового сверла для деревообработки                                    | 2 |
| Лабораторная работа 26. Изучение конструкции перового сверла для деревообработки | 2  |   |
| Выполнение исследовательских и творческих заданий                                | Тема 9.2. Расчет и проектирование токарных резцов общего назначения.   | 4 |
|  | Тема 9.3. Расчет и проектирование спиральных сверл.  | 2 |
|  | Тема 9.4. Расчет и проектирование фрез.  | 4 |
| <b>Всего за 5 семестр – 66</b>   |  |   |
| <b>Итого – 104</b>   |  |   |

## ИТОГОВАЯ АТТЕСТАЦИЯ СТУДЕНТОВ

В рамках рейтинговой системы успеваемость студентов по дисциплине складывается из двух компонентов:

- 1) результатов промежуточного контроля в течение семестра;
- 2) отметки за ответ по билету на экзамене.

Мероприятия промежуточного контроля проводятся в течение семестра в устно-письменной форме с использованием принятых оценочных средств. Мероприятия промежуточного контроля проводятся во время аудиторных занятий, а также в рамках управляемой самостоятельной работы студентов.

Промежуточный контроль проводится в течение 6-й и 12-й недели учебного семестра. Результат промежуточного контроля за семестр оценивается отметкой в баллах по десятибалльной шкале и выводится исходя из отметок, выставленных преподавателем в ходе проведения мероприятий промежуточного контроля в течение семестра.

Отметки, полученные студентом в ходе промежуточного контроля, фиксируются в журнале преподавателя.

Экзаменационная отметка по дисциплине является средневзвешенной и формируется по следующим правилам. Экзаменационная отметка определяется с учетом весового коэффициента промежуточного контроля  $k = 0,5 \dots 0,8$ . Информация о весовом коэффициенте доводится до студентов на первом занятии в семестре.

Экзаменационная отметка по дисциплине рассчитывается на основе результата промежуточного контроля и отметки, полученной студентом за ответ по билету, по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = k \cdot \Pi + (1 - k) \cdot \mathcal{O},$$

где  $\mathcal{E}$  – экзаменационная отметка;

$k$  – весовой коэффициент промежуточного контроля;

$\Pi$  – результат промежуточного контроля за семестр, оценивается одной отметкой по десятибалльной шкале, которая выводится из отметок, полученных в семестре;

$\mathcal{O}$  – отметка по десятибалльной шкале, полученная студентом за ответ по билету.

Если по учебной дисциплине назначен зачет, формируемый на основе накопительного принципа, то заключение о зачете принимается по формуле

$$\mathcal{E} = k \cdot \Pi,$$

где  $k = 1$ .

Положительной является экзаменационная отметка не ниже 4 баллов.