

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

## **РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ**

### **Часть 3**

**Методические указания**  
к выполнению лабораторных работ  
для студентов направления подготовки  
15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»  
всех форм обучения

Севастополь  
СевГУ  
2019

УДК 621.9.02 (075.8)  
Р33

**Р е ц е н з е н т:**

**А.Ю. Тараховский** - канд. техн. наук, доцент  
кафедры «Технология машиностроения»

*Составитель:* Д.Е. Сидоров

**Р33      Режущий инструмент:** метод. указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» всех форм обучения. Часть 3 / Сост. Д.Е. Сидоров. – Севастополь: СевГУ, 2019. – 35 с.

Методические указания предназначены для оказания помощи студентам при выполнении лабораторных работ.

УДК 621.9.02 (075.8)

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Технология машиностроения», протокол № 17 от 05 июня 2019 г.

Рекомендованы в качестве методических указаний учебно-методическим центром и научно-методическим советом СевГУ.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                      |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Лабораторная работа №7. Изучение геометрии и конструкции<br/>резьбонарезных плашек.....</b>    | <b>4</b>  |
| <b>2. Лабораторная работа №8. Изучение геометрии и конструкции<br/>зуборезных долбяков.....</b>      | <b>10</b> |
| <b>3. Лабораторная работа №9. Изучение геометрии и конструкции<br/>червячных модульных фрез.....</b> | <b>17</b> |
| <b>4. Лабораторная работа №10. Изучение геометрии и конструкции<br/>абразивных инструментов.....</b> | <b>24</b> |
| <b>Библиографический список.....</b>                                                                 | <b>35</b> |

## 1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

### ИЗУЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ И КОНСТРУКЦИИ РЕЗЬБОНАРЕЗНЫХ ПЛАШЕК

(Продолжительность выполнения – 2 часа)

Цель работы:

1. Изучить основные конструктивные элементы и геометрические параметры резьбонарезных плашек;
2. Ознакомиться со средствами и техникой измерения конструктивных элементов и геометрических параметров резьбонарезных плашек.

#### 1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

**Резьбонарезная плашка** – это гайка, превращенная в режущий инструмент путем сверления стружечных отверстий и формирования на зубьях режущих перьев передних и задних углов.

Плашки применяют для нарезания наружных резьб на болтах, винтах, шпильках и других крепежных деталях.

По типу нарезаемой резьбы плашки подразделяются на плашки:

- для метрической резьбы;
- для круглой резьбы;
- для конической резьбы и др.

По форме наружной поверхности плашки бывают:

- круглые;
- квадратные;
- шестигранные;
- трубные.

Для слесарных работ они делаются разрезными и зажимаются в воротках.

Самое широкое применение нашли плашки круглые, как наиболее технологичные и простые в эксплуатации. Они изготавливаются из калиброванных прутков быстрорежущей стали.

##### 1.1.1. Конструктивные и геометрические параметры круглой плашки

К основным конструктивным элементам круглых плашек относятся (рисунок 1.1): наружный диаметр плашки  $D$ , наружный диаметр резьбы  $d$ , внутренний диаметр резьбы  $d_1$ , толщина (ширина) плашки  $H$ , диаметры стружечных отверстий  $d_0$  и окружности их центров  $d_y$ , ширина просвета  $c$ , ширина пера  $B_1$ , минимальная толщина стенки (ширина перемычки)  $e$ , режущая часть  $l_1$ , калибрующая часть  $l_2$ , шаг  $P$ , число стружечных отверстий.

Геометрические параметры плашки: передний угол  $\gamma$ , задний угол  $\alpha$  и угол заборного конуса  $\varphi$ .

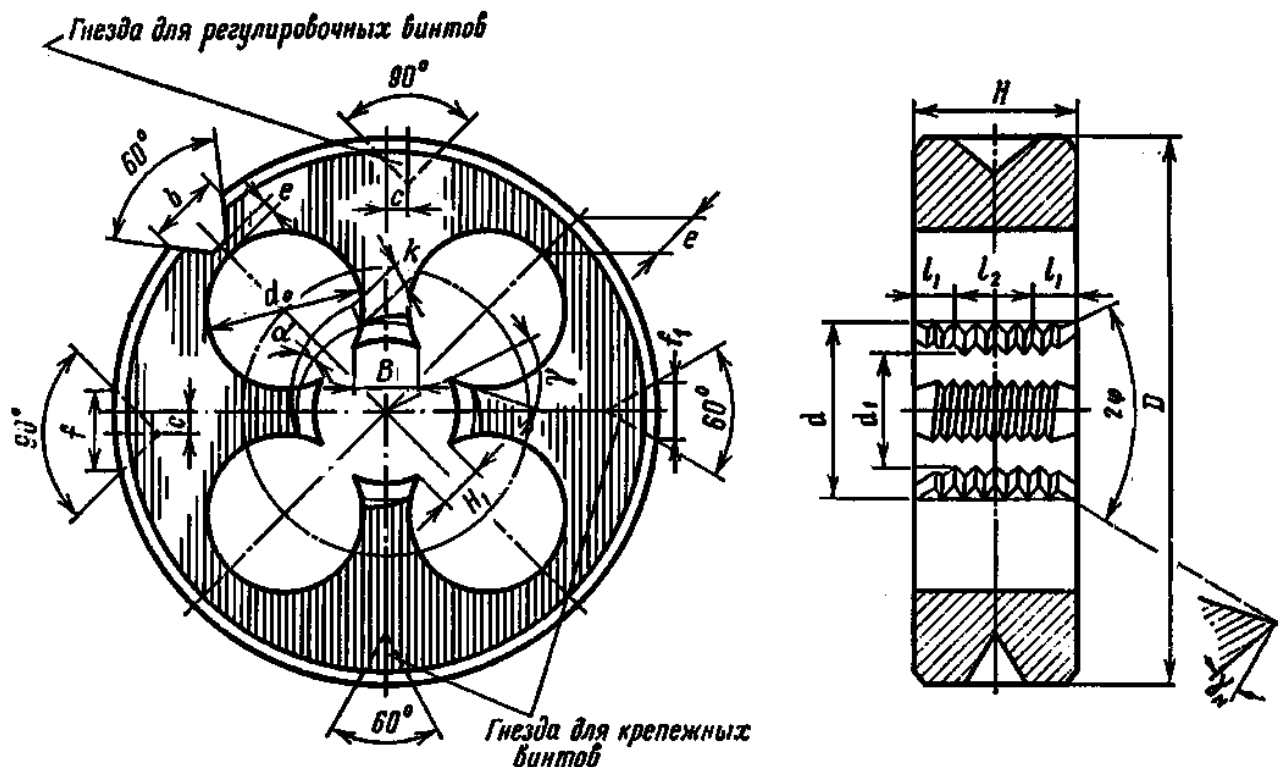


Рисунок 1.1 – Круглая резьбонарезная плашка

**Режущая часть** (рис. 1.2) выполняет основную работу по удалению металла из впадины резьбы. Плашки имеют две режущие части с каждого ее торца длиной  $l_1$ , что обеспечивает увеличение срока ее службы.

**Калибрующая часть** плашки предназначена для калибрования резьбы. Она влияет на направление и самоподачу инструмента в процессе резания. Шлифовать резьбу на ней и тем более проводить затылование невозможно. Поэтому задние углы на зубьях равны нулю. Точность нарезаемой резьбы из-за погрешностей, вызванных термообработкой, невысока – не более  $6h$ ,  $8h$ .

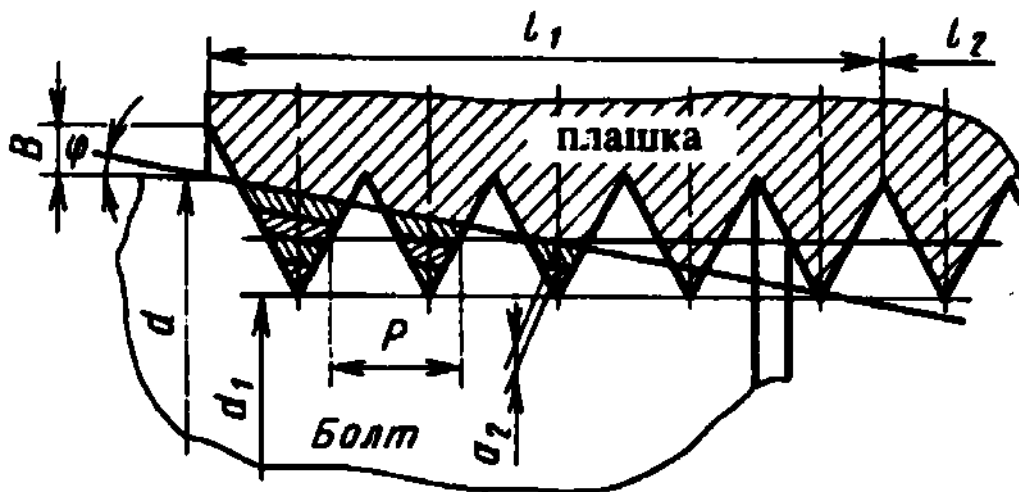


Рисунок 1.2 – Режущая часть плашки

Угол конуса  $\varphi$  и длина режущей части  $l_1$ , зависят от материала заготовки. Режущую часть плашек затачивают по передней и задней поверхностям.

Главный передний угол  $\gamma$  (рис. 1.3) задают на внутреннем диаметре резьбы и назначают в зависимости от материала детали. Две формы передней поверхности показаны на рисунке 1.3.

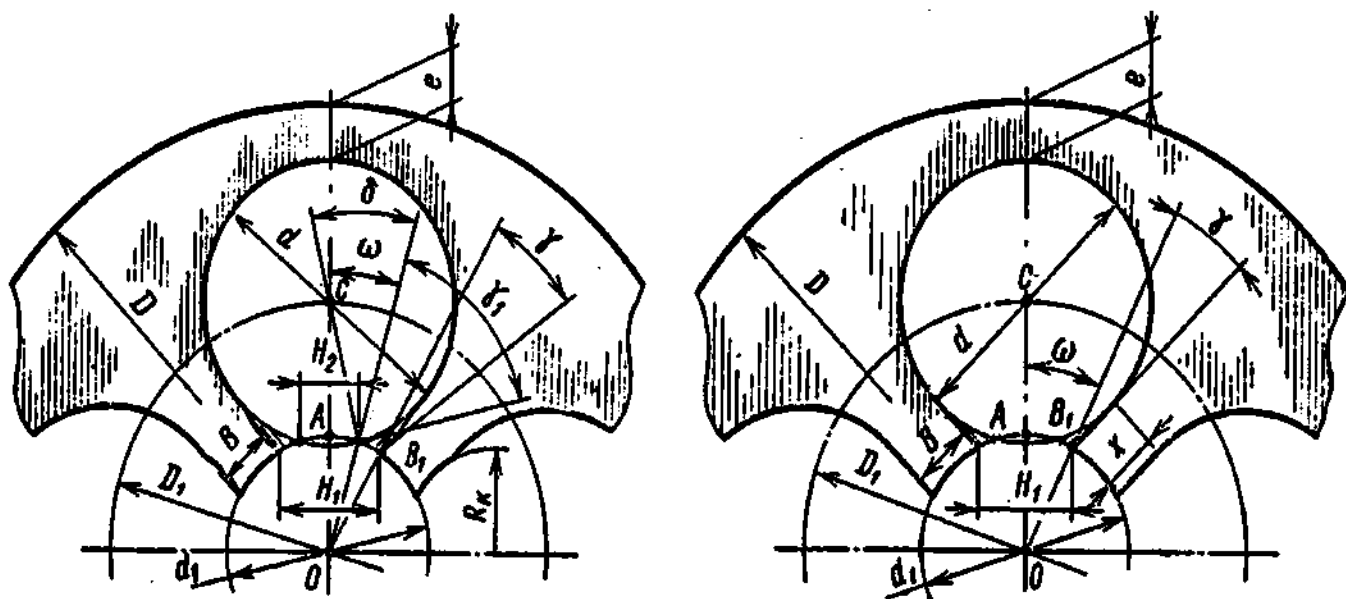


Рисунок 1.3 – Формы передней поверхности плашки

Главный задний угол  $\alpha$  (рис. 1.3) на режущей части задают также по внутреннему диаметру. Угол  $\alpha$  определяется величиной затылования:

$$K = \frac{\pi d_1}{z} \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $d_1$  – внутренний диаметр плашки, мм;  $z$  – число перьев (отверстий) плашки.

По калибрующей части плашки не затылуются, и вспомогательный задний угол  $\alpha_1 = 0^\circ$ . Вспомогательный передний угол  $\gamma_1$  соответствует главному переднему углу  $\gamma$ , в силу специфики заточки.

Длина рабочей части определяет ширину плашки  $H$ .

$$H = 2l_1 + l_2.$$

Наружный диаметр плашки  $D$  определяется внутренним диаметром резьбы  $d_1$ , диаметром стружечных отверстий  $d_0$  и шириной перемычки  $e$ , определяющей прочность корпуса плашки:

$$D = d_1 + 2d_0 + 2e.$$

Число перьев (стружечных отверстий) в зависимости от диаметра резьбы  $d = 1...80$  мм принимается  $z = 3...12$ .

Угол наклона режущей кромки к оси  $\lambda$ , (рис. 1.4) оказывает влияние на направление схода стружки. При  $\lambda = 0^\circ$  (рис. 1.4, а) стружка остается в канавке, при  $\lambda < 0^\circ$  (рис. 1.4, б) плашка направляет стружку вперед.

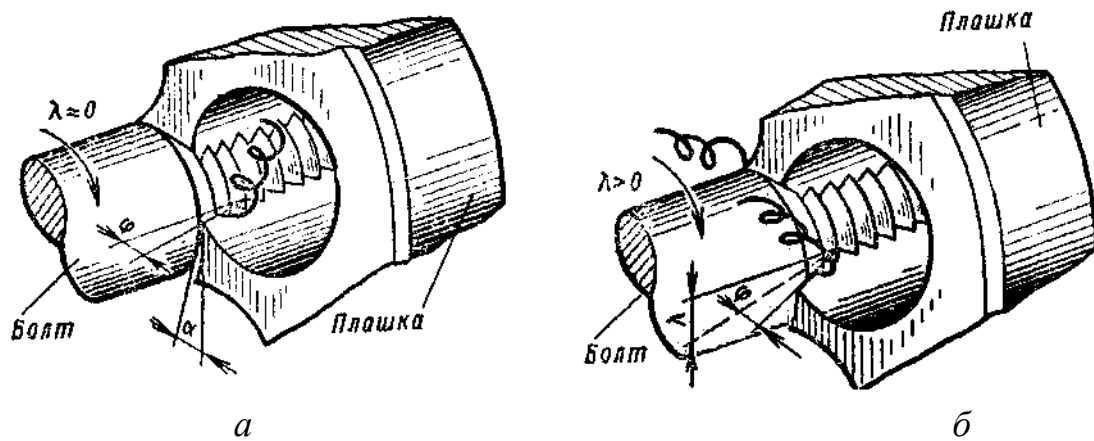


Рисунок 1.4 – Угол наклона режущей кромки к оси

### Элементы крепления плашек (рис. 1.5):

Плашки закрепляются или в воротке (при ручной работе), или в патроне. Для крепления плашки на ее наружной поверхности выполняют три или четыре конических углубления. Нижние гнезда с углом конуса  $60^\circ$  выполнены под установочный винт 1. Верхние гнезда с углом  $90^\circ$  поджимные, они смещены от оси на величину  $0,5 \dots 2$  мм для лучшего закрепления плашки винтами 2 и 3. У новых плашек сверху делается паз, перемычка которого разрезается после двух-трех переточек (под винт 4). Поджимные гнезда после удаления перемычки позволяют с помощью винтов 2, 3, 4 регулировать диаметр нарезаемой резьбы.

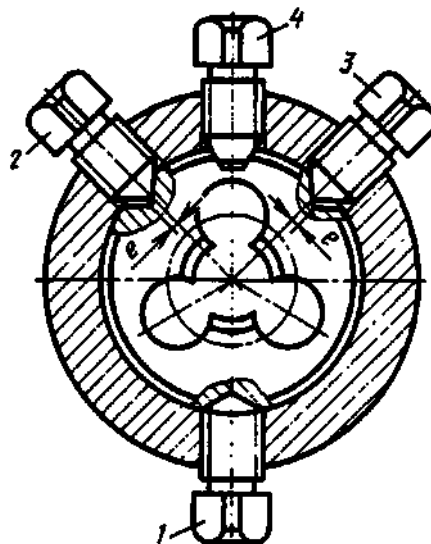


Рисунок 1.5 – Крепление плашки

### 1.1.2. Измерение плашек

Для измерения геометрических и конструктивных элементов плашки используют следующий измерительный инструмент: измерительную линейку,

универсальный угломер, штангенциркуль.

Наружный диаметр  $D$ , диаметр стружечных отверстий  $d_0$ , ширина пера  $B_1$ , ширина перемычки  $e$ , ширина просвета  $c$ , ширина плашки  $H$  – штангенциркулем или измерительной линейкой.

Шаг резьбы  $P$  – обозначен на торце плашки или измеряют резьбомером, штангенциркулем.

Длина режущей части  $l_1$  – измерительной линейкой.

Длина калибрующей части  $l_2$  определяется по формуле:

$$l_2 = H - 2l_1.$$

Наружный диаметр резьбы  $d$  обозначен на торце плашки.

Внутренний диаметр резьбы  $d_1$  – штангенциркулем или измерительной линейкой.

Угол конуса  $\varphi$  измеряют универсальным угломером.

Главный передний угол  $\gamma$  определяется графическим путем и рассматривается между лучом  $OB_1$  (точка  $B_1$  лежит на внутреннем диаметре резьбы  $d_1$  плашки (см. рисунок 1.3) и касательной к передней поверхности, восстановленной из точки  $B_1$ .

Главный задний угол  $\alpha$  плашки определяется в плоскости, перпендикулярной оси плашки, задний угол  $\alpha_N$  (см. рисунок 1.1) – в плоскости перпендикулярной образующей заборного конуса. Между углами  $\alpha$  и  $\alpha_N$  существует зависимость:

$$\alpha_N = \arctg(\operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \varphi).$$

Для расчетов обычно принимают  $\alpha = 6^\circ$ .

Угол резания плашки определяют по формуле:

$$\delta = 90^\circ - \gamma.$$

Угол заострения определяют по формуле:

$$\beta = 90^\circ - (\gamma + \alpha).$$

## 1.2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Нарисовать эскиз плашки с указанием конструктивных элементов и геометрии режущей и калибрующей частей;
2. Произвести необходимые измерения конструктивных элементов и геометрических параметров плашки. Результаты измерения занести в таблицу 1.1;
3. Составить отчет о проделанной работе.

Таблица 1.1 – Протокол измерений

| Показатель                                  | Значение |
|---------------------------------------------|----------|
| Наименование инструмента                    |          |
| Материал инструмента                        |          |
| Наружный диаметр плашки $D$ , мм            |          |
| Наружный диаметр резьбы плашки $d$ , мм     |          |
| Внутренний диаметр резьбы плашки $d_1$ , мм |          |
| Ширина плашки $H$ , мм                      |          |
| Длина режущей части $l_1$ , мм              |          |
| Длина калибрующей части $l_2$ , мм          |          |
| Шаг резьбы $P$ , мм                         |          |
| Число стружечных отверстий, шт.             |          |
| Диаметр стружечных отверстий $d_0$ , мм     |          |
| Ширина пера $B_1$ , мм                      |          |
| Ширина перемычки $e$ , мм                   |          |
| Ширина просвета $c$ , мм                    |          |
| Главный передний угол $\gamma$ , град.      |          |
| Главный задний угол $\alpha$ , град.        |          |
| Угол заострения $\beta$ , град.             |          |
| Угол резания $\delta$ , град.               |          |
| Угол заборной части $2\varphi$ , град.      |          |

### 1.3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет содержит:

- а) основные теоретические положения, изложенные в разделе 1.1 настоящих методических указаний;
- б) эскиз плашки с указанием всех углов и геометрических размеров;
- в) измерить геометрические и конструктивные элементы резьбонарезных круглых плашек и составить протокол измерений (таблица 1.1);
- г) выводы по работе.

### 1.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое плашка?
2. Назначение плашек.
3. Назовите основные конструктивные элементы плашки.
4. Назовите основные геометрические элементы плашки.
5. Какие приборы применяются для измерения геометрических и конструктивных элементов плашки?

## 2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

### ИЗУЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ И КОНСТРУКЦИИ ЗУБОРЕЗНЫХ ДОЛБЯКОВ

(Продолжительность выполнения – 2 часа)

Цель работы:

3. Изучить основные конструктивные элементы и геометрические параметры зуборезных долбяков;

4. Ознакомление со средствами и техникой измерения конструктивных элементов и геометрических параметров зуборезных долбяков.

#### 2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

**Долбяк** – это режущий инструмент, выполненный в виде зубчатого колеса, у которого вершины и боковые стороны зубьев снабжены передними и задними углами.

Зуборезные долбяки применяют для нарезания зубьев прямозубых, косозубых и шевронных колес, а также колес внутреннего зацепления на специальных зубодолбежных станках. Долбяки незаменимы при нарезании зубьев в упор, например на блочных колесах или колесах с фланцами. Следует отметить их высокую технологичность, возможность достижения высокой точности при изготовлении и широкую универсальность в применении.

Изготавливают долбяки из быстрорежущей стали и очень редко снабжают твердосплавными пластинами.

Стандартные долбяки (ГОСТ 9323–79) изготавливаются трех классов точности АА, А и В для нарезания колес соответственно 6, 7 и 8-й степеней точности.

По методу крепления зуборезных долбяков на станке различают: *дисковые* (рисунок 2.1, а), *чашечные* (рисунок 2.1, б), *втулочные* (рисунок 2.1, в) и *хвостовые* (рисунок 2.1, г) долбяки.

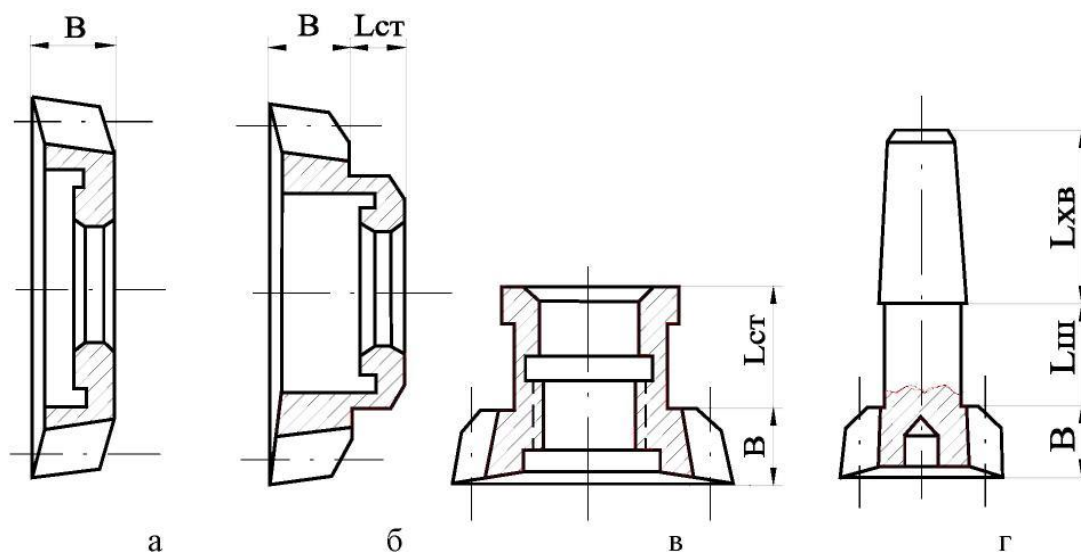


Рисунок 2.1 – Зуборезные долбяки

На рисунке 2.2 показана схема работы долбяка.

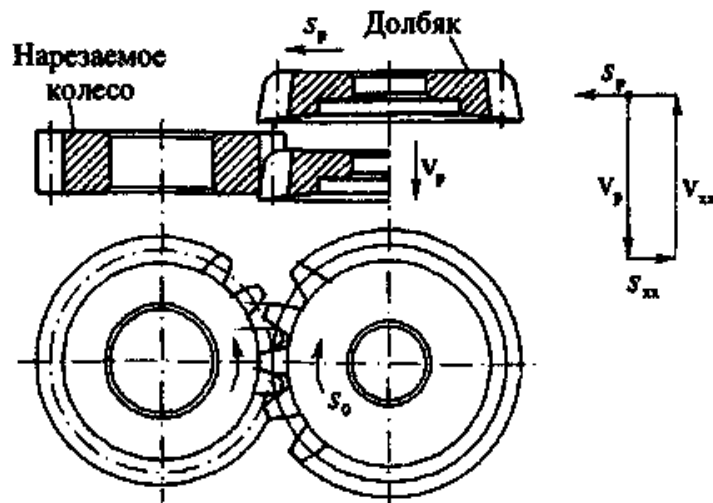


Рисунок 2.2 – Схема работы зуборезного долбяка

Долбяк крепится на штосселе специального зубодолбежного станка и работает по методу обкаточного огибания. Движение резания  $V_p$  (главное движение) долбяк осуществляет при перемещении вниз вдоль оси, затем следует холостое движение вверх и поворот долбяка относительно заготовки, т.е. происходит обкат инструмента и заготовки по начальным окружностям без скольжения. Перед холостым ходом вверх ( $V_{xx}$ ) долбяк отводится на небольшое расстояние  $S_{xx}$  от заготовки во избежание трения задней поверхности об обработанную поверхность. Таким образом, долбяк осуществляет возвратно-поступательные движения и вращательное относительно своей оси.

Подача (круговая), определяющая толщину слоя, срезаемого боковыми режущими кромками, осуществляется при относительном вращении долбяка и заготовки и измеряется по делительной окружности –  $S_0$  [мм/дв.ход]. Кроме того, долбяк получает радиальную подачу при врезании в заготовку  $S_p$  [мм/дв.ход].

К числу недостатков долбяков следует отнести: сложность кинематики зубодолбежных станков, ограничения применяемости по числу зубьев нарезаемых колес из-за вносимых погрешностей в их профиль.

### 2.1.1. Конструктивные элементы и геометрические параметры зуборезных долбяков

Зуб долбяка имеет *три режущие кромки*: одну при вершине и две боковые, очерченные по эвольвенте.

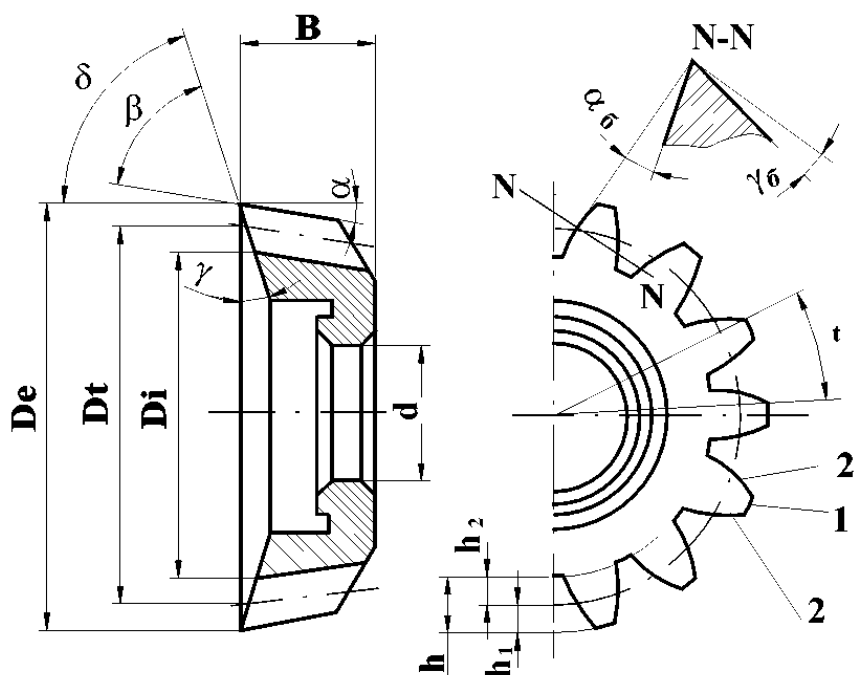


Рисунок 2.3 – Конструктивные параметры долбяка

У долбяка различают передние и задние углы для вершинной и боковых режущих кромок.

Углы  $\alpha$  и  $\gamma$  являются соответственно *задним и передним углами при вершине*, здесь они рассматриваются в диаметральной плоскости долбяка.

Углы  $\alpha_0$  и  $\gamma_0$  являются *задним и передним углами боковой режущей кромки*; они рассматриваются в плоскости  $NN$ , проходящей через точку на делительной окружности и являющейся касательной к основной окружности диаметром  $D_t$ .

К конструктивным параметрам долбяка относят: модуль  $m$ , угол зацепления  $\alpha_0$ , наружный диаметр  $D_e$ , внутренний диаметр  $D_i$ , делительный диаметр  $D_t$ , высота головки  $h_1$ , высота ножки  $h_2$ , высота зуба  $h$ , углом наклона зуба  $\omega$ , шаг  $t$ , толщина зуба по делительной окружности  $S$  (рисунок 2.3).

### 2.1.2. Измерение зуборезного долбяка

При измерении геометрических и конструктивных параметров зуборезного долбяка придерживаются следующего порядка:

*Модуль  $m$  и угол зацепления  $\alpha_0$  долбяка, а также материал, из которого изготовлен долбяк, обозначены на торце.*

*Наружный диаметр  $D_e$  долбяка измеряют штангенциркулем.*

*Ширину рабочей части  $B$ , длину ступицы  $L_{СТ}$ , длину шейки  $L_{Ш}$  и*

хвостовика  $L_{XB}$  – измерительной линейкой или штангенциркулем.

Высоту головки  $h_1$  зуба принимают равной высоте ножки  $h_2$  нарезаемого зуба и определяют по формуле:

$$h_1 = h_2 = 1,25m.$$

Высота зуба  $h$  определяется по формуле:

$$h = h_1 + h_2 = 2,5m$$

Шаг  $t$  рассчитывают по делительной окружности:

$$t = \frac{\pi D_t}{z},$$

где  $z$  – число зубьев;  $D_t$  – делительный диаметр, мм.

Делительный диаметр  $D_t$  определяют по формуле:

$$D_t = D_e - 2h_1 = D_i + 2h_2.$$

Внутренний диаметр фрезы  $D_f$  определяют по формуле:

$$D_i = D_e - 2h.$$

Толщину зуба  $S$  измеряют по делительной окружности специальным зубомером (рисунок 2.4).

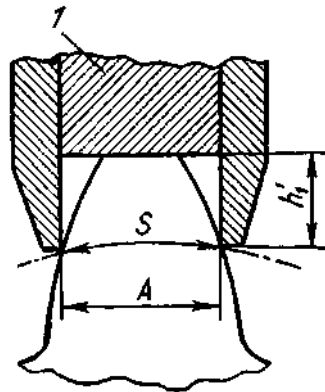


Рисунок 2.4 – Измерение толщины зуба  $S$

Как видно из чертежа, зубомером можно измерять толщину зуба долбяка не по дуге делительной окружности  $S$ , а по хорде  $A$ , но тогда измерение приведет к ошибке. Для исправления этой ошибки устанавливают верхний упор зубомера  $1$  по вертикальной шкале на высоту:

$$h_1' = h_1 k,$$

где  $h_1$  – высота головки зуба, мм;  $k$  – поправочный коэффициент, выбираемый в зависимости от числа зубьев долбяка. Значение коэффициента  $k$  выбирают по таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Значение поправочного коэффициента

| Число зубьев колеса | Коэффициент $k$ | Число зубьев колеса | Коэффициент $k$ | Число зубьев колеса | Коэффициент $k$ |
|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| 10                  | 1,0615          | 22                  | 1,0280          | 38                  | 1,0162          |
| 11                  | 1,0559          | 23                  | 1,0268          | 40                  | 1,0154          |
| 12                  | 1,0553          | 24                  | 1,0256          | 42                  | 1,0146          |
| 13                  | 1,0473          | 25                  | 1,0245          | 45                  | 1,0137          |
| 14                  | 1,0440          | 26                  | 1,0237          | 48                  | 1,0128          |
| 15                  | 1,0410          | 27                  | 1,0228          | 50                  | 1,0123          |
| 16                  | 1,0385          | 28                  | 1,0220          | 55                  | 1,0112          |
| 17                  | 1,0362          | 29                  | 1,0212          | 80                  | 1,0077          |
| 18                  | 1,0342          | 30                  | 1,0206          | 135                 | 1,0045          |
| 19                  | 1,0324          | 32                  | 1,0192          | Рейка               | 1,0000          |
| 20                  | 1,0308          | 34                  | 1,0183          |                     |                 |
| 21                  | 1,0293          | 35                  | 1,0176          |                     |                 |

Передний угол  $\gamma$  и задний угол  $\alpha$  для вершинной режущей кромки измеряют универсальным угломером или маятниковым угломером (рисунок 2.5).

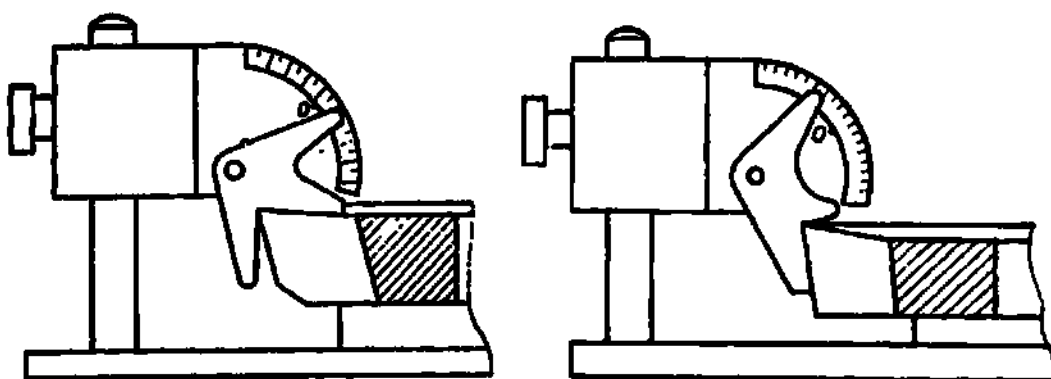


Рисунок 2.5 – Измерение переднего и заднего углов при вершине

Задний угол  $\alpha_\delta$  для боковых режущих кромок определяется по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_\delta = \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha_0,$$

где  $\alpha$  – задний угол режущей кромки при вершине, град;  $\alpha_0$  – угол зацепления, град ( $\alpha_0 = 20^\circ$ ).

Угол резания фрезы определяют по формуле:

$$\delta = 90^\circ - \gamma.$$

Угол заострения определяют по формуле:

$$\delta = 90^\circ - (\alpha + \gamma).$$

Угол наклона зуба  $\omega$  (у прямозубого долбяка  $\omega = 0^\circ$ , у косозубого долбяка ( $\omega \neq 0^\circ$ )) измеряют универсальным угломером.

## 2.2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Нарисовать эскиз зуборезного долбяка с указанием конструктивных и геометрических элементов;
2. Произвести необходимые измерения конструктивных элементов и геометрических параметров инструмента. Результаты измерения занести в таблицу 2.2;
3. Составить отчет о проделанной работе.

Таблица 2.2 – Протокол измерений

| Показатель                                         | Значение |
|----------------------------------------------------|----------|
| Тип долбяка                                        |          |
| Материал инструмента                               |          |
| Диаметр наружный $D_e$ , мм                        |          |
| Делительный диаметр $D_o$ , мм                     |          |
| Внутренний диаметр $D_f$ , мм                      |          |
| Ширина $B$ , мм                                    |          |
| Длина ступицы $L_{CT}$ , мм                        |          |
| Длина шейки $L_{III}$ , мм                         |          |
| Длина хвостовика $L_{XB}$ , мм                     |          |
| Число зубьев $z$                                   |          |
| Шаг $t$ , мм                                       |          |
| Высота зуба $h$ , мм                               |          |
| Высота головки $h_1$ , мм                          |          |
| Высота ножки $h_2$ , мм                            |          |
| Толщина зуба $S$ , мм                              |          |
| Передний угол при вершине $\gamma$ , град.         |          |
| Задний угол при вершине $\alpha$ , град.           |          |
| Угол заострения $\beta$ , град.                    |          |
| Угол резания $\delta$ , град.                      |          |
| Задний угол боковых режущих кромок $\alpha_B$ , мм |          |
| Угол наклона зуба $\omega$ , град.                 |          |

### **2.3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

Отчет содержит:

- а) основные теоретические положения, изложенные в разделе 2.1 настоящих методических указаний;
- б) эскиз протяжки с указанием всех углов и геометрических размеров;
- в) заполненный протокол измерений (таблица 2.2);
- г) выводы по работе.

### **2.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что такое долбяк?
2. Назначение зуборезный долбяков.
3. Классификация долбяков.
4. Назовите основные конструктивные элементы долбяков.
5. Назовите основные геометрические элементы долбяков.
6. Какие приборы применяются для измерения углов долбяков?

### 3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

#### ИЗУЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ И КОНСТРУКЦИИ ЧЕРВЯЧНЫХ МОДУЛЬНЫХ ФРЕЗ

(Продолжительность выполнения – 2 часа)

Цель работы:

1. Изучить основные конструктивные элементы и геометрические параметры червячных модульных фрез;
2. Ознакомление со средствами и техникой измерения конструктивных элементов и геометрических параметров червячных модульных фрез.

#### 3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

**Червячные зуборезные фрезы** – это многолезвийные инструменты реечного типа, работающие по методу обката. Они изготавливаются на базе червяка, в котором для образования зубьев прорезаны стружечные канавки. При пересечении с витками червяка они образуют переднюю поверхность в виде рейки. Задние углы на зубьях создаются, как правило, затылованием, что облегчает переточку фрезы в процессе эксплуатации. Так как рейки находятся на витках червяка, то при вращении последнего режущие кромки зубьев получают не только движение вокруг оси фрезы, но и непрерывное смещение вдоль ее оси. Таким образом, червячная фреза является инструментом с конструктивным движением обката или инструментом с бесконечной рейкой, находящейся в зацеплении с нарезаемым колесом.

Способ фрезерования зубчатых колес имеет широкое распространение в промышленности благодаря своей универсальности, высокой производительности и точности. Одной и той же фрезой данного модуля можно нарезать колеса с различным числом зубьев, что значительно сокращает число типоразмеров фрез. Благодаря непрерывности процесса обката достигаются высокая производительность и точность колес по шагу. Обработка ведется на специальных зубофрезерных станках, обеспечивающих вращение фрезы и заготовки вокруг своих осей и движение подачи фрезы вдоль оси нарезаемого колеса.

По точности червячные фрезы изготавливаются классов ААА и АА (прецизионные) А, В, С и Д (общего назначения) и предназначены для нарезания колес 5 – 9-й степеней точности.

Кроме того, фрезы подразделяются:

- а) по числу заходов червяка – на одно- и многозаходные;
- б) по направлению витков – правые (для нарезания прямозубых и правозаходных колес) и левые (для нарезания одноименных косозубых колес);
- в) по способу крепления – насадные и хвостовые (для червячных колес);
- г) по конструкции – цельные и сборные;

д) по технологии изготовления – с нешлифованными и шлифованными поверхностями зубьев.

**Принцип работы червячных фрез.** Процесс зубонарезания червячной фрезой подобен процессу зацепления двух зубчатых колес. При этом червяк можно рассматривать как колесо с винтовыми зубьями, число которых равно числу заходов. Оси червяка и колеса скрещиваются в пространстве (рис. 3.1).

В процессе зубонарезания фреза и колесо вращаются вокруг своих осей, а движение подачи вдоль оси колеса осуществляется перемещением.

Червячная модульная фреза предназначена для нарезания на специальных зубофрезерных станках цилиндрических зубчатых колес с прямыми и косыми зубьями, червячных колес и конических колес с криволинейными зубьями.

Схема обработки зубчатого колеса с прямыми зубьями червячной фрезой показана на рисунке 3.1. Червячную фрезу 1 закрепляют на оправке; ось ее должна быть установлена под углом  $\varphi$  по отношению к плоскости, перпендикулярной к оси обрабатываемой детали 2. Фреза имеет вращательное движение вокруг своей оси и поступательное вдоль оси детали. Деталь, закрепленная на столе станка, имеет только вращательное движение вокруг своей оси, строго согласованное с вращением червячной фрезы.

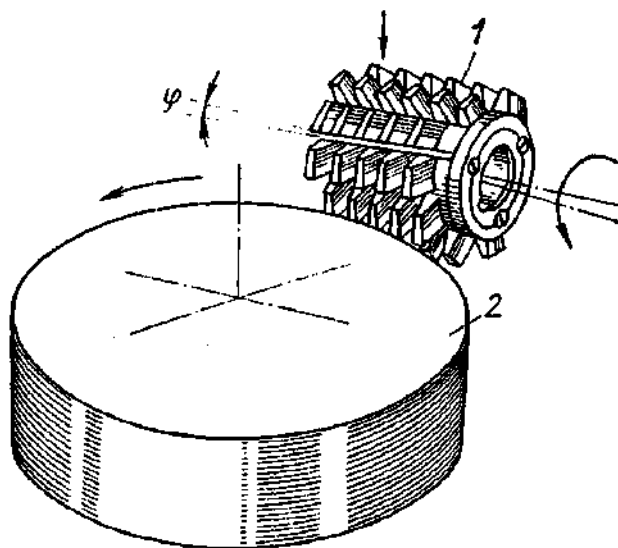


Рисунок 3.1 – Схема обработки зубчатого колеса

### 3.1.1. Конструктивные элементы и геометрические параметры червячных модульных фрез

Червячная модульная фреза представляет собой червяк, у которого прорезаны под некоторым углом к оси  $\omega$  канавки для схода стружки и для образования режущих кромок (рисунок 3.2).

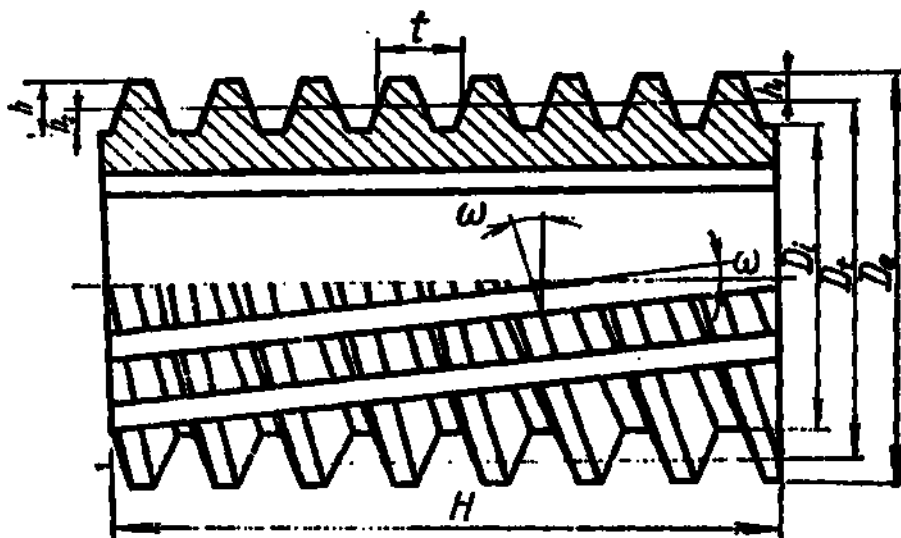


Рисунок 3.2 – Червячная модульная фреза

К конструктивным параметрам червячных модульных фрез относят: модуль  $t$ , угол зацепления  $\alpha_0$ , наружный диаметр  $D_e$ , внутренний диаметр  $D_i$ , делительный диаметр  $D_t$ , высота головки  $h_1$ , высота ножки  $h_2$ , высота зуба  $h$ , углом подъема винтовой канавки  $\omega$ , шаг  $t$ , толщина зуба по делительной окружности  $S$  (рис. 3.2).

### 3.1.2. Измерение червячной модульной фрезы

При измерении геометрических и конструктивных параметров червячной модульной фрезы придерживаются следующего порядка:

*Модуль  $t$  и угол зацепления  $\alpha_0$ , а также материал, из которого изготовлена фреза, обозначены на торце фрезы.*

*Наружный диаметр  $D_e$  фрезы измеряют штангенциркулем.*

*Высота головки  $h_1$  – расстояние от окружности выступов до начальной окружности.*

*Высота ножки  $h_2$  – расстояние от начальной окружности до окружности впадин.*

*Высота зуба  $h$  – это расстояние от окружности выступов до окружности впадин и равна сумме высот  $h_1$  головки и  $h_2$  ножки.*

*Высоту головки  $h_1$  зуба принимают равной высоте ножки  $h_2$  нарезаемого зуба и определяют по формуле:*

$$h_1 = h_2 = 1,25t.$$

*Высота зуба  $h$  определяется по формуле:*

$$h = h_1 + h_2 = 2,5t.$$

Шаг  $t_n$  в нормальном сечении определяют по формуле:

$$t_n = \pi m,$$

где  $m$  – модуль зацепления.

Толщину зуба  $S_n$  в нормальном сечении измеряют специальным зубомером (рисунок 3.2). Для этого вертикальный упор 1 зубомера устанавливают на высоте головки зуба, равной  $1,25m$ . Боковые ножки 2 зубомера замеряют толщину зуба  $S_n$ .

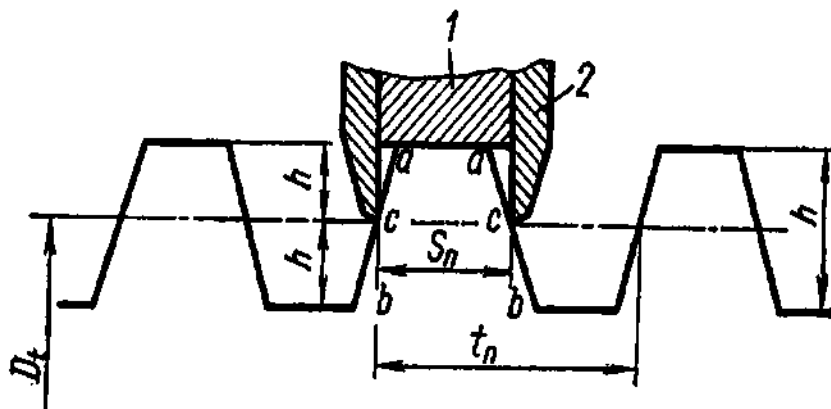


Рисунок 3.2 – Определение толщины зуба в нормальном сечении

Ширину фрезы  $H$  измеряют измерительной линейкой.

Червячная модульная фреза принадлежит к группе фрез с затылованным зубом, т.е. у нее режущий зуб по задней поверхности очерчен по архимедовой спирали (рис. 3.3, а), обеспечивающей постоянство профиля режущих кромок после переточки.

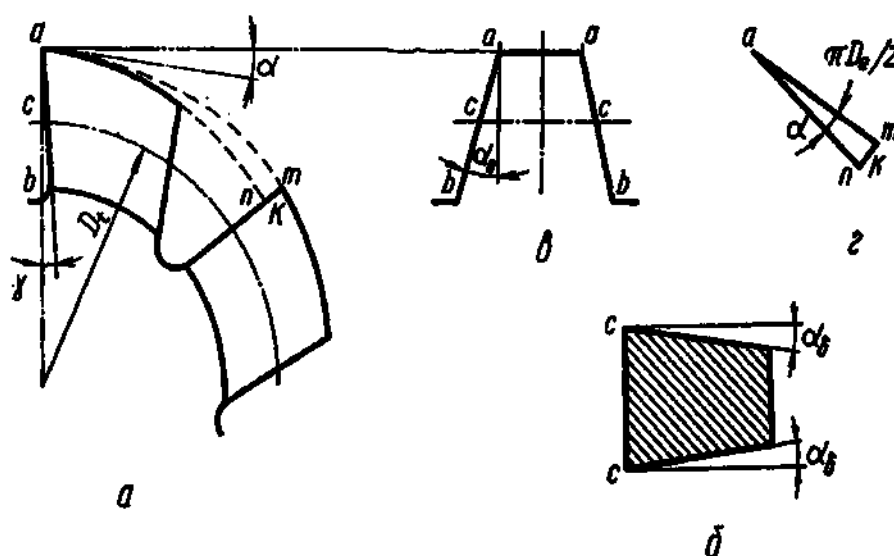


Рисунок 3.3 – Геометрические параметры червячной модульной фрезы

Зуб червячной фрезы имеет *три режущих кромки* – одну при вершине  $aa$

и две боковые  $ab$  (рисунок 3.3, в).

*Задний угол  $\alpha$* , для режущей кромки при вершине  $aa$ , определяется как угол между касательной линией к окружности фрезы и касательной к задней поверхности (рисунок 3.3, а).

*Передний угол  $\gamma$*  определяется как угол между передней поверхностью и радиальным направлением, проходящим через вершину зуба. Для чистовых фрез обычно угол  $\gamma = 0^\circ$ .

*Задний угол  $\alpha_\delta$* , для боковых режущих кромок  $ab$ , определяется из развертки на плоскость делительного цилиндра диаметра  $D_t$  (рис. 3.3, б).

*Задний угол  $\alpha$*  режущей кромки при вершине определяют с помощью индикатора, для чего используют установку, состоящую из плиты, стойки и делительной головки (рис. 3.3). Фрезу 3 закрепляют на оправке 4. Делительная головка 1 дает возможность определить угол поворота фрезы  $\psi$ , соответствующий дуге  $a$  и падению затылка  $b_0$ . Величину  $b_0$  определяют с помощью индикатора 2, а дугу окружности  $a$  вычисляют по формуле:

$$a = \frac{\pi \cdot D_e}{360} \psi,$$

где  $D_e$  – наружный диаметр фрезы, мм;  $\psi$  – угол поворота фрезы, отсчитываемый на делительной головке, град.

У затылованного зуба фрезы различают также *величину затылования  $K$* , которую определяют из выпрямленного треугольника  $\Delta amn$  (рисунок 3.3, г):

$$K = \frac{\pi D_e}{z} \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $D_e$  – наружный диаметр фрезы, мм;  $z$  – число зубьев фрезы;  $\alpha$  – задний угол режущей кромки при вершине, град.

Из рассмотрения выпрямленного треугольника  $\Delta mhp$  имеем:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b_0}{a}.$$

Следовательно, *величина заднего угла при вершине  $\alpha$*  определяется по формуле:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{360 \cdot b_0}{\pi \cdot D_e \cdot \psi}.$$

*Задний угол  $\alpha_\delta$*  боковых режущих кромок определяется по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha_\delta = \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha_0,$$

где  $\alpha$  – задний угол режущей кромки при вершине, град;  $\alpha_0$  – угол зацепления, град ( $\alpha_0 = 20^\circ$ ).

*Угол резания* фрезы определяют по формуле:

$$\delta = 90^\circ - \gamma.$$

Угол заострения определяют по формуле:

$$\delta = 90^\circ - (\alpha + \gamma).$$

Глубину стружечной канавки  $H_0$  (рисунок 3.4) измеряют штангенциркулем.

Радиус закругления стружечной канавки  $r$  (рисунок 3.4) определяют по формуле:

$$r = H_0 - (K + h),$$

где  $K$  – величина затылования;  $h$  – высота зуба, мм;  $H_0$  – глубина стружечной канавки, мм.

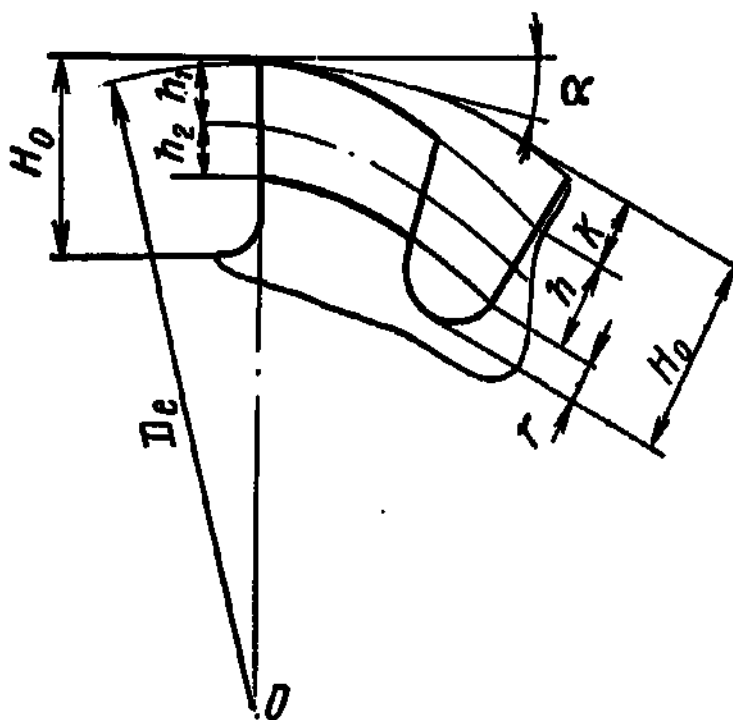


Рисунок 3.4 – Конструктивные параметры зуба червячной модульной фрезы

Внутренний диаметр фрезы  $D_i$  определяют по формуле:

$$D_i = D_e - 2h.$$

Делительный диаметр  $D_t$  определяют по формуле:

$$D_t = D_e - 2h_1 = D_i + 2h_2.$$

### 3.2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Нарисовать эскиз червячной модульной фрезы с указанием конструктивных и геометрических элементов;
2. Произвести необходимые измерения конструктивных элементов и геометрических параметров инструмента. Результаты измерения занести в таблицу 3.1;
3. Составить отчет о проделанной работе.

Таблица 3.1 – Протокол измерений

| Показатель                                         | Значение |
|----------------------------------------------------|----------|
| Наименование инструмента                           |          |
| Материал инструмента                               |          |
| Диаметр наружный $D_e$ , мм                        |          |
| Делительный диаметр $D_o$ , мм                     |          |
| Внутренний диаметр $D_f$ , мм                      |          |
| Ширина $H$ , мм                                    |          |
| Число зубьев $z$                                   |          |
| Шаг $t$ , мм                                       |          |
| Высота зуба $h$ , мм                               |          |
| Высота головки $h_1$ , мм                          |          |
| Высота ножки $h_2$ , мм                            |          |
| Толщина зуба $S$ , мм                              |          |
| Глубина стружечной канавки $H_0$ , мм              |          |
| Радиус закругления стружечной канавки $r$ , мм     |          |
| Величина затылования $K$ , мм                      |          |
| Передний угол при вершине $\gamma$ , град.         |          |
| Задний угол при вершине $\alpha$ , град.           |          |
| Угол заострения $\beta$ , град.                    |          |
| Угол резания $\delta$ , град.                      |          |
| Задний угол боковых режущих кромок $\alpha_B$ , мм |          |
| Угол подъема винтовой канавки $\omega$ , град.     |          |

### 3.3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет содержит:

- а) основные теоретические положения, изложенные в разделе 10.1 настоящих методических указаний;
- б) эскиз червячной модульной фрезы с указанием всех углов и геометрических размеров;
- в) заполненный протокол измерений (таблица 10.1);
- г) выводы по работе.

### 3.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение червячной модульной фрезы.
2. Назовите основные конструктивные элементы червячной модульной фрезы.
3. Назовите основные геометрические элементы червячной модульной фрезы.

## 4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

### ИЗУЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ И КОНСТРУКЦИИ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

(Продолжительность выполнения – 2 часа)

Цель работы:

1. Изучить основные конструктивные элементы и геометрические параметры абразивных инструментов;
2. Ознакомление со средствами и техникой измерения конструктивных элементов и геометрических параметров абразивных инструментов.

#### 4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

**Абразивные инструменты** – это режущие инструменты, изготовленные из зерен шлифовальных материалов, сцепленных между собой связующим веществом (связкой) и разделенных друг от друга порами.

В отличие от лезвийных инструментов абразивные инструменты не имеют сплошных режущих кромок, так как многочисленные абразивные зерна находятся на некотором расстоянии друг от друга. Зерна расположены хаотично и имеют неправильную геометрическую форму с отрицательными передними углами. Процесс резания абразивными инструментами заключается в срезании отдельными зернами-резцами тонкого слоя материала заготовки. При этом высокие твердость и теплостойкость абразивных зерен дают возможность обработки очень твердых материалов на высоких скоростях резания.

В зоне контакта абразивных зерен и заготовки возникает высокая мгновенная температура (1000... 1600 °С), часто вызывающая на поверхности детали появление прижогов, остаточных напряжений и шлифовочных трещин. Иногда это является сдерживающим фактором повышения производительности процесса шлифования.

Абразивные инструменты классифицируют по следующим признакам:

- 1) по геометрической форме – шлифовальные круги, головки, сегменты, бруски, абразивные ленты и шкурки;
- 2) по роду абразивного материала – абразивные, алмазные, эльборовые и др.;
- 3) по виду основы – жесткая (шлифовальные круги, головки, сегменты,

бруски); гибкая (эластичные круги, абразивные ленты и шкурки); жидкая (пасты, суспензии).

Абразивные инструменты на жесткой основе характеризуются формой и размерами, шлифовальным материалом, его зернистостью, связкой, твердостью, точностью, неуравновешенностью, а алмазные и эльборовые инструменты также и концентрацией зерен в рабочем слое.

**Форма и размеры.** Геометрические параметры абразивных инструментов задаются станком, на котором предполагается их использование, а также формой, размерами обрабатываемых поверхностей и характером движений инструментов.

**Шлифовальные круги** (рис. 4.1, а) применяются в том случае, когда основное движение вращательное. Поэтому они представляют собой различные по форме тела вращения. Кратко рассмотрим области применения кругов основных форм исполнения.

*Плоские круги* прямого профиля типа 1 (ранее ПП) применяют для круглого наружного, внутреннего и бесцентрового шлифования, для плоского шлифования периферией круга и для заточки инструментов. Плоские круги с двухсторонним коническим профилем типа 4 (ранее 2П) применяют для вышлифовывания зубьев шестерен и шлифования резьбы. Плоские круги с выточкой типа 5 (ПВ) и с двухсторонней выточкой типа 7 (ранее ПВД) позволяют помещать в выточках зажимные фланцы, а благодаря этому, совмещать круглое шлифование с подрезкой торца. Эти круги применяют также в качестве ведущих кругов при бесцентровом шлифовании.

*Цилиндрические и конические круги-чашки* типа 6 (ЧЦ) и типа 11 (ЧК) применяют для заточки инструментов и для плоского шлифования торцом.

*Тарельчатые круги* типа 12 (ранее Т) применяют для заточки и доводки передних граней фрез, обработки зубьев долбяков и других инструментов.

**Алмазные круги** (рис. 4.1, б) бывают плоского прямого профиля, чашечные, тарельчатые, дисковые и другие и применяются для заточки и доводки твердосплавных инструментов, а также для шлифования труднообрабатываемых и резки неметаллических материалов.

**Эльборовые круги** имеют формы, подобные алмазным кругам. Их применяют для шлифования закаленных сталей, чистовой заточки инструментов из быстрорежущих сталей, при чистовом шлифовании резьб, а также для обработки жаропрочных и коррозионно-стойких сталей.

Размеры шлифовальных кругов следует брать возможно большими, так как в этом случае улучшаются условия шлифования и снижается стоимость обработки.

При этом верхний предел размеров круга ограничивается конструкцией и размерами станка, а иногда размерами и формой обрабатываемой заготовки. Так, например, при шлифовании отверстий диаметр круга должен быть не более 0,7..0,9 диаметра обрабатываемого отверстия.

**Шлифовальные головки** (рис. 4.1, в) – это шлифовальные круги небольшого диаметра (3...40 мм). Такие круги приклеивают к стальным хвостовикам и применяют для внутреннего шлифования и для ручной зачистки заготовок с помощью шлифовальных машин.

**Шлифовальные бруски** (рис. 4.1, г) используют в инструментах, совершающих возвратно-поступательное движение: при слесарных работах, а также при хонинговании или суперфинишировании. В последних случаях бруски закрепляют в специальных стальных головках.

**Шлифовальные сегменты** (рис. 4.1, д) применяют для плоского шлифования. В этом случае шлифовальный круг состоит из нескольких сегментов, закрепленных в головке или патроне.

**Шлифовальные шкурки** – это абразивные инструменты на гибкой (бумага, ткань, металлическая лента) или комбинированной основе (бумага и ткань) с наклеенным на нее слоем шлифовального материала, закрепленного связкой. Шкурки выпускают в виде листов, лент и применяют для ручной и машинной зачистки и отделки деталей.

Основные размеры абразивных инструментов регламентированы нормативно-технической документацией.

**Шлифовальные материалы** – это абразивные материалы, подвергнутые сортировке, дроблению, измельчению и очистке от посторонних веществ. Они выбираются в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого материала и условий шлифования. Так, например, круги из электрокорунда белого применяют в основном при чистовой и отделочной обработке закаленных сталей, а также углеродистых, быстрорежущих, легированных и коррозионно-стойких сталей.

Круги из электрокорунда нормального широко применяют на обдирочных и чистовых операциях обработки материалов, имеющих высокий предел прочности на растяжение.

Абразивные инструменты из карбида кремния применяют в основном для обработки твердых и хрупких материалов, например, чугунов, бронз и т.д. Крупнозернистые круги из карбида кремния используют для обработки неметаллических материалов и правки шлифовальных кругов.

Круги из монокорунда используют чаще всего для получистовой и

чистовой обработки средне- и высоколегированных сталей, подвергнутых хромированию, азотированию и закалке.

Круги из хромотитанистых электрокорундов используют на операциях, где имеется опасность появления прижогов или требуется высокая стойкость инструментов, особенно по сохранению профиля рабочей поверхности.

Для заточки и вышлифовки канавок инструментов из закаленных инструментальных сталей используют элбор, а из твердых сплавов – синтетический алмаз.

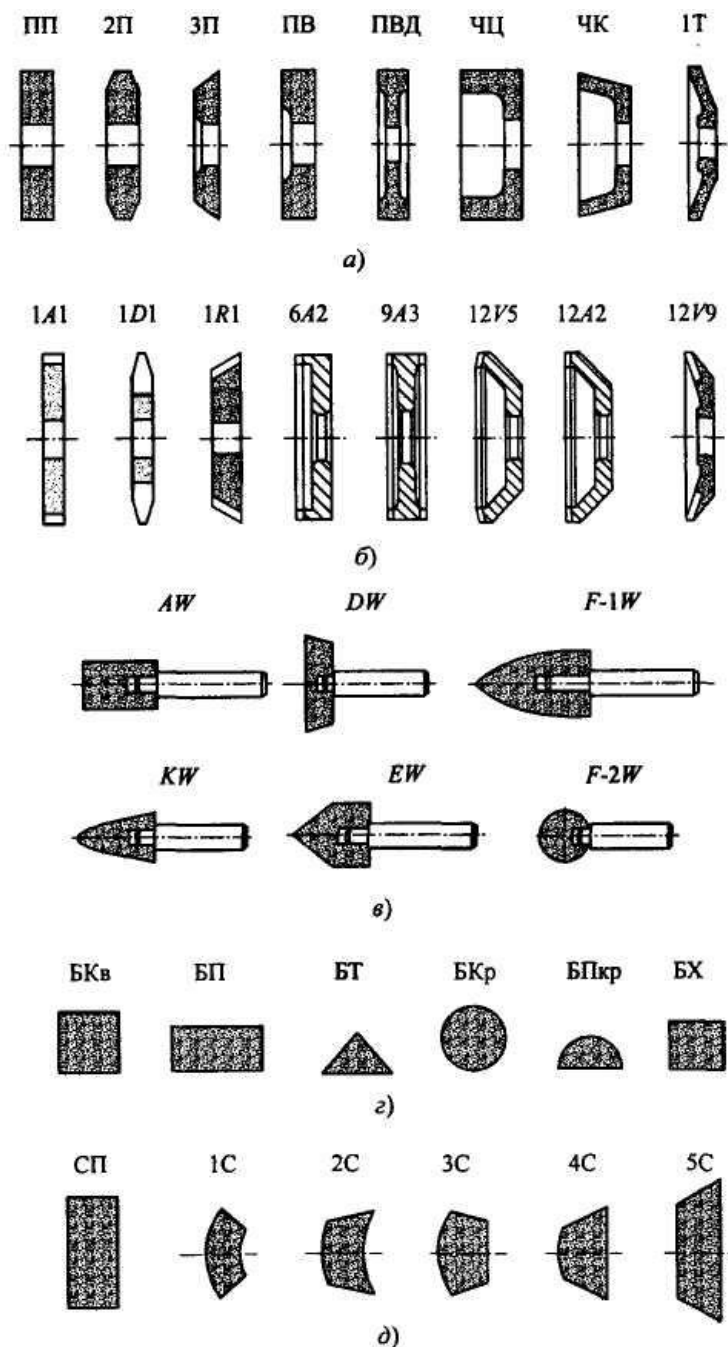


Рисунок 4.1 – Некоторые типы абразивных инструментов:  
 а – абразивные круги; б – алмазные и элборовые круги; в – шлифовальные головки; г – шлифовальные бруски; д – шлифовальные сегменты

**Зернистость шлифовальных материалов.** Совокупность абразивных зерен шлифовального материала в установленном интервале размеров называют *фракцией*, а преобладающую по массе, объему и числу зерен фракцию называют *основной фракцией*.

Условные обозначения, соответствующие размеру зерен основной фракции, называют *зернистостью*.

В зависимости от размера зерен шлифовальные материалы делят на четыре группы:

- 1) шлифзерно – 2500...160 мкм (номера от 200 до 16);
- 2) шлифпорошки – 160...40 мкм (от 12 до 4);
- 3) микропорошки – 63...10 мкм (от M63 до M14);
- 4) тонкие микрошлифпорошки – 10...3 мкм (от M10 до 5).

Алмазные материалы делят на шлифпорошки и микропорошки. Размер шлифпорошков находится в пределах от 630 до 40 мкм (по размерам ячеек верхнего и нижнего сита), а размер микропорошков – от 60 до 1 мкм и менее (контролируется на микроскопе). Зернистость алмазных порошков обозначается дробью, в которой числитель соответствует наибольшему размеру зерен основной фракции, а знаменатель - наименьшему размеру, например: 400/250, 250/160 и т.д.; алмазных микропорошков – 60/40, 40/28 и т.д.; эльборовых порошков – Л315/250 (Л25), Л250/200(Л20) и т.д.

Зернистость абразивного круга зависит от вида шлифования, требуемой шероховатости и точности обработки, материала заготовки и снимаемого припуска. Чаще всего применяют абразивные круги средней зернистости 40...16, которые обеспечивают высокую производительность при требуемой шероховатости и точности обработки.

Номер зернистости круга увеличивают: для уменьшения опасности «засаливания» круга и появления прижогов на заготовке; при увеличении припуска на обработку; для увеличения производительности процесса шлифования; при увеличении скорости шлифовального круга; при переходе от кругов с керамической связкой на круги с бакелитовой или вул-канитовой связками; при увеличении вязкости и уменьшении твердости материала заготовки; при уменьшении номера структуры круга.

При использовании алмазных кругов рекомендуется брать: для предварительного шлифования круги зернистостью – 200/160...100/80 (марок АС4, АС6), для чистового шлифования – зернистостью 80/63...50/40 (марок АС2, АС4), для доводочного шлифования – зернистостью 40/28 и мельче.

В случае, когда предварительное и окончательное шлифование производятся

одним кругом, следует применять круги зернистостью 100/80...63/50 (марок АС4, АС6).

**Связка абразивных инструментов** служит для сцепления зерен шлифовальных материалов и удержания их от преждевременного выкрашивания в процессе шлифования. Она оказывает большое влияние на работоспособность абразивных кругов. От количества, вида, качества и равномерности распределения связки в абразивном круге зависят твердость, прочность, структура, неуравновешенность круга и допускаемая скорость шлифования.

В процессе резания затупившиеся зерна выкрашиваются или раскалываются, обнажая новые острые кромки, т.е. инструмент самозатачивается, автоматически поддерживая свои режущие свойства. При неправильно выбранной связке происходит ненормальный износ абразивных инструментов, характеризуемый либо «засаливанием», когда инструменты теряют свои режущие свойства вследствие засорения пор размельченной связкой и стружкой, либо осыпанием вполне работоспособных зерен. В первом случае на обрабатываемой поверхности наблюдаются прижоги, а во втором случае - повышенный износ кругов.

Для изготовления абразивных кругов применяют неорганические (керамические, силикатные) и органические (бакелитовые, вулканито-вые) связки. Из них наиболее распространены керамическая, бакелитовая и вулканитовая связки.

*Керамическая связка* (К0, К1, К3 и др.) состоит из огнеупорной глины, полевого шпата, кварца и других материалов. Круги на керамической связке обладают высокой прочностью и кромкостойкостью, допускают применение СОЖ. Однако они хрупки и малоупруги, и поэтому тонкие круги на керамической связке не могут воспринимать боковые нагрузки.

Круги на керамической связке изготавливают с использованием электрокорундов и карбида кремния и применяют для всех видов шлифования, за исключением отрезки и прорезания узких пазов.

*Бакелитовая связка* (Б, Б1, Б2 и др.) представляет собой бакелитовую смолу (пульвербакелит) в виде порошка и бакелитового лака. Абразивные круги с такой связкой обладают высокими прочностью и упругостью, что позволяет изготавливать их малой толщины. Недостатком бакелитовой связки является ее низкая теплоемкость, вследствие чего связка при температуре 250...300 °С выгорает, а зерна абразива выкрашиваются. Обычно круги на бакелитовой связке применяют при шлифовании всухую, так как при работе с СОЖ прочность и твердость таких кругов резко снижается. Круги на бакелитовой связке с добавлением наполнителя – криолита обладают повышенной стойкостью.

*Вулканитовая связка* (В, В1, В2 и др.) в основе имеет синтетический каучук,

смешанный с небольшим количеством серы. По сравнению с кругами на бакелитовой связке, круги на вулканитовой связке более упруги, но менее теплостойки. Поэтому такая эластичная связка позволяет создавать тонкие, до десятых долей миллиметра, отрезные круги диаметром 150... 200 мм.

Алмазные и эльборовые круги изготавливают на бакелитовой, металлической и реже на керамической связках. Из них наиболее часто применяется металлическая связка.

*Металлическая связка* изготавливается из сплавов на основе меди, олова, железа, алюминия и других металлов. Она отличается высокой прочностью и износостойкостью. Круги на этой связке длительно сохраняют рабочий профиль и применяются в основном при сьеме небольших припусков.

**Структура абразивного инструмента** характеризует строение абразивного инструмента в зависимости от количественного соотношения между зернами, связкой и порами в единице объема и обозначается номерами от 0 до 12. С увеличением номера структуры число зерен уменьшается, а объем связки — увеличивается.

Абразивные инструменты структуры 0-3 имеют очень плотное расположение зерен и используются для профильного шлифования.

Абразивные инструменты структуры 5-8 имеют среднее соотношение объемов зерен, связки и пор и применяются для всех видов работ. В частности, структуры 5-6 применяются для наружного и бесцентрового шлифования; структуры 7-8 — для плоского и внутреннего шлифования; структуры 8-9 — для отрезки.

Абразивные инструменты с открытой структурой (9-12) имеют наименьшее объемное содержание зерен и большие размеры пор. Работа такими инструментами улучшает отвод стружки и охлаждение зоны шлифования, а также уменьшает вероятность появления «засаливания» круга. Это позволяет работать на повышенных режимах и предотвращать появление дефектов на обработанной поверхности.

**Концентрация зерен** в абразивном слое является условной характеристикой режущей способности алмазных и эльборовых кругов. За 100%-ную концентрацию принимают содержание 0,878 г (4,4 карата) зерен алмаза или эльбора в 1 см<sup>3</sup> абразивного слоя, что составляет 25 % его объема. С увеличением концентрации повышается режущая способность и стойкость кругов. Для окончательного шлифования и доводки рекомендуются круги 100%-ной и 150%-ной концентраций, а для профильного шлифования — круги 150%-ной и 200%-ной концентраций.

Предварительное шлифование и заточку твердосплавных инструментов выполняют кругами на металлической связке со 100%-ной или 150%-ной концентрацией; резбошлифование твердосплавных инструментов, мелко модульных

фрез – кругами со 150%-ной концентрацией алмазов.

**Твердость абразивных инструментов** – это способность связки удерживать зерно в инструменте при воздействии на него внешних сил. Чем меньше твердость инструмента, тем легче и быстрее из него удаляются затупившиеся зерна, и наоборот.

Установлена следующая шкала степеней твердости абразивных инструментов: М1...М3 – мягкие; СМ1 и СМ2 – среднемягкие; С1 и С2 – средние; СТ1...СТ3 – среднетвердые; Т1 и Т2 – твердые; ВТ1 и ВТ2 – весьма твердые; ЧТ1 и ЧТ2 – чрезвычайно твердые. Здесь цифры 1, 2 и 3 характеризуют твердость абразивного инструмента в порядке ее возрастания.

Твердость абразивных инструментов определяют двумя основными методами: пескоструйным (по глубине лунки на инструменте, образованной под действием определенного объема кварцевого песка, выбрасываемого воздухом, подаваемым под давлением 15 МПа); вдавливанием стального шарика на твердомере Роквелла.

В большинстве случаев шлифования применяют абразивные круги средней степени твердости, обеспечивающие высокую производительность и большую стойкость. При бесцентровом, внутреннем и плоском шлифовании применяют более мягкие круги, чем при круглом наружном шлифовании, а при профильном шлифовании, резьбошлифовании, шлифовании прерывистых поверхностей и заготовок малых диаметров используют более твердые круги. Шлифование с использованием СОЖ выполняют более твердыми кругами.

Общее правило выбора твердости абразивных кругов гласит: чем мягче обрабатываемый материал, тем выше должна быть твердость круга, и наоборот. Поэтому, например, для устранения опасности появления прижогов и трещин применяют более мягкие круги.

**Точность абразивных инструментов.** В зависимости от требований к зерновому составу, предельным отклонениям поверхностей, их взаимному расположению, наличию сколов, трещин и раковин шлифовальные круги выпускают трех классов точности: АА, А и Б, а остальные инструменты – двух классов: А и Б.

Круги класса АА имеют наименьшие отклонения от заданных размеров. Допускаемые отклонения для инструментов класса Б в 1,5-2 раза превышают отклонения аналогичных параметров кругов класса А, которые в свою очередь больше соответствующих классу АА.

Круги класса точности АА применяют для прецизионной обработки шлифованием высокоточных заготовок из материалов всех групп

обрабатываемости, а также для скоростного и высокоскоростного прецизионного шлифования особо точных заготовок.

Круги класса точности А применяют для окончательной обработки шлифованием заготовок из материалов всех групп обрабатываемости, а также для скоростного и высокоскоростного окончательного шлифования.

Для менее ответственных операций абразивной обработки применяют инструменты класса точности Б.

**Неуравновешенность шлифовальных кругов** возникает при несовпадении их центра масс с центрами вращения. Причинами неуравновешенности могут быть погрешности установки круга на планшайбе и планшайбы с кругом на шпинделе станка, погрешности геометрической формы круга, его неравномерный износ в процессе шлифования и т.д.

Неуравновешенность круга приводит к появлению вибраций и, как следствие, к ухудшению качества обрабатываемой поверхности (появляются огранка, волнистость, прижоги и т.д.), преждевременному выходу из строя шпиндельного узла станка, а иногда и к разрушению круга. Контроль неуравновешенности обычно производят на станках для статической балансировки, основной частью которых являются два параллельно расположенных цилиндрических валика одинакового диаметра. Суть статической балансировки заключается в следующем: круг на балансировочной оправке устанавливают на валики и легким толчком медленно вращают. При этом «тяжелая» часть круга стремится занять крайнее нижнее положение. После остановки круга отмечают верхнюю точку его периферии и к ней крепят зажим с грузом определенной массы. Груз подбирают до тех пор, пока круг не будет находиться в безразличном стоянии равновесия. Затем абразивный круг устанавливают на шлифовальный станок.

Балансировку алмазных и эльборовых кругов производят либо путем высверливания или растворения металла «тяжелой» части кругов, либо путем нанесения компенсирующего расплава на «легкую» часть кругов.

В зависимости от допускаемых неуравновешенных масс и по мере их возрастания установлены четыре класса неуравновешенности шлифовальных кругов: 1, 2, 3 и 4.

Круги класса точности АА должны иметь наименьшую неуравновешенность 1 класса. Круги класса точности А могут иметь неуравновешенность 1 и 2 классов, а класса точности Б – 1, 2 и 3 классов неуравновешенности.

Круги класса точности АА легко балансируются и в большинстве случаев могут работать в процессе эксплуатации до полного износа без периодической

балансировки.

Круги классов точности А и Б рекомендуется после первой балансировки править не только по периферии (рабочей поверхности), но и по торцам круга. Это позволяет уменьшить или даже полностью исключить появление эксплуатационной неуравновешенности при шлифовании.

**Маркировка шлифовальных инструментов** наносится на одной из сторон круга водостойкой краской.

*Пример маркировки абразивного круга типа 1 (ранее ПП):*

1-500х50х305 24А 10-П С2 7 К5 35м/с А 1 кл ГОСТ 2424-83

Здесь: 1 – тип круга; 500 х 50 х 305 – наружный диаметр х высота х диаметр посадочного отверстия; 24А – марка шлифовального материала; 10-П – зернистость; С2 – степень твердости; 7 – номер структуры; К5 – марка связки; 35 м/с – рабочая окружная скорость; А – класс точности круга; 1 кл – класс неуравновешенности.

*Пример маркировки алмазного шлифовального круга:*

1 А 1 300х40х76х5 АС4 100/80 100 БП2 2720-0139 ГОСТ 16167-90 Здесь: 1 – форма сечения корпуса; А – форма сечения алмазоносного слоя; 1 – расположение алмазоносного слоя на корпусе круга; 300 х 40 х 76 х 5 – наружный диаметр х высота х диаметр посадочного отверстия х толщина алмазоносного слоя; АС4 – марка алмазного шлифпорошка; 100/80 – зернистость алмазного шлифпорошка; 100 – условная концентрация шлифматериала; БП2 – марка связки; 2720-0139 – обозначение типоразмера круга.

## 8.2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Нарисовать эскиз абразивного инструмента с указанием конструктивных элементов;
2. Произвести необходимые измерения конструктивных элементов инструмента и расшифровать маркировку. Результаты измерения занести в таблицу 4.1;
3. Составить отчет о проделанной работе.

Таблица 4.1 – Протокол измерений

| Показатель                                                     | Значение |
|----------------------------------------------------------------|----------|
| Наименование инструмента                                       |          |
| Марка абразивного материала                                    |          |
| Зернистость с индексом %-ого содержания зерен основной фракции |          |
| Степень твердости                                              |          |
| Марка связки                                                   |          |
| Номер структуры                                                |          |
| Класс точности                                                 |          |
| Форма круга                                                    |          |
| Допускаемая окружная скорость                                  |          |
| Класс дисбаланса (неуравновешенности)                          |          |
| Наружный диаметр круга $D$ , мм                                |          |
| Внутренний диаметр круга $d$ , мм                              |          |
| Высота круга $H$ , мм                                          |          |
| Высота выточки круга $H_1$ , мм                                |          |
| Диаметр выточки круга $d_1$ , мм                               |          |
| Значение угла $\alpha$ , град.                                 |          |
| <b>Вывод</b> (для каких работ предназначен абразивный круг)    |          |

### 8.3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет содержит:

- а) основные теоретические положения, изложенные в разделе 8.1 настоящих методических указаний;
- б) эскиз абразивного инструмента с указанием всех геометрических размеров;
- в) расшифровать марку абразивного инструмента;
- г) выводы по работе.

### 8.4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

3. Что такое абразивные инструменты?
4. Назначение и технологические возможности абразивных инструментов.
5. Классификация абразивных инструментов.
6. Типы абразивных инструментов.
7. Связка абразивных инструментов.
8. Структура абразивного инструмента.
9. Твердость абразивных инструментов.
10. Точность абразивных инструментов.
11. Неуравновешенность шлифовальных кругов.
12. Маркировка шлифовальных инструментов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 25751-83. Государственный стандарт. Инструменты режущие. Термины и определения общих понятий.
2. Режущий инструмент: учебник для вузов / Д.В. Кожевников [и др.]. – 2-е изд. доп.– М.: Машиностроение, 2005. – 527с.
3. Шагун В.И. Металлорежущие инструменты: Учеб. пособ. для машиностроит. спец. вузов / В.И. Шагун. – М.: Высш. шк., 2007. – 423с.

# РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ

## Часть 3

*Методические указания  
к выполнению лабораторных работ*

*Составитель:* **Сидоров** Денис Евгеньевич

Издается в авторской редакции

Изд. № 212/19. Объем 2,25 п.л.  
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»