



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ КЫРГЫЗСКОЙ  
РЕСПУБЛИКИ

КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. И. РАЗЗАКОВА

Кафедра «Технология машиностроения»

РАГРИН Н.А.

ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ И ИНСТРУМЕНТЫ

УЧЕБНИК ДЛЯ ВУЗОВ

БИШКЕК - 2012 г



Допущен Министерством  
Образования и науки  
Кыргызской Республики  
Приказ № 96/1 от 24.02.2012 г.

Рассмотрен  
Ученым Советом  
КГТУ им. И. Раззакова  
Протокол № 6 от 25.01.2012 г.

УДК: 621. 91. 01(075. 8)  
Составитель: Рагрин Н.А.

Обработка материалов и инструменты. Учебник / КГТУ им. И. Раззакова; Сост. Н.А. Рагрин. – Б.: ИЦ «Текник», 2012. – 161 с.

Излагаются теоретические основы обработки материалов резанием. Представлены основные виды и типы режущих инструментов, конструкция, геометрические параметры режущей части, назначение и область применения. Дана краткая классификация каждого вида инструмента.

Предназначен для студентов КГТУ дневной и дистантной форм обучения. Рекомендуются студентам технических вузов машиностроительных направлений и специальностей и преподавателям

Табл.: 19 Ил.: 120 Библиогр.: 22 наименов.

Рецензенты:

Профессор КГТУ им. И. Раззакова, к.т.н. В.А. Самсонов;  
Проректор по внешним связям БФА, проф., к.т.н. С.Т. Сарбанов;  
Профессор Академии Управления при Президенте Кыргызской Республики, к.т.н. А.С. Абдыжапаров



## Введение

Обработка резанием является и на многие годы останется основным технологическим приемом изготовления точных деталей машин и механизмов. В общем, объеме изготовления деталей машин и механизмов трудоемкость обработки резанием значительно превышает трудоемкость литейных, ковочных и штамповочных процессов, вместе взятых. Обработка резанием имеет достаточно высокую производительность и отличается исключительной точностью. Нужно также учитывать универсальность и гибкость обработки резанием, что также обеспечивает ее преимущество перед другими методами механической обработки.

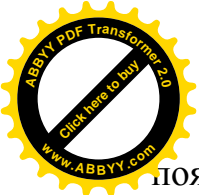
Основоположителем научного резания металлов является русский ученый И.А. Тиме, который в 1868 – 1869 гг. провел обширные и тщательно поставленные опыты по строганию различных материалов, описанные им в книге «Сопротивление металлов и дерева резанию», вышедшей в 1870 г. В своих опытах И.А. Тиме детально исследовал все важнейшие вопросы стружкообразования при обработке пластичных и хрупких материалов [15,18]. Им впервые был описан механизм образования стружки и составлена классификация типов стружек, общепринятая и в настоящее время.

В конце XIX в. в области резания металлов начинает работать американский исследователь Ф. Тейлор. Формулы Ф. Тейлора для расчета скорости резания предназначены для решения частных практических задач, представляют собой только статистическое описание эмпирически накопленной информации и не затрагивают физической сущности процесса резания.

В 1914 г. появляются выдающиеся исследования Я.Г. Усачева в области стружкообразования и тепловых явлений. Я.Г. Усачевым впервые использован металлографический метод для изучения процесса стружкообразования. Металлографический анализ корней стружек позволил ему выявить ряд новых, до этого неизвестных факторов. В 1925 г. вышла в свет работа А.Н. Челюскина о силах резания при точении, которая по ясности и строгости изложения не имела себе равных.

В годы первых пятилеток была создана Комиссия по резанию металлов под председательством Е.П. Надеинской. Под началом Комиссии в качестве руководителей отдельных разработок участвовали ведущие специалисты в области обработки металлов резанием, такие как Г.И. Грановский, П.П. Грудов, М.И. Ларин, А.М. Розенберг, Е.К. Зверев, С.С. Рудник, А.М. Даниелян, Н.И. Резников и др. В течение пяти лет по единой методике экспериментальных исследований силовых и стойкостных зависимостей было проведено около 250 капитальных исследовательских работ. Это позволило разработать совершенные нормативы и руководящие материалы по расчету режимов резания для всех основных видов металлообработки.

Металлорежущие инструменты являются важнейшими орудиями производства. Они используются для обработки резанием различных деталей на металлорежущих станках. Режущие инструменты как орудия производства



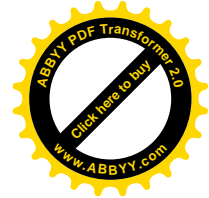
появились на ранней стадии развития человечества, но бурное развитие получили во второй половине XIX века при появлении металлорежущих станков, переходе от ручной индустрии к машинной. В это время появляются такие инструменты, как спиральные сверла, зенкеры, развертки, фрезы. В конце XIX века были изобретены наиболее сложные из них, например, червячные фрезы и др. Начало XX века характеризуется появлением протяжек, которые находят широкое применение в массовом производстве как высокопроизводительный инструмент.

До начала XX века основным инструментальным материалом была углеродистая инструментальная сталь. Инструменты из этой стали работали с низкими скоростями резания 5 – 10 м/мин. Развитие инструментальных материалов в начале XX века привело к появлению быстрорежущей стали, позволившей повысить скорость резания до 30 – 40 м/мин, что, в свою очередь, не могло не отразиться на конструкции металлорежущих станков. Станки стали более жесткими, а значит, более массивными. Групповой трансмиссионный привод был заменен на индивидуальный. Станки с индивидуальным электроприводом стали обеспечивать частоту вращения шпинделя до 600 об/мин.

Дальнейший прогресс в машиностроении связан с появлением твердых сплавов. В 1956 году на заводе «Красный пролетарий» был запущен в серию токарный станок 1К62 с чистотой оборотов шпинделя от 12,5 до 2000 об/мин, применяющийся в производстве и в настоящее время.

Металлорежущий инструмент не только влияет на конструкцию станков и технологию изготовления изделий, но и в большой степени воздействует на конструктивные формы деталей машин. Так, появление и широкое распространение в машиностроении шлицевых соединений стало возможным благодаря изобретению протяжек.

В настоящее время усложнение конструкций машин, повышение их точности и качества приводят к тому, что, несмотря на бурное развитие других методов обработки металлов, доля обработки резанием в машиностроении существенно не изменяется, а объем значительно возрастает, поэтому в обозримом будущем резание остается наиболее распространенным видом обработки.



# Глава 1

## Основные понятия и определения процесса обработки со снятием стружки

### 1.1. Виды обработки со снятием стружки

При обработке металлов резанием изделие получается в результате срезания с заготовки слоя металла (припуска на обработку), который удаляется в виде стружки.

Для обработки резанием инструментом с определенной геометрией и на определенных станках существуют следующие определения видов обработки:

*точение;*

*строгание;*

*долбление;*

*сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание* – обработка осевым инструментом;

*фрезерование;*

*протягивание (прошивание);*

*пиление;*

*нарезание резьбы;*

*шлифование;*

*хонингование.*

Точение выполняется на токарных станках, режущий инструмент - резец. Стругание и долбление выполняется на строгальных и долбежных станках соответственно, режущий инструмент - резец. Обработка осевым инструментом выполняется на сверлильных и токарных станках. В первом случае вращается режущий инструмент, во втором случае заготовка. Режущий инструмент: сверло, зенкер, развертка. Фрезерование выполняется на фрезерных станках, вертикальных и горизонтальных. Режущий инструмент - фреза. Протягивание выполняется на протяжных станках. Режущий инструмент - протяжка или прошивка. Пиление выполняют на распиловочных станках. Режущий инструмент - пила. Нарезание резьбы осуществляется на токарных, фрезерных, сверлильных, накатных станках. Режущий инструмент: метчик, плашка, фреза, гребенка, накатной ролик и др. Шлифование выполняют на шлифовальных станках. Режущий инструмент - абразивный. Хонингование выполняют на сверлильных или токарных станках. Режущий инструмент - хонинговальная головка, оснащенная абразивными брусками.

### 1.2. Кинематика процесса резания

Кинематика резания рассматривает относительные взаимные перемещения, совершаемые во время рабочего цикла обрабатываемой заготовкой и инструментом, его лезвиями. Кинематика резания классифицирует

сочетания исходных движений, совершаемых заготовкой и инструментом во время обработки. Основой классификации являются направление, характер и число одновременно осуществляемых движений.

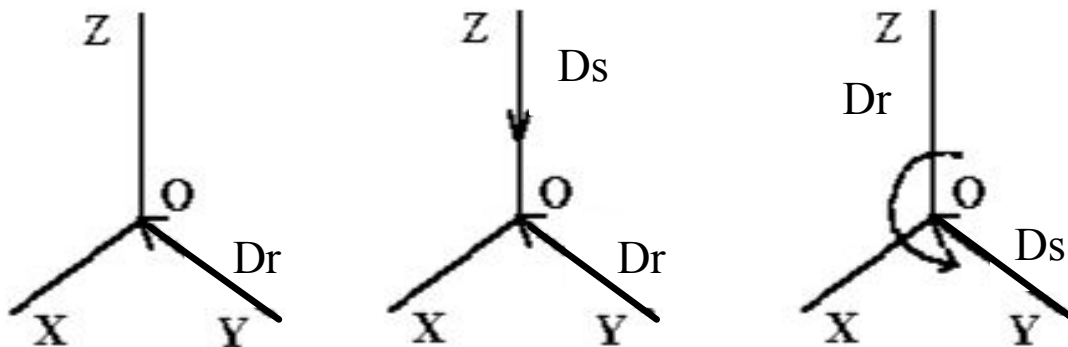


Рис.1. Принципиальные кинематические схемы

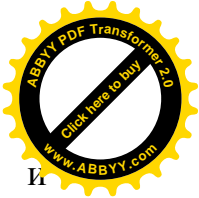
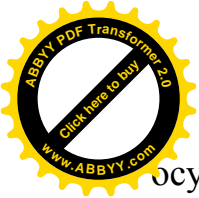
Сочетания исходных движений регламентированы системой принципиальных кинематических схем резания. Как показал Г.И. Грановский [4], несмотря на большое число методов обработки и их разнообразие, все они могут быть определены принципиальными кинематическими схемами, которые выражают абсолютные движения, сообщаемые в процессе резания инструменту и обрабатываемой детали механизмами станка. Относительные перемещения заготовки и лезвий инструмента в кинематике резания рассматриваются в прямоугольной системе координат с осями X, Y, Z.

На рис.1 представлены принципиальные кинематические схемы, рассматривающие практически все виды обработки резанием.

Первая схема (слева) предусматривает одно главное прямолинейное движение резания, являющееся главным движением резания  $D_r$ . По этой схеме выполняются виды однопроходной обработки строганием, долблением и протягиванием.

Вторая схема (посредине) предусматривает два прямолинейных движения. Первое вдоль оси Y является главным движением резания  $D_r$ , второе вдоль оси Z является движением подачи  $D_s$ . Движение подачи  $D_s$  отличается от главного движения резания меньшей скоростью. По этой схеме осуществляются виды многопроходной обработки строганием или долблением.

Третья схема предусматривает два одновременно действующих движения – вращательное и поступательное. Вращательное движение является главным движением резания  $D_r$ , поступательное - движением подачи  $D_s$ . Третья схема предусматривает три случая. В первом случае вращение осуществляется вокруг оси Y в плоскости XZ, а поступательное – вдоль этой же оси Y. По этой схеме осуществляются следующие виды обработки: точение, сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание, нарезание резьбы метчиком и плашкой и хонингование. Во втором случае вращение осуществляется вокруг оси X в плоскости YZ, а поступательное движение вдоль оси Y. По этой схеме



осуществляются следующие виды обработки: фрезерование дисковыми и цилиндрическими фрезами, пиление и шлифование периферией круга. В третьем случае вращение осуществляется вокруг оси Z в плоскости XY, а поступательное - вдоль оси Y. По этой схеме осуществляется обработка фрезерованием концевыми и торцевыми фрезами.

### 1.3. Понятия скорости резания, подачи и глубины резания

Скорость резания, подача и глубина резания являются параметрами режима резания.

Главным параметром является скорость резания, обозначаемая буквой V; параметр, обеспечивающий непрерывность резания, - подача, обозначается буквой S.

При точении скорость резания численно равна окружной скорости вращения точки детали, расположенной на обрабатываемой поверхности диаметром D, и определяется по формуле:

$$V = \frac{\pi D n}{1000}, \quad [V] = \text{м/мин},$$

где n – частота вращения шпинделя станка, [n] = об/мин.

Резец перемещается вдоль оси детали со скоростью  $S_M$  (мм/мин), являющейся движением подачи. Скорость перемещения резца  $S_M$  получила название минутной подачи резца. Путь, пройденный резцом вдоль оси детали за один ее оборот, называют подачей на оборот и определяют по формуле:

$$S = \frac{S_M}{n}, \quad [S] = \text{мм/об.}$$

В результате того, что указанные движения совершаются одновременно, с обрабатываемой поверхности детали удаляется слой материала размером t мм, который называется глубиной резания. **Под глубиной резания понимается размер слоя, удаляемого с обрабатываемой поверхности за один проход инструмента, измеренный перпендикулярно к направлению движения подачи.** Приведенная формулировка глубины резания является общей для любого из методов обработки металла со снятием стружки [2]. При продольном точении глубина резания определяется по формуле:

$$t = \frac{D - d}{2}, \quad [t] = \text{мм},$$

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



## 1.4. Элементы процесса резания

Элементами процесса резания при точении (рис.2) являются:

обрабатываемая поверхность;

обработанная поверхность;

поверхность резания;

плоскость резания;

основная плоскость.

Обрабатываемая поверхность - поверхность детали, подлежащая обработке.

Обработанная поверхность - поверхность детали, полученная в результате обработки.

Поверхность резания - поверхность, образуемая режущей кромкой в процессе обработки.

Плоскость резания - плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная основной плоскости. При точении может являться опорной плоскостью.

Основная плоскость - плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки параллельно направлению продольной и поперечной подачи.

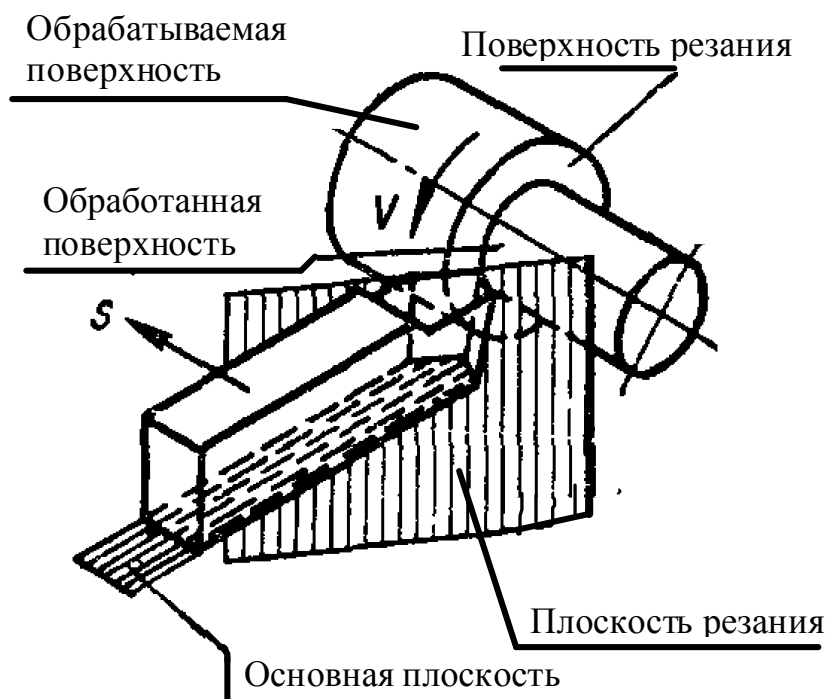


Рис.2. Элементы процесса резания при точении



## 1.5. Элементы конструкции резцов и геометрические параметры их режущей части

Элементами конструкции резцов (рис.3) являются:

- лезвие;
- державка;
- головка;
- передняя поверхность;
- главная задняя поверхность;
- вспомогательная задняя поверхность;
- главная режущая кромка;
- вспомогательная режущая кромка;
- вершина.

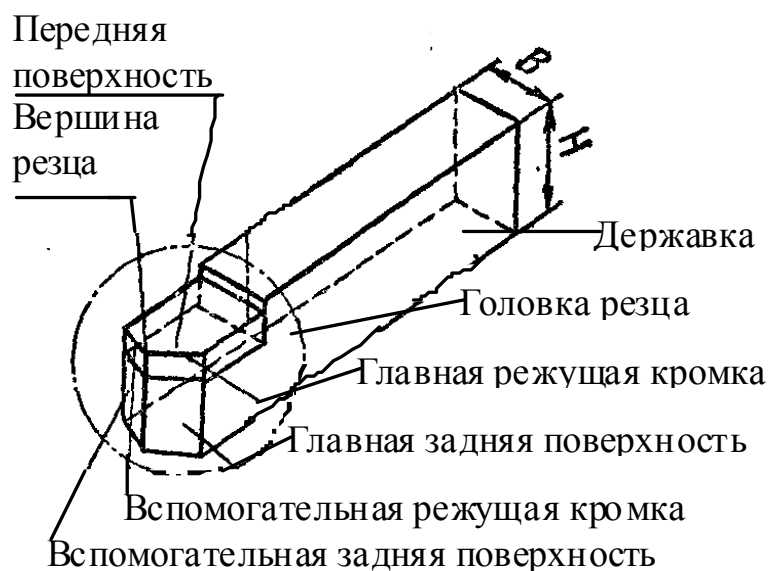


Рис.3. Элементы конструкции резцов

Лезвие резца - режущий клин, образованный передней и задней поверхностями.

Державка резца - соединительная часть резца.

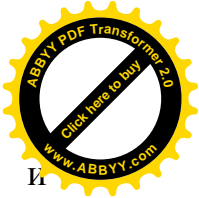
Головка резца - рабочая часть резца.

Передняя поверхность - поверхность лезвия резца, по которой сходит стружка.

Главная задняя поверхность - задняя поверхность лезвия резца, примыкающая к главной режущей кромке и обращенная к поверхности резания.

Вспомогательная задняя поверхность - задняя поверхность лезвия резца, примыкающая к вспомогательной режущей кромке и обращенная к обработанной поверхности.

Главная режущая кромка - линия пересечения передней и главной задней поверхностей.



Вспомогательная режущая кромка - линия пересечения передней и вспомогательной задней поверхностей.

Вершина резца - точка пересечения главной и вспомогательной режущих кромок.

Углы заточки лезвий резцов являются геометрическими параметрами их режущей части (рис.4), к которым относятся:

- главный передний угол  $\gamma$ ;
- вспомогательный передний угол  $\gamma_1$ ;
- главный задний угол  $\alpha$ ;
- вспомогательный задний угол  $\alpha_1$ ;
- угол заострения  $\beta$ ;
- угол резания  $\delta$ ;
- главный угол в плане  $\varphi$ ;
- вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$ ;
- угол при вершине  $\epsilon$ ;
- угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$ .

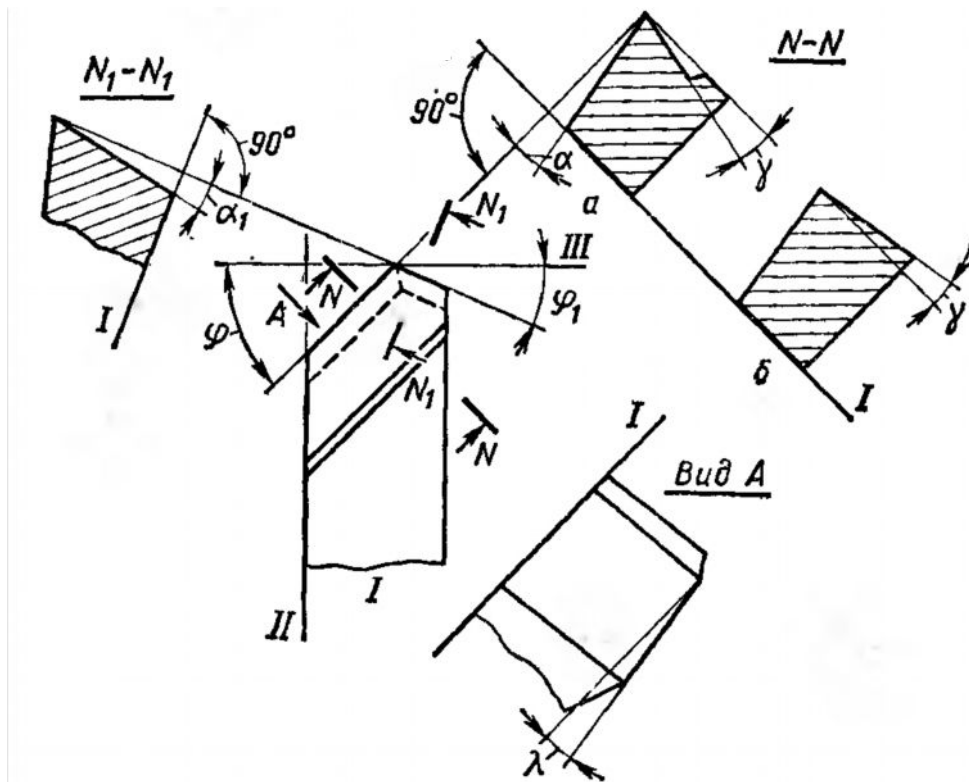
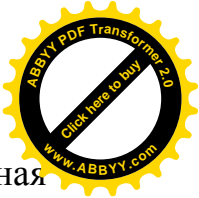


Рис.4. Геометрические параметры режущей части резцов

Углы  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$  измеряются в главной секущей плоскости, углы  $\gamma_1$  и  $\alpha_1$  измеряются во вспомогательной секущей плоскости, углы  $\varphi$ ,  $\varphi_1$ ,  $\epsilon$  измеряются в проекции на основную плоскость, угол  $\lambda$  измеряется в плоскости резания.

Главная секущая плоскость – плоскость, перпендикулярная главной режущей кромке и основной плоскости.



Вспомогательная секущая плоскость – плоскость, перпендикулярная вспомогательной режущей кромке и основной плоскости.

Главный передний угол  $\gamma$  - угол в главной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия резца и основной плоскостью. Угол  $\gamma > 0$  ( $+\gamma$ ), когда линия сечения передней поверхности лежит ниже основной плоскости,  $\gamma < 0$  ( $-\gamma$ ), когда линия сечения передней поверхности лежит выше основной плоскости,  $\gamma = 0$ , если все точки сечения передней поверхности расположены в основной плоскости.

Главный задний угол  $\alpha$  - угол в главной секущей плоскости между главной задней поверхностью лезвия резца и плоскостью резания, при  $\alpha < 0$  резание невозможно.

Угол заострения  $\beta$  - угол в главной секущей плоскости между передней и главной задней поверхностями лезвия резца.

Угол резания  $\delta$  - угол в главной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия резца и плоскостью резания.

При  $\gamma > 0$  между углами  $\alpha$ ,  $\beta$ , и  $\gamma$  существует зависимость:  $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$ ;  $\alpha + \beta = \delta$ ;  $\delta + \gamma = 90^\circ$ ;  $\delta = 90^\circ - \gamma$ .

При  $\gamma < 0$  угол  $\delta > 90^\circ$ .

Главный угол в плане  $\varphi$  - угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи.

Вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$  - угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи.

Угол при вершине  $\varepsilon$  - угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость. Между углами  $\varphi$ ,  $\varepsilon$ ,  $\varphi_1$  существует зависимость:  $\varphi + \varepsilon + \varphi_1 = 180^\circ$ .

Вспомогательный передний угол  $\gamma_1$  - угол во вспомогательной секущей плоскости между передней поверхностью и основной плоскостью.

Вспомогательный задний угол  $\alpha_1$  - угол во вспомогательной секущей плоскости между вспомогательной задней поверхностью и плоскостью, проходящей через вспомогательную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости.

Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  - угол в плоскости резания, между главной режущей кромкой и основной плоскостью, проходящей через вершину резца. Угол  $\lambda > 0$  ( $+\lambda$ ), когда вершина резца является низшей точкой главной режущей кромки,  $\lambda < 0$  ( $-\lambda$ ), когда вершина резца является высшей точкой главной режущей кромки, равен 0, когда главная режущая кромка совпадает с основной плоскостью.

Величины всех вышеперечисленных углов резца имеют место при соблюдении следующих условий:

а) вершина резца устанавливается на высоте оси вращения обрабатываемой детали;

б) геометрическая ось державки резца установлена перпендикулярно оси вращения обрабатываемой детали.

### 1.6. Геометрия срезаемого слоя при точении

За один оборот детали резец переместится вдоль ее оси на величину подачи на оборот  $S$  и поверхность резания из положения 1 переместится в положение 2 (рис.5), слой материала между положениями резца 1 и 2 будет превращен в стружку. Размер площади сечения срезаемого слоя  $F$  равен произведению подачи  $S$  и глубины резания  $t$ :  $F = S \cdot t$ .

Процесс пластической деформации срезаемого слоя более полно оценивается не величиной площади поперечного сечения  $F$ , а толщиной  $\alpha$  и шириной  $b$  срезаемого слоя (рис.5). (Толщиной срезаемого слоя  $\alpha$  называется величина перемещения поверхности резания за один оборот детали, измеряемая в плоскости, перпендикулярной поверхности резания. Шириной срезаемого слоя  $b$  называется расстояние между обработанной и обрабатываемой поверхностями, измеряемое по поверхности резания).

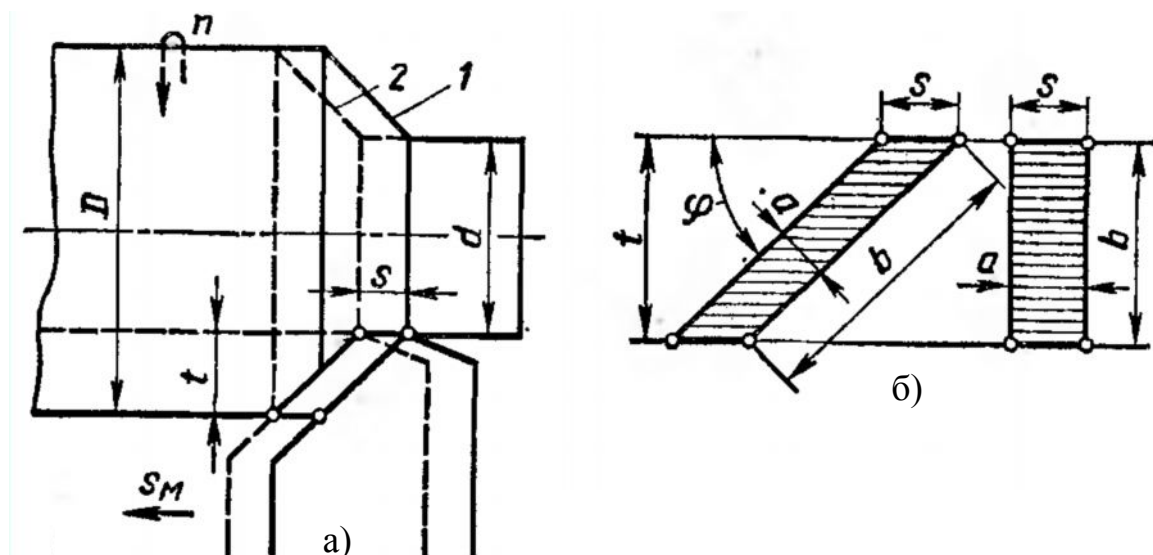


Рис. 5. Размеры срезаемого слоя при продольном точении

Форма поперечного сечения срезаемого слоя зависит от формы режущей кромки инструмента и от ее расположения относительно направления движения подачи. При резании резцом с прямолинейной режущей кромкой толщина срезаемого слоя  $\alpha$  постоянна на всей его ширине, при этом толщина и ширина срезаемого слоя при неизменных значениях глубины резания и подачи зависит от главного угла в плане  $\varphi$  следующим образом [5]:  $\alpha = S \cdot \sin \varphi$ ,  $b = t / \sin \varphi$ . Из приведенных зависимостей видно, что площадь сечения срезаемого слоя  $F$  при неизменных глубине резания и подаче не меняется и не зависит от величины главного угла в плане  $\varphi$ . А именно:  $\alpha \cdot b = S \cdot t$ . А в случае, когда главный угол в плане  $\varphi = 90^\circ$ ,  $\alpha = S$ ,  $b = t$ .

## 1.7. Основные случаи резания металлов

Процесс пластической деформации срезаемого слоя и образование стружки, кроме указанных выше параметров, характеризуется еще и степенью усложненности условий, в которых совершается образование стружки. По этому признаку различают два случая резания: свободное и несвободное.

### 1.7.1. Свободное резание

Свободное резание происходит при участии в резании только одной прямолинейной режущей кромки. Деформированное состояние срезаемого слоя при этом является плоским. Пример свободного резания показан на рис.6,а. В этом случае деформация совершается в плоскостях, параллельных друг другу, и все элементы срезаемого слоя могут свободно перемещаться в параллельных направлениях. Свободное резание может осуществляться при точении с поперечной подачей буртика на цилиндрической заготовке [14], при этом длина прямолинейной режущей кромки инструмента должна быть больше ширины буртика на ширину перекрытия режущего лезвия. Свободное резание обычно проводится при выполнении каких-либо экспериментов в различных исследованиях. Это делается для того, чтобы исключить влияние осложненного деформирования срезаемого слоя на исследуемое явление. Получить, например, хороший корень стружки для изучения пластической деформации срезаемого слоя или образования нароста можно только при свободном резании, когда все явления в зоне резания совершаются в семействе параллельных плоскостей, поэтому одинаковы в каждой из них.

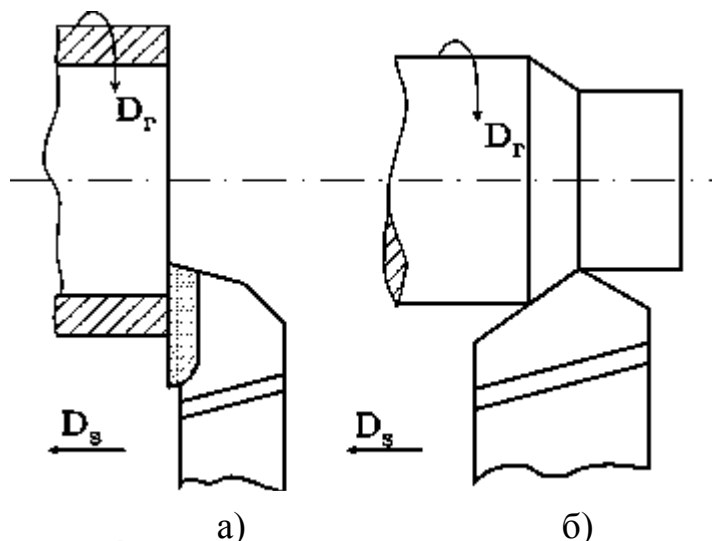


Рис.6. Свободное (а) и несвободное (б) резание



## 1.7.2. Несвободное резание

Характеризуется тем, что отдельные объемы срезаемого слоя на разных участках режущей кромки перемещаются в различных направлениях, что создает условия сложного деформирования и затрудняет образование стружки (рис.6,б).

При несвободном резании отдельные элементарные объемы срезаемого слоя перемещаются в разных направлениях, и поэтому в различных точках зоны резания одни и те же явления совершаются по-разному, с разной степенью интенсивности. Картина состояния материала в зоне резания в одной секущей плоскости не является типичной для всех других секущих плоскостей и не повторяет картины состояния материала в других секущих плоскостях.

Несвободное резание различается по расположению режущей кромки лезвия относительно главного движения резания, скорости резания. Резание может быть прямоугольным или косоугольным. При расположении режущей кромки под прямым углом к направлению главного движения, резание называется прямоугольным. При этом стружка завивается в плоскую логарифмическую спираль. Если же режущая кромка расположена к направлению главного движения резания не под прямым углом, резание называют косоугольным. В этом случае стружка завивается в винтовую спираль, направление и шаг которой зависят от расположения кромки и скорости движения подачи.

Резание может осуществляться одним лезвием или несколькими. Поэтому резание может быть однолезвийным или многолезвийным. Оно может быть непрерывным или прерывистым и происходить с постоянным или переменным сечением срезаемого слоя.



## Глава 2

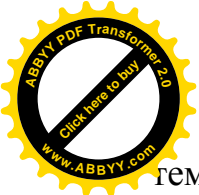
### Инструментальные материалы

#### 2.1. Требования, предъявляемые к инструментальным материалам

Требования, предъявляемые к инструментальным материалам, определяются условиями, в которых находятся контактные поверхности режущего лезвия инструмента при резании. Для того чтобы режущее лезвие, не деформируясь, могло срезать слой обрабатываемого материала и превратить его в стружку, его твердость должна значительно превосходить твердость обрабатываемого материала. Поэтому **первым требованием, предъявляемым к инструментальным материалам, является их высокая твердость** [2]. Если бы при повышении твердости инструментального материала его механическая прочность не изменялась, то любое увеличение его твердости однозначно бы характеризовало улучшение его эксплуатационных свойств. Однако, увеличение твердости инструментального материала, как правило, сопровождается увеличением его хрупкости, а поэтому для различных марок инструментальных материалов существует свое предельное значение твердости, при котором их эксплуатационные свойства являются оптимальными.

Срезаемый слой через стружку давит на переднюю поверхность режущего лезвия. Нормальные контактные напряжения при резании конструкционных сталей достигают  $50 - 70 \text{ кгс/мм}^2$ . Режущий клин должен выдерживать эти давления без хрупкого разрушения и заметного пластического деформирования. Помимо этого, режущим инструментам часто приходится работать в условиях прерывистого резания или с переменными значениями сил резания, поэтому необходимо, чтобы инструментальный материал сочетал высокую твердость с хорошим сопротивлением на сжатие и изгиб и обладал высоким пределом выносливости и ударной вязкостью. Поэтому **вторым требованием, предъявляемым к инструментальным материалам, является их высокая механическая прочность.**

В процессе резания механическая энергия, затраченная на срезание слоя обрабатываемого материала, превращается в тепловую. В результате чего температура на контактных поверхностях режущего лезвия достигает  $800 - 900 \text{ }^\circ\text{C}$ . Из-за сильного нагрева контактные поверхности режущего лезвия теряют свою исходную твердость и быстро изнашиваются. Поэтому **третьим требованием, предъявляемым к инструментальным материалам, является их теплостойкость.** Под теплостойкостью инструментального материалы понимают способность материала сохранять первоначальную твердость при нагреве в процессе резания. Но, наряду с высокой теплостойкостью инструментальный материал должен быть малочувствителен к циклическим



температурным изменениям при прерывистом резании или резании с переменной толщиной срезаемого слоя.

Наряду с высокой теплостойкостью немаловажное значение имеет способность инструментального материала отводить тепло от контактных поверхностей режущего лезвия, в результате чего температура на них снижается и повышается износостойкость. Поэтому **четвертым требованием, предъявляемым к инструментальным материалам, является их теплопроводность.** Кроме того, чем выше теплопроводность материала, тем меньше опасность возникновения прижогов и трещин инструмента при заточке.

Скорость перемещения стружки по передней поверхности режущего лезвия и обрабатываемого материала по его задней поверхности достигает 250 – 350 м/мин. При этом на них имеют место высокие контактные напряжения и высокая температура. В результате этого даже в условиях сохранения первоначальной твердости инструментального материала контактные поверхности изнашиваются. Поэтому **пятым требованием, предъявляемым к инструментальным материалам, является их износостойкость.** Под износостойкостью инструментального материала при резании понимают его способность сопротивляться удалению с контактных поверхностей режущего лезвия частиц инструментального материала. Износостойкость инструментального материала возрастает при повышении его твердости, прочности, теплостойкости и теплопроводности.

**Шестым из основных требований, предъявляемых к инструментальным материалам, является их экономичность.** Большое количество инструментов, эксплуатируемых на машиностроительных заводах и в ремонтных цехах, требуют соответствующего расхода инструментального материала. Поэтому он, по возможности, должен быть дешевым и не содержать дефицитных элементов.

Всем вышеперечисленным требованиям в той или иной степени отвечают следующие группы инструментальных материалов:

- углеродистые инструментальные стали;
- легированные инструментальные стали;
- быстрорежущие инструментальные стали;
- твердые сплавы;
- минеральная керамика;
- алмазы и кубический нитрид бора;
- абразивные материалы.

Основные свойства вышеперечисленных инструментальных материалов представлены в табл. 1.





Таблица 1

## Основные свойства инструментальных материалов

Инструментальный материал	Теплостойкость $\theta_{кр}$ , °С	Предел прочности при изгибе $\sigma_{и}$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Микротвердость	Коэффициент теплопроводности
Углеродистая сталь	200 - 250	200 - 220	61 - 63HRC	31 - 32
Легированная сталь	250 - 300	200 - 220	63 - 65HRC	27 - 29
Быстрорежущая сталь	600 - 700	210 - 330	63 - 65HRC (750HV)	18 - 20
Твердые сплавы	800 - 900	До 230	1700HV	13 - 80
Минеральная керамика	1100 - 1500	32 - 70	1500HV	3
Алмаз	700 - 900	21 - 48	10000HV	142,5
Кубический нитрид бора	1300 - 1500	70 - 150	8500 - 9400HV	25 - 60

## 2.2. Углеродистые инструментальные стали

Типовые представители: У 9; У 10; У12А; У13. Буква У обозначает углеродистую сталь, следующая за ней цифра характеризует массовое содержание углерода в стали в десятых долях процента. Например, в стали У10 массовое содержание углерода составляет 1 процент. Буква А соответствует высококачественным сталям с пониженным содержанием примесей. Из углеродистых сталей изготавливают ручные слесарные инструменты и машинные, работающие с низкими скоростями резания: из стали У9 – зубила; из стали У12А - ручные развертки, метчики и плашки; из стали У13 – шаберы и напильники.

Главным недостатком углеродистых сталей является их низкая теплостойкость,  $\theta_{кр} = 200 \div 250$  °С, которая не позволяет изготавливать из них высокопроизводительные инструменты.

## 2.3. Легированные инструментальные стали

Износостойкость углеродистых сталей, особенно при работе с невысокими скоростями резания, может быть значительно повышена при добавлении в них в небольших количествах хрома (Х), марганца (Г), вольфрама (В) и кремния (С), хром и вольфрам образуют карбиды, марганец улучшает прокаливаемость стали, а кремний повышает красностойкость стали - уменьшает чувствительность к перегреву. Такие инструментальные стали



получили наименование легированных. Наибольшее распространение получили стали марок ХВ5, ХВГ, 9ХС. Химический состав легированных инструментальных сталей представлен в табл.2.

Сталь ХВ5 за счет высокого содержания углерода имеет повышенную твердость (HRC до 70) и вследствие этого обладает высоким сопротивлением малым пластическим деформациям. Изготовленные из нее инструменты имеют высокую формоустойчивость лезвий. Эта сталь применяется для изготовления разверток и фасонных резцов, работающих с невысокими скоростями резания.

Таблица 2

Химический состав легированных инструментальных сталей

Марка стали	C, %	Cr, % (X)	Mn, % (Г)	W, % (В)	Si, % (С)
ХВ5	1,25 – 1,5	0,4 – 0,7	до 0,3	4,5 – 5,5	до 0,3
ХВГ	0,9 – 1,05	0,9 – 1,2	0,8 – 1,1	1,2 – 1,6	0,15 – 0,35
9ХС	0,85 - 0,95	0,95 - 1,25	0,3 - 0,6	-	1,2 - 1,6

Сталь ХВГ при твердости HRC до 63 – 65 имеет достаточно высокую вязкость. Инструмент из этой стали мало деформируется и хорошо поддается правке. Из этой стали в основном изготавливают протяжки крупных размеров.

Сталь 9ХС имеет сравнительно большое содержание кремния, который помимо красностойкости, способствует сохранению мелкого зерна и обеспечивает равномерное распределение карбидов по сечению инструмента, что делает ее особо пригодной для изготовления инструмента с тонкими лезвиями (малого диаметра сверл, разверток, метчиков, плашек и концевых фрез). Главным недостатком легированных углеродистых сталей, как и углеродистых, является их низкая теплостойкость,  $\theta_{кр} = 250 \div 300$  °С, которая не позволяет изготавливать из них высокопроизводительные инструменты.

## 2.4. Быстрорежущие инструментальные стали

Потеря твердости углеродистых и легированных инструментальных сталей при нагреве выше 200 – 250 °С объясняется интенсивной коагуляцией карбида железа, выделяющегося из мартенсита. Введение в сталь большего количества вольфрама (Р), ванадия (Ф), молибдена (М) и хрома (табл.3) приводит к образованию сложных карбидов, связывающих почти весь углерод, в результате чего процесс коагуляции начинает происходить при значительно более высоких температурах, и теплостойкость стали возрастает [7].



Таблица 3

## Химический состав быстрорежущих сталей

Марка стали	Содержание элементов в %					
	C	W	Mo	Cr	V	K
P18	0,7 – 0,8	17 - 19	До 1	3,8 – 4,4	1 – 1,4	-
P9	0,85 – 0,95	8,5 - 10	До 1	3,8 – 4,4	2 – 2,6	-
P12	0,8 – 0,9	12 - 13	До 1	3,2 – 3,7	1,5 – 1,9	-
P6M5	0,8 – 0,9	5,5 – 6,5	4,5 – 5,5	3,8 – 4,4	1,8 – 2,2	-
P9Ф5	1,4 – 1,5	9,0 – 10,5	До 1	3,8 – 4,4	4,3 – 5,1	-
P9K5	0,9 – 1,0	9,0 – 10,5	До 1	3,8 – 4,4	2 – 2,6	5 - 6

Быстрорежущие инструментальные стали по химическому составу разделены на следующие группы:

вольфрамовые – P18, P9, P12;

вольфрамомолибденовые – P6M5, P6M3;

вольфрамованадиевые – P9Ф5, P14Ф4, P18Ф2;

вольфрамокобальтовые – P9K5, P9K10;

безуглеродистые быстрорежущие сплавы – P18M3K25, P18M5K25, P18M7K25.

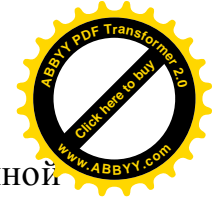
Сталь P18 по сравнению со сталью P9 имеет примерно в три раза больше избыточных карбидов, что повышает ее износостойкость при работе с низкими скоростями резания. Большое содержание вольфрама (в два раза) снижает теплопроводность стали, и поэтому сталь P9 более теплопроводна и ее износостойкость выше при резании с интенсивным тепловыделением.

Вольфрамомолибденовые стали менее теплостойкие, чем вольфрамовые (табл.4). Но снижая теплостойкость, молибден повышает прочность стали. Меньшая теплостойкость и большая механическая прочность вольфрамомолибденовых сталей определяет их область применения: для инструментов, работающих с невысокими скоростями резания, но с большими сечениями срезаемого слоя, например, свёрла.

Таблица 4

## Теплостойкость и предел прочности при изгибе быстрорежущих сталей

№	Наименование	марка	$\theta_{кр}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{из}, \text{кгс/мм}^2$
1	Вольфрамовые	P18, P9, P12	620	290 – 310
2	Вольфрамомолибденовые	P6M3, P6M5	600	310 – 330
3	Вольфрамванадиевые	P18Ф2, P14Ф4, P9Ф5	625 – 635	250 – 290
4	Вольфрамокобальтовые	P9K5, P9K10	640 – 670	205 – 230
5	Безуглеродистые быстрорежущие сплавы	P18M3K25, P18M7K25, P10M5K25	700 - 720	175 - 200



Наиболее распространенными быстрорежущими сталями повышенной теплостойкости являются стали, легированные ванадием и кобальтом: вольфрамованадиевые и вольфрамокобальтовые стали. Карбиды ванадия повышают твердость, теплостойкость стали и сопротивление малым пластическим деформациям. Поэтому вольфрамованадиевые стали более твердые и теплостойкие, чем вольфрамовые. Кобальт карбидов не образует. Однако кобальт является элементом, наиболее сильно увеличивающим твердость и теплостойкость стали, что объясняется образованием в ее структуре интерметаллидов в дисперсионном состоянии. Еще одним весьма ценным свойством кобальта является повышенная теплопроводность. Однако стоимость этой стали в два раза выше, чем стали P18, и ее применение целесообразно там, где производительность обработки компенсирует ее высокую стоимость.

Безуглеродистые быстрорежущие сплавы появились сравнительно недавно. Наибольшее распространение из них нашли вышеперечисленные сплавы, которые содержат менее 0,06% углерода, 25% кобальта, 0,5 % хрома, 0,2% титана, 5% ванадия и отличаются содержанием вольфрама и молибдена соответственно обозначению марки сплава.

Но вследствие повышенной стоимости большинства марок ванадиевых, кобальтовых сталей и безуглеродистых сплавов их применение целесообразно только при обработке высокопрочных и труднообрабатываемых материалов с относительно небольшими скоростями резания.

Из быстрорежущих сталей изготавливают фасонные резцы, винтовые сверла, развертки, метчики, плашки, цилиндрические, осевые и концевые фрезы и другой инструмент, изготовление которого из твердых сплавов связано со значительными технологическими трудностями или его механическая прочность из твердого сплава не достаточная и может привести к аварии.

## 2.5. Твердые сплавы

Твердые металлокерамические сплавы получают порошковой металлургией посредством спекания порошков карбидов тугоплавких металлов: вольфрама, титана и тантала и не образующего карбидов кобальта. Порошки смешивают в определенных пропорциях, прессуют в формах и спекают при температуре 1500 – 2000 °С. Таким образом получают пластинки твердых сплавов, которые присоединяются к корпусу инструмента пайкой или механическим путем. Существуют три вида инструментальных твердых сплавов: однокарбидные ВК – вольфрамовые, спекаемые из карбида вольфрама и кобальта; двухкарбидные ТК – титано-вольфрамо-кобальтовые, спекаемые из карбидов титана, вольфрама и кобальта; трехкарбидные ТТК – титано-тантало-кобальтовые, спекаемые из карбидов титана, тантала, вольфрама и кобальта. Физико-механические свойства твердых сплавов представлены в табл.5.



Таблица 5

## Физико-механические свойства некоторых марок твердых сплавов

Наименование	Марка	Твердость HRA	$\theta_{кр}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{и},$ кгс/мм <sup>2</sup>
Однокарбидные	ВК2	90	800 – 850	100
	ВК6	88		120
	ВК8	87,5		140
Двухкарбидные	T5K10	88,5	850 – 900	120
	T15K6	90		115
	T30K4	92		95
Трехкарбидные	ТТ7К12	88,5	750	150
Сталь	P18	83	620	300

В однокарбидных твердых сплавах цифра обозначает процентное содержание кобальта, например ВК8 – 8% кобальта, остальное (92%) карбид вольфрама.

В двухкарбидных твердых сплавах первая цифра обозначает процентное содержание карбида титана, вторая – процентное содержание кобальта, остальное - карбид вольфрама. Твердость и теплостойкость двухкарбидных твердых сплавов выше, чем однокарбидных. Твердость возрастает с увеличением содержания карбидов титана и вольфрама и уменьшением кобальта, но это сопровождается уменьшением прочности на изгиб и ударной вязкости соответственно.

В трехкарбидных сплавах цифра после второй буквы Т обозначает суммарное процентное содержание карбидов титана и тантала в сплаве. Трехкарбидные твердые сплавы занимают промежуточное значение между двухкарбидными и однокарбидными. Уступая двухкарбидным сплавам по теплостойкости, они превосходят их по прочности. В табл.6 показана область применения твердых сплавов при точении сталей и чугуна.

Таблица 6

## Марки твердого сплава при точении заготовки из конструкционной стали и чугуна

Условия обработки	Марка твердого сплава при точении заготовки из	
	стали	чугуна
Черновое точение с большими сечениями срезаемого слоя, точение по литейной корке или штамповочной корке, точение с ударами	T5K12В, T5K10	ВК8
Непрерывное черновое точение со средними сечениями срезаемого слоя, полустойкое точение	T14K8, T15K6	ВК6, ВК6М
Чистовое точение с малыми сечениями срезаемого слоя при высоких скоростях резания	T30K4	ВК3М, ВК2



Прочность твердых сплавов определяется не только их составом, но и размером зерен карбида вольфрама. Сплавы с большим размером зерен обозначаются буквой В, например ВК4В, имеют большую прочность в результате увеличения прослойки кобальта, а сплавы с мелкозернистой структурой обозначаются буквой М, например ВК4М, прочность имеют несколько ниже, зато имеют более высокую твердость и износостойкость.

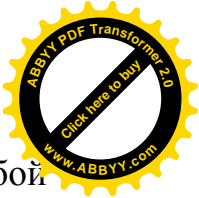
Преимущества инструментов из твердых сплавов перед быстрорежущими очевидны. К недостаткам следует отнести большие трудности при изготовлении инструмента сложной конструкции.

## 2.6. Минеральная керамика

Для изготовления режущих инструментов используют оксидную минеральную керамику, являющуюся кристаллической окисью алюминия ( $Al_2O_3$ ). Наибольшее распространение получила минеральная керамика марки ЦМ 332, называемая микролитом. Микролит получают в виде пластинок спеканием тонкоизмельченного порошка корунда – искусственной окиси алюминия в два приема - сначала при температуре 1100 °С, а затем при температуре 1720 – 1760 °С, которые прикрепляют к корпусу инструментов привариванием, приклеиванием или механическим путем. Минеральная керамика обладает высокой твердостью и теплостойкостью, но исключительно низкой сопротивляемостью циклическим тепловым нагрузкам. Поэтому ее применение ограничивается обработкой мягких цветных металлов и сплавов. При обработке чугуна и стали ее целесообразно применять при непрерывном чистовом точении с малыми сечениями срезаемого слоя.

## 2.7. Алмазы и кубический нитрид бора

Для алмазного режущего инструмента применяют в основном естественные алмазы, так как искусственные слишком мелкие (0,2 – 0,4 мм), это определяет высокую стоимость алмазного инструмента. В режущих инструментах применяются кристаллы алмаза весом от 0,31 до 0,75 карата (1 карат = 0,2 г). Они закрепляются пайкой или механическим путем. Алмаз обладает исключительной твердостью и износостойкостью, но имеет один существенный недостаток – при нагреве на воздухе до температуры 700 – 800 °С наружные поверхности кристаллов превращаются в аморфный углерод, происходит графитизация алмаза, а при нагревании алмаза в контакте с железом при температуре 750 °С происходит интенсивное растворение алмаза в железе. Поэтому алмазные инструменты нашли применение при обработке цветных металлов, прочных пластмасс, полупроводников, правки шлифовальных кругов, а также как абразивный материал для изготовления шлифовальных кругов для шлифования и заточки твердосплавных инструментов и в виде доводочных порошков и паст.



Кубический нитрид бора КНБ (эльбор, боразон) представляет собой химическое соединение бора и азота, изготавливается также, как и синтетический алмаз, только из нитрида бора, и имеет структуру алмазного типа, но в узлах кристаллической решетки вместо атомов углерода находятся атомы азота и бора. Твердость КНБ несколько ниже, чем алмаза, но он значительно превосходит алмаз по теплостойкости ( $\theta_{кр} = 1200 \div 1300 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Однако его теплопроводность примерно в три раза ниже, чем алмаза. Кубический нитрид бора химически инертен по отношению к материалам, содержащим углерод, а поэтому его износостойкость при обработке сталей и чугунов значительно выше, чем износостойкость алмазов. В семидесятые годы двадцатого века освоено производство крупных поликристаллических образований кубического нитрида бора (ПКНБ) диаметром 3 – 4 мм и длиной 5 – 6 мм, обладающих высокой прочностью ( $\sigma_{н} = 100 \text{ кгс/мм}^2$ ). Поликристаллы таких размеров позволяют оснащать токарные резцы и торцевые фрезы, применяемые для окончательной чистовой обработки закаленной стали и высокопрочных чугунов. Основной недостаток - высокая стоимость.

## 2.8. Абразивные материалы

Большое место в современном производстве деталей машин и механизмов, а также в производстве режущего инструмента занимают процессы шлифования, при которых используются абразивные инструменты. К ним относятся шлифовальные: круги, головки, сегменты, бруски, шкурки, порошки и пасты. Режущими элементами этих инструментов служат твердые и теплоустойчивые зерна абразивных материалов с острыми кромками.

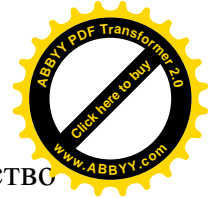
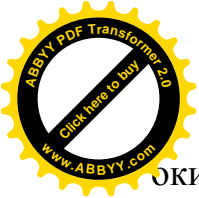
Абразивные материалы подразделяются на естественные и искусственные. К естественным абразивным материалам относятся минералы: кварц, наждак, корунд и др. Естественные материалы отличаются большой неоднородностью и наличием посторонних примесей, поэтому по качеству абразивных свойств они не удовлетворяют требованиям промышленности.

В настоящее время обработка искусственными абразивными материалами занимает ведущее место в машиностроении. Наиболее распространенными искусственными абразивными материалами являются электрокорунды, карбиды кремния и карбид бора.

## 2.9. Электрокорунды

Электрокорунды получают плавкой в электрических печах из материалов, богатых окисью алюминия, например, боксита или глинозема в смеси с восстановителем (антрацитом или коксом). Электрокорунды выпускаются следующих разновидностей: нормальный, белый, монокорунд, хромистый и титанистый.

Электрокорунды нормальные марок Э1, Э2, Э3, Э4 содержат окись алюминия  $Al_2O_3$  91, 92, 93, 94% соответственно. С увеличением содержания



Окиси алюминия возрастает абразивная способность и повышается качество электрокорунда. Поэтому из-за низкого содержания окиси алюминия производство первых трех марок электрокорунда нормального почти прекращено. Применяется для обработки конструкционных сталей в закаленном и незакаленном состояниях.

Электрокорунд белый Э8, Э9 содержит окиси алюминия не менее 97%, имеет белый или бледно-розовый цвет. В настоящее время в основном выпускается электрокорунд белый марки Э9 с содержанием окиси алюминия 99% и выше. По особой технологии выпускается электрокорунд белый марки Э9А повышенного качества, который применяется для изготовления высококачественных режущих инструментов. Электрокорунд белый может применяться там же, где и электрокорунд нормальный, однако из-за высокой стоимости его в основном применяют для ответственных работ при шлифовании углеродистых и быстрорежущих сталей в закаленном состоянии и легированных сталей в закаленном и незакаленном состояниях.

Монокорунд М8 и М7 содержит 98 и 97% окиси алюминия соответственно. Главная особенность монокорунда состоит в том, что он получается непосредственно в виде зерен, имеющих высокую механическую прочность и острые кромки с более выраженным свойством самозатачивания по сравнению с электрокорундом. Монокорунд предпочтителен для шлифования труднообрабатываемых жаропрочных, кислотоупорных, легированных сталей и сплавов.

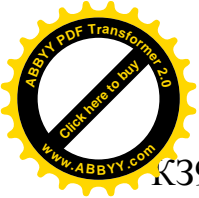
Электрокорунд хромистый (ЭХ), технический рубин, содержит не менее 97% окиси алюминия и 0,4 – 1,2% окиси хрома ( $Cr_2O_3$ ). Зерна электрокорунда хромистого имеют розовую или темно-вишневую окраску. Они обладают большим постоянством физико-механических свойств и содержат большой процент монокристаллов по сравнению с электрокорундом белым. Рекомендуется применять для шлифования изделий из углеродистых конструкционных сталей круглого сечения при интенсивных режимах. Применять для обработки вязких сталей нецелесообразно.

Электрокорунд титанистый (ЭТ), технический сапфир, с присадкой окиси титана, близок к электрокорунду нормальному, но отличается от него большим постоянством свойств и увеличенной вязкостью. Это позволяет применять его в условиях тяжелых неравномерных нагрузок.

## 2.10. Карбид кремния

Карбиды кремния КЗ и КЧ получают в результате взаимодействия кремнезема и углерода плавкой в электрических печах, а затем дроблением на зерна. Он состоит из карбида кремния ( $SiC$ ) и незначительного количества примесей. Наиболее распространены две разновидности карбида кремния: карбид кремния зеленый (КЗ), имеющий цвет от светло-зеленого до темно-зеленого, и карбид кремния черный (КЧ) – обычно черного цвета. Карбид кремния выпускается следующих марок: КЗ9, КЗ8, КЗ7, КЧ8, КЧ7. Цифра в маркировке обозначает содержание карбида кремния в процентах. Например,





К39 – карбид кремния зеленый, содержащий 99% SiC, КЧ8 – карбид кремния черный, содержащий 98% SiC. Карбид кремния зеленый отличается от карбида кремния черного меньшим количеством примесей. Карбид кремния обладает большой твердостью, превосходящей твердость электрокорунда, высокой механической прочностью и высокой режущей способностью. Является незаменимым материалом для шлифования чугуна, цветных сплавов, стекла, пластмасс и других хрупких материалов. Карбид кремния зеленый обладает большей твердостью, но меньшей прочностью по сравнению с карбидом кремния черным, поэтому ему отдают предпочтение при шлифовании цветных сплавов.

## 2.11. Карбид бора

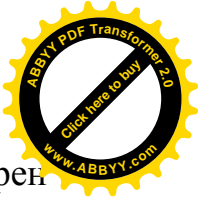
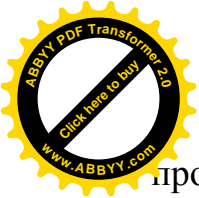
Карбид бора  $B_4C$  является химическим соединением бора с углеродом. Карбид бора обладает высокой твердостью, приближающейся к алмазу, высокой износостойкостью и высокой абразивной способностью, вместе с тем очень хрупок, поэтому применяется только в виде порошков и паст для доводки твердосплавных режущих инструментов, фильер из твердых сплавов, шлифования камней из искусственного рубина и агата, при притирочных работах, требующих высокой твердости инструмента.

## 2.12. Основные свойства абразивных материалов

Абразивные материалы характеризуются такими основными свойствами, как форма абразивных зерен, зернистость, твердость, механическая прочность, абразивная способность.

По форме абразивные зерна могут быть изометричными, имеющими круглую симметричную форму, пластинчатыми и мечевидными. Основной формой абразивных зерен является изометричная, которая способствует более плотной упаковке зерен, а, значит, меньшей пористости, что ухудшает режущую способность абразивного инструмента. Предпочтительны для инструментов, работающих на обдирочных режимах с тяжелой переменной нагрузкой в условиях больших давлений на инструмент. Зерна пластичные и мечевидные обладают большей способностью скалывания, самозатачивания и более целесообразны при чистовых операциях и обработке труднообрабатываемых материалов.

Зернистость – номер зерна, определяющий его величину. После дробления на шаровых мельницах зерна сортируют по размерам. Размеры зерен варьируются от 3,5 до 2500 мкм и подразделяются на шлифзерно с номером (200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32, 25, 20, 16), шлифпорошки с номером (12, 10, 8, 5, 4, 3) и микрошлифпорошки марки (M40, M28, M20, M14, M10, M7, M5). Зернистость шлифзерна и шлифпорошков определяется размерами сторон ячеек контрольных сит. Например, номер зернистости 16 обозначает, что зерна этой величины проходят через сито с ячейками размером сторон 200 мкм и не



проходят через сито с ячейками размером сторон 160 мкм. Размеры зерен микрошлифпорошков определяются по линейным размерам зерен в микрометрах. Так, для микрошлифпорошка М40 пределы размеров зерен основной фракции равны 40 – 28 мкм. Уменьшение размеров зерен способствует процессу снятия тонких стружек и получению более чистой обработанной поверхности.

Твердость абразивных материалов определяется царапаньем острия одного тела по поверхности другого и методом вдавливания алмазной пирамидки под малой нагрузкой на абразивное зерно. Метод царапанья не достаточно точный, чтобы определить фактическую твердость абразивного материала. Большой интерес представляет метод вдавливания алмазной пирамидки, при котором определяют площадь отпечатка, а твердость вычисляют из отношения силы вдавливания к этой площади.

Механическая прочность характеризуется дробимостью зерен под влиянием внешних сил. Оценку прочности производят раздавливанием навески абразивных зерен в стальной форме под прессом с определенной статической нагрузкой. Показателем прочности служит процентное весовое количество зерен, не просевшихся через сито, с которого была взята навеска. О прочности единичных зерен судят по величине нагрузки, разрушающей зерно, взятой как среднее из 100 испытаний. При обдирочных режимах с большим съемом металла требуются прочные абразивы, а при чистовом шлифовании и обработке труднообрабатываемых материалов предпочтительны абразивы с большей хрупкостью и способностью к самозатачиванию.

Абразивная способность характеризуется количеством материала, сошлифованного испытываемыми зернами за определенный промежуток времени. Определенное количество испытываемых зерен засыпается между двумя вращающимися с небольшой скоростью дисками.

В порядке снижения абразивной способности и твердости абразивные материалы располагаются в следующей последовательности: карбид бора, карбид кремния, монокорунд, электрокорунд.



## Глава 3

### Стружкообразование при резании металлов

#### 3.1. Типы стружек

В 1870 г. И.А. Тиме предложил классификацию типов стружек, образующихся при резании различных материалов (рис.7). Классификация оказалась настолько удачной, что, несмотря на то, что со времен И.А. Тиме появились совершенно иные конструкционные материалы, обрабатываемые с иными режимами резания, ею пользуются и в настоящее время. Согласно этой классификации, при резании конструкционных материалов в любых условиях образуются четыре вида стружек: элементная, суставчатая, сливная и надлома [3]. Элементную, суставчатую и сливную стружки называют стружками сдвига, так как их образование связано с напряжениями сдвига. Стружку надлома можно назвать стружкой отрыва, так как ее образование связано с растягивающими напряжениями.

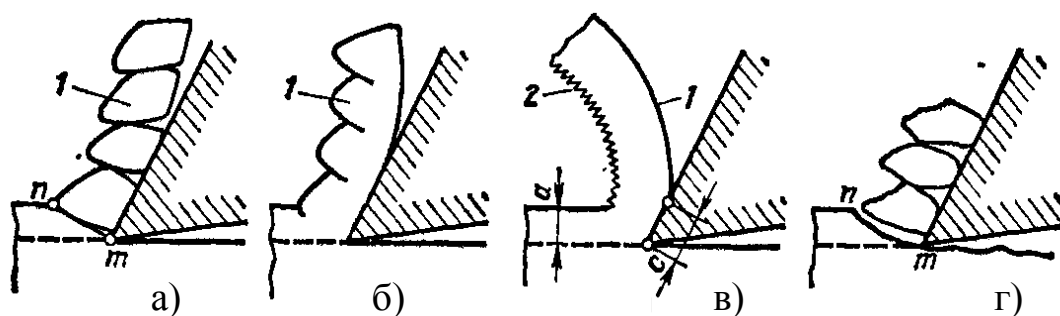


Рис.7. Типы стружек при обработке пластичных и хрупких материалов

Процесс образования элементной стружки (рис.7, а) можно условно разделить на две стадии [11]. На первой стадии резец, постепенно вдавливаясь в заготовку, заставляет частицы металла упруго сжиматься. Если на этой стадии отвести резец от заготовки, то она восстановит свой первоначальный вид. Вторая стадия начнет развиваться при дальнейшем перемещении резца. Упругая деформация, увеличиваясь, перейдет в пластическую (необратимую) деформацию некоторой части срезаемого слоя. Эта часть ограничена углом  $\psi$ , который И.А. Тиме назвал углом действия (рис.8). Соответственно угол  $\beta$  называют углом сдвига. Пластическая деформация будет увеличиваться до момента, пока не будет преодолена сила внутреннего сцепления частиц металла, величина его прочности. В этот момент произойдет сдвиг первого элемента стружки, в некоторой плоскости АВ (рис.8), которую называют плоскостью сдвига. Затем процесс повторится с образованием второго, третьего и т.д. элементов стружки.

Элементная стружка получается при обработке твердых и малопластичных материалов, например, углеродистых конструкционных сталей, с невысокой скоростью резания.

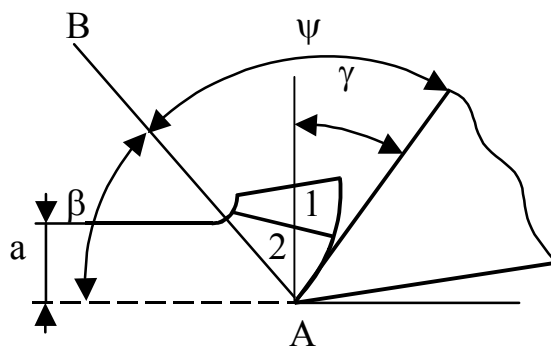


Рис.8. Процесс образования элементной стружки

Суставчатая стружка (рис.7, б) получается при токарной обработке заготовок из сталей со средней скоростью резания. Прирезцовая сторона такой стружки гладкая, а на противоположной стороне имеются зазубрины с выраженным направлением отдельных связанных между собой элементов.

Сливная стружка (рис.7, в) получается при токарной обработке заготовок из сталей с высокой скоростью резания. Она сходит с резца в виде ленты, без зазубрин, присущих суставчатой стружке.

Еще И.А. Тиме в своих работах указывал на переменность силы, действующей на резец со стороны срезаемого слоя при образовании элементной стружки. По мере продвижения резца и при увеличении деформации сила резания будет возрастать, достигая максимального значения в момент сдвига элемента стружки, а затем уменьшится до некоторого значения, но не до нуля, так как следующий элемент стружки начинает деформироваться несколько раньше, чем заканчивается формирование предыдущего элемента. Такое изменение силы резания вызывает неравномерную нагрузку технологической системы, что может привести к вибрациям и ухудшению качества обработанной поверхности. При суставчатой стружке сила резания будет изменяться меньше, чем при элементной, и еще более спокойно будет протекать процесс резания при сливной стружке, а значит и качество обработанной поверхности будет наилучшим.

Стружка надлома (рис.7, г) получается при обработке малопластичных металлов (твердый чугун, бронза). Она состоит из отдельных, как бы выломанных частиц различной величины и формы, не связанных между собой. Опережающая трещина при образовании стружки надлома распространяется сразу вдоль всей поверхности сдвига, по которой стружка отделяется от основной массы металла. Ее еще называют сыпучей стружкой, которая мало деформирована и создает резко неравномерную нагрузку на всю технологическую систему. Обработанная поверхность при образовании такой стружки получается шероховатой, так как несет на себе следы вырывов частиц металла.

### 3.2. Нарост

При резании пластичных материалов в определенных случаях наблюдается задерживание части срезаемого слоя на передней поверхности резца вблизи режущей кромки.

Впервые это явление обнаружил Я.Г. Усачев. Он же назвал эту часть срезаемого слоя наростом, а само явление - наростообразованием.

В настоящее время существует несколько точек зрения на природу наростообразования. Наиболее признана модель этого явления, разработанная Я.Г.Усачевым и дополненная впоследствии А.И. Исаевым.

В соответствии с этой моделью, нарост представляет собой некоторую часть срезаемого слоя металла, сильно сформированного, заторможенного, получившего сильное упрочнение и часто приваренного к передней поверхности резца.

По структуре нарост состоит из тонких слоев металла, наложенных друг на друга и вытянутых вдоль передней поверхности режущего лезвия (рис.9).

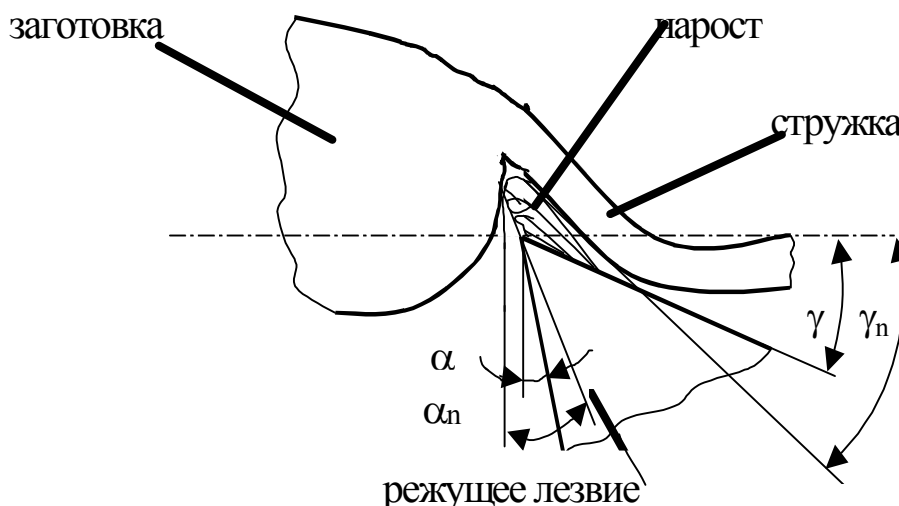


Рис.9. Вид и структура нароста

Процесс образования нароста схематично можно представить следующим образом. На ювенильных (химически чистых) поверхностях стружки и инструмента при определенных температуре и давлении создаются условия для адгезионного схватывания (соединения) материалов стружки и инструмента. В результате сил адгезии происходит прочное присоединение контактного слоя стружки к передней поверхности и образование тонкого заторможенного слоя, который становится передней поверхностью инструмента. При скольжении стружки по заторможенному слою происходит аналогичное схватывание и образование следующего слоя нароста, приводящее к увеличению его высоты. Вследствие большой шероховатости образовавшегося слоя создаются благоприятные условия для проникновения кислорода воздуха и его диффундирования в поверхностные слои материала. Окисленные пленки уменьшают

трение между стружкой и поверхностью нароста, и поэтому каждый следующий слой становится короче предыдущего и нарост приобретает клиновидную форму (рис.9).

Ввиду того, что этот нарост сильно упрочнен и имеет твердость, в 2–3 раза большую твердости обрабатываемого металла, он становится частью режущего лезвия инструмента, т.е. участвует в резании как один из его элементов. Нарост, увеличиваясь, меняет геометрию резца. Угол  $\gamma_n$ , образованный наростом, по величине, больше угла  $\gamma$ , полученного при заточке (рис.9). Поэтому степень пластической деформации срезаемого металла, по мере увеличения нароста, уменьшается. Соответственно уменьшается степень упрочнения верхних слоев нароста. Кроме того, передача тепла из верхних слоев нароста в резец затруднена. Все это способствует уменьшению склонности верхних слоев нароста к схватыванию с нижними. В результате после достижения определенного размера, зависящего от условий резания, дальнейшее увеличение нароста прекращается.

Поскольку нарост выполняет роль вершины режущего клина, на него в полной мере воздействуют те же факторы, которые вызывают износ инструмента. В процессе износа частицы нароста уносятся стружкой, поверхностью резания и обработанной поверхностью. Увеличиваясь, нарост приобретает форму, которая неблагоприятна для восприятия тех или иных составляющих силы резания (рис.10). Вершина нароста выступает за пределы вершины резца в горизонтальном направлении, и составляющая  $P_z$  силы резания создает в теле нароста напряжения изгиба и сдвига, что приводит к его периодическому разрушению. Отделившиеся частицы нароста уносятся стружкой, а также внедряются в поверхность резания и обработанную поверхность.

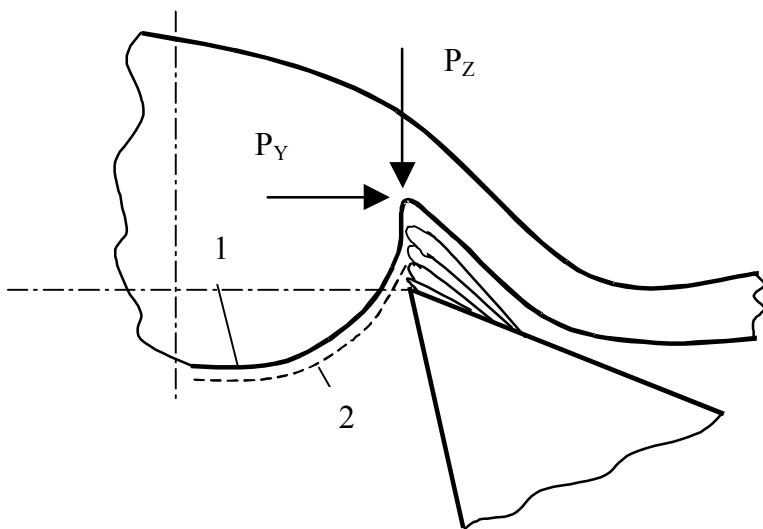


Рис.10. Схема воздействия сил резания на нарост

В тоже время частицы нароста периодически срываются и сходят со стружкой по передней поверхности резца. Это происходит, когда сила

сцепления верхних слоев нароста недостаточна, чтобы компенсировать действие составляющей  $P_y$ .

Максимальную высоту нарост имеет при скоростях резания 15–30 м/мин, и исчезает при скоростях резания, превышающих 80–100 м/мин. Экспериментально установлено, что при наиболее распространенных условиях резания углеродистых конструкционных сталей нарост имеет максимальную высоту при такой скорости резания ( $V_2$ ), когда температура в зоне резания близка к 300 °С, и исчезает при такой скорости резания ( $V_3$ ), когда температура в зоне резания превышает 600 °С (рис.11). При максимальной величине нароста фактический передний угол  $\gamma_{\text{ф}}$  максимальный (рис.11) [2]. При скоростях резания, превышающих 80-100 м/мин, температура в зоне пластической деформации повышается настолько, что нижний слой этой зоны уже не отвердевает при контакте с передней поверхностью резца (не приваривается к ней), а течет по этой поверхности вместе со стружкой.

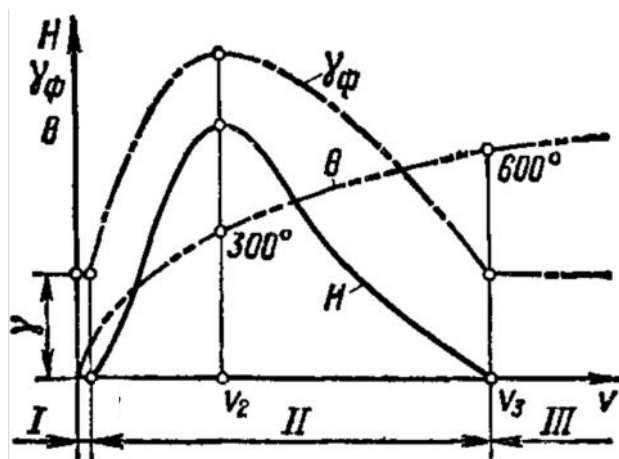


Рис.11. Влияние скорости резания на температуру, высоту нароста и фактический передний угол

Из рис.12 видно, что на величину нароста оказывает влияние передний угол  $\gamma$  и толщина срезаемого слоя  $\alpha$ , а значит и подача. При увеличении переднего угла  $\gamma$  высота нароста уменьшается, и при определенной величине  $\gamma$  нарост совсем исчезает, тогда как с увеличением толщины срезаемого слоя, а значит, и подачи, высота нароста увеличивается. Это происходит из-за соответствующего влияния переднего угла и подачи на силу резания. С увеличением подачи сила резания возрастает, тогда как с увеличением переднего угла – уменьшается.

Нарост оказывает существенное влияние на процесс резания. Он увеличивает передний угол резца, что облегчает процесс резания. Кроме того, он защищает режущую кромку от истирающего действия со стороны стружки и со стороны поверхности резания, а также защищает режущую кромку от воздействия теплоты, возникающей при резании. Все это - положительные факторы, влияющие на процесс резания.

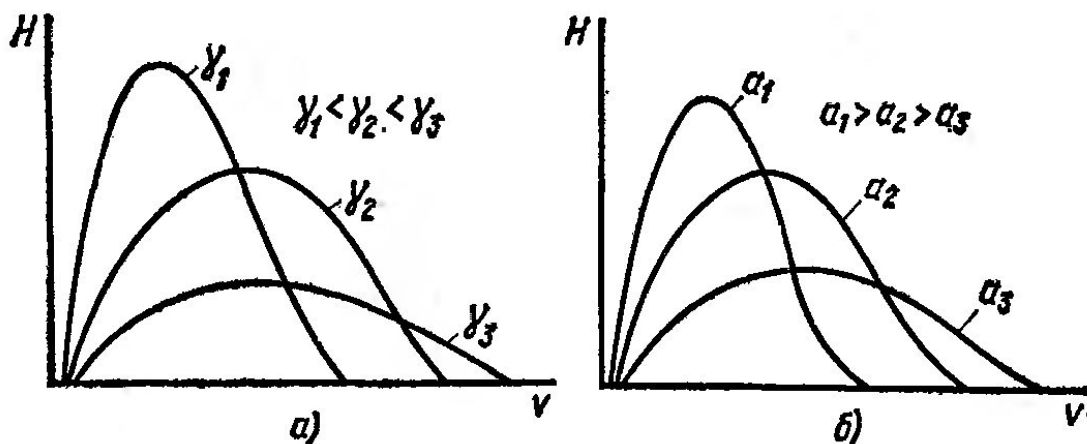


Рис.12. Влияние скорости резания на высоту нароста при различных передних углах и толщинах срезаемого слоя

Но при разрушении нароста действительная глубина резания и толщина среза за все время меняются (на рис.10 линия 1 обозначает след обработанной поверхности или поверхности резания в случае, если нарост отсутствует, а линия 2 - след этих поверхностей при наличии нароста). Поэтому на обработанной поверхности появляются дополнительные микронеровности. Кроме того, в обработанную поверхность внедряются частицы разрушившегося нароста. В результате качество обработанной поверхности ухудшается.

### 3.3. Меры борьбы с наростом

1. Увеличение скорости резания посредством применения соответствующих инструментальных материалов.
2. Увеличение угла  $\gamma$ .
3. Уменьшение шероховатости передней поверхности режущего лезвия.
4. Применение смазочно-охлаждающей жидкости с высокими смазывающими свойствами.
5. Использование инструментальных материалов, плохо поддающихся наростообразованию (например, минеральная керамика).

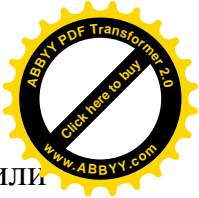
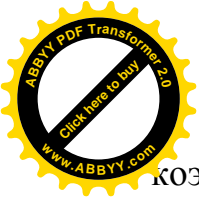
### 3.4. Усадка стружки. Коэффициент усадки стружки

При превращении срезаемого слоя в стружку размеры стружки по длине  $L_c$ , толщине  $\alpha_c$  и ширине  $b_c$  (рис.13) отличаются от размеров срезаемого слоя, из которого стружка образовалась.

При длине срезаемого слоя  $L$ , толщине  $\alpha$ , и ширине  $b$  стружка становится короче, толще и шире, то есть  $L_c < L$ ;  $\alpha_c > \alpha$ ;  $b_c > b$ .

По сравнению с размерами срезаемого слоя. Степень изменения размеров стружки по сравнению со срезаемым слоем характеризуется тремя





коэффициентами изменения формы стружки: коэффициентом усадки или укорочения  $K_L$ , коэффициентом утолщения  $K_a$  и коэффициентом уширения  $K_b$ .

$$K_L = \frac{L}{L_c}, \quad K_a = \frac{a_c}{a}, \quad K_b = \frac{b_c}{b}. \quad (1)$$

Так как объем стружки равен объему срезаемого слоя, то  $L \cdot a \cdot b = L_c \cdot a_c \cdot b_c$ , а поэтому:

$$K_L = K_a \cdot K_b; \quad K_L = \frac{a_c \cdot b_c}{a \cdot b}. \quad (2)$$

Таким образом, коэффициент усадки стружки равен отношению площади поперечного сечения стружки к площади сечения срезаемого слоя  $K_L = F_c / F_{cp}$ . Но произведение  $a \cdot b$  равно произведению  $S \cdot t$ , тогда:

$$K_L = \frac{F_c}{S \cdot t}. \quad (3)$$

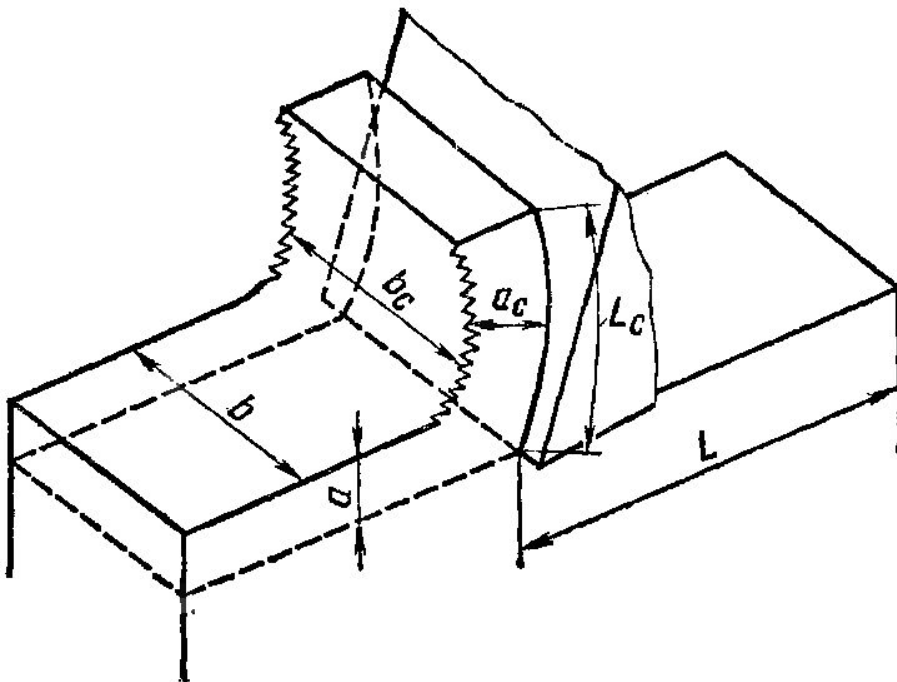


Рис.13. Размеры срезаемого слоя и стружки

### 3.5. Связь коэффициента усадки стружки с углом сдвига

Усадка стружки является показателем пластической деформации срезаемого слоя, которая характеризуется относительным сдвигом или величиной угла сдвига  $\beta$ .



Используя формулу Тиме  $K_L = \frac{\cos(\beta - \gamma)}{\sin \beta}$ , можно выразить угол сдвига через коэффициент усадки стружки по длине:

$$K_L = \frac{\cos \beta \cdot \cos \gamma + \sin \beta \cdot \sin \gamma}{\sin \beta} = \operatorname{ctg} \beta \cdot \cos \gamma + \sin \gamma = \frac{\cos \gamma}{\operatorname{tg} \beta} + \sin \gamma,$$

отсюда при  $\gamma = 0^\circ$  получим:

$$K_L = \frac{1}{\operatorname{tg} \beta}. \quad (4)$$

Зависимость (4) является приближенной, так как получена при условии, что уширение стружки отсутствует, т.е. коэффициент  $K_b = 1$ , а коэффициенты  $K_L$  и  $K_\alpha$  равны, и. Она характеризует взаимосвязь угла сдвига и коэффициента усадки стружки. Из формулы (4) видно, что с увеличением угла сдвига (увеличением твердости и прочности обрабатываемого материала), коэффициент усадки уменьшается. Поэтому при изучении влияния различных факторов на пластическую деформацию в зоне резания обычно ограничиваются измерением усадки стружки, а относительный сдвиг не рассчитывают.

В отличие от относительного сдвига усадка стружки не показывает точно величину пластической деформации, приводящей к перемещению срезаемого слоя относительно заготовки, потому что усадка стружки является следствием не только деформации по плоскости сдвига, но и деформации от перемещения стружки по передней поверхности резца. Однако, усадка стружки позволяет косвенно судить о влиянии тех или иных факторов и параметров процесса резания на степень пластической деформации в плоскости сдвига, и поэтому информация об усадке стружки вполне может быть использована для управления процессом резания (выбор режимов, геометрия инструмента, оптимизация процесса и т. д.).

### 3.6. Способы определения коэффициента усадки стружки

Усадку стружки определяют с помощью эксперимента. Существует несколько способов определения усадки стружки.

Первый способ предусматривает определение площади поперечного сечения стружки посредством измерения ее геометрических параметров. Небольшой участок стружки закрепляют на столе микроскопа и тщательно замеряют его геометрические параметры, а затем рассчитывают площадь его поперечного сечения  $F_c$  с последующим определением усадки стружки по формуле (3).

Второй способ непосредственного измерения длины стружки  $L_c$  и срезаемого слоя  $L$  при помощи средств линейных измерений (линейка, штангенциркуль и т.п.). Но для осуществления этого необходимы специальные мероприятия, позволяющие точно определить длину пути, пройденного инструментом в теле заготовки. Например, используют заготовку с продольными пазами (рис.14). При точении такой заготовки стружка будет

Отрываться от заготовки в тот момент, когда резец попадает в продольную канавку. Таким образом, появляется возможность сравнить длину  $L$ , найденную расчетным способом при известных величинах  $D$  и  $W$ , и длину  $L_C$ , найденную путем измерения длины стружки. Используя формулу (1) определяют коэффициент усадки стружки по ее длине. Однако этот способ может быть применен только при сливной стружке.

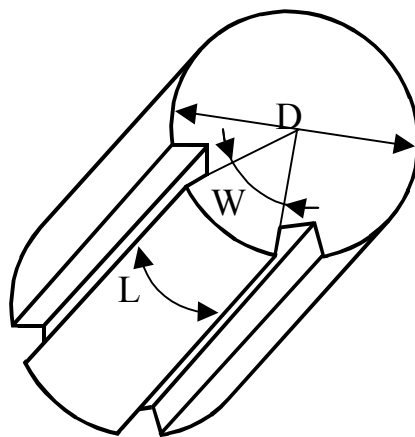


Рис.14. Заготовка для определения усадки стружки

Третий способ называется весовым. Используя зависимости (1) и (2), и обозначая вес стружки через  $G$  в мг, а удельный вес через  $\rho$  в г/см<sup>3</sup>, получим

$$G = \frac{a_c \cdot b_c \cdot L_c \cdot \rho}{10^3}.$$

Коэффициент усадки стружки можно определить по формуле:

$$K_L = \frac{G \cdot 10^3}{L_c \cdot \rho \cdot a \cdot b}.$$

Так как  $a \cdot b = S \cdot t$ , получим окончательное выражение

$$K_L = \frac{G \cdot 10^3}{L_c \cdot \rho \cdot S \cdot t}.$$

### 3.7. Влияние параметров режима резания, геометрических параметров режущей части инструмента и других факторов процесса резания на усадку стружки

На коэффициент усадки стружки основное влияние оказывают механические свойства обрабатываемого материала, передний угол и скорость резания. При резании пластичных материалов, например, углеродистых конструкционных сталей в незакаленном состоянии, коэффициент усадки стружки больше и колеблется в пределах 2 – 8 единиц. Чем прочнее и тверже обрабатываемый материал, тем меньше усадка стружки. При резании твердого

чугуна, труднообрабатываемых материалов и закаленных сталей коэффициент усадки стружки колеблется в пределах 1,5 – 2,5 единиц.

Представленная на рис.15 кривая 1 соответствует резанию материалов, несклонных к наростообразованию. В этом случае, по мере увеличения скорости резания, коэффициент усадки стружки сначала быстро, а затем более медленно уменьшается. Это происходит в результате возрастания температуры стружки на передней поверхности резца при увеличении скорости резания и уменьшения коэффициента трения между ними. При резании материалов, склонных к наростообразованию (рис.15, кривая 2), на характер зависимости коэффициента усадки стружки от скорости резания оказывает влияние величина нароста (рис.15, кривая 3) посредством увеличения фактического переднего угла (область скоростей резания  $V_1, V_2, V_3$ ), а при дальнейшем увеличении скорости резания, вне пределов области наростообразования, сказывается влияние возрастания температуры резания, как и в первом случае (рис.15, кривая 1).

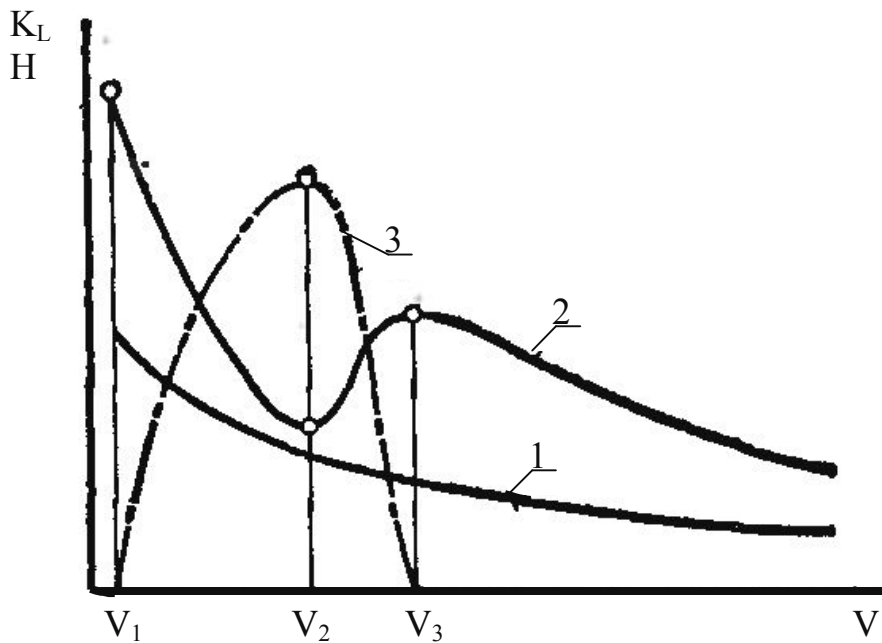
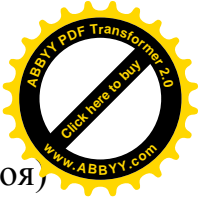
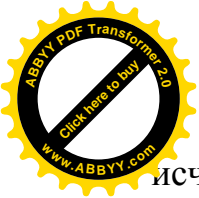


Рис.15. Влияние скорости резания на высоту нароста и коэффициент усадки стружки при резании материалов, несклонных к наростообразованию (кривая 1) и склонных к наростообразованию (кривые 2, 3)

На рис.16 представлен график зависимости коэффициента усадки стружки от температуры резания при различных подачах, при обработке стали 40X, склонной к наростообразованию. Как видно, минимальное значение коэффициент усадки стружки имеет при температуре резания 300 °С, что соответствует максимальной величине нароста, а максимальное значение коэффициент усадки стружки имеет при температуре 600 °С, когда нарост



исчезает [2]. Из рис.16 также следует, что подача (толщина срезаемого слоя), фактически не влияет на коэффициент усадки стружки.

При увеличении переднего угла коэффициент усадки стружки уменьшается, так как уменьшаются силы деформации по плоскости сдвига и деформации от перемещения стружки по передней поверхности резца. Смазочно-охлаждающие жидкости снижают величину коэффициента трения и тем самым уменьшают деформации от перемещения стружки по передней поверхности резца. Причем эффект от влияния смазочно-охлаждающей жидкости тем сильнее, чем меньше толщина срезаемого слоя и скорость резания.

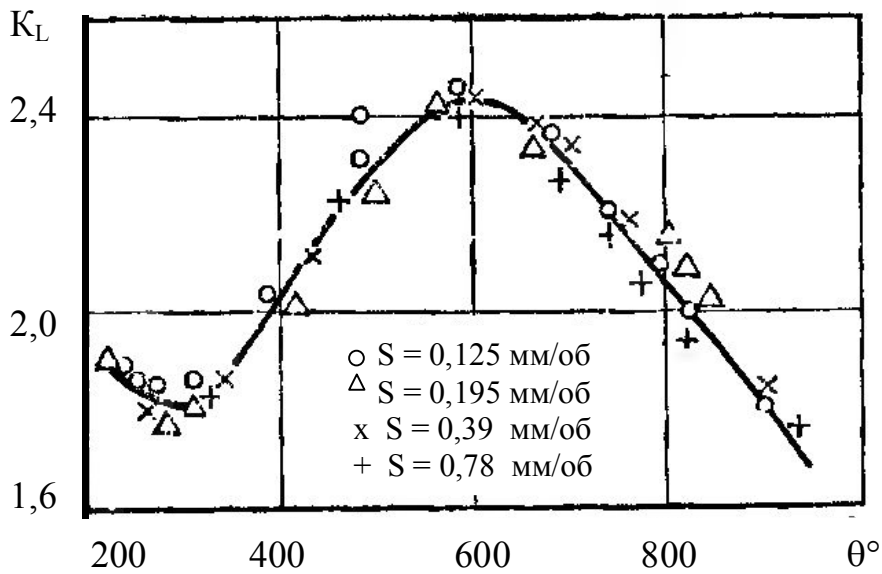


Рис.16. Влияние температуры на коэффициент усадки стружки при различных подачах (обрабатываемый металл сталь 40X).



## Глава 4

### Силы резания

#### 4.1. Силы, действующие на резец

Со стороны срезаемого слоя на переднюю поверхность инструмента действует нормальная к ней сила  $N$ . При перемещении стружки по передней поверхности возникает сила трения  $F = \mu \cdot N$ , где  $\mu$  - средний коэффициент трения по передней поверхности. На площадку задней поверхности со стороны поверхности резания действует сила  $N_1$  упругого последействия, которая возникает в результате упругого восстановления поверхности резания после перемещения по ней главного режущего лезвия инструмента. Сила  $N_1$  вызывает касательную к поверхности резания силу трения  $F_1 = \mu_1 \cdot N_1$ , где  $\mu_1$  - средний коэффициент трения по задней поверхности. Геометрическая сумма сил  $P = N + F + N_1 + F_1$  является силой сопротивления резанию, называемой силой резания. Величина силы резания и положение ее в пространстве определяются величиной и соотношением нормальных сил трения, зависящих от геометрических параметров инструмента и параметров режима резания.

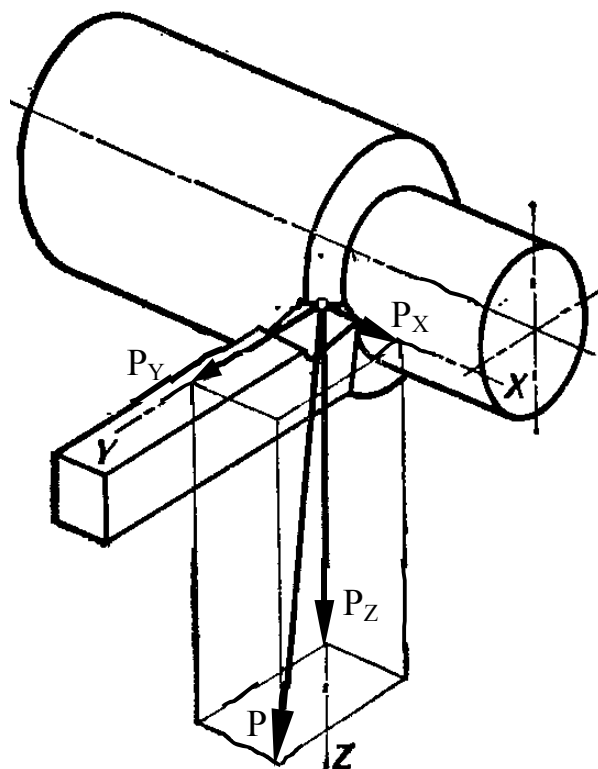
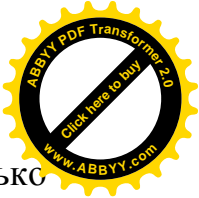
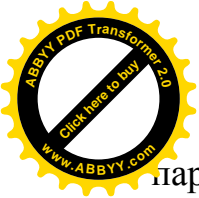


Рис. 17. Сила резания при точении и ее составляющие

Поэтому предпочитают использовать не саму силу резания, а три ее составляющие,  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$ , являющиеся проекциями силы резания на координатные оси  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  (рис.17). Тогда при изменении геометрических



параметров инструмента и параметров режима резания изменится только величина составляющих силы резания, а положение их в пространстве будет оставаться постоянным.

Зная величины составляющих силы резания, легко определить и ее величину:  $P = \sqrt{P_Z^2 + P_Y^2 + P_X^2}$ . Ось Z расположена вертикально, оси Y и X расположены в горизонтальной плоскости, соответственно перпендикулярно и параллельно оси обрабатываемой детали [10]. Составляющие силы резания имеют свои названия. Силу  $P_Z$  называют окружной или главной составляющей силы резания, силу  $P_Y$  - радиальной, силу  $P_X$  - осевой или силой подачи.

Реакция окружной силы создает момент сопротивления резанию, называемый крутящим моментом резания:

$$M = \frac{P_Z \cdot D}{2000}, \quad [M] = \text{кгс}\cdot\text{м}.$$

Для того, чтобы осуществлялся процесс резания, крутящий момент  $M_c$ , развиваемый шпинделем станка, должен быть больше крутящего момента резания  $M$ :  $M_c > M$ .

Эффективную мощность станка  $N_c$  также рассчитывают только по окружной силе и поэтому силу  $P_Z$  называют главной составляющей силы резания.

$$N_c = \frac{P_Z \cdot V}{6120}, \quad [N_c] = \text{кВт}.$$

#### 4.2. Влияние параметров режима резания на составляющие силы резания

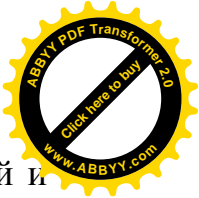
При увеличении глубины резания и подачи растет площадь сечения срезаемого слоя. Однако, результаты многочисленных экспериментов, проведенных при точении различных материалов, свидетельствуют, что во всех случаях на составляющие силы резания, глубина резания влияет сильнее, нежели подача.

$$P_Z = C_{p_Z} \cdot t^{X_p} \cdot S^{Y_p}, \quad P_Y = C_{p_Y} \cdot t^{X_p} \cdot S^{Y_p}, \quad P_X = C_{p_X} \cdot t^{X_p} \cdot S^{Y_p}. \quad (5)$$

Таблица 7

Показатели степени в формулах (5) расчета сил  $P_Z, P_Y, P_X$

Материал режущей части резца	Показатели степени в формулах					
	$P_Z$		$P_Y$		$P_X$	
	$X_p$	$Y_p$	$X_p$	$Y_p$	$X_p$	$Y_p$
Твердый сплав	1	0,75	0,9	0,60	1	0,5
Быстрорежущая сталь	1	0,75	0,9	0,75	1,2	0,65



В формулах, представляющих связь между глубиной резания, подачей и составляющими силы резания, это обстоятельство выражается неравенством показателей степени  $X_p > Y_p$ . Значения показателей степени при продольном точении сталей и чугунов приведены в табл.7.

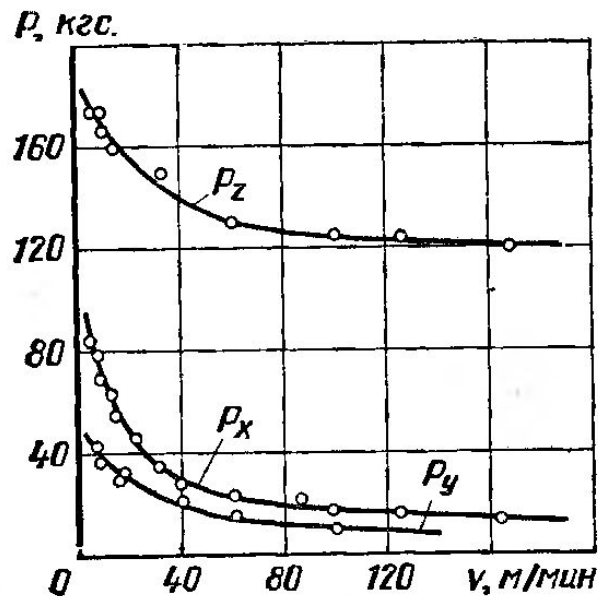


Рис.18. Влияние скорости резания на составляющие силы резания при точении при обработке материалов, несклонных к наростообразованию

Скорость резания влияет на составляющие силы резания также как на коэффициент усадки стружки. При резании материалов, несклонных к наростообразованию, составляющие силы резания уменьшаются при увеличении скорости резания (рис.18). При резании материалов склонных к наростообразованию (рис.19) график зависимости силы резания от скорости резания имеет вид, аналогичный графику зависимости коэффициента усадки стружки от скорости резания.

Сила резания сначала убывает, достигая минимальной величины при максимальной величине нароста, затем возрастает до значения скорости резания, при которой наростообразование прекращается, а затем вновь убывает, по причине дальнейшего увеличения температуры резания, связанной с ростом скорости резания. В результате чего уменьшается коэффициент трения стружки по передней поверхности инструмента.

Для скоростей резания  $V > V_3$  зависимости составляющих сил резания от скорости резания можно описать формулами:

$$P_z = \frac{C_1}{V^{Z_p}}; \quad P_y = \frac{C_2}{V^{Z_p}}; \quad P_x = \frac{C_3}{V^{Z_p}}. \quad (6)$$



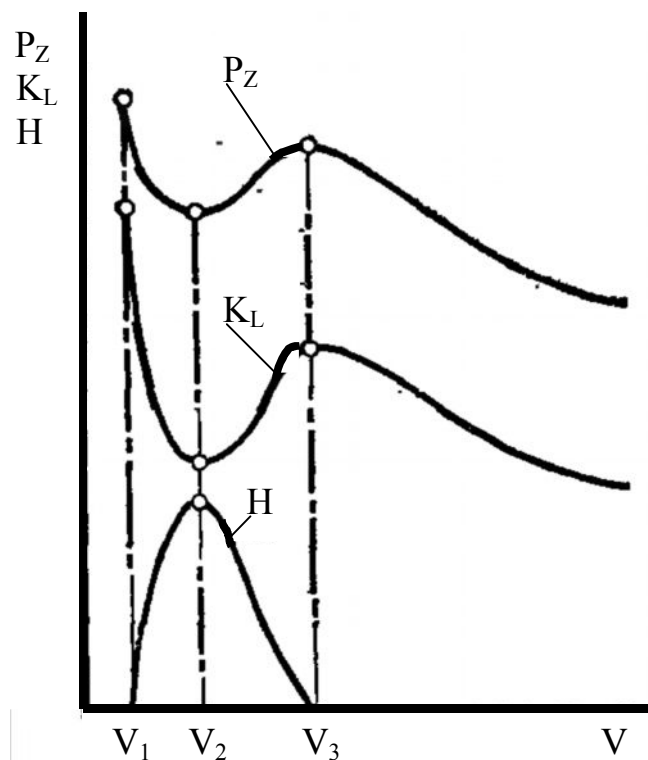


Рис.19. Схема влияния скорости резания на высоту нароста  $H$ , коэффициент усадки стружки  $K_L$  и силу  $P_Z$

Для диапазона скоростей резания 50 – 350 м/мин показатели степени в выше приведенных формулах в зависимости от марки обрабатываемого материала, величины переднего угла и подачи приведены в табл.8.

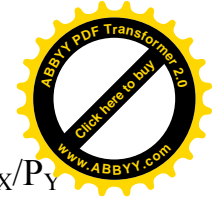
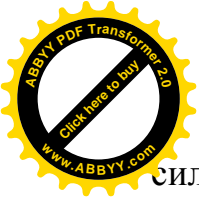
Таблица 8

Показатели степени в формулах (6) расчета сил  $P_Z$ ,  $P_Y$ ,  $P_X$

Показатели степени $Z_p$		
$P_Z$	$P_Y$	$P_X$
0,35 – 0,1	0,5 – 0,25	0,5 - 0,3

#### 4.3. Влияние геометрических параметров режущей части инструмента на составляющие силы резания

Главный угол в плане изменяет отношение  $b/\alpha$  и положение главной режущей кромки относительно движения подачи. И то, и другое при изменении угла  $\phi$  вызывает изменение составляющих силы резания. Увеличение главного угла в плане при постоянных  $t$  и  $S$  вызывает уменьшение отношения  $b/\alpha$ , что приводит к уменьшению силы  $P_Z$ . Это подтверждено многими экспериментами. Силы  $P_Y$ , и  $P_X$  действуют в плоскости подачи, поэтому при увеличении угла  $\phi$



сила  $P_Y$  уменьшается, а сила  $P_X$  возрастает, тем самым отношение сил  $P_X/P_Y$  будет возрастать.

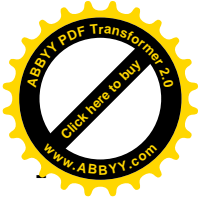
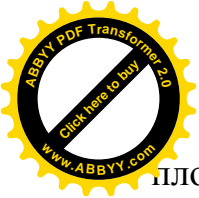
Уменьшение переднего угла  $\gamma$  и переход его значений в отрицательные увеличивает коэффициент усадки стружки и работу стружкообразования. Это приводит к увеличению всех составляющих силы резания. Однако, влияние угла на силы  $P_Z$ ,  $P_Y$ , и  $P_X$  неодинаково. Уменьшение положительного и увеличение отрицательного переднего угла наиболее сильно сказывается на росте осевой силы. Радиальная и окружная силы возрастают в меньшей степени. Влияние переднего угла на составляющие силы резания математически удобнее описывать через угол резания  $\delta = 90^\circ - \gamma$ , используя формулу:  $P_i = C_i \cdot \delta^{q_p}$ . Показатели степени  $q_p$  для сил  $P_Z$ ,  $P_Y$ , и  $P_X$ , соответственно, находятся в пределах: 0,95 – 1,05; 2 – 2,5; 2,5 – 3,5.

Задняя поверхность инструмента в стружкообразовании не участвует. Поэтому изменение заднего угла не меняет величину нормальной силы и силы трения, действующей на передней поверхности. Следовательно, влияние заднего угла на составляющие силы резания проявляется только через изменение сил, действующих на задней поверхности. Эксперименты показали, что если задний угол  $\alpha > 8^\circ$ , то составляющие силы резания от величины заднего угла не зависят. При меньших углах  $\alpha$  его уменьшение вызывает незначительное возрастание всех составляющих силы резания.

Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  изменяет положение передней поверхности относительно плоскости направления подачи  $YX$ , увеличивает рабочую длину главного режущего лезвия и в зависимости от знака увеличивает или уменьшает коэффициент усадки стружки. На главную составляющую силы резания угол  $\lambda$  практически не влияет. На силы  $P_Y$  и  $P_X$  угол  $\lambda$  влияние оказывает. Так, при переходе угла  $\lambda$  от отрицательных значений к положительным, радиальная сила  $P_Y$  незначительно возрастает, а осевая  $P_X$  незначительно уменьшается.

#### 4.4. Влияние обрабатываемого и инструментального материалов на составляющие силы резания

Механические свойства обрабатываемого материала весьма сложно и противоречиво влияют на составляющие силы резания. С одной стороны, повышение прочности и твердости обрабатываемого материала увеличивает угол сдвига, что уменьшает коэффициент усадки стружки и величину относительного сдвига, работы деформации и стружкообразования уменьшаются, в результате чего составляющие силы резания должны уменьшаться. Но, с другой стороны, с повышением прочности и твердости обрабатываемого материала напряжения на условной плоскости сдвига возрастают, что увеличивает работы деформации и стружкообразования и составляющие силы резания должны возрастать. Поэтому, в зависимости оттого, что является преобладающим - увеличение напряжения на условной



плоскости сдвига или уменьшение коэффициента усадки стружки - составляющие силы резания при увеличении прочности обрабатываемого материала будут возрастать или уменьшаться. Если при увеличении прочности материала коэффициент усадки стружки уменьшается сравнительно мало, составляющие силы резания будут возрастать, а если увеличение прочности сопровождается значительным увеличением усадки стружки, составляющие силы резания будут уменьшаться. Например, при обработке меди, имеющей  $\sigma_B = 32 \text{ кгс/мм}^2$  и  $K_L = 6,2$  и при обработке стали 20Х, имеющей  $\sigma_B = 58 \text{ кгс/мм}^2$  и  $K_L = 3,3$ , основная составляющая силы резания одинаковая -  $P_Z = 500 \text{ кгс}$ .

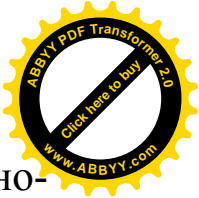
Для групп материалов, однородных по своему химическому составу, например, углеродистые конструкционные стали или чугуны, увеличение напряжений на условной плоскости сдвига при увеличении прочности и твердости, как правило, значительно опережает уменьшение коэффициента усадки стружки. Поэтому составляющие силы резания увеличиваются при увеличении предела прочности или твердости материала. Это позволило получить приближенные формулы для расчета составляющих силы резания, при этом для пластичных материалов, например конструкционных углеродистых сталей, расчет ведут по  $\sigma_B$ , а для хрупких материалов, например, чугунов, за основу берется твердость НВ. Формулы имеют вид:  $P_i = C_i \cdot \sigma_B^{np}$ ;  $P_i = C_i \cdot (HB)^{np}$ . Показатели степени при  $\sigma_B$  для различных материалов приведены в табл.9.

Таблица 9

Показатели степени в формулах для расчета составляющих силы резания

Обрабатываемый материал	Показатель степени $n_p$ в формулах расчета сил:					
	$P_Z$		$P_Y$		$P_X$	
	Твердый сплав	Быстрорежущая сталь	Твердый сплав	Быстрорежущая сталь	Твердый сплав	Быстрорежущая сталь
Сталь:						
$\sigma_B < 60 \text{ кгс/мм}^2$	0,35	0,35	1,35	2	1	1,5
$\sigma_B > 60 \text{ кгс/мм}^2$	0,35	0,75	1,35	2	1	1,5
Чугун	0,4	0,55	1	1,3	0,8	1,1

Материал режущей части резца на составляющие силы резания влияет незначительно, за счет различного коэффициента трения на передней поверхности инструмента, что при одинаковой нормальной силе дает различную величину силы трения и как следствие, коэффициента усадки стружки. Однокарбидные твердые сплавы имеют коэффициент трения, одинаковый с быстрорежущими сталями, поэтому величина силы  $P_Z$  у них одинакова. При работе резцами, оснащенными пластинками из двухкарбидных твердых сплавов, сила  $P_Z$  уменьшается на 5 – 10% за счет уменьшения коэффициента трения.



#### 4.5. Влияние степени затупления резца и смазочно-охлаждающей жидкости на составляющие силы резания

При изнашивании резца только по задней поверхности все составляющие силы резания непрерывно увеличиваются, причем особенно сильно - горизонтальные составляющие  $P_Y$  и  $P_X$ . Если изнашивается и передняя поверхность с образованием лунки износа, то первоначально составляющие сил резания могут даже незначительно уменьшаться за счет увеличения переднего угла, но в дальнейшем вновь будут возрастать. При наличии хорошо развитого нароста, прикрывающего изношенные поверхности и выполняющего роль режущего лезвия, составляющие сил резания возрастать не будут.

Применение СОЖ, обладающих высокими смазывающими свойствами, облегчает условия стружкообразования, снижает коэффициент усадки стружки и уменьшает величину составляющих силы резания. При этом в большей степени снижаются горизонтальные составляющие  $P_Y$  и  $P_X$ , зависящие от силы трения.

#### 4.6. Формулы для расчета составляющих силы резания при точении

Выше были рассмотрены частные зависимости, выражающие связь между составляющей силы резания и каким-либо параметром или фактором. Практика построения обобщенных формул показала, что параметры режима резания наиболее удобно учитывать непосредственно, а остальные параметры и факторы - через коэффициенты. Формула для расчета силы  $P_Z$  при точении имеет вид:  $P_Z = C_{Pz} t^{Xp} S^{Yp} V^{Zp} K_p$ , где  $K_p$  - обобщенный поправочный коэффициент, равный произведению поправочных коэффициентов  $K_p = K_m K_\phi K_\gamma K_r K_\omega K_\delta$  [21], выражающих влияние условий резания на силу  $P_Z$ . Значения постоянной  $C_{Pz}$  приведены в табл.10.

Таблица 10

Значение постоянной  $C_{Pz}$  и показателей степени  $X_p, Y_p, Z_p$

Обрабатываемый материал	Постоянные и показатели степени			
	$C_{Pz}$	$X_p$	$Y_p$	$Z_p$
Сталь	300	1	0,75	- 0,15
Чугун	92	1	0,75	0

Поправочные коэффициенты учитывают:

- $K_m$  – прочность и твердость обрабатываемого материала;
- $K_\phi$  - главный угол в плане;
- $K_\gamma$  - передний угол;
- $K_r$  – радиус при вершине;
- $K_\omega$  - СОЖ;
- $K_\delta$  - степень износа задней поверхности резца.



## Глава 5

### Тепловые явления при резании металлов

#### 5.1. Источники образования тепла и его распределение

Источниками тепла являются: деформация металла по условной плоскости сдвига  $Q_D$ ; трение стружки по передней поверхности  $Q_{ТП}$  и трение поверхности резания по задней поверхности  $Q_{ТЗ}$ .

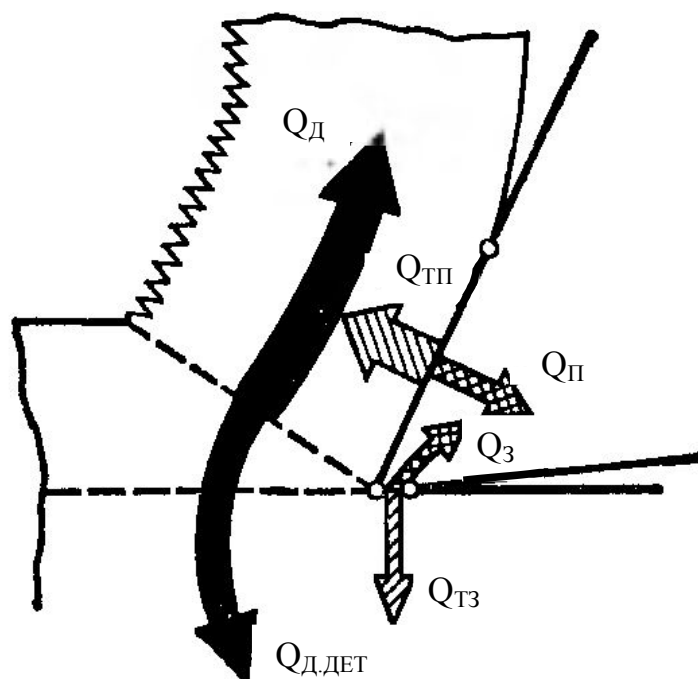


Рис.20. Источники образования тепла и распределение тепла между стружкой, деталью и инструментом

Образовавшееся тепло распределяется между стружкой, деталью и инструментом потоками, схематически изображенными рис. 20. Часть тепла деформации от условной плоскости сдвига переходит в стружку  $Q_{ДС}$ . Из зоны трения на передней поверхности в стружку переходит часть тепла трения, равная  $Q_{ТП} - Q_{П}$ , где  $Q_{П}$  – тепло, уходящее в инструмент [6]. Таким образом, температура стружки определяется суммарным тепловым потоком:

$$Q_C = Q_{ДС} + Q_{ТП} - Q_{П}.$$

Часть тепла деформации от условной плоскости сдвига переходит в деталь  $Q_{ДДЕТ}$ . Туда же из зоны трения на задней поверхности переходит часть тепла, равная  $Q_{ТЗ} - Q_3$ , где  $Q_3$  – тепло, уходящее в инструмент. В результате суммарный тепловой поток в деталь составит:

$$Q_{ДЕТ} = Q_{ДДЕТ} + Q_{ТЗ} - Q_3.$$

Температурное поле режущего клина инструмента устанавливается в результате действия суммарного теплового потока:



$$Q_{\text{И}} = Q_{\text{П}} + Q_{\text{З}}$$

На основании этого можно написать выражение, описывающее расход образовавшегося при резании тепла:

$$Q = Q_{\text{С}} + Q_{\text{ДЕТ}} + Q_{\text{И}} + Q_{\text{СР}},$$

где  $Q_{\text{СР}}$  - количество тепла, уходящего в окружающую среду.

## 5.2. Влияние параметров режима резания на распределение тепла

На рис.21 представлен график влияния скорости резания на распределение тепла между стружкой, деталью и инструментом, который показывает, что распределение тепла между стружкой, деталью и инструментом коренным образом изменяется при увеличении скорости резания: количество тепла, уходящего в стружку, возрастает, а в деталь и инструмент – уменьшается. Причем, доля тепла, переходящего в инструмент, очень мала, а при скоростях резания, превышающих 300 м/мин, практически равна нулю. Уменьшение доли тепла, переходящего в деталь, вызвано изменением соотношения между скоростью резания и скоростью распределения тепла из зоны деформации. Из очага теплообразования на условной плоскости сдвига в деталь течет тепловой поток  $Q_{\text{ДЕТ}}$ .

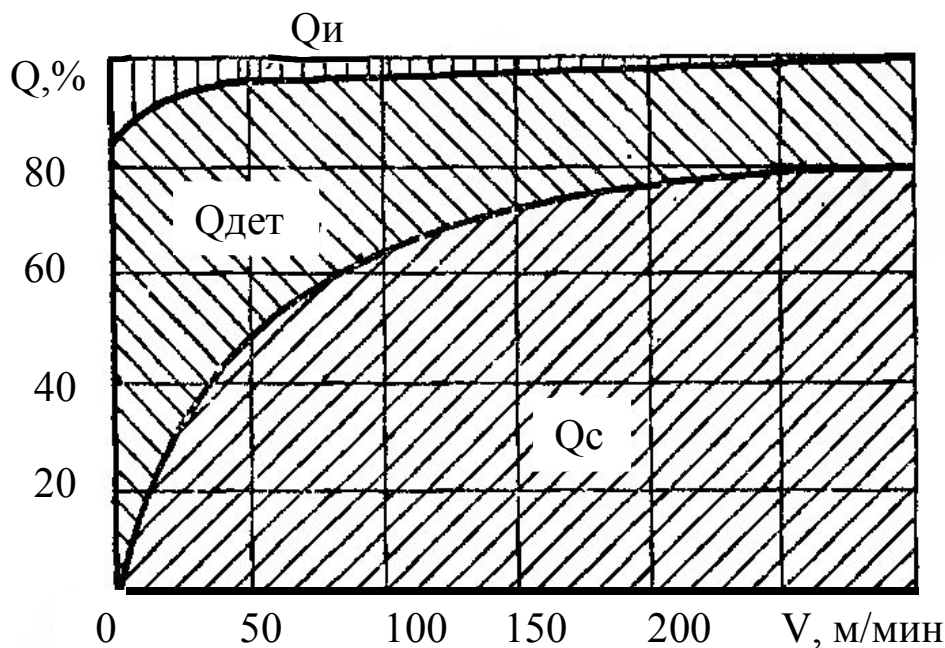


Рис.21. Влияние скорости резания на распределение тепла между стружкой, деталью и инструментом

Если скорость резания, то есть скорость, с которой режущее лезвие инструмента пересекает тепловой поток, мала, то тепло от условной плоскости сдвига беспрепятственно перейдет в деталь. По мере увеличения скорости резания режущее лезвие все быстрее пересекает тепловой поток, и поэтому в

деталь успевает перейти меньшее количество тепла и все большее количество тепла остается в стружке. Уменьшение доли тепла, уходящего в инструмент при увеличении скорости резания, связано с уменьшением силы трения стружки по передней поверхности и с увеличением ее пластичности от нагрева.

По данным А.М. Даниеляна, увеличение глубины резания уменьшает удельное количество тепла в стружке, а при увеличении подачи его величина практически остается неизменной. Увеличение глубины резания и подачи сопровождается уменьшением средней температуры стружки.

### 5.3. Температурные поля стружки, резца и заготовки

На рис.22 изображены температурные поля в стружке, детали и резце в сечении главной секущей плоскостью, проходящей через середину рабочей длины главного режущего лезвия и на передней поверхности резца [16]. Из рисунков видно, что различные места стружки нагреты очень неравномерно. Наибольшее количество тепла концентрируется в слоях стружки, непосредственно прилегающих к передней поверхности. Здесь температуры особенно высоки и намного превышают температуру в зоне условной плоскости сдвига. По мере удаления от передней поверхности температура слоев стружки резко падает. В приконтактном слое максимальная температура наблюдается на участке, расположенном приблизительно в середине ширины площадки контакта. От этой наиболее нагретой области температура убывает как по мере приближения к режущей кромке резца, так и к точке отхода стружки от передней поверхности. Температура слоев материала, лежащих под поверхностью резания, значительно ниже температуры приконтактного слоя стружки и резко снижается при удалении вглубь детали.

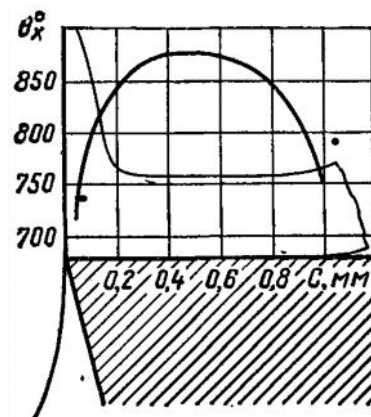
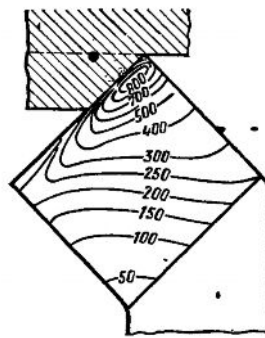
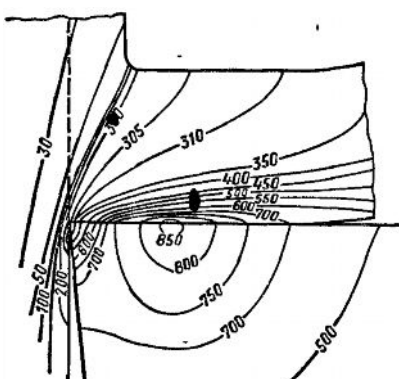
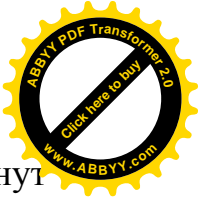


Рис.22. Температурные поля стружки, детали и инструмента

Рис.23. Распределение температуры по передней поверхности резца при точении стали 40Х.



Резец также нагрет неравномерно. Наибольшему нагреву подвергнут участок передней поверхности, расположенный в середине ширины площадки контакта, здесь концентрируется область максимальных температур. У вершины резца температуры также значительны, но меньше, чем в первой области. По мере приближения к главной режущей кромке температура, как на передней поверхности, так и внутри лезвия, все время уменьшается. В отличие от стружки по мере удаления от передней поверхности температура резца падает менее интенсивно и при равных расстояниях нагрев слоев резца намного выше, чем стружки. На передней поверхности у вершины резца изотермы имеют замкнутую форму, причем максимальные температуры концентрируются в пределах площадки контакта стружки с инструментом. По мере удаления от площадки контакта температура уменьшается.

На рис.23 представлено распределение температуры на передней поверхности резца, полученное экспериментальным путем. Как видно из представленного рисунка, максимальная температура на передней поверхности инструмента соответствует точке, лежащей приблизительно на половине ширины площадки контакта со стружкой. Температура убывает к режущей кромке.

#### 5.4. Температура резания. Формулы для расчета температуры резания. Влияние различных параметров и факторов на температуру резания

Под температурой резания понимают среднюю температуру на поверхности контакта инструмента со стружкой и поверхностью резания. Если через  $\theta_{п.ср}$  и  $\theta_{з.ср}$  обозначить средние температуры на площадках контакта передней и задней поверхностей, то температура резания будет:

$$\theta = \frac{\theta_{п.ср} \cdot C_1 + \theta_{з.ср} \cdot C_2}{C_1 + C_2}.$$

Для незатупленного инструмента ширина  $C_2$  площадки контакта очень мала, а поэтому температуру резания можно считать равной средней температуре на площадке контакта стружки с передней поверхностью, то есть.

$$\theta = \theta_{п.ср}.$$

Экспериментальным путем получена формула, связывающая температуру резания с толщиной и шириной срезаемого слоя:

$$\theta = C_0 V^m a^n b^q.$$

Коэффициент  $C_0$  в формуле зависит от рода и механических свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров инструмента и применяемой СОЖ. При любых видах обработки:  $m > n > q$ , то есть на температуру резания наибольшее влияние оказывает скорость резания, затем толщина срезаемого слоя и наименьшее – ширина.

Экспериментально доказано, что чем больше отношение ширины срезаемого слоя к толщине, тем меньше температура резания, то есть:





$$\theta = \frac{C_{\theta}}{\left(\frac{b}{a}\right)^P}.$$

Отсюда следует:

$$\theta = C_{\theta} V^m S^{nt^q} (\sin \varphi)^{n-q}. \quad (7)$$

Это значит, что на температуру резания при точении подача и глубина резания влияют так же, как толщина и ширина срезаемого слоя. Следовательно, для снижения температуры резания при заданной подаче и глубине необходимо уменьшать главный угол в плане.

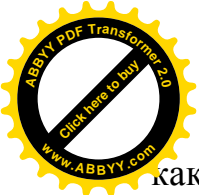
На температуру резания при точении влияют обрабатываемый материал, параметры режима резания, геометрические параметры резца, смазочно-охлаждающая жидкость.

Существующая формула:

$$Q = \frac{P_z \cdot V}{427}, \quad [Q] = \text{кал/мин},$$

показывает, что на количество тепла влияет как скорость резания, так и главная составляющая сила резания. С увеличением скорости резания силы резания уменьшаются. Однако они уменьшаются в значительно меньшей степени, чем возрастает скорость резания. Например, при увеличении скорости резания в пять раз (от 50 до 250 м/мин.) сила резания уменьшается всего в 1,27 раза. Отсюда следует, что с увеличением скорости резания увеличивается количество выделяемой теплоты и температура резца возрастает. В формуле (7) показатель степени при скорости резания равен  $m = 0,26 \div 0,72$ . Подача влияет в меньшей степени, нежели скорость резания, поэтому показатель степени при подаче равен  $n = 0,13 \div 0,45$ . Еще меньше на температуру резания влияет глубина резания. С увеличением глубины резания общее количество выделяемой теплоты увеличивается, так как возрастает работа резания. Однако, вместе с увеличением теплоты, пропорционально глубине резания возрастает и длина активной части режущей кромки, что улучшает теплоотвод в тело резца. Поэтому, несмотря на увеличение общего тепловыделения при возрастании глубины резания, температура резания повысится незначительно. Показатель степени при глубине резания равен  $q = 0,1 \div 0,2$ .

Из геометрических параметров инструмента наибольшее и сложное влияние оказывает передний угол. С одной стороны, с уменьшением переднего угла возрастает деформация и работа резания, что приводит к увеличению тепловыделения, но, с другой стороны, при этом увеличивается угол резания  $\delta$ , в результате чего центр давления стружки на переднюю поверхность отодвигается от режущей кромки и головка резца становится массивней, что улучшает теплоотвод в тело резца. Отрицательный передний угол, по сравнению с положительным, приводит к повышению температуры резания. При работе резцом с передним углом  $\gamma = -10^\circ$  температура резания повышается примерно на 15% по сравнению с работой резцом, имеющим  $\gamma = +10^\circ$ . При увеличении главного угла в плане  $\varphi$  температура резания растет, так



как уменьшается отношение ширины срезаемого слоя к толщине. Наибольшее увеличение температуры резания наблюдается при увеличении  $\varphi$  от 20 до 60 °. В пределах увеличения  $\varphi$  от 60 до 90 ° это увеличение незначительно.

Большое влияние на температуру резания оказывают механические свойства обрабатываемого материала. Чем выше предел прочности  $\sigma_B$  и твердость НВ металла, тем большие силы сопротивления необходимо преодолеть при стружкообразовании, следовательно больше выделится теплоты и возрастет температура резания. Кроме того, при резании твердых сталей стружка соприкасается с передней поверхностью резца на меньшей площади, повышается давление на единицу поверхности контакта и уменьшается теплоотвод. Применение СОЖ однозначно уменьшает температуру резания за счет уменьшения сил трения на передней поверхности. На температуру от деформации на условной плоскости сдвига СОЖ практически не влияет. Поэтому в большей степени СОЖ влияет на уменьшение температуры при резании с малыми толщинами среза, нежели с большими.



## Глава 6

### Износ режущего инструмента

#### 6.1. Внешнее проявление изнашивания

Режущий инструмент в процессе эксплуатации изнашивается. Износ резцов бывает двух видов: только по задней поверхности и по передней и задней поверхностям. Износ по задней поверхности имеет место во всех случаях эксплуатации резцов, впрочем, как и любого другого режущего инструмента.

На рис.24 представлены виды износа главной задней поверхности. На задней поверхности образуется площадка износа шириной  $\delta$ . Очертания площадки износа в сечении главной секущей плоскостью приблизительно копируют форму поверхности резания (рис.24, в). Вдоль главного режущего лезвия ширина площадки износа в общем случае не одинакова (рис.24, а, б).

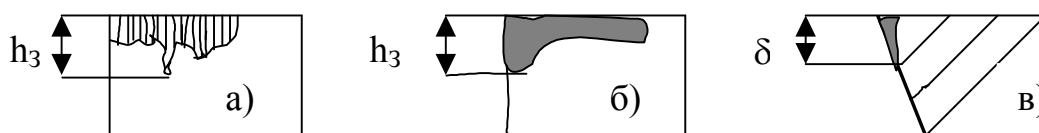


Рис.24. Виды износа задней поверхности

Внешний вид поверхности износа находится во взаимосвязи со скоростью резания. При работе на низких и средних скоростях резания, не превышающих пределы области активного наростообразования, изношенная задняя поверхность имеет глубокие борозды и пики износа (рис.24, а), что является следствием абразивного воздействия твердых микрокомпонентов обрабатываемого материала или отделившихся частиц нароста. С увеличением скорости резания, сопровождающимся ростом температуры, изношенная задняя поверхность становится гладкой (рис.24, б). Измерение износа задней поверхности  $h_3$  производят в месте его максимальной величины. Режущий инструмент изнашивается только по задней поверхности (первый вид износа) при обработке хрупких материалов, например, чугунов, и других, когда образуется сыпучая стружка или стружка скалывания. При обработке пластичных материалов первый вид износа может наблюдаться при обработке с низкими скоростями резания, сопровождающимся образованием элементной стружки. С увеличением скорости резания и подачи наблюдается второй вид износа инструмента – по задней и передней поверхностям (рис.25).

При изнашивании второго вида к износу задней поверхности добавляется износ передней поверхности (рис.25). Износ передней поверхности имеет вид лунки длиной  $l$ , шириной  $l_l$  и глубиной  $\delta_l$ . Края лунки параллельны главному режущему лезвию, а ее ширина равна его рабочей длине. Центр лунки расположен на расстоянии  $L$  от главного режущего лезвия (рис.25, а), которое

соответствует центру давления стружки на переднюю поверхность и области максимальной температуры на ней (рис.22, 23).

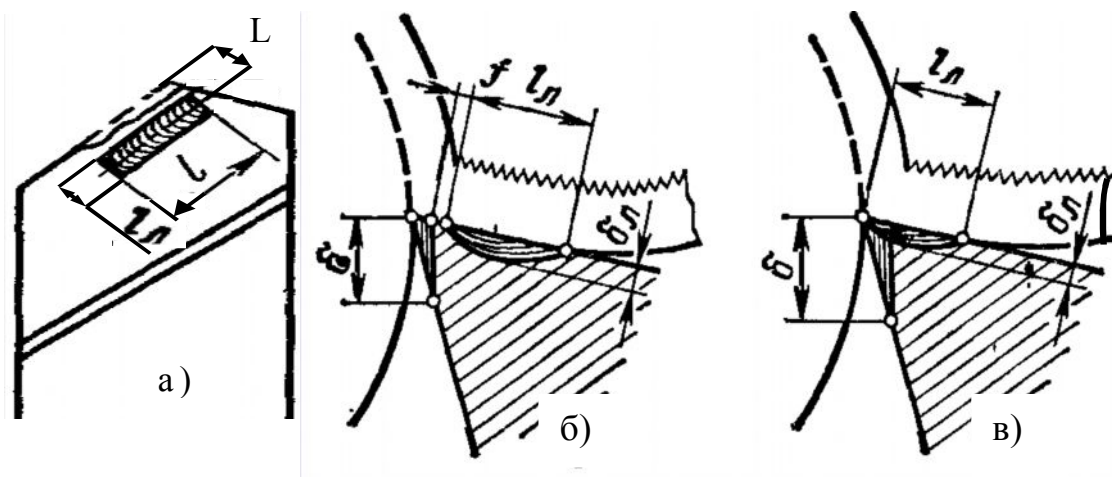


Рис.25. Износ по задней и передней поверхностям

При работе со скоростями резания, соответствующими активному наростообразованию, между главным лезвием и передним краем лунки остается расстояние  $f$ , уменьшающееся по мере развития лунки (рис.25, б). Это связано с наростом, предохраняющим часть передней поверхности, прилегающую к главному режущему лезвию. При работе с высокими скоростями резания, вне области наростообразования, край лунки сливается с изношенной задней поверхностью (рис.25, в). На расстояние  $L$  также влияет ширина срезаемого слоя  $\alpha$  (подача  $S$ ) и передний угол  $\gamma$ . С увеличением подачи  $S$  центр давления стружки отдалится от главного режущего лезвия, и, соответственно, величина  $L$  возрастает. То же самое происходит при уменьшении переднего угла  $\gamma$ .

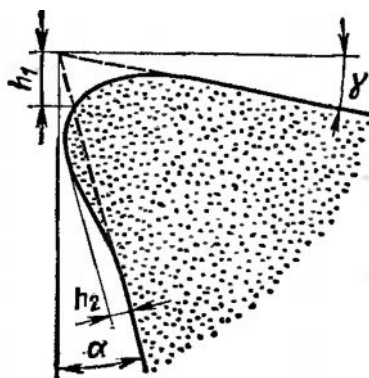
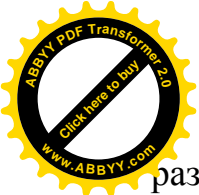


Рис.26. Пластическое деформирование вершины режущего лезвия

Изнашивание твердосплавного инструмента может сопровождаться осыпанием или выкрашиванием. Под осыпанием понимают частичное или сплошное разрушение лезвия инструмента, не превышающее 0,3 мм. Под выкрашиванием понимают частичное разрушение лезвия инструмента



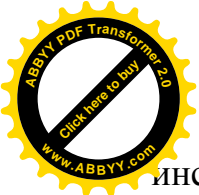
размером от 0,3 до 1 мм. Более крупные разрушения (сколы) относятся к контактному разрушению режущей части инструмента. При резании инструментами из твердых сплавов с очень высокими силовой и тепловой нагрузками износу инструмента иногда предшествует пластическое деформирование вершины режущего лезвия. Формоизменение лезвия заключается в опускании части передней поверхности, примыкающей к главному режущему лезвию, на расстояние  $h_1$  и выпучивании задней поверхности с высотой  $h_2$  (рис.26). В результате искривления на задней поверхности образуются нулевой и отрицательный задние углы, способствующие интенсивному изнашиванию инструмента.

## 6.2. Физическая природа изнашивания инструментов

Несмотря на то, что износ инструмента является важнейшим показателем его работоспособности, физическая природа изнашивания изучена очень плохо вследствие исключительной сложности контактных процессов, протекающих на передней и задней поверхностях инструментов. Существует ряд гипотез, объясняющих физическую природу изнашивания, согласно которым основными причинами, приводящими к изнашиванию, являются: абразивное воздействие обрабатываемого материала – абразивное изнашивание; адгезионное взаимодействие между инструментальным и обрабатываемым материалом – адгезионное изнашивание; диффузионное растворение инструментального материала в обрабатываемом – диффузионное изнашивание; химические процессы на передней и задней поверхностях – окислительное изнашивание.

### 6.2.1. Абразивное изнашивание

При трении поверхности резания о заднюю поверхность инструмента и стружки о переднюю поверхность твердые микрокомпоненты обрабатываемого материала царапают контактные поверхности инструмента, разрушая их. Интенсивность абразивного воздействия возрастает при увеличении содержания в сталях цементита и сложных карбидов, а в чугунах - цементита и фосфидов. Контактные поверхности инструмента также царапают частицы периодически разрушающегося нароста, при его наличии. Чем меньше отношение между твердостью инструментального и обрабатываемого материалов, тем большее значение имеет абразивное изнашивание. Особенно сильно изнашивается задняя поверхность, на которой образуются глубокие борозды и пики износа. Абразивное изнашивание в большей степени проявляется в области низких и средних скоростей резания, характерных при эксплуатации быстрорежущего инструмента. С увеличением скорости резания, выше пределов наростообразования, температура резания возрастает, что приводит к увеличению пластичности обрабатываемого материала и уменьшению его абразивного воздействия на контактные поверхности



инструмента. Однако интенсивность износа инструмента при этом не уменьшается, что позволило предложить гипотезу адгезионного изнашивания.

### 6.2.2. Адгезионное изнашивание

Используя микрорентгеноструктурный анализ, Г.И. Грановскому и Н.А. Шмакову удалось установить, что на контактной поверхности стружки и поверхности резания наблюдаются скопления частиц инструментального материала, которые имеют различную величину и распределяются весьма неравномерно. Частицы инструментального материала расположены в местах повышенных пластических деформаций и локальных температур. В основе переноса инструментального материала на стружку и деталь лежит явление адгезионного схватывания. А.П. Семенов установил, что адгезионное схватывание - бездиффузионный процесс, близкий к мартенситному или полиморфному превращению. Для наступления схватывания недостаточно только сближения поверхностей на расстояние порядка параметра кристаллической решетки, а необходимо превышение определенного для каждой пары материалов энергетического порога. Необходимое для схватывания энергетическое состояние может быть достигнуто как за счет совместного пластического деформирования, так и за счет повышения температуры. Термически активизируемая адгезия наблюдается при контакте разноименных материалов при температурах, равных 0,35 – 0,5 температуры плавления, и характеризуется способностью контактирующих материалов к спеканию. В процессе резания между инструментом и деталью создаются условия для образования адгезионного схватывания. Вследствие высоких контактных давлений в точках соприкосновения контактных площадок инструмента стружки и поверхности резания развиваются локальные пластические деформации с высокой температурой. В результате этого происходит соприкосновение химически чистых участков обрабатываемого и инструментального материалов и их взаимное схватывание. По мнению Н.Н. Зорева, периодически повторяющиеся схватывание и разрушение адгезионных соединений вызывают циклическое нагружение поверхностного слоя инструмента и его локальное разрушение. Вырванные с контактных поверхностей инструмента частицы материала уносятся стружкой и поверхностью резания, а на контактных поверхностях инструмента образуются борозды и кратеры, которые нельзя объяснить абразивным износом.

### 6.2.3. Диффузионное изнашивание

Резкое увеличение износа инструмента при температурах резания выше 800 – 850 °С позволило Т.Н. Лоладзе [12] выдвинуть гипотезу существования диффузионного изнашивания. По этой гипотезе, изнашивание инструмента при температурах выше 800 – 850 °С происходит в результате диффузионного



растворения инструментального материала в обрабатываемом. Возможность протекания диффузионного процесса между инструментом, стружкой и деталью основывается на параболическом законе роста диффузионного слоя, по которому в начальный период диффузии скорость растворения чрезвычайно велика, после чего, с течением времени, эта скорость резко уменьшается. В процессе резания с контактными поверхностями инструмента вступают в соприкосновение все новые участки стружки и поверхности резания, в результате чего постоянно поддерживается высокая скорость растворения, свойственная начальному периоду диффузии.

Различные компоненты твердого сплава диффундируют в обрабатываемый материал с различной скоростью. Наиболее быстро диффундирует углерод, медленнее – вольфрам, кобальт и титан. Структурные превращения в слое, лежащем на границе раздела твердого сплава и обрабатываемого материала, происходят в результате обеднения контактных поверхностей инструмента углеродом и диффузии в твердый сплав железа из обрабатываемого материала. По сравнению с основным массивом твердого сплава этот слой является более хрупким и разупрочненным, что приводит к срезу с контактных поверхностей инструмента слоев инструментального материала стружкой и поверхностью резания. В отличие от абразивного и диффузионного изнашивания, изношенные поверхности инструмента - гладкие, борозд и следов вырывов не имеют.

Двухкарбидные твердые сплавы растворяются в обрабатываемом материале значительно медленнее, чем однокарбидные, поэтому при высоких скоростях резания двухкарбидные твердые сплавы имеют большую износостойкость. Хотя при температурах резания менее 800 °С, когда диффузионное растворение еще не происходит, износостойкость однокарбидных твердых сплавов мало отличается от износостойкости двухкарбидных, а иногда и превосходит ее.

#### 6.2.4. Окислительное изнашивание

Гипотеза окислительного изнашивания основывается на известном факте коррозии твердых сплавов при нагреве их в среде кислорода и отсутствии изменения свойств при нагреве их в среде инертных газов. Согласно этой гипотезе, при температурах резания 700 – 800 °С кислород воздуха вступает в химическую реакцию с кобальтовой фазой твердого сплава и карбидами вольфрама и титана, при этом наиболее сильно окисляется кобальт. Продуктами окисления являются окислы  $\text{Co}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ . Твердость продуктов окисления в 40 – 60 раз ниже твердости твердых сплавов. Окисление кобальтовой фазы приводит к потере связки и выкрашиванию зерен карбидов. Из карбидов в первую очередь окисляется вольфрам, а уже потом титан и тантал. Поэтому однокарбидные твердые сплавы более подвержены окислительному изнашиванию, нежели двух – и трехкарбидные. Это

обосновывает преимущество двухкарбидных твердых сплавов при скоростном чистовом точении перед однокарбидными.

### 6.3. Нарастание износа за время работы инструмента

Графическое изображение процесса нарастания износа за время работы инструмента называют кривой износа. Характерные кривые износа задней поверхности представлены на рис. 27.

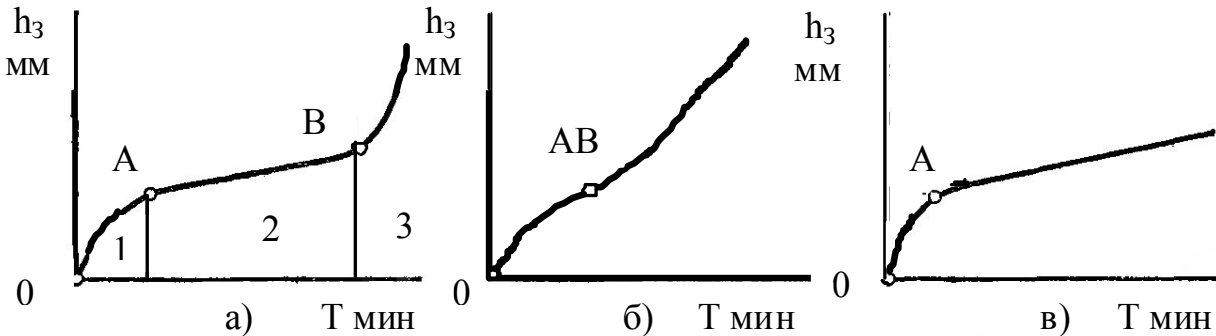
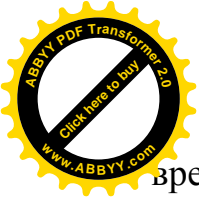


Рис.27. Характерные кривые износа задней поверхности

Классическая кривая износа задней поверхности представлена на рис.27, а. Такой вид кривая износа имеет при благоприятных условиях эксплуатации инструмента, когда изнашиваются передняя и задняя поверхности одновременно, а также в том случае, когда износ задней поверхности определяет работоспособность инструмента.

Кривую износа можно разделить на три участка. Первый участок кривой износа  $OA$  соответствует периоду приработки. На этом участке интенсивность износа задней поверхности довольно высока. Причинами высокой интенсивности износа могут быть погрешности поверхностного слоя после заточки инструмента, а также большие контактные напряжения на малой ширине площадки износа. При дальнейшей работе инструмента интенсивность износа задней поверхности уменьшается (второй участок кривой износа  $AB$ ) - инструмент как бы прирабатывается. Это может быть связано с удалением слоя задней поверхности с погрешностями заточки, и с уменьшением контактных касательных напряжений на площадке износа по мере увеличения ее размеров. Участок  $AB$  соответствует периоду нормального износа инструмента. По истечении какого-то времени ширина фаски износа вновь начинает резко увеличиваться: на графике третий участок кривой износа соответствует периоду катастрофического износа. Катастрофический период износа наступает по причине резкого увеличения температуры резания при достижении определенной величины износа задней поверхности. В этом периоде износ нарастает настолько быстро, что если не прекратить работу инструмента, то это может привести к его поломке. И даже если этого не произойдет, число допускаемых переточек инструмента резко сократится, а





время, затрачиваемое на переточку, увеличится. Поэтому рациональная эксплуатация инструмента исключает работу в периоде катастрофического износа. При средних значениях скоростей резания, благоприятных для эксплуатации инструмента, период нормального износа составляет 85 – 90% периода стойкости инструмента. По мере увеличения скорости резания период нормального износа сокращается и при очень больших скоростях резания становится настолько малым, что после периода приработки почти сразу наступает период катастрофического износа (рис.27, б). В том случае, если износ задней поверхности не является определяющим в потере работоспособности инструмента, или определяющими в потере работоспособности инструмента являются технологические признаки (качество обработанной поверхности, возрастание сил резания или температуры, и т.п.) период катастрофического износа не наступает (рис.27, в).

## 6.4. Критерии износа инструмента

При эксплуатации инструмента по мере его изнашивания наступает такой момент, когда дальнейшее резание инструментом должно быть прекращено, а инструмент отправлен на переточку. Момент затупления инструмента устанавливают с помощью критерия износа. Под критерием износа понимают сумму признаков (или один решающий признак), при которых работа инструмента должна быть прекращена. Используют два критерия износа: 1) критерий оптимального износа и 2) критерий технологического износа. В обоих случаях за основу принимают линейный износ задней поверхности, так как задняя поверхность инструмента изнашивается всегда, а измерить ширину площадки износа проще, чем, например, глубину лунки износа на передней поверхности.

### 6.4.1. Критерий оптимального износа

Инструмент считают затупившимся, когда линейный износ задней поверхности достигает значения, равного оптимальному износу. Под оптимальным износом понимают такой, при котором суммарный период стойкости инструмента достигает максимальной величины. Суммарный период стойкости с достаточной точностью определяют следующим образом:  $T_{\text{сум.}} = jT$ ,

где  $T$  - период стойкости между двумя переточками, мин.;

$j$  - число переточек инструмента.

Задача сводится к определению оптимального периода стойкости инструмента между двумя переточками  $T$ . Очевидно, что при наличии классической кривой износа этот период соответствует точке В (рис.27, а) - точке перехода периода нормального износа в катастрофический. Эту величину Н.Н. Зорев предложил находить следующим образом.

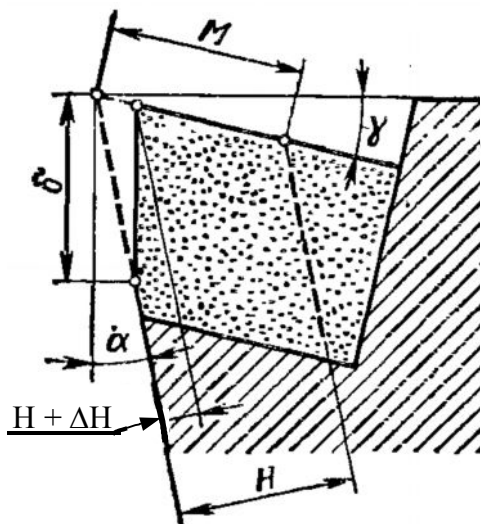


Рис.28. Схема переточки инструмента при изнашивании только по задней поверхности.

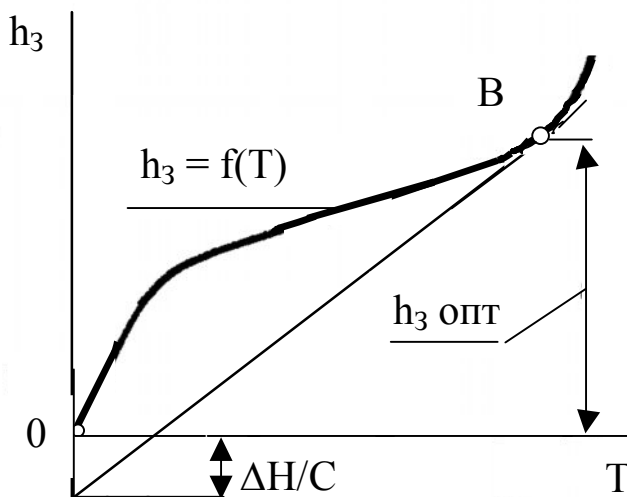


Рис.29. Схема для определения оптимального износа

На рис.28 изображена изношенная режущая часть резца с линейным износом  $\delta$ . Чтобы инструмент стал вновь работоспособным, с задней поверхности при переточке должен быть сошлифован слой материала толщиной  $H + \Delta H$ . Толщина слоя  $H$  равна:

$$H = \delta \frac{\operatorname{tga} \cos(a + \gamma)}{\cos \gamma}.$$

Введем обозначение:

$$C = \frac{\operatorname{tga} \cos(a + \gamma)}{\cos \gamma},$$

тогда

$$H = C\delta.$$

Дополнительный слой  $\Delta H = 0,1 \div 0,15$  мм включает допуск на заточку и слой материала, сошлифованный для удаления дефектов, образующихся под изношенной частью задней поверхности.

Для определения точки перехода участка нормального износа в катастрофический, по расчетам Н.Н. Зорева, необходимо провести касательную к кривой износа из точки на отрицательной оси ординат, лежащей на расстоянии  $\Delta H/C$  от начала координат (рис.29). Ордината точки  $B$  касания

касательной кривой износа дает величину оптимального износа инструмента.

Критерий оптимального износа широко применяется в лабораторных условиях при установлении стойкостных зависимостей. Применение критерия в производственных условиях не всегда возможно, так как требует снятия инструмента со станка для замера величины износа.



## 6.4.2. Критерий технологического износа

Применение критерия оптимального износа возможно не всегда еще и в том случае, когда на кривой износа отсутствует участок нормального или катастрофического износа (рис. 27, б, в). В первом случае касательная к кривой износа определит точку на участке катастрофического износа, во втором случае ее вообще проводить не к чему. В этом случае или в другом, когда по каким-либо причинам износ инструмента нельзя доводить до величины оптимального износа, применяют критерий технологического износа. Инструмент считают затупившимся, когда линейный износ задней поверхности достигает значения, равного технологическому износу. Под технологическим понимают износ, при котором работу инструмента прекращают по технологическим причинам: резкое увеличение шероховатости обработанной поверхности, вызываемое износом инструмента; потеря инструментом необходимого размера; возникновение вибраций элементов технологической системы; чрезмерный нагрев детали; поломка малопрочного инструмента и т.п. Критерий технологического износа в основном используют при исследовании и эксплуатации инструмента, предназначенного для чистовой (окончательной) обработки.



## Глава 7

### Стойкость режущих инструментов и допустимая ими скорость резания

#### 7.1. Методика построения стойкостных зависимостей

Способность режущего инструмента сохранять работоспособными свои контактные поверхности и режущие кромки называют стойкостью инструмента, а время  $T$ , в течение которого это происходит, называют периодом стойкости. Период стойкости равен времени работы инструмента между двумя заточками. Период стойкости любого инструмента зависит от физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов, геометрических параметров инструмента, параметров режима резания и применяемой смазочно-охлаждающей жидкости.

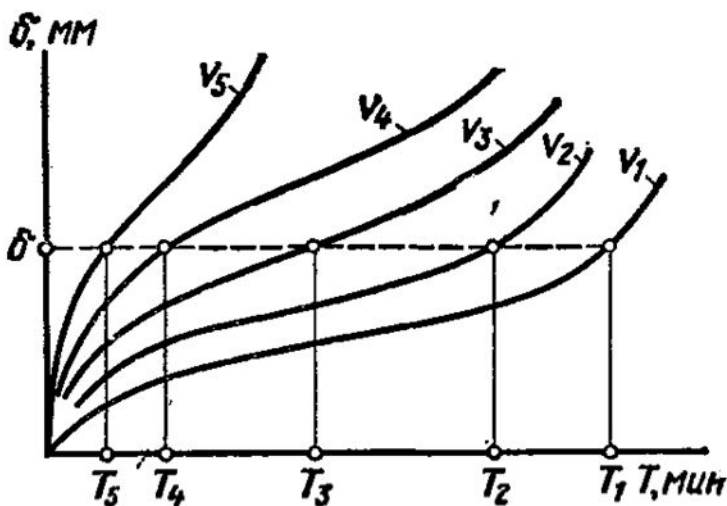


Рис.30. Кривые износа инструмента при варьировании скоростью резания

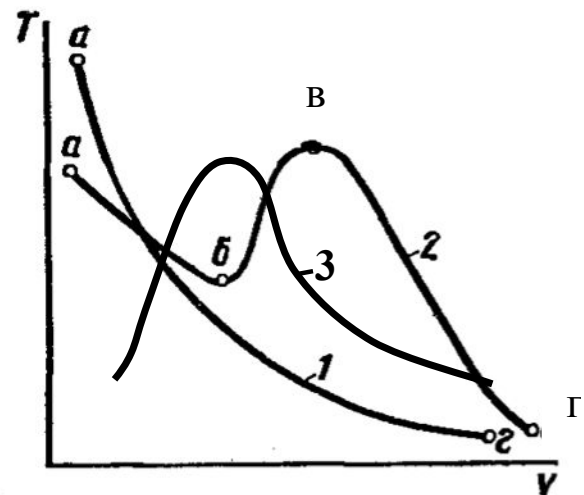
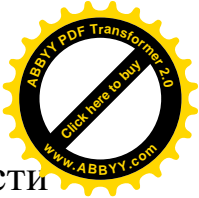


Рис.31. Зависимость периода стойкости от скорости резания

Стойкостные зависимости в настоящее время устанавливают исключительно экспериментально. Для установления зависимостей чаще всего используют метод однофакторного эксперимента, когда варьируют один параметр, например, скорость резания или любым другим, остальные оставляя неизменными, как показано на рис.30.

По результатам однофакторного эксперимента строят зависимость периода стойкости инструмента от варьируемого параметра (рис.31). Таким же образом можно получить зависимость периода стойкости от подачи или глубины резания, или от любого геометрического параметра инструмента.



## 7.2. Связь между скоростью резания и периодом стойкости инструмента

Связь между скоростью резания и периодом стойкости может быть изображена монотонной, непрерывно убывающей кривой, близкой к гиперболе, или немонотонной, выраженной кривой с двумя перегибами (рис.31). Практический интерес представляют собой только нисходящие ветви кривых (кривая 1 или участок  $\gamma$  кривой 2). Тогда зависимость периода стойкости от скорости резания наиболее удобно описать степенной функцией:

$$T = \frac{C_1}{V^{m_1}}.$$

Выражая скорость резания через стойкость режущего инструмента, получим степенную функцию:

$$V = \frac{C}{T^m},$$

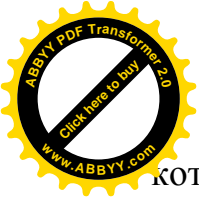
в которой показатель степени  $m$  называют показателем относительной стойкости. Постоянный коэффициент  $C$  характеризует обрабатываемый и инструментальный материалы, геометрические параметры инструмента, применяемую СОЖ, а также глубину резания и подачу, с которыми ведется обработка. Показатель относительной стойкости является образной величиной показателя  $m_1$ , найденного из стойкостных опытов.

Кривая 1 на рис.31 отображает связь между периодом стойкости инструмента и скоростью резания при обработке чугуна инструментами из однокарбидных твердых сплавов и углеродистых конструкционных сталей инструментами из быстрорежущих сталей. Кривая 2 отображает связь между периодом стойкости и скоростью резания при обработке углеродистых конструкционных и легированных сталей, жаропрочных сталей и сплавов и некоторых других материалов инструментами из однокарбидных и двухкарбидных твердых сплавов. Кривая 3 отображает зависимость между стойкостью и скоростью резания при обработке углеродистых конструкционных и легированных сталей спиральными сверлами из быстрорежущих сталей [7].

## 7.3. Влияние параметров режима резания и геометрических параметров режущей части инструмента на период стойкости и допускаемую скорость резания

При установлении влияния скорости резания, подачи и глубины резания на период стойкости инструмента ставят три серии опытов. При обработке опытных данных получают три частных зависимости:

$$T = \frac{C_1}{V^{m_1}}; \quad T = \frac{C_2}{t^q}; \quad T = \frac{C_3}{S^p},$$



которые объединяют в одну общую зависимость:

$$T = \frac{C_4}{V^{m_1} t^q S^p}. \tag{8}$$

Анализ показателей степени  $m_1$ ,  $q$  и  $p$  при скорости, глубине резания и подаче при обработке любых материалов показывает, что  $m_1 > p > q$  следовательно, наибольшее влияние на период стойкости инструмента оказывает скорость резания, затем подача и наименьшее – глубина резания [8]. Установленная закономерность физически легко объяснима. На ветвях кривой  $T = f(V)$  (рис.31) уменьшение периода стойкости связано с повышением температуры резания. Температура резания также возрастает и при увеличении подачи и глубины резания вследствие увеличения тепловыделения. Интенсивность влияния параметров режима резания на период стойкости инструмента будет такой, какова их степень влияния на температуру резания. Зависимость температуры резания от параметров режима резания имеет вид:

$$\theta = C_0 V^m S^n t^q,$$

где  $m > n > q$ . Т.е. на температуру резания наибольшее влияние оказывает скорость резания, затем подача и наименьшее – глубина резания. Поэтому и на период стойкости инструмента параметры режима резания влияют в том же порядке. Из этого следует, что увеличение толщины срезаемого слоя уменьшает период стойкости сильнее, чем равное увеличение ширины срезаемого слоя. Таким образом, для того, чтобы период стойкости инструмента был возможно большим, необходимо при постоянной площади сечения срезаемого слоя увеличивать его ширину за счет уменьшения его толщины, т.е. стремиться работать с возможно большим отношением  $b/\alpha$ . Установленная закономерность имеет универсальный характер и справедлива для всех видов режущих инструментов.

Решая уравнение (8) относительно скорости резания, получим:

$$V = \frac{C_V}{T^m t^{X_V} S^{Y_V} \sin \varphi^{(Y_V - X_V)}}, \tag{9}$$

где  $m = \frac{1}{m_1}$ ;  $X_V = \frac{q}{m_1}$ ;  $Y_V = \frac{p}{m_1}$ ;  $C_V = C_5 \frac{1}{m_1}$ .

Так как  $m_1 > p > q$ , то и  $m > y_v > x_v$ , откуда следует, что подача и глубина резания, а значит, и толщина и ширина срезаемого слоя влияют неодинаково не только на период стойкости инструмента, но и на допускаемую им скорость резания. Из выражения (8) следует, что для получения максимально возможной при заданном периоде стойкости скорости резания при определенной площади срезаемого слоя необходимо стремиться работать с возможно большими отношениями  $b/\alpha$  и  $t/s$ , то есть при заданных глубине резания и подаче скорость резания можно повысить, уменьшая главный угол в плане инструмента (рис.32).

Однако, уменьшение главного угла в плане  $\varphi$  увеличивает радиальную составляющую сила резания  $P_y$ , что при недостаточной жесткости

технологической системы снижает не только точность обработки но и может уменьшить период стойкости инструмента из-за возникновения вибраций.

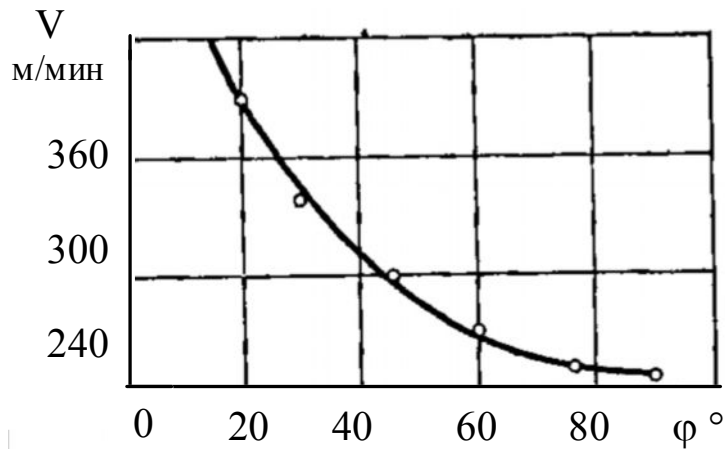


Рис.32. Зависимость скорости резания от главного угла в плане при точении стали 45 резцом из твердого сплава Т15К6 при постоянных  $t$  и  $S$

Передний угол является важнейшим из геометрических параметров инструмента, определяющим процесс превращения срезаемого слоя в стружку. От его величины зависят степень деформации срезаемого слоя, работа стружкообразования, сила резания, количество выделяемого тепла и, соответственно, температура резания. С увеличением переднего угла условия стружкообразования облегчаются, уменьшаются работы деформации и трения на передней поверхности, сила резания и, как следствие, количество выделяемого тепла. Уменьшение тепловыделения способствует повышению периода стойкости инструмента. Однако, увеличение переднего угла приводит к уменьшению угла заострения  $\beta$ , от величины которого зависит прочность режущего инструмента и теплоотвод в тело инструмента. С уменьшением угла заострения  $\beta$  теплоотвод ухудшается, а прочность инструмента падает, что приводит к снижению его стойкости. Уменьшение угла  $\beta$  особенно нежелательно для твердосплавного инструмента, хрупкость и прочность которого низка. Наличие двух конкурирующих процессов приводит к тому, что зависимость выражается горбообразной кривой (рис.33). Величина оптимального переднего угла зависит от рода и механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов.

Отрицательный передний угол делают только у инструмента из твердого сплава и минеральной керамики в тех случаях, когда режущее лезвие при положительном переднем угле не в состоянии выдержать без разрушения силы, возникающие на передней поверхности. Применительно к твердым сплавам это наблюдается при черновой обработке сталей с  $\sigma > 80 \text{ кгс/мм}^2$  при прерывистом резании.

Характер влияния заднего угла на период стойкости инструмента и допустимую скорость резания аналогичен характеру влияния переднего угла (рис.34). По мере увеличения заднего угла, ширина площадки контакта и сила

рения на задней поверхности уменьшается, что уменьшает изнашивание инструмента, а значит, повышает его период стойкости.

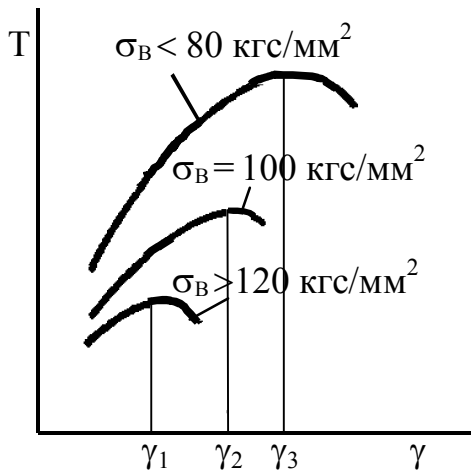


Рис.33. Зависимость стойкости от переднего угла  $\gamma$  при точении

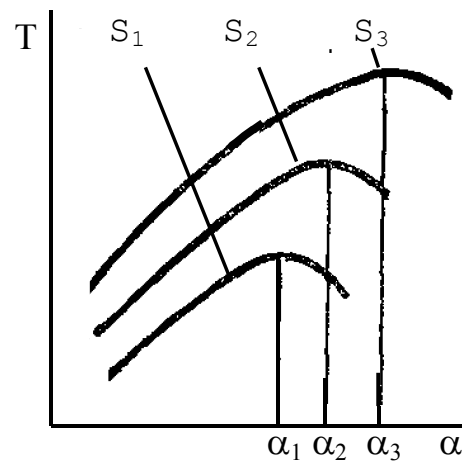


Рис.34. Зависимость стойкости от заднего угла  $\alpha$  при точении

Однако, при дальнейшем увеличении заднего угла уменьшается угол заострения, что снижет прочность режущего лезвия и ухудшает теплоотвод в тело инструмента, вследствие этого период стойкости начинает уменьшаться. Величина оптимального заднего угла зависит в основном от упругих свойств обрабатываемого материала и толщины срезаемого слоя. Поэтому с увеличением предела упругости обрабатываемого материала величина оптимального заднего угла возрастает. Например, оптимальный задний угол токарного проходного резца при обработке углеродистых конструкционных сталей  $6 - 8^\circ$ .

Величина и знак угла наклона главного режущего лезвия  $\lambda$  определяют направление схода стружки по передней поверхности. При угле  $\lambda < 0$  стружка отклоняется в сторону от вершины резца. При угле  $\lambda > 0$  стружка отклоняется в сторону вершины резца. Транспортировка стружки от вершины резца в сторону передней бабки не желательна, т. к. стружка может коснуться рабочего и запутаться во вращающихся частях станка. Транспортировка стружки в сторону вершины резца направляет ее в сторону задней бабки, что более безопасно для рабочего, а возможность запутывания стружки вокруг детали меньше.

Таким образом, при токарных работах положительный знак угла  $\lambda$  является предпочтительным с точки зрения безопасности и удобства работы. В тоже время положительный угол  $\lambda$  более благоприятно сказывается на периоде стойкости резца, нежели отрицательный. Как видно из рис.33, для одинаковой величины угла  $\lambda$  период стойкости резца при положительном знаке угла больше, чем при отрицательном.



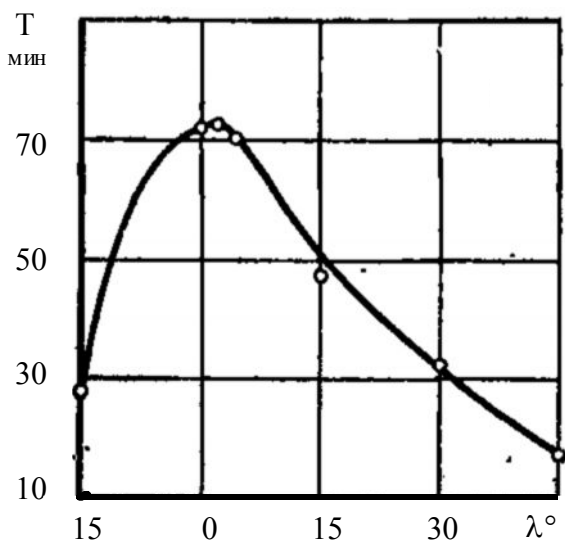


Рис.35. Влияние угла наклона главной режущей кромки на период стойкости резца из твердого сплава Т15К6 при обработке стали

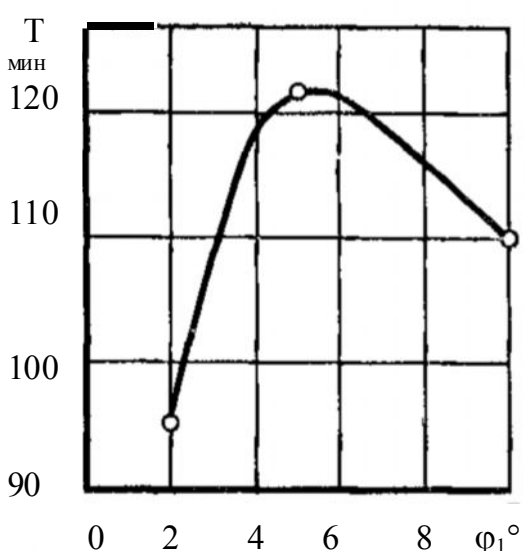


Рис.36. Влияние вспомогательного угла в плане на период стойкости фрезы из ВК8 при обработке чугуна

Вспомогательный угол в плане  $\phi_1$  на стойкость инструмента влияет неоднозначно. С одной стороны, уменьшение вспомогательного угла в плане  $\phi_1$  улучшает теплоотвод в тело резца, тем самым увеличивая период стойкости, с другой стороны, при малых величинах угла  $\phi_1$  увеличивается длина рабочего лезвия, что увеличивает силу трения на вспомогательной задней поверхности и износ инструмента, что отрицательно сказывается на периоде стойкости (рис.36). Аналогично вспомогательный угол в плане  $\phi_1$  влияет на допустимую скорость резания.



## Глава 8

### Качество обработанной поверхности

#### 8.1. Характеристики качества обработанной поверхности. Механизм образования микронеровностей

Качество обработанной поверхности определяется шероховатостью поверхности и состоянием материала поверхностного слоя.

Шероховатость поверхности определяется совокупностью неровностей расположенных на базовой длине и характеризуется их высотой, формой и шагом.

Состояние поверхностного слоя характеризуется его упрочнением (наклепом), микроструктурой, величиной и знаком остаточных напряжений и глубиной их залегания.

Микронеровности на обработанной поверхности образуются в результате рабочего движения инструмента и поэтому траектория движения инструмента и форма его режущих кромок будут влиять на форму и высоту микронеровностей. В процессе резания имеет место пластическая деформация поверхностного слоя обрабатываемой детали, колебания элементов технологической системы, неоднородность структуры и химического состава обрабатываемого материала. В результате этого под воздействием сил резания режущие кромки инструмента совершают микроколебания, оставляя след на обработанной поверхности в виде микронеровностей, траектория которых при точении является винтовой линией. Поэтому микронеровности при точении можно сравнить с резьбой с относительно малой высотой профиля, зависящего от главного и вспомогательного углов в плане, и шагом, равным подаче на оборот детали.

#### 8.2. Влияние условий процесса резания на величину микронеровностей

При изучении шероховатости поверхности, микронеровности с методической точки зрения удобно делить на расчетные микронеровности и действительные.

Под расчетными микронеровностями понимают такие, высота и форма которых могут быть определены геометрически при следующих допущениях: обрабатываемый материал считается абсолютно недеформируемым; технологическая система – абсолютно жесткой; режущие кромки инструмента представляют собой геометрические линии.

Действительные микронеровности - это те, которые возникли на обработанной поверхности после прохода режущего инструмента.

Высота действительных микронеровностей аналитическому расчету не поддается, так как зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, параметров режима резания (скорости и подачи), геометрических параметров режущего инструмента, жесткости технологической системы, и других факторов процесса резания. Ее можно измерить приборами, называемыми профилометрами или профилографами. Профилометры дают визуальный отсчет высоты микронеровностей, а профилографы в определенном масштабе вычерчивают микропрофиль обработанной поверхности.

На рис.37 изображен микропрофиль обработанной поверхности при точении резцом без переходного лезвия. При точении расчетную высоту микронеровностей  $R$  можно вычислить по формуле: 
$$R = \frac{S \cdot \sin \varphi \cdot \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)}$$

Действительные микронеровности по высоте отличаются от расчетных по следующим причинам: пластическим течением материала из зоны первичной деформации в сторону вершин микронеровностей, чем больше степень деформации срезаемого слоя, тем больше интенсивность пластического течения в сторону уже обработанного следа на микропрофиле и тем больше высота микронеровностей; колебанием детали и инструмента во время обработки; трением задних поверхностей инструмента о поверхность резания; неровностями на лезвиях инструмента по мере их изнашивания. Если материал склонен к наростообразованию, то в зоне скоростей резания, при которых нарост максимальный, высота микронеровностей увеличивается из-за приварившихся к обработанной поверхности частиц отделившегося нароста  $R_{нар}$  (рис.37).

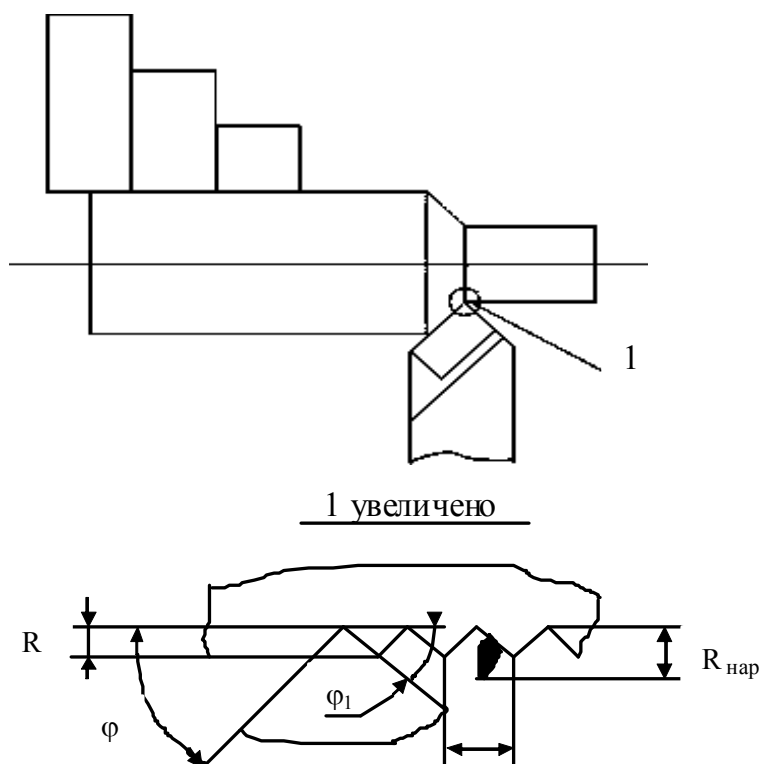


Рис. 37. Профиль обработанной поверхности при точении

На высоту действительных микронеровностей влияют те же параметры и факторы, что и на силы резания, в частности, на их радиальную составляющую силу  $P_y$ , которая стремится оттолкнуть резец от детали в направлении, перпендикулярном ее оси. Поэтому из параметров режима резания на высоту микронеровностей оказывают влияние скорость резания и подача, глубина резания практически никакого влияния не оказывает. При увеличении подачи высота микронеровностей увеличивается, однако интенсивность ее увеличения высокая в области больших подач, и более низкая - в области малых. При обработке материалов, не склонных к наростообразованию, с увеличением скорости высота микронеровностей равномерно уменьшается, при этом влияние скорости резания не особенно сильно, и ее нужно значительно увеличить, чтобы получить ощутимое снижение шероховатости. При обработке материалов, склонных к наростообразованию, высота микронеровностей сначала увеличивается, достигая своего максимума при скорости резания  $V_2$ , соответствующей максимальной высоте нароста (рис.38), а затем уменьшается.

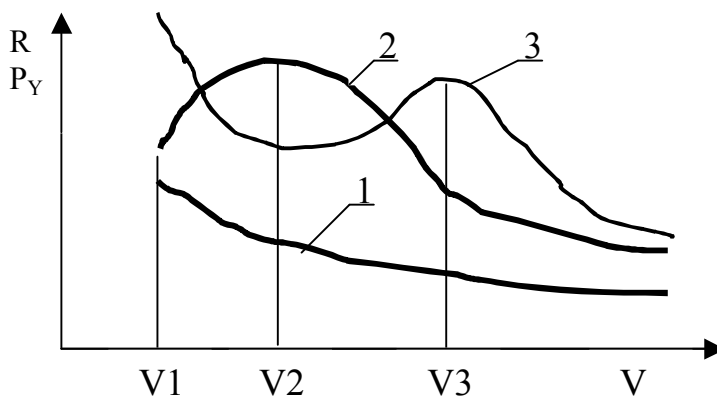
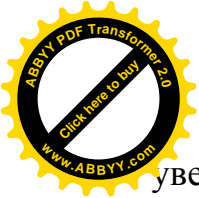


Рис.38. Зависимость высоты микронеровностей от скорости резания, где 1 – материал, не склонный к наростообразованию; 2 – материал, склонный к наростообразованию; 3 – зависимость силы резания от скорости резания при наличии нароста

Увеличение шероховатости поверхности в зоне скоростей резания  $[V_1, V_2]$  происходит из за увеличения высоты нароста, здесь  $R_{нар}$  превышает величину  $R$ , в зоне скоростей резания  $[V_2, V_3]$   $R_{нар}$  уменьшается с уменьшением высоты нароста, в дальнейшем при увеличении скорости резания, как и в случае с кривой 1,  $R_{нар}$  отсутствует, а величина  $R$  уменьшается с уменьшением силы  $P_y$ . С увеличением скорости резания ее влияние на величину шероховатости уменьшается, и при скоростях резания, больших 120 – 150 м/мин, высота микронеровностей от скорости резания практически не зависит.

Из геометрических параметров режущего инструмента на действительную высоту микронеровностей наибольшее влияние оказывает главный угол в плане  $\phi$ . С уменьшением главного угла в плане  $\phi$  увеличивается отношение ширины срезаемого слоя к его толщине,  $b/\alpha$ . Это, с одной стороны уменьшает влияние подачи на высоту микронеровностей, но с другой -



увеличивает радиальную составляющую силы резания  $P_y$ . Поэтому уменьшение главного угла в плане  $\varphi$  в большей степени влияет на высоту микронеровностей при малых подачах и в меньшей степени - при больших подачах. Вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$ , влияет на величину расчетных микронеровностей. С уменьшением вспомогательного угла в плане  $\varphi_1$  расчетные микронеровности уменьшаются и равны 0 при его нулевом значении. Если на резце сделать вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$ , равным 0, а длину вспомогательного лезвия на 20 – 30% больше подачи, то расчетные микронеровности образовываться не будут. На этом основано конструирование чистовых резцов для работы с большими подачами. В отличие от расчетных микронеровностей, уменьшение вспомогательного угла в плане  $\varphi_1$  не во всех случаях приводит к уменьшению высоты действительных микронеровностей. Передний угол  $\gamma$  и угол наклона режущей кромки  $\lambda$  на высоту действительных микронеровностей влияния не оказывают. Что касается заднего угла  $\alpha$ , то он влияет на величину действительных микронеровностей при значениях, меньших  $5^\circ$ , увеличивая их при уменьшении угла  $\alpha$  за счет роста силы трения задней поверхности о поверхность резания. При значениях, больших  $5^\circ$ , задний угол  $\alpha$  на величину микронеровностей характерного влияния не оказывает.

С повышением твердости и прочности обрабатываемого материала и снижением его пластичности, объем пластической деформации уменьшается. Это приводит к уменьшению высоты микронеровностей. На этом основано искусственное повышение твердости деталей термообработкой, часто применяемое для повышения чистоты обработанной поверхности. На высоту микронеровностей положительно влияет применение СОЖ. Однако, положительное действие СОЖ уменьшается при увеличении скорости резания.

### 8.3. Состояние материала поверхностного слоя, характеристики

Важнейшим показателем состояния поверхностного слоя является величина, знак и глубина залегания остаточных напряжений, степень наклепа и толщина наклепанного слоя. Под степенью наклепа поверхностного слоя  $\Delta H$  понимают отношение разности наибольшей микротвердости  $H_{нс}$  наклепанного слоя и микротвердости обрабатываемого материала  $H_m$  к микротвердости обрабатываемого материала  $H_m$ ,  $\Delta H = (H_{нс} - H_m) / H_m$ . Остаточные напряжения, возникающие в поверхностном слое, и его наклеп являются следствием действия сил резания, температуры и структурных превращений. При обработке резанием остаточные напряжения образуются главным образом в результате воздействия сил резания, температура имеет второстепенное значение. При обработке хрупких материалов, например, чугунов, - остаточные напряжения сжимающие, при обработке пластичных материалов, например, углеродистых конструкционных сталей, остаточные напряжения чаще всего растягивающие.

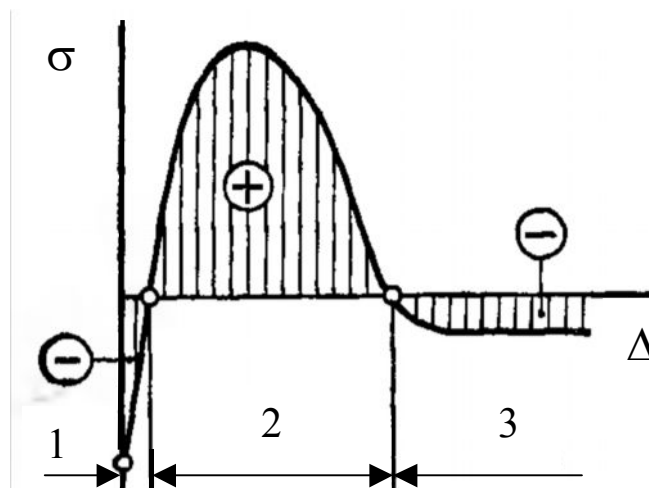
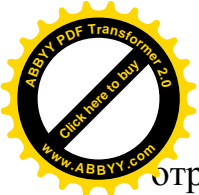


Рис.39. Эпюра изменения остаточных напряжений в зависимости от расстояния от обработанной поверхности

На рис.39 представлена эпюра изменения остаточных напряжений в зависимости от расстояния  $\Delta$  от обработанной поверхности при обработке большинства пластичных материалов. В очень тонком слое толщиной  $0,001 \div 0,004$  мм (зона 1) действуют сжимающие напряжения. В зоне 2, протяженность которой зависит от режима резания и переднего угла инструмента, действуют растягивающие напряжения. Протяженность зоны 2 в 10 раз и более превосходит протяженность зоны 1, и поэтому состояние поверхностного слоя определяют характер и величина напряжений в зоне 2. В зоне 3, уравнивающей действие остаточных напряжений первых двух зон, напряжения сжимающие. Наличие в поверхностном слое растягивающих напряжений значительно ухудшает его качество, так как при этом снижается усталостная прочность, а если остаточные напряжения по величине превосходят предел прочности материала обрабатываемой детали, то это может привести к появлению поверхностных трещин.

#### 8.4. Влияние параметров режима резания и износа инструмента на состояние материала поверхностного слоя

Величина и глубина залегания остаточных напряжений зависят от переднего угла инструмента, подачи, скорости резания, степени износа инструмента. При увеличении скорости резания абсолютная величина растягивающих остаточных напряжений увеличивается, но глубина их залегания уменьшается. При скоростях резания больших  $150 - 170$  м/мин, образование поверхностного слоя при обработке углеродистых сталей стабилизируется, и скорость резания перестает оказывать влияние на остаточные напряжения. Рост подачи также увеличивает величину растягивающих напряжений, но при этом несколько растет и глубина их залегания. При переходе от положительных передних углов к большим



Отрицательным передним углом растягивающие напряжения резко уменьшаются, но одновременно увеличивается глубина их залегания. С увеличением износа инструмента наблюдается увеличение как величины растягивающих остаточных напряжений, так и глубины их залегания.

Наклеп поверхностного слоя связан в основном с деформацией и упрочнением ферритной фазы обрабатываемого материала. Степень наклепа и толщина наклепанного слоя находятся в прямой зависимости от степени деформации срезаемого слоя и действующих сил резания, поэтому они растут при уменьшении переднего угла и увеличении подачи. Глубина резания на степень наклепа и его толщину влияет сравнительно мало. Влияние скорости резания такое же, как и на коэффициент усадки стружки. Повышение износа инструмента увеличивает степень наклепа и толщину наклепанного слоя.



## Глава 9

### Основы конструирования металлорежущих инструментов

Под конструированием режущего инструмента понимается определение всех размеров и форм режущего инструмента путем расчетов и графических построений. Задача конструктора сводится к следующему:

1) на основании данных науки о резании металлов найти оптимальные геометрические параметры режущей части инструмента, определить силы резания и подобрать наиболее подходящий материал режущей части, выбрать оптимальную форму рабочей части инструмента, позволяющую обеспечить свободное отделение стружки в процессе резания;

2) на основании данных технологии металлов найти наиболее удобную форму рабочей и соединительной частей инструмента, определить допуски на их размеры в зависимости от условий работы и требуемой точности обработки;

3) на основании данных науки о сопротивлении материалов провести расчеты рабочей и соединительной частей инструмента на прочность и жесткость;

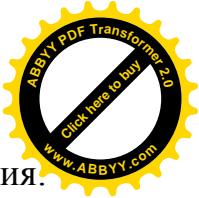
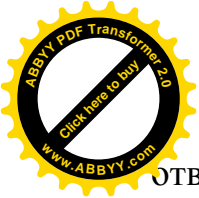
4) составить рабочий чертеж инструмента и технические условия, внося в чертеж все необходимые данные о форме и размерах инструмента, а в технические условия – допуски, требования, предъявляемые к инструменту, данные для испытаний инструмента и т.д.

#### 9.1. Рабочая часть инструмента

Различают однолезвийные и многолезвийные инструменты [19]. Типовым представителем однолезвийного инструмента является резец. Но у многолезвийных инструментов (сверла, фрезы и т.п.) каждое лезвие можно рассматривать как отдельный резец со всеми присущими резцу геометрическими параметрами. Поэтому выбор геометрических параметров и формы рабочей части отдельного лезвия многолезвийных инструментов выполняется аналогично как для однолезвийного – резца. В зависимости от условий работы инструмента и требований к качеству обрабатываемой поверхности выбирается материал режущей части инструмента. Для черновой обработки с большой толщиной срезаемого слоя можно использовать менее дорогую быстрорежущую сталь. Для чистовой обработки с большими скоростями резания – твердый сплав. Далее необходимо выбрать метод восстановления режущих свойств инструмента – заточки. Инструмент затачивают либо по задней, либо по передней поверхности. Выбор метода заточки зависит от вида износа инструмента и формы режущего лезвия. Рассматривая условия работы и износа инструмента, конструктор выбирает метод его заточки и форму лезвия.

Во время резания происходит интенсивное стружкообразование. Непременное условие хорошей работы инструмента – беспрепятственный





отвод стружки из зоны резания и достаточное пространство для ее размещения. Поэтому при проектировании многолезвийных инструментов, помимо формы режущего лезвия инструмента, конструктор рассчитывает и выбирает форму и величину стружечной канавки. А при образовании сливной стружки проектируются специальные стружколомы.

Немаловажное значение при проектировании инструмента имеют экономические вопросы. Помимо правильного выбора материала рабочей части на стоимость инструмента влияет стоимость материала соединительной части. Поэтому, как правило, инструмент выполняют сборным, рабочую часть изготавливают из быстрорежущей стали или твердого сплава, а соединительную - из конструкционной стали. Стоимость инструмента будет зависеть от сложности его конструкции. Чем проще конструкция инструмента, тем дешевле он в изготовлении.

## 9.2. Соединительная часть инструмента

Соединительная часть 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 инструмента необходимо обеспечить точность его установки на станке. С этой целью соединительные части инструмента изготавливаются с высокой точностью, чем обеспечивается полная взаимозаменяемость при замене инструмента. Конструктор должен выбирать такую форму соединительной части, чтобы обеспечить минимальное время для установки инструмента или его замены. Конструкции соединительных частей инструмента очень разнообразны. У концевой инструмента - это конусный или цилиндрический хвостовик, у насадного – цилиндрическое отверстие с продольной или торцевой шпонкой, для инструментов с движением вдоль оси – протяжки, прошивки – хвостовик с проточкой под быстросменный патрон и т.д.

Токарные резцы по форме сечения державки делятся на прямоугольные, квадратные и круглые. Резцы прямоугольной формы применяются чаще других, так как при врезании пластинки обеспечивается меньшее снижение прочности державки, чем у державок квадратного сечения. Резцы прямоугольного сечения имеют отношение  $H/B$ , равное 1,25 либо 1,6, при  $B = 10 \div 40$  мм. Для чистовых и получистовых режимов применяют резцы с соотношением  $H/B = 1,6$ , а для черновых режимов - с  $H/B = 1,25$ . Квадратная форма используется для расточных, автоматных и автоматнo-револьверных резцов, круглая форма используется для расточных и резьбовых резцов, она дает возможность поворачивать резец в резцедержателе. Размеры сечений нормализованы, например, прямоугольные: 10x16, 12x16, 12x20, 16x20, 16x25, 20x25, 20x32, 25x32, 25x40, 32x40, 32x50, 40x50 мм и т.д.



### 9.3. Расчет державки токарного резца

Для определения минимальных размеров сечения державки резца из условий ее прочности, необходимо приравнять действующий изгибающий момент максимальному моменту, допускаемому сечением державки, то есть

$$M_{изг} = M_{изг.max}$$

В свою очередь

$$M_{изг} = Pz \cdot \ell ; \quad M_{изг.max} = W\sigma_{и}, \quad [M] = \text{кгс}\cdot\text{мм},$$

где  $\ell$  - вылет резца из резцедержателя, мм;  $\sigma_{и}$  - допускаемое сопротивление на изгиб материала державки резца, кгс/мм<sup>2</sup>;  $W$  - момент сопротивления сечения державки резца, мм<sup>3</sup>.

Для незакаленной углеродистой конструкционной стали с  $\sigma_{в} = 60 \div 70$  кгс/мм<sup>2</sup>,  $\sigma_{и} = 20$  кгс/мм<sup>2</sup>. Для державок из углеродистой стали, подвергнутых термической обработке, допускаемое сопротивление на изгиб  $\sigma_{и}$  примерно в два раза выше. Момент сопротивления прямоугольного сечения

$$W = \frac{HB^2}{6}.$$

На основании вышеизложенного можно написать:  $Pz \cdot \ell = \frac{\sigma_{и} \cdot HB^2}{6}$ ,

тогда 
$$HB^2 = \frac{6Pz \cdot \ell}{\sigma_{и}}.$$

Для державок прямоугольного сечения с отношением  $H/B = 1,6$

$$B(1,6B)^3 = \frac{6Pz \cdot \ell}{\sigma_{и}}, \quad B = 3 \sqrt{\frac{6Pz \cdot \ell}{2,56\sigma_{и}}}, \quad [B] = \text{мм}.$$

Для державок квадратного сечения

$$B = \sqrt{\frac{6Pz \cdot \ell}{\sigma_{и}}}.$$

Для державок круглого сечения  $W = \frac{\pi d^2}{32}$ ,

где  $d$  – диаметр державки, мм.

Тогда 
$$Pz \cdot \ell = \frac{\pi d^2 \sigma_{и}}{32}, \quad d = 2 \sqrt{\frac{32Pz \cdot \ell}{\pi \sigma_{и}}}.$$

### 1.4. Расчет конического хвостовика

Наиболее применим конический хвостовик (рис.40). Конусы Морзе имеют угол при вершине конуса  $2\alpha$  около  $3^\circ$ , обладают свойством самоторможения и предназначены для передачи крутящего момента

инструменту от шпинделя станка. Эта операция требует значительных усилий, так как проскальзывание при работе инструмента недопустимо.

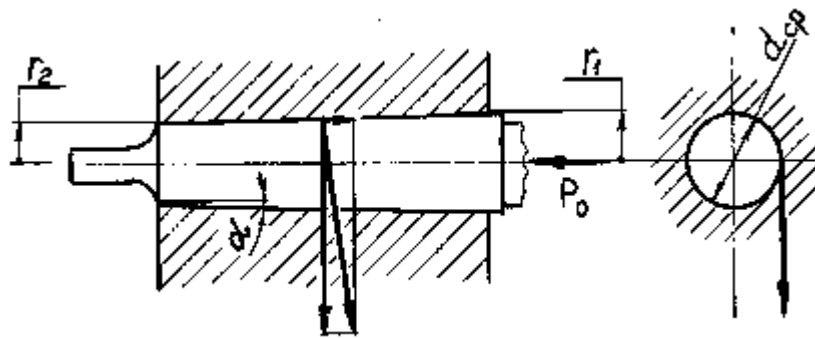


Рис.40. Схема к расчету конического хвостовика

Определим максимальный крутящий момент, который может передать конус, т. е. тот предельный момент, при достижении которого будет наблюдаться проскальзывание.

Осевое усилие, действующее на конический хвостовик, считаем равным осевому усилию резания  $P_0$ . При сжатии силой  $P_0$  двух конических поверхностей между ними возникает трение, момент которого может быть выражен формулой:

$$M_p = f \cdot p \cdot F \cdot r_{пр},$$

где  $f$  – коэффициент трения между трущимися поверхностями, при трении стали по стали;  $p$  – среднее удельное давление;  $F$  – площадь соприкасающихся поверхностей;  $r_{пр}$  – приведенный радиус трения соприкасающихся поверхностей,  $r_{пр} = r_{ср}$ .

Чтобы не было проскальзывания, расчетный крутящий момент  $M_p$  должен быть больше или равен крутящему моменту трения  $M_{кр}$

$$M_p = \beta \cdot M_{кр},$$

где  $\beta = 1,25 \div 1,5$  – коэффициент запаса сцепления. Тогда

$$\beta \cdot M_{кр} = f \cdot p \cdot F \cdot r_{ср}.$$

Среднее удельное давление  $p$  для конических сопряженных поверхностей связано с осевым усилием  $P_0$  соотношением

$$p = \frac{P_0}{F \cdot \sin \alpha},$$

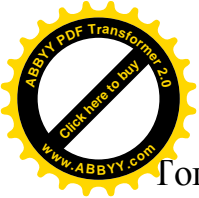
тогда

$$M_{кр} = \left( \frac{f \cdot P_0 \cdot r_{ср}}{\beta \cdot \sin \alpha} \right) \cdot (1 - 0,04 \Delta \alpha), \quad r_{ср} = \frac{M_{кр} \cdot \beta \cdot \sin \alpha}{f \cdot P_0 (1 - 0,04 \Delta \alpha)},$$

где  $\Delta \alpha$  – суммарная погрешность изготовления угла  $\alpha$ ,  $\Delta \alpha = 5'$ ,

$\alpha$  – угол уклона конуса, равный половине угла при вершине конуса.

Опыты показывают, что при затуплении сверла крутящий момент  $M_{кр}$  повышается в 3 раза, по сравнению с моментом, принятым для нормальной работы сверла [13], а осевое усилие  $P_0$  растет незначительно.



Тогда

$$d_{cp} = \frac{2 \cdot 3M_{кр} \cdot \beta \cdot \sin \alpha}{f \cdot P_o(1 - 0.4 \cdot \Delta \alpha)}$$

Угол  $\alpha$  приблизительно равен  $1^\circ 30'$ ,  $\sin 1^\circ 30' = 0,02618$ . Коэффициент трения при работе всухую по стали равен  $f = 0,096$ .

Тогда

$$d_{cp} = \frac{6 \cdot 1,5 \cdot 0,02618 M_{кр}}{0,096 \cdot P_o(1 - 0,04 \cdot 5)} = 3 \frac{M_{кр}}{P_o},$$

$$d_{cp} = 3 \frac{M_{кр}}{P_o},$$

где  $[P_o] = Н$ ,  $[M_{кр}] = Н \cdot мм$ .

При проектировании инструментов размеры хвостовиков выбираются из ряда их стандартных значений.

Наиболее распространенные конусы Морзе представлены в табл.11.

Таблица 11

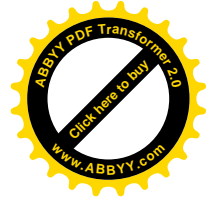
Номер конуса	1	2	3	4	5	6	7
Средний диаметр, $d_{cp}$ , мм	7,58	10,518	15,924	21,478	28,21	40,47	57,88
Длина, мм	59,5	65,5	78,5	98,0	123,0	155,5	217,5

По ГОСТ 10903-77 приняты следующие номера конусов Морзе (табл.12).

Таблица 12

Диаметр сверла, мм	5-11,8	12-23	23,25-31,8	32-50,5	51-75	76-80
Номер конуса Морзе	1	2	3	4	5	6

Для некоторых сверл максимально допустимый расчетный диаметр не совпадает с принятым в стандартах. Поэтому возникает целесообразность использовать на тяжелых работах сверла с усиленным коническим хвостовиком (на один номер больше). На конической поверхности хвостовика возникают контактные напряжения сжатия. Однако, как показывают расчеты, эти напряжения в несколько раз меньше допускаемых. Для уменьшения габаритов применяют укороченные конусы Морзе, посадочный диаметр которых сохраняется стандартным, а уменьшается только длина конуса.



## Глава 10

### Резцы

Одним из наиболее простых и распространенных металлорежущих инструментов является резец. Резцы применяются на токарных, карусельных, револьверных, строгальных, долбежных станках, токарных автоматах и полуавтоматах и специальных станках, например, затыловочных. Поэтому, в зависимости от станка и рода выполняемых работ, резцы бывают: токарные, строгальные, долбежные, автоматные.

Существует шесть основных типов резцов: проходные, подрезные, отрезные (канавочные), расточные, фасонные, резьбовые.

В свою очередь проходные подразделяются на: прямые, отогнутые, упорные правые и левые.

По конструкции рабочей части резцы бывают: цельные и составные, с припаянной пластинкой или с ее механическим креплением.

По форме сечения державки резца: прямоугольные, квадратные, круглые.

#### 10.1. Токарная обработка резцами

Токарные резцы применяются при обработке деталей на токарных станках методом точения, характеризующимся непрерывностью резания. Главным движением резания при точении является вращательное движение обрабатываемой детали, определяющее скорость резания. Вспомогательное движение резания – прямолинейное движение подачи обеспечивает непрерывность резания и придается режущему инструменту. Подача может быть направлена вдоль или поперек оси вращения изделия и, соответственно, называется продольной или поперечной.

Методом точения можно выполнять следующие виды работ: обтачивание наружных и растачивание внутренних поверхностей, подрезание торцевой поверхности, фасонное точение фасонными резцами, копировальное точение по копиру.

Скорость резания рассчитывается по формулам:

$$V = \frac{\pi D n}{1000}, \quad V = \frac{C_V}{T^m t^x S^y} K_V, \quad [V] = \text{м/мин},$$

где  $D$  - диаметр обрабатываемой заготовки, мм;  $n$  – частота вращения шпинделя, об/мин;  $C_V$ ,  $K_V$  - безразмерные коэффициенты;  $m$ ,  $x$ ,  $y$  - показатели степени.

Основная составляющая силы резания:

$$P_Z = 10 C_P \cdot t^{X_{PZ}} \cdot S^{Y_{PZ}} \cdot g^{Z_{PZ}} K_P, \quad [P_Z] = \text{Н}.$$

Мощность станка

$$N = \frac{P_Z V}{60 \cdot 1000}, \quad [N] = \text{кВт}.$$

После расчета режима резания определяется основное технологическое время. Основное технологическое время при точении - время, затрачиваемое непосредственно на обработку какой-то поверхности, время, в течение которого режущий инструмент механически перемещается с заданной подачей. Основное технологическое время находится делением длины пути перемещения инструмента на величину подачи. Общий путь перемещения инструмента при точении складывается из длины обрабатываемой поверхности, величины пути врезания резца и величины его перебега (рис.41).

Основное технологическое время  $t_o$ , мин., рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{L}{nS}; \quad L = l_o + l_1 + l_2; \quad l_1 = t \cdot ctg\varphi,$$

где  $L$  – длина прохода резца, мм;  $n$  – частота вращения шпинделя, об/мин;  $S$  – подача, мм/об;  $t$  – глубина резания, мм;  $l_o$  – длина обрабатываемой поверхности;  $l_1$  – величина врезания;  $l_2$  – величина перебега инструмента, назначается в зависимости от размера обрабатываемой детали.

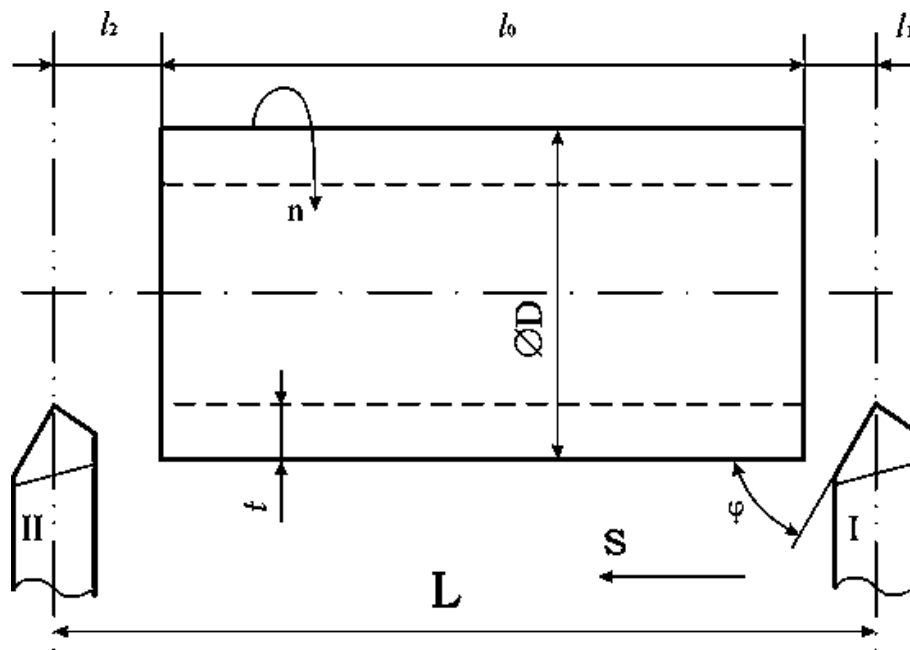


Рис.41. Схема к расчету основного технологического времени

## 10.2. Краткая классификация резцов

### 10.2.1. Токарные резцы

По виду обработки токарные резцы подразделяются на проходные, которые, в свою очередь, по направлению подачи, делятся на правые и левые, подрезные, отрезные и прорезные, резьбовые, расточные и фасонные.

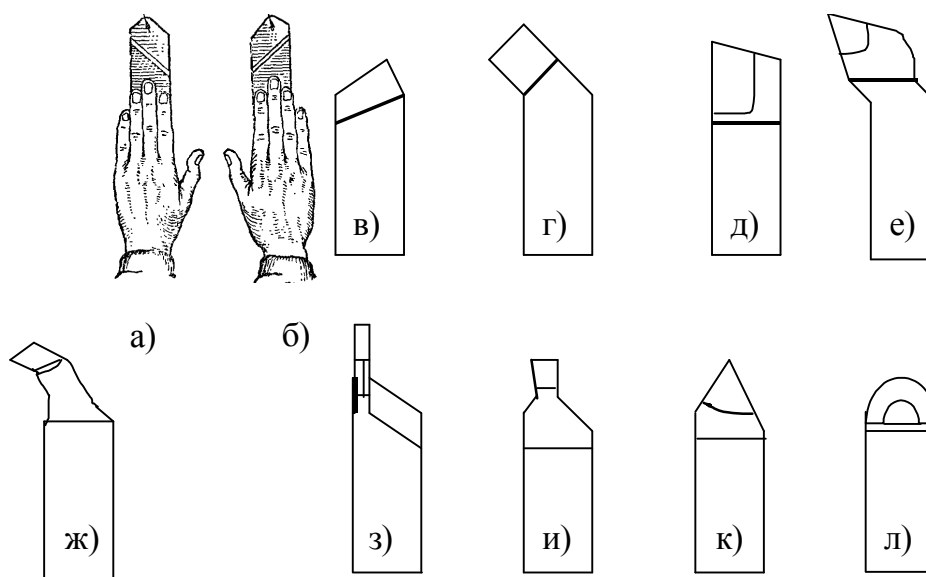
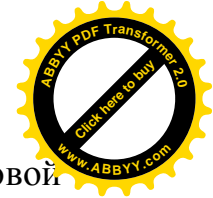
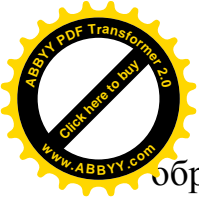


Рис.42. Типы токарных резцов

Основные типы токарных резцов изображены на рис.42. Для обточки наружных поверхностей тел вращения, то есть цилиндрических валиков, конических поверхностей большой длины и им подобных деталей, применяют проходные резцы. Проходные резцы бывают прямые (рис.42, в), отогнутые (рис.42, г) и упорные (рис.42, д), правые (рис.43, б) и левые (рис.42, а). Отогнутые резцы получили широкое применение из-за их универсальности, большей жесткости, возможности вести обработку в менее доступных местах. Отогнутыми резцами можно работать при продольной и поперечной подачах и производить подрезку торцов, снятие фасок. Проходные резцы могут быть черновые и чистовые. Проходные упорные резцы имеют угол в плане  $\varphi = 90^\circ$  и применяются при обточке ступенчатых валиков и подрезке буртиков, а также при точении нежестких деталей. Подрезные резцы предназначены для обточки плоскостей, перпендикулярных оси вращения, подрезки торцов на проход (рис.42, е). Эти резцы работают с поперечной подачей.

Расточные резцы служат для обработки отверстий (рис.42, ж). Они работают в менее благоприятных условиях, чем проходные резцы для наружной обточки. Т.к. расточные резцы должны иметь меньшие поперечные размеры, чем обрабатываемое отверстие, они получаются длинными. Вылет резца должен быть больше длины растачиваемого отверстия. В силу малой жесткости расточные резцы склонны к вибрациям, что не позволяет снимать стружку большого сечения.

При расточке длинных отверстий и отверстий большого диаметра широко применяют державки (оправки) со вставными резцами круглого или квадратного сечения малых размеров. Пользуясь державками, расточку отверстия можно производить при помощи одностороннего резца с одной режущей частью, двухстороннего резца, имеющего режущие части с обоих торцов, резцовой головкой, состоящей из нескольких резцов. Однако,



Обработка одним резцом имеет и некоторые преимущества. При чистовой обработке и снятии небольших припусков затрудняется установка резцов в резцовой головке с требуемой точностью, в результате чего в работе участвуют не все резцы. Кроме того, при срезании твердых включений ось отверстия искривляется вследствие отклонения всей головки, что может послужить причиной брака. При работе же одним резцом в таких случаях отклонение резца приведет лишь к уменьшению размеров отверстия, что можно исправить при дальнейшей обработке.

Отрезные (прорезные) резцы служат для отрезания материала от прутков сравнительно небольшого диаметра (рис.42, з, и) и прорезки кольцевых канавок. Они выполняются с оттянутой головкой, то есть ширина головки меньше ширины тела резца. Длина оттянутой головки выбирается из расчета свободной отрезки заготовки.

Для нарезания резьбы применяют стержневые, призматические и круглые резцы. Стержневой резец (рис.42, к), является наиболее простым видом резбонарезного инструмента. Он представляет собой стержень прямоугольного, квадратного или круглого сечения, который имеет головку с формой, е соответствующей форме профиля нарезаемой резьбы. У чистовых стержневых резьбовых резцов передний угол  $\gamma$  часто равняется нулю, и его передняя плоскость совмещается с осевой плоскостью детали. В этом случае форма режущей кромки резца будет тождественна профилю впадины нарезаемой резьбы в осевом сечении. Однако, у твердосплавных резьбовых резцов угол при вершине  $\epsilon$  делается на  $30' - 1^\circ$  меньше угла профиля резьбы. Это объясняется тем, что при скоростном нарезании резьбы наблюдается некоторое разваливание ее профиля.

### 10.2.2. Фасонные резцы

Фасонные резцы предназначены для обработки наружных, внутренних и торцовых фасонных поверхностей сложного профиля. Они широко используются как в крупносерийном и массовом производстве, так и мелкосерийном и индивидуальном инструментальном производстве (как инструмент второго порядка). Достижимая точность размеров деталей соответствует 7–8 качеству точности при высокой производительности. Процесс фасонного точения выполняется с невысокими скоростями резания и малыми (до 0,05 мм/об) подачами из-за сравнительно большой длины лезвия резца (до 80 мм) [6].

Фасонные резцы как разновидность токарных резцов можно классифицировать по различным признакам: по форме – плоские, призматические и круглые; по виду подачи – осевые, радиальные и тангенциальные; по расположению оси (или базы крепления) по отношению к оси детали – с параллельным и наклонным расположением оси; по форме передней поверхности – с положительным передним углом, с положительным передним углом и углом наклона режущей кромки; по форме образующих



фасонных поверхностей – с кольцевыми образующими и с винтовыми образующими; по конструкции – цельные и составные.

По виду подачи принципиальной разницы между фасонными и обычными токарными и револьверно-автоматными резцами не существует. Однако по форме фасонные резцы имеют специфические особенности.

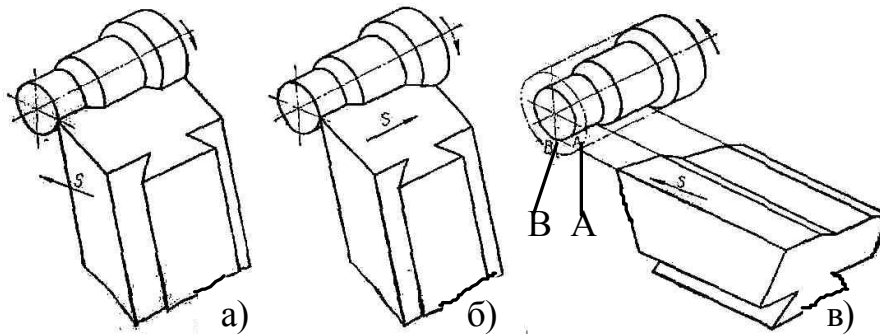


Рис.43. Схемы обработки поверхности вращения фасонными резцами

Резцами с фасонной режущей кромкой обрабатывают поверхности вращения цилиндрической и винтовой форм на токарных и револьверных станках, автоматах и полуавтоматах. Схемы обработки поверхности вращения фасонным резцом показана на рис.43. В процессе обработки заготовка быстро вращается вокруг своей оси, а резец совершает движение подачи. Чаще всего движение подачи является поступательным. Оно может осуществляться в радиальном направлении. Резцы с таким направлением подачи называют радиальными (рис.43, а). В процессе обработки направление движения одной или нескольких точек режущей кромки такого резца пересекает ось детали.

Фасонные резцы с осевой подачей применяют при обработке односторонних профилей, не имеющих кольцевых канавок или выступов, а также при обработке торцовых фасонных поверхностей (рис.43, б). По сравнению с радиальными резцами, при обработке ступенчатых деталей рассматриваемые резцы срезают меньшие сечения, и силы резания будут меньшими. Это позволяет обрабатывать менее жесткие детали.

Направление движения различных точек режущей кромки фасонного резца может касаться обработанной поверхности детали. Фасонные резцы с такой установкой относительно оси вращения детали называют тангенциальными фасонными резцами (рис.43, в). Произвольная точка режущей кромки такого резца начинает резание в точке А, а заканчивает работу в точке В. При дальнейшем движении подачи металл резцом не снимается, поэтому детали получают идентичными по размерам, независимо от того, в какой момент времени выключено движение подачи [17].

Меньшее распространение находят фасонные резцы с вращательным движением подачи. Такие резцы могут быть радиальными и тангенциальными. У тангенциальных резцов режущая кромка описывает поверхность вращения, касающуюся поверхности детали. В этом случае размеры обработанной поверхности детали не зависят от момента выключения движения подачи.

Часто фасонные резцы используются на строгальных, долбежных или специальных станках при обработке цилиндрических поверхностей.

В процессе обработки резец относительно детали совершает поступательное движение резания, направление которого совпадает с образующей цилиндрической поверхности, и движение подачи. Обычно такие резцы проектируются как резцы радиального типа, у которых направление поступательного движения подачи перпендикулярно образующим. Например, резцы зубодолбежных головок, предназначенные для одновременной обработки всех зубьев цилиндрических зубчатых колес.

Фасонные резцы для обработки цилиндрических поверхностей могут иметь вращательное движение подачи и проектироваться как резцы тангенциального типа. При вращательном движении подачи режущая кромка резца описывает поверхность вращения, касающуюся поверхности детали. В результате этого движения любая точка режущей кромки в определенный момент времени входит в контакт с материалом заготовки и срезает его, а затем выходит из соприкосновения с заготовкой. Поэтому, как и у тангенциальных резцов, в этом случае момент выключения подачи резца не оказывает влияния на размеры детали.

Обработка винтовых поверхностей фасонными резцами производится при винтовом движении резания. В результате этого движения винтовая поверхность детали скользит «сама по себе». Кроме движения резания при обработке винтовых поверхностей фасонный резец после каждого прохода углубляется в материал заготовки до получения полного профиля винтовой поверхности. Рассматриваемые резцы наиболее часто применяют при обработке резьбы.

По форме задней поверхности и особенностям конструкции фасонные резцы делятся на стержневые, призматические и круглые.

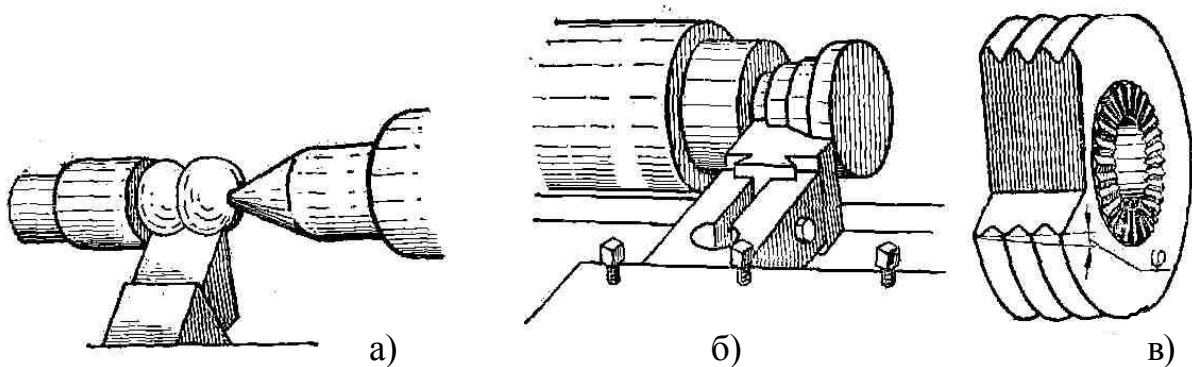


Рис.44. Типы фасонных резцов

Стержневые фасонные резцы - плоские (рис.44, а) и подобны обычным токарным резцам (рис.42, л), но имеют фасонную режущую кромку, соответствующую форме поверхности детали. Эти резцы имеют малое число переточек и в серийном производстве используются редко. Закрепляются они в суппорте, как обычные резцы.

Призматический фасонный резец представляет собой призму (рис.44, б), одна из боковых граней которой имеет фасонную поверхность и служит задней поверхностью, а сторона, ей противоположная, имеет «ласточкин хвост» для крепления в державке. Передней поверхностью призматического резца служит одна из торцовых плоскостей. Задний угол  $\alpha$  призматического фасонного резца образуется при его установке в державке, а передняя поверхность затачивается под углом  $\gamma$ .

Круглый фасонный резец (рис.44, в) является телом вращения, у которого вырезан угловой паз, для создания передней плоскости и пространства для схода стружки. Ось резца устанавливается выше оси детали, поэтому на фасонной режущей кромке создаются положительные задние углы. У круглых резцов, ось которых параллельна оси детали, задние углы на участках режущих кромок, перпендикулярных оси детали, равны нулю. На этих участках задняя поверхность, создающаяся при вращении режущей кромки вокруг оси резца, является торцевой плоскостью. В процессе работы резца эта плоскость соприкасается с соответствующей торцевой плоскостью детали. Из-за этого на рассматриваемом участке режущей кромки зазор между материалом заготовки и задней поверхностью не создается, что снижает режущую способность резца. Такое же явление наблюдается и у призматических резцов при их обычной установке. Круглые фасонные резцы широко применяются на токарных и револьверных станках ввиду сравнительной простоты их изготовления, а также большого, практически неограниченного, числа переточек. Эти резцы универсальны по области применения, так как ими можно обрабатывать все виды фасонных поверхностей – наружных, внутренних и торцовых, но крепятся менее жестко и обычно применяются для обработки деталей с меньшими глубинами профиля, чем призматические фасонные резцы.

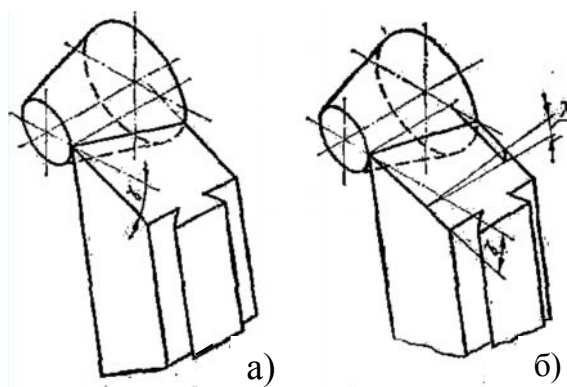
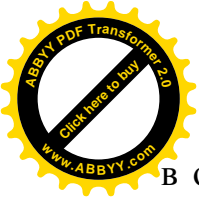


Рис.45. Положение передней плоскости резца

Передняя поверхность фасонных резцов в большинстве случаев является плоскостью, которая может располагаться под определенным передним углом  $\gamma$  к поперечной оси детали (рис.45, а). В общем же случае, фасонные резцы имеют двойной наклон передней плоскости, когда ее положение характеризуется не только передним углом  $\gamma$ , но и углом наклона режущей кромки  $\lambda$  (рис.45, б). Такие резцы используются при повышенных требованиях



в отношении соблюдения формы и точности обработки конических участков поверхностей деталей.

### 10.2.3. Строгальные резцы

Строгальные резцы используются на строгальных станках с прямолинейно-поступательным движением резания. Строгальные резцы работают в более тяжелых условиях, чем токарные, так как, врезаясь в обрабатываемый материал с полным сечением срезаемого слоя, резец испытывает удар, что отрицательно сказывается на его стойкости.

У продольно-строгальных станков главное движение резания сообщается столу с закрепленной на нем заготовкой, движение подачи – инструменту. У поперечно-строгальных станков наоборот: главное движение резания осуществляет резец, а движение подачи – заготовка. Подача при строгании имеет размерность мм/дв.ход. Дв.ход – это рабочее движение резца и обратное, холостое. На силы резания и мощность резания при строгании влияют те же факторы, что и при точении.

Скорость резания (м/мин.) рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{R \cdot L \cdot (1 + m)}{1000},$$

где  $R$  – число двойных ходов в минуту;  $L$  - длина хода обрабатываемой детали или резца, мм;  $m$  – отношение скорости рабочего хода к скорости холостого хода,  $m_{cp} = 0,75$ .

Основное технологическое время  $t_o$ , мин., рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{L}{RS},$$

где  $S$  – подача, мм/дв.ход.

По роду выполняемой работы строгальные резцы разделяются на проходные (обдирочные и чистовые), подрезные, отрезные, прорезные. Проходные строгальные резцы (рис.46, а) предназначены для строгания плоскостей с горизонтальной подачей, подрезные резцы (рис.46, б) — для обработки вертикальных плоскостей с вертикальной подачей. Отрезные и прорезные строгальные резцы (рис.46, в) используются при отрезке и прорезке узких пазов. Чистовые широкие лопаточные резцы (рис.46,г) применяются для чистовой обработки плоскостей с большой подачей. Для обеспечения плавного врезания и выхода инструмента целесообразно применять строгальные резцы с углом наклона режущей кромки  $\lambda$ , который в зависимости от условий обработки может колебаться от 10 до 60°. Строгальные резцы бывают прямые и изогнутые. Прямые резцы просты в изготовлении, но менее виброустойчивы по сравнению с изогнутыми. Поэтому они применяются при малых величинах вылета. В случае работы с большими вылетами рекомендуется пользоваться изогнутыми резцами, которые получили широкое распространение в промышленности. В процессе строгания резец под воздействием усилий

резания изгибается. При изгибе прямого резца его режущая часть будет углубляться в материал заготовки, и резец будет работать с заеданием, что снизит качество обработки и дополнительно нагрузит инструмент. При изгибе изогнутого резца его режущая часть отходит от заготовки и срезает меньший слой металла. Это обеспечивает более спокойное протекание процесса резания, особенно при резких колебаниях сил резания.

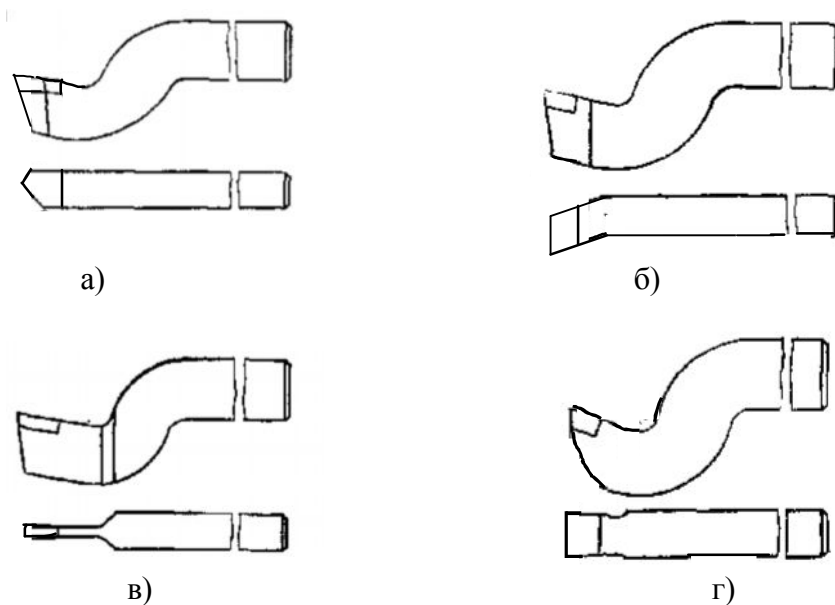


Рис.46. Стругальные резцы а) проходной, б) подрезной, в) отрезной (прорезной), г) чистовой широкий лопаточный

#### 10.2.4. Долбежные резцы

Долбежные резцы (рис.47) применяются при обработке внутренних линейчатых поверхностей на долбежных станках в единичном и мелкосерийном производствах. В зависимости от характера выполняемой работы находят применение проходной двухсторонний (рис.47, а) шпоночный (рис.47, б) и прорезной (рис.47, в) резцы.

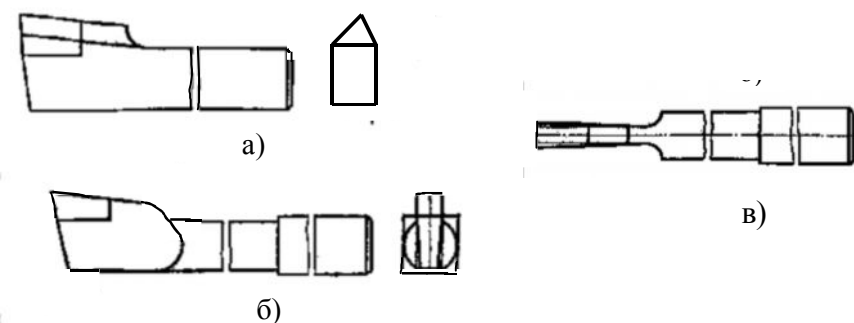


Рис.47. Долбежные резцы



## Глава 11

### Инструмент для обработки отверстий

В этой главе рассматривается обработка отверстий сверлами, зенкерами и развертками, то есть сверление, зенкерование и развертывание. Эти виды обработки отверстий применяются в зависимости от требуемой точности размера отверстия и качества обработанной поверхности. Во всех случаях главным движением резания является вращательное движение инструмента или заготовки, а движением подачи – поступательное перемещение вдоль оси инструмента, поэтому группу инструментов, в которую входят сверла, зенкеры и развертки называют группой осевых инструментов.

Сверлами обычно обрабатываются отверстия в сплошном материале, когда требуется получить отверстия невысокой точности. Более точные отверстия после сверления обрабатываются зенкерами и развертками. В этом случае точность отверстий обеспечивается лучшим центрированием инструмента (благодаря наличию большего числа режущих лезвий), повышенной жесткостью инструмента и более легкими условиями работы каждого лезвия. Сопоставление условий работы инструментов и качества обработки при сверлении, зенкерование и развертывании представлено в табл.13.

Таблица 13

Вид обработки	Условия работы инструмента			Шероховатость Ra	Квалитет точности
	t, мм	$\varphi$ °	Z		
Сверление	D/2	60	2	25 – 0,8	13 – 9
Зенкерование	0,5 – 4	45 – 60	3 – 6	25 – 0,4	13 – 8
Развертывание	0,05 – 0,2	5 – 15	6 – 12	3,2 – 0,1	11 – 5

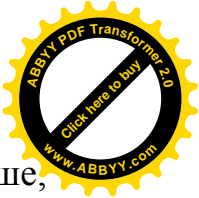
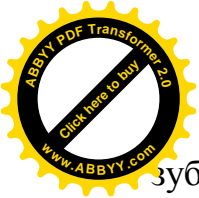
При сверлении в сплошном материале глубина резания t равна половине диаметра сверла, а при рассверливании и зенкерование – половине разности

диаметров до и после обработки:  $t = \frac{D}{2}$ ,  $t = \frac{D-d}{2}$ .

Подачей  $S_0$ , мм/об, при сверлении (зенкерование и развертывание) является величина осевого перемещения инструмента или заготовки за время одного оборота. Поскольку резание при сверлении одновременно ведется двумя режущими лезвиями, то каждое из них работает с подачей на зуб  $S_z$ , равной половине осевого перемещения сверла за время его одного оборота. В общем случае (сверление, зенкерование и развертывание) подача на зуб

рассчитывается по формуле:  $S_z = \frac{S_0}{z}$ ,

где z - количество зубьев. Каждый зуб зенкера или развертки работает с подачей на зуб  $S_z$ , равной части осевой подачи, зависящей от количества



зубьев. Поскольку зенкеры и развертки имеют главные углы в плане меньше, чем у сверла, толщина срезаемого слоя меньше, чем при сверлении.

Скорость резания  $V$  (м/мин) равна окружной скорости периферийных точек режущих кромок инструмента

$$V = \frac{\pi D n}{1000}.$$

Во всех случаях главным движением резания является вращательное движение инструмента или заготовки, а движением подачи – поступательное перемещение вдоль оси вращения.

Сверлами обычно обрабатываются отверстия в сплошном материале, когда требуется получить отверстия невысокой точности. Более точные отверстия после сверления обрабатываются зенкерами и развертками. В этом случае точность отверстий обеспечивается лучшим центрированием инструмента (благодаря наличию большего числа режущих лезвий), повышенной жесткостью инструмента и более легкими условиями работы каждого лезвия. Параметры режима резания при сверлении определяются по формулам:

$$V = \frac{C_g \cdot D^g}{T^m \cdot S^Y} \cdot K_g, \quad P_O = 10 C_P D^g \cdot S^Y \cdot K_P,$$

$$M_{KP} = 10 C_M \cdot D^g \cdot S^Y \cdot K_M, \quad N = \frac{M_{KP} \cdot n}{9750}.$$

При зенкерении и развертывании параметры режима резания определяются так же, как при рассверливании, по формулам:

$$V = \frac{C_g \cdot D^g}{T^m \cdot t^X \cdot S^Y} \cdot K_g, \quad P_O = 10 C_P D^g \cdot t^X \cdot S^Y \cdot K_P,$$

$$M_{KP} = 10 C_M \cdot D^g \cdot t^X \cdot S^Y \cdot K_M, \quad N = \frac{M_{KP} \cdot n}{9750}.$$

При расчете параметров режима резания глубина резания назначается в указанных выше пределах. Подача выбирается по справочным таблицам с учётом глубины сверления, характера последующей обработки, жесткости технологической системы и свойств инструментального материала.

Основное технологическое время рассчитывается с учетом врезания и перебега

$$t_o = \frac{L}{n \cdot S}; \quad L = l_1 + l_o + l_2; \quad l_1 = t \cdot ctg \varphi.$$

Для сверления  $L = l_o + 0,3D$ ,

для зенкерования  $l_2 = 1 \div 4$ ;

для развертывания  $l_2 = 0,5l_K$ , где  $l_K$  – длина калибрующей части развертки,  $l_o$  – длина обрабатываемого отверстия,  $D$  – диаметр инструмента.



## 11.1. Сверла. Краткая классификация сверл

Сверло является одним из самых распространенных металлорежущих инструментов, предназначенных для получения отверстий в сплошном материале, либо для рассверливания отверстий при двух одновременно происходящих движениях: вращении сверла или заготовки вокруг своей оси и поступательном движении подачи вдоль оси инструмента. В промышленности в основном применяются следующие типы сверл: спиральные, центровочные, перовые, пушечные, ружейные, шнековые, для кольцевого сверления.

### 11.1.1. Спиральные сверла. Конструктивные элементы и геометрические параметры спиральных сверл



Рис.48. Спиральное сверло

Самым распространенным типом сверл в машиностроении являются спиральные сверла (рис.48). Спиральные сверла изготавливаются из быстрорежущей стали с коническим и цилиндрическим хвостовиком диаметром 0,24-80 мм (ГОСТы 886-77, 2092-77, 10902-77, 10903-77, 12121-77, 12122-77, 4010-77 и др.), цельные твердосплавные диаметром 0,2–12,0 мм (ГОСТы 17273-71...17277-71) и с припаянными пластинами твердого сплава диаметром 1,2–12,4 мм (ГОСТ 5766-81Е). Сверла выполняют предварительную черновую обработку отверстия до 9-го квалитета точности и позволяют получить чистоту обработанной поверхности не выше 0,8 Ra [21].

К конструктивным элементам спиральных сверл относятся (рис.49): рабочая часть 1, которая состоит из режущей 2 и направляющей 3 частей; шейки 4 и хвостовика 5, снабженного лапкой 6.

Режущая часть содержит конструктивные элементы, которые непосредственно выполняют обработку резанием. Направляющая часть предназначена для направления режущей части в процессе обработки и отвода стружки. Шейка является местом сварки рабочей и соединительной частей; хвостовик - соединительная часть служит для передачи момента резания и осевой силы от шпинделя станка к рабочей части сверла. Спиральные сверла выполняются, как с коническим, так и с цилиндрическим хвостовиком. Лапка является конструктивным элементом конического хвостовика и служит для снятия сверла со станка.

Режущая часть (рис.49) состоит из следующих конструктивных элементов: двух главных режущих кромок (а), двух передних (в) и двух задних поверхностей (г), поперечной кромки (ж), двух уголков (б) и двух ленточек (е) на участках, равных половине осевой подачи.



Направляющая часть (рис.49) имеет обнижения по спинкам зубьев (д), которые образуют ленточки (е), поэтому контакт направляющей части с обработанной поверхностью осуществляют непосредственно ленточки сверла.

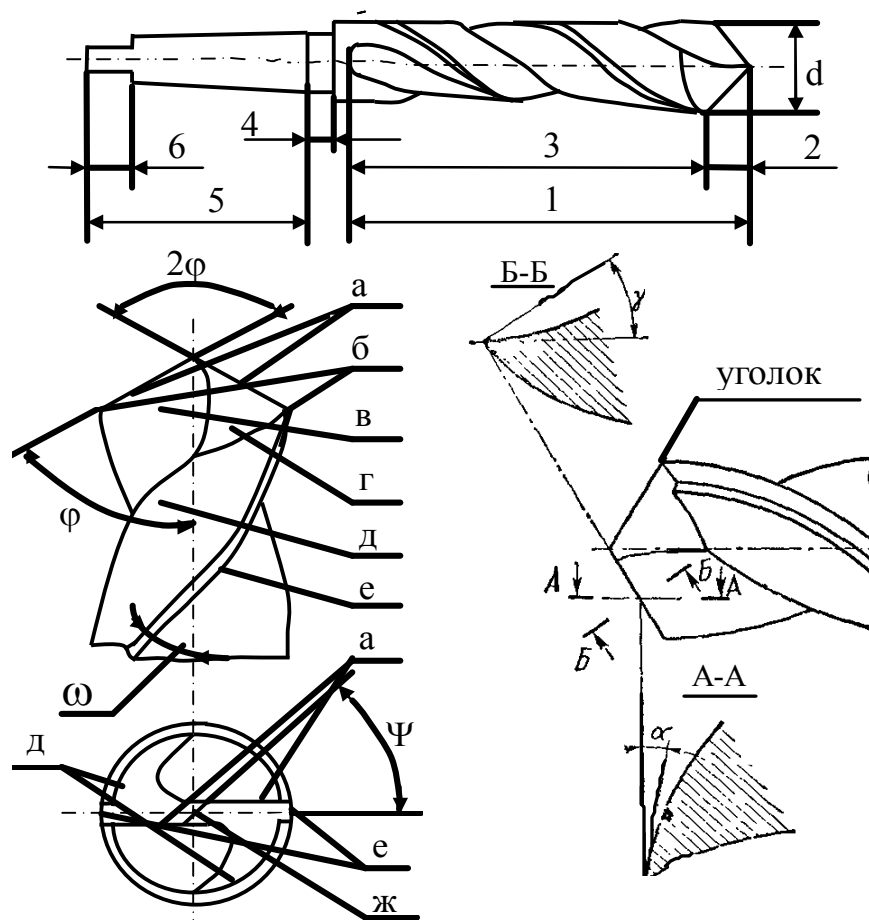
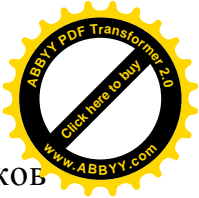
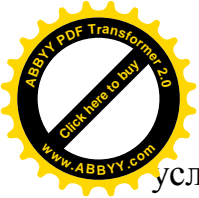


Рис.49. Конструктивные элементы и геометрические параметры спиральных сверл

Сверло — двухлезвийный режущий инструмент. Лезвие сверла представляет собой тело клиновидной формы, ограниченное передней и задней поверхностями. У спиральных сверл передняя поверхность, по которой сходит стружка, является винтовой поверхностью (рис.49). Передний угол  $\gamma$  рассматривается в плоскости, перпендикулярной главной режущей кромке.

Передний угол  $\gamma$  наибольшее значение имеет на периферии, где в плоскости, параллельной оси сверла он равен углу наклона винтовой канавки  $\omega$ . Наименьшее значение передний угол  $\gamma$  имеет у вершины сверла. На поперечной кромке угол  $\gamma$  имеет отрицательное значение, в результате чего угол резания  $\delta$  на поперечной кромке сверла больше  $90^\circ$ . У сверл средних размеров универсального применения передний угол  $\gamma$  изменяется в пределах от  $+30^\circ$  на периферии сверла до  $-31^\circ$  на поперечной режущей кромке. Большой передний угол на периферии сверла у уголков уменьшает угол заострения и тем самым ухудшает условия отвода тепла в тело сверла, а так как скорость резания в этом месте максимальная, то и температура резания также максимальная, что в



условиях плохого теплоотвода приводит к интенсивному износу уголков сверла.

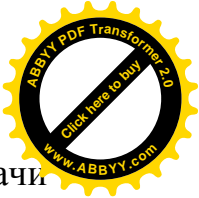
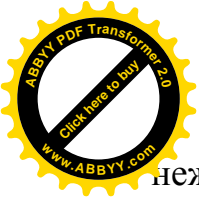
Поверхность лезвия сверла, обращенная к поверхности резания, является задней поверхностью. Задние поверхности воспроизводятся при заточке сверл, и их форма определяется принятым методом заточки. Задние поверхности спиральных сверл наиболее часто затачиваются по цилиндрическим, коническим, винтовым и плоским поверхностям. У обычных спиральных сверл главные режущие кромки и ось сверла являются скрещивающимися прямыми. Расстояние от оси сверла до режущей кромки равно половине толщины сердцевины сверла. Задний угол  $\alpha$  измеряется в сечении, параллельном оси сверла.

Задний угол  $\alpha$  является важным геометрическим параметром сверла. Величина угла  $\alpha$  в значительной мере влияет на стойкость инструмента. У сверл малых размеров величина заднего угла на периферии сверла может выбираться равной  $\alpha = 20^\circ$ . У сверл средних размеров универсального применения рекомендуемые величины задних углов лежат в пределах  $\alpha = 10 \div 14^\circ$ . При обработке особо твердых материалов высокой прочности величины задних углов снижаются до  $\alpha = 7 \div 10^\circ$ , а при обработке легких сплавов увеличиваются до  $\alpha = 20^\circ$ . Чтобы обеспечить достаточную величину заднего угла у оси сверла, для получения более или менее одинакового угла заострения лезвия сверла вдоль главной режущей кромки задний угол  $\alpha$  у сердцевины сверла для сверл средних размеров выполняется равным  $\alpha = 20 \div 27^\circ$ . Вспомогательный задний угол на ленточках сверла равен 0.

Углом наклона винтовой канавки  $\omega$  называется угол, образуемый осью сверла и касательной к винтовой линии в точке пересечения передней поверхности сверла с цилиндрической поверхностью, ось которой совпадает с осью сверла и диаметр которой равен диаметру сверла. Угол  $\omega$  наклона винтовой канавки у сверл средних размеров равен  $\omega = 30^\circ$ .

Линия пересечения задних поверхностей обоих лезвий сверла является поперечной кромкой, расположенной на оси сверла. Угол  $\psi$  наклона поперечной кромки находится между проекциями поперечной кромки и главной режущей кромки на плоскость, перпендикулярную оси сверла, угол наклона поперечной кромки  $\psi = 55^\circ$ .

Угол  $2\varphi$  между главными режущими кромками, которые располагаются симметрично относительно оси сверла, называют углом при вершине. Угол при вершине сверла играет роль главного угла в плане. С увеличением угла при вершине  $2\varphi$  уменьшается активная длина режущей кромки и увеличивается толщина среза, что приводит к увеличению усилий, действующих на единицу длины главных режущих кромок, и способствует повышению интенсивности износа сверл [1]. При увеличении угла  $2\varphi$  площадь сечения срезаемого слоя остается неизменной, но уменьшается степень деформации срезаемого слоя. При этом снижается величина составляющей суммарной силы резания, действующей по направлению скорости резания, и определяющей величину момента резания, что оказывает благоприятное действие на работу такого



нежесткого инструмента, как спиральные сверла. Суммарное усилие подачи сверла (осевая сила) при увеличении угла  $2\varphi$  возрастает. Это объясняется изменением положения плоскости нормальной к режущей кромке относительно оси сверла, в результате чего взаимно уравнивается меньшая часть усилий действующих на режущих кромках сверла. Кроме того, передние углы на поперечной кромке с увеличением угла при вершине  $2\varphi$  уменьшаются, это ухудшает внедрение поперечной кромки в материал заготовки и приводит к возрастанию осевой силы. В результате возрастает опасность появления продольного изгиба сверла и значительных его деформаций и, соответственно, снижается стойкость сверл. Опыты показывают, что при уменьшении угла  $2\varphi$  от  $140^\circ$  до  $90^\circ$  осевая сила снижается на 40 – 50 %, а момент резания увеличивается на 25–30 %. С увеличением угла при вершине уменьшается угол между задней поверхностью и поверхностью ленточки, что приводит к ухудшению теплоотвода от уголков и повышению интенсивности износа сверл. Угол при вершине  $2\varphi$  влияет на величины передних углов и на их изменение вдоль главной режущей кромки, а также на направление и условия отвода стружки по винтовым канавкам. Известно, что нормальная работа сверла может иметь место тогда, когда надежно обеспечивается вывод стружки по канавкам и отсутствует ее защемление и пакетирование. Как показывают исследования, увеличение угла при вершине  $2\varphi$  приводит к более плавному изменению передних углов вдоль главных режущих кромок, что благоприятно отражается на работоспособности сверл.

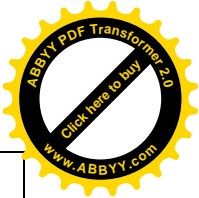
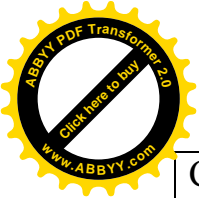
Таким образом, угол  $2\varphi$  при вершине сверла весьма неадекватно воздействует на процесс сверления, и его оптимальное значение зависит от многих факторов, определяющих характер работы сверла. Поэтому в литературе можно встретить различные данные и рекомендации по выбору угла при вершине сверла. Следует учитывать, что подобно резцам с различными углами в плане, можно применять для определенных условий работы сверла различные углы при вершине  $2\varphi$  и получать при этом положительные результаты. Опираясь на экспериментальные данные и производственный опыт, угол  $2\varphi$  при вершине сверла ориентировочно можно выбирать в зависимости от обрабатываемого материала, из табл.14.

Вспомогательный угол в плане на ленточках сверла равен  $\varphi_1 = 2 \div 3'$ .

Таблица 14

Значение угла  $2\varphi$  при вершине сверла

Обрабатываемый материал	Угол $2\varphi$ , в град.
Сталь	116—120

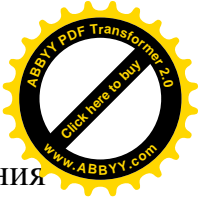
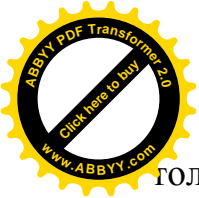


Сталь нержавеющая, сталь высокой прочности, жаропрочные сплавы	125—150
Чугун средней твердости, бронза твёрдая	90—100
Чугун твердый	120—125
Латунь, алюминиевые сплавы, баббит	130—140
Медь	125
Пластмассы	80—110
Мрамор	80—90

Для уменьшения трения сверла о поверхность отверстия на его лезвиях по всей длине рабочей части срезается спинка с сохранением небольшой шлифованной ленточки. Ленточка служит для направления сверла в процессе работы. На величине, приблизительно равной половине подачи, кромка ленточки, примыкающая к главным режущим кромкам, является вспомогательной режущей кромкой и формирует поверхность отверстия. На этом участке ленточка служит вспомогательной задней поверхностью с вспомогательными задними углами, равными нулю. От ширины ленточек зависит работа сверла: с увеличением ширины ленточек улучшается направление сверла, что благоприятно сказывается на качестве обработанного отверстия. Однако в этом случае возрастает трение ленточек о стенки отверстия, что увеличивает интенсивность износа сверла и снижает его стойкость.

Для уменьшения трения ленточек о стенки отверстия диаметр сверло уменьшают по направлению к хвостовику, то есть выполняют обратную конусность. Опыты показывают, что с увеличением обратной конусности стойкость сверла первоначально возрастает, а затем, достигнув максимального значения, снижается. Возрастание стойкости происходит в результате уменьшения трения сверла о стенки отверстия. Однако, наступает момент, когда дальнейшее увеличение обратной конусности не влияет на трение сверла о стенки отверстия, а ослабляет режущие кромки на периферии сверла, что способствует возрастанию интенсивности износа. Обратная конусность влияет на направление сверла, то есть на жесткость и виброустойчивость технологической системы, что особенно важно для сверл малого диаметра. У них, как показывают опыты, целесообразно выбирать уменьшенные значения обратной конусности. Степень влияния обратной конусности зависит от величины других параметров, влияющих на жесткость сверла. Поэтому у сверл с утолщенной сердцевиной обратную конусность можно увеличивать.

В свою очередь, толщина сердцевины также влияет на жесткость и прочность сверла, и, следовательно, на его стойкость. С увеличением толщины сердцевины жесткость и прочность сверла возрастают, что способствует увеличению стойкости. Однако, при чрезмерном увеличении толщины сердцевины ухудшается отвод стружки, увеличивается длина поперечной кромки, вследствие чего возрастают осевая сила и тепловыделение, что вызывает соответствующее снижение стойкости. В результате для определенных условий обработки необходимо находить оптимальное значение



толщины сердцевин. Для стандартных сверл универсального назначения ширина ленточек и обратная конусность на 100 мм длины представлены в табл.15.

Таблица 15

Ширина ленточек и обратная конусность на 100 мм длины сверла

Диаметр сверла $d$ , мм	до 10	10 - 18	св. 18
Ширина ленточек $f$ , мм	0,25 – 0,1	0,1 – 1,7	1,7 – 3,6
Обратная конусность, мм	0,03 – 0,08	0,04 – 0,1	0,05 – 0,12

Толщина сердцевин для сверл с нормальной сердцевиной в зависимости от диаметра сверла выбирается по табл.16.

Таблица 16

Толщина сердцевин сверла

Диаметр сверла $d$ , мм	0,25 – 1,45	1,5 - 13	13,5 - 80
Толщина сердцевин $K$ , мм	$(0,28-0,19)d$	$(0,18 - 0,15)d$	$(0,14 - 0,13) d$

Сердцевина сверла утолщается в направлении хвостовика на 1,4 – 1,8 мм на каждые 100 мм длины.

Спиральные сверла затачиваются по задним поверхностям. Существует пять видов заточки сверл (рис.50): одноплоскостная, двухплоскостная, винтовая, конусная и цилиндрическая.

При одноплоскостной заточке (рис.50, а), чтобы обеспечить беспрепятственное перемещение задней поверхности в процессе резания, то есть обеспечить необходимый зазор между задней поверхностью и поверхностью резания, следует принимать большие величины задних углов, порядка 20-25 °, что ограничивает возможности использования этого метода заточки. Он находит применение лишь при заточке сверл малых диаметров, до 3 мм. Чтобы на режущей части сверла получить независимые величины заднего угла на периферии, при заточке сверл больших диаметров следует оформлять каждое лезвие сверла по двум плоскостям (рис.50, б), При этом обеспечиваются необходимые задние углы и устраняется опасность затирания задней поверхности.

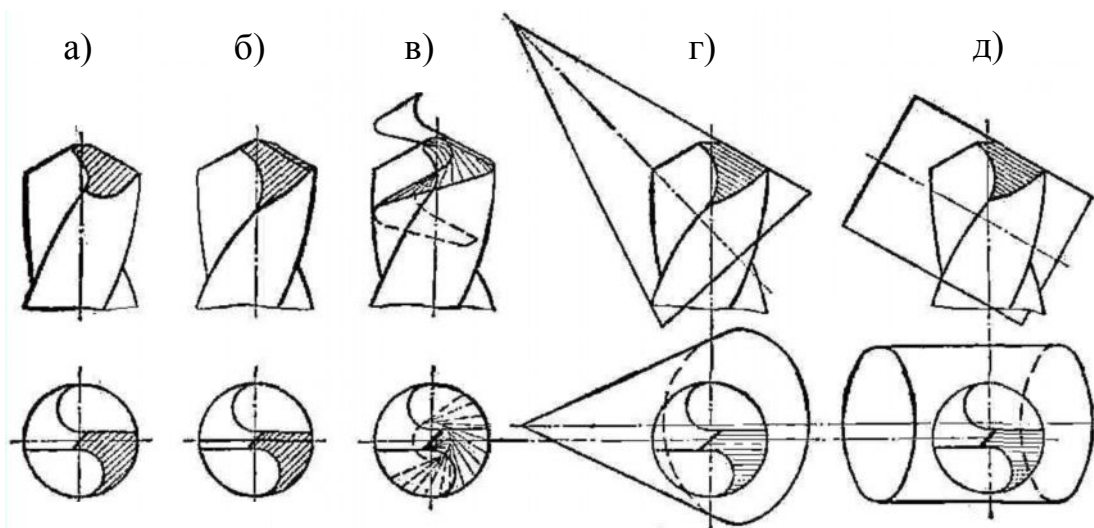


Рис.50. Виды заточки задней поверхности спиральных сверл

Для нормальной работы спирального сверла необходимо обеспечить увеличение заднего угла вдоль главной режущей кромки от периферии к центру, поэтому широкое распространение получила заточка задних поверхностей сверла по винтовой поверхности (рис. 50, в). Винтовая заточка, по сравнению с другими видами заточки, позволяет получить наиболее резкое увеличение заднего угла (до 25%),

Конусная (рис.50, г) и цилиндрическая (рис.50, д) заточки позволяют также получить достаточное увеличение заднего угла от периферии сверла к центру, но в меньшей степени, чем винтовая заточка.

#### 11.1.1.1. Особенности процесса резания спиральными сверлами

В отличие от других процессов резания сверление имеет свои особенности, которые значительно усложняют его работу [22].

Условия работы главных режущих кромок усложнены тем, что передние углы резко уменьшаются от периферии сверла к центру, достигая больших отрицательных значений у поперечной кромки. Скорость резания также уменьшается от периферии к центру сверла. Это создает дополнительные напряжения на условной плоскости сдвига при отделении стружки и отрицательно сказывается на работе сверл.

Поперечная кромка расположена на оси сверла, где скорость резания минимальная. В результате низкой скорости резания и больших отрицательных передних углов поперечная кромка практически не режет, а сминая металл, выдавливая его в стружечные канавки сверла, что повышает интенсивность износа поперечной кромки и неблагоприятно сказывается на работе инструмента, увеличивает осевую силу резания.

Уголок по аналогии с токарным резцом выполняет функцию вершины режущего лезвия. Но условия работы уголка спирального сверла значительно отличаются от условий работы вершины токарного резца. Вершина токарного

резца является точкой пересечения трех линий: главной и вспомогательной режущих кромок, и линии пересечения главной и вспомогательной задних поверхностей. У спирального сверла третьей является линия пересечения задней поверхности с поверхностью ленточки. И здесь конструкцией спирального сверла заложено существенное отличие. У токарного резца третья линия является прямой линией и с поверхностью резания осуществляет точечный контакт непосредственно вершина резца. У спирального сверла линия пересечения задней поверхности с поверхностью ленточки является дугообразной линией, которая имеет нулевой угол с плоскостью резания и в процессе обработки находится в сплошном контакте с поверхностью резания (рис.1, 4). Это отличие существенно ухудшает условия работы уголка.

Вспомогательные задние углы на ленточках сверла равны нулю, в результате чего их вспомогательные задние поверхности находятся в сплошном контакте с поверхностью резания. Это в сочетании с большими передними углами на периферии режущих лезвий и максимальной скоростью резания приводит к увеличению температуры резания на уголках сверл и, как следствие, повышению интенсивности износа ленточек и уголков.

Конструктивные особенности спиральных сверл способствуют возникновению сложных силовых нагрузок, в частности момента резания, который приводит к раскручиванию сверла. В результате этого изменяются параметры срезаемого слоя, что способствует возникновению колебаний и нарушению стабильности обработки. Пониженная крутильная жесткость спиральных сверл в радиальном направлении делает их чувствительными к погрешностям заточки и установки в шпинделе станка, что приводит к увеличению разбивки отверстий, отклонению их оси и снижению стойкости инструмента.

Движение стружки навстречу подачи СОЖ затрудняет ее попадание в зону резания, за счет чего ухудшается теплоотвод и увеличивается температура резания. Особенностью процесса сверления является также и то, что сверло, окруженное обрабатываемым материалом, работает в стесненных условиях. Это также затрудняет циркуляцию смазочно-охлаждающей жидкости и приводит к плохим условиям теплоотвода и повышению температуры резания.

### 11.1.2. Центровочные сверла



Рис.51. Центровочные сверла

Особую группу сверл составляют центровочные сверла, предназначенные для обработки центровых отверстий (рис.51). Они бывают простые (рис.51, а) и комбинированные (рис.51, б). Простые центровочные сверла отличаются от обычных спиральных сверл только меньшей длиной их рабочей части, так как

ими производится сверление отверстий небольшой длины. Они применяются при обработке высокопрочных материалов, в то время как комбинированные сверла часто ломаются. Комбинированные центровочные сверла изготавливаются двухсторонними и предназначены для одновременной обработки как цилиндрической, так и конической поверхностей центрального отверстия. Это повышает производительность обработки.

### 11.1.3. Перовые сверла

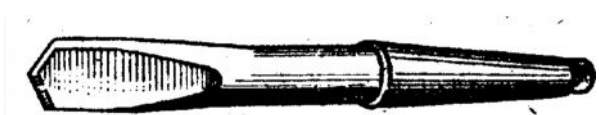


Рис.52. Перовое сверло

Перовые сверла (рис.52) являются наиболее простыми по конструкции. Они применяются при обработке цилиндрических, ступенчатых и фасонных отверстий в цветных сплавах и твердых поковках. Рабочая часть этих сверл выполняется в виде пластинки, снабженной у торца режущей частью. Режущая часть имеет две режущие кромки, угол  $2\phi$  между которыми принимается равным  $90^\circ$  при обработке мягких и  $140^\circ$  для обработки твердых материалов. В результате пересечения задних поверхностей обеих режущих кромок создается поперечная кромка. Угол ее наклона обычно равен  $55 - 60^\circ$ . Для уменьшения трения калибрующая часть сверла имеет фаску шириной  $0,2 - 0,5$  мм, вспомогательный задний угол  $\alpha_1 = 5 \div 8^\circ$  и утончение по диаметру в пределах  $0,05 - 0,10$  мм на всю длину сверла.

К недостаткам перовых сверл относятся большие отрицательные передние углы, плохое направление сверл в отверстиях, затруднительные условия отвода стружки, малое число переточек. Для улучшения процесса резания передняя поверхность снабжается лункой, но это приводит к соответствующему снижению прочности режущей части. Перовые сверла больших диаметров обычно изготавливаются со вставной рабочей частью. Для облегчения процесса резания у сверл больших диаметров на режущих кромках делают стружкоразделительные канавки.

### 11.1.4. Пушечные сверла

Многие детали имеют отверстия, длина которых превышает диаметр сверла в 5–10 раз. Сверление таких отверстий усложняется в связи с затруднительными условиями отвода стружки и подвода смазывающе-охлаждающей жидкости в зону резания, необходимостью обеспечения более точного направления сверла при работе и т. п. Выполнение этих требований к глубокому сверлению обеспечивается применением специальных сверл. К ним относятся так называемые пушечные, ружейные и другие сверла. Рабочая часть пушечного сверла представляет собой полукруглый стержень, плоская



поверхность которого является передней поверхностью (рис.53). На торце стержня создается режущая кромка, перпендикулярно оси сверла. Задняя торцевая плоскость сверла затачивается под углом  $\alpha = 10 \div 20^\circ$ .

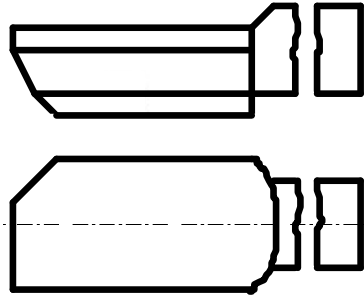


Рис.53. Пушечное сверло

Для лучшего направления сверло имеет цилиндрическую опорную поверхность, на которой срезаются лыски под углом  $30 - 45^\circ$  и делается обратный конус порядка  $0,03 - 0,05$  мм на  $100$  мм длины рабочей части. В результате этого уменьшается трение сверла о стенки обрабатываемого отверстия. Пушечное сверло работает в сложных условиях, имеет неблагоприятную геометрию передней поверхности, не обеспечивает непрерывного процесса резания, так как для удаления стружки приходится периодически выводить сверло из отверстия.

### 11.1.5. Ружейные сверла

Более совершенными для глубокого сверления являются ружейные сверла (рис.54).

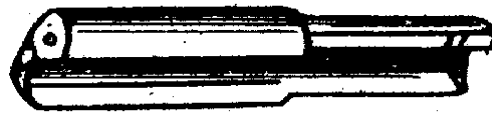
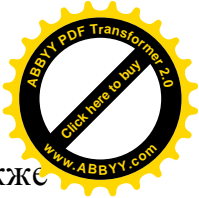
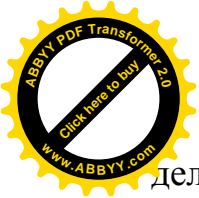


Рис.54. Ружейное сверло

Они имеют рабочую часть и стембель, которые представляют собой трубку с продольным прямолинейным пазом. Через отверстие в трубке смазывающе-охлаждающая жидкость подводится к режущей части сверла и выходит по продольному пазу наружу, увлекая при этом и стружку. Для облегчения резания и лучшего направления вершина сверла смещена относительно его оси на четверть диаметра сверла. Сверло имеет одну режущую кромку, состоящую из наружной и внутренней частей. Угол в плане  $\phi$  на обоих участках кромки обычно принимается равным  $60^\circ$ , а задний угол  $\alpha = 12 \div 15^\circ$ . Для уменьшения трения сверла о стенки отверстия на рабочей части



делается обратная конусность размером 0,1- 0,3 мм на 100 мм длины, а также снимаются лыски. Такие сверла по сравнению с пушечными сверлами имеют лучшее направление, отвод стружки и подвод смазочно-охлаждающей жидкости к зоне резания, что приводит к повышению стойкости инструмента. Они обеспечивают непрерывный процесс резания и высокое качество обработанной поверхности. Но эти сверла имеют лишь одну режущую кромку, что снижает их производительность.

### 11.1.6. Шнековые сверла

Чтобы обеспечить удаление большого количества стружки из обрабатываемого отверстия, обработку производят с периодическими выводами сверла. Этот процесс характеризуется малой производительностью в силу значительной затраты времени на периодические выводы сверла из отверстия. Стремление приспособить для глубокого сверления конструкцию стандартного сверла не приводит к желательным результатам.

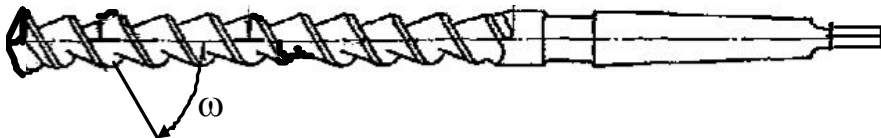


Рис.55. Шнековое сверло

При глубоком сверлении оказывается затруднительным одновременно обеспечить надежный отвод стружки из зоны резания и создать на режущей части сверла требуемые величины геометрических параметров. Поэтому более целесообразно разработать оригинальную конструкцию сверла для глубокого сверления, у которой форма винтовой канавки определяется условиями обеспечения нормального отвода стружки, а необходимые геометрические параметры режущей части создаются заточкой передних и задних поверхностей.

Примером могут служить шнековые сверла для обработки отверстий глубиной до 30 – 40 диаметров сверла (рис.55).

В отличие от стандартных шнековые сверла имеют больший угол наклона винтовых канавок  $\omega = 60^\circ$  и увеличенную толщину сердцевины, равную 0,3-0,35 диаметра сверла. Диаметр сердцевины не изменяется по длине сверла, в то время как у стандартных сверл он увеличивается при перемещении от режущей части к хвостовику. Стружечные канавки шнекового сверла имеют в осевом сечении прямолинейный треугольный профиль, с закруглением во впадине. У шнековых сверл ширина ленточки берется равной 0,5 – 0,8 ширины ленточки стандартного сверла. Увеличенный угол наклона винтовых канавок и их соответствующий профиль обеспечивают при глубоком сверлении надежное удаление стружки из зоны резания без выводов сверла из отверстия.

Требуемые величины геометрических параметров на режущей части шнекового сверла создаются подточкой передней поверхности и заточкой задней поверхности по плоскостям. При обработке чугуна геометрические

параметры следующие: передний угол  $\gamma = 12 \div 18^\circ$ , задний угол  $\alpha = 12 \div 15^\circ$ , угол при вершине сверла  $2\varphi = 120 \div 130^\circ$ . При обработке стали передний и задний углы берутся в пределах  $12\text{--}15^\circ$ , а угол при вершине -  $90^\circ$ .

### 11.1.7. Сверла для кольцевого сверления

При обработке глубоких отверстий сравнительно больших диаметров применяются сверла для кольцевого сверления (рис.56). Кольцевое сверло представляет собой полый цилиндр, на торце которого закреплены режущие зубья, число которых колеблется от трех до двенадцати.

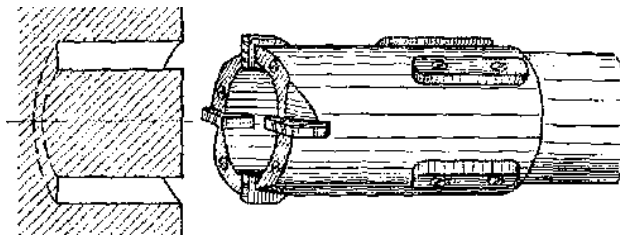


Рис.56. Сверло для кольцевого сверления

На наружной поверхности кольцевого сверла прорезаны стружечные канавки, расширяющиеся к нерабочему торцу для облегчения удаления стружки. На работу инструмента влияют стружколомы или выкружки на передней поверхности зубьев, которые обеспечивают получение дробленой стружки с эффективным ее отводом из зоны резания. Отвод стружки при кольцевом сверлении происходит во взвешенном состоянии в потоке охлаждающей жидкости, подаваемой под давлением в зону резания. Для глубокого кольцевого сверления рекомендуются следующие размеры выкружек: радиус выкружки берется в пределах  $(20 - 25)S_z$ ; высота -  $(12\text{--}16)S_z$ ; длина -  $(22\text{--}28)S_z$ , где  $S_z$  — величина подачи на зуб.

### 11.2. Зенкеры. Краткая классификация зенкеров

Зенкеры применяются для увеличения диаметров цилиндрических отверстий, с целью повышения их точности и чистоты поверхности, получения отверстий заданного профиля, а также для обработки торцовых поверхностей. По виду обработки зенкеры разделяются на следующие основные типы:

- цилиндрические зенкеры, служащие для улучшения качества отверстий и увеличения их диаметра на  $1,0\text{--}8$  мм (рис.57, а);
- цилиндрические зенкеры с направляющей цапфой, предназначенные для обработки цилиндрических углублений под головки винтов (рис.57, б);
- конические зенкеры - для обработки конических углублений под головки винтов, гнезд под клапаны, снятия фасок и т. п. (рис.57, в);
- торцовые зенкеры - для зачистки торцовых плоскостей, бобышек, приливов и т. п. (рис.57, г).

По способу крепления зенкеры делятся на хвостовые и насадные. Они могут быть цельными и сборными, изготовленными из инструментальных сталей или твердосплавными.

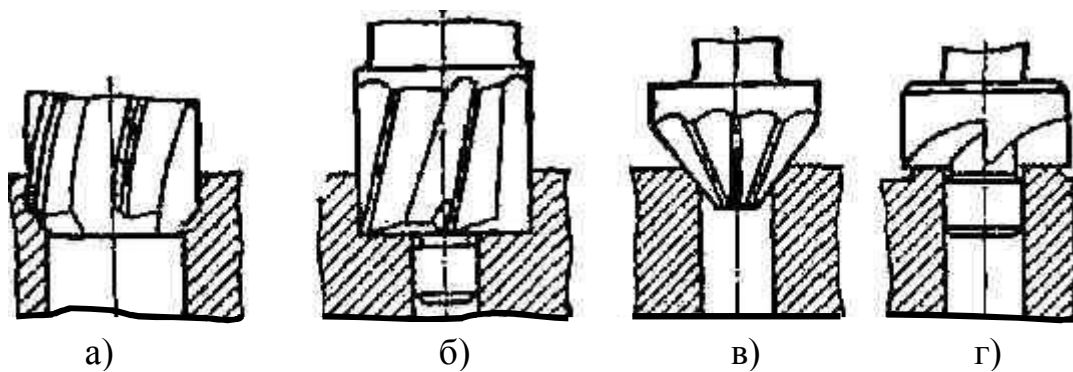
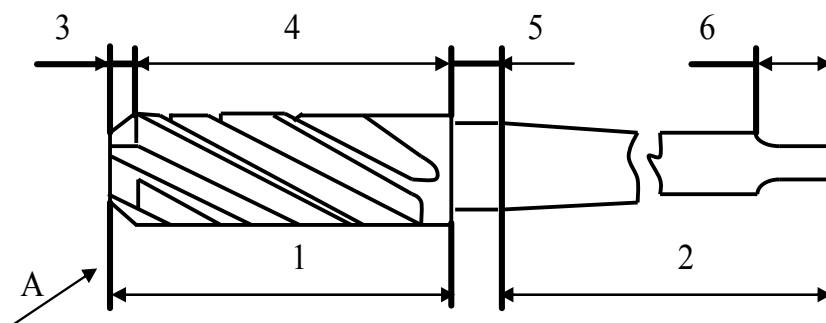


Рис.57. Типы зенкеров

### 11.2.1. Цилиндрические зенкеры

Цилиндрические зенкеры наиболее широко распространены в промышленности и предназначены для улучшения качества отверстий и увеличения их диаметра. Они позволяют получить отверстие 8-го квалитета точности и чистоту обработанной поверхности до  $0,4 Ra$  [21].



Вид А повернуто,  
увеличено

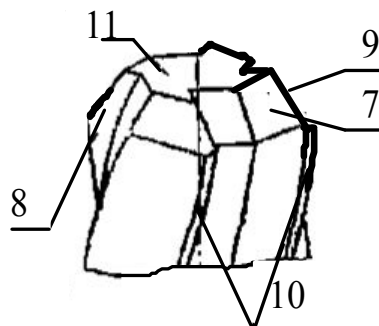
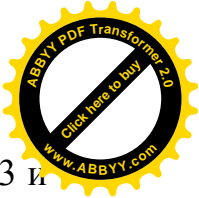
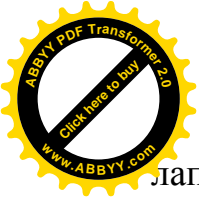


Рис.58. Конструктивные элементы цилиндрического зенкера

Хвостовой цилиндрический зенкер (рис.58) состоит из рабочей 1 и присоединительной (хвостовик) 2 частей. Назначение шейки 5, хвостовика 2 и



лапки 6 такое же, как и у сверла. Рабочая часть зенкера состоит из режущей 3 и калибрующей 4 частей. В отличие от сверла режущая часть не предназначена для получения отверстий в сплошном материале, так как главные режущие кромки 9 зенкера не доходят до оси инструмента, поэтому у зенкера отсутствует поперечная кромка, а его режущие лезвия имеют сравнительно небольшие размеры и располагаются на периферии. Как и сверла, режущие лезвия зенкера имеют заднюю 7 и переднюю 8 поверхности. В отличие от сверла цилиндрический зенкер имеет большее число режущих лезвий ( $3 \div 6$ ) и увеличенный диаметр сердцевины 11, благодаря чему повышается жесткость инструмента и, как следствие, качество обработанного отверстия. Калибрующая часть зенкера имеет ленточки 10. Калибрующая часть направляет зенкер и придает отверстию окончательные размеры и чистоту поверхности, является запасом на переточку и обеспечивает удаление стружки по канавкам из зоны резания. У зенкеров из быстрорежущей стали стружечные канавки делаются винтовыми, но, в отличие от спиральных сверл, зенкеры имеют меньший угол наклона винтовой канавки ( $\omega = 10 \div 15^\circ$ ). При обработке отверстий в чугунном и стальном литье со стороны необработанных поверхностей целесообразно применять твердосплавные зенкеры, которые имеют наклонные стружечные канавки с плоской передней поверхностью.

Хвостовик служит для крепления зенкера на станке. Он бывает конической или цилиндрической формы. Наиболее распространены зенкеры с коническим хвостовиком. Зенкеры с цилиндрическим хвостовиком находят применение под быстросменный патрон. Преимуществом этой конструкции является быстрота установки и снятия инструмента. Однако, цилиндрический хвостовик, по сравнению с коническим, дает худшее центрирование инструмента, поэтому его используют для менее ответственной обработки.

### 11.2.2. Зенкеры для цилиндрических углублений

Чтобы обеспечить соосность цилиндрического углубления с предварительно обработанным отверстием, зенкеры для цилиндрических углублений снабжаются направляющей цапфой. Она изготавливается как единое целое с зенкером (рис.59) или съемной.

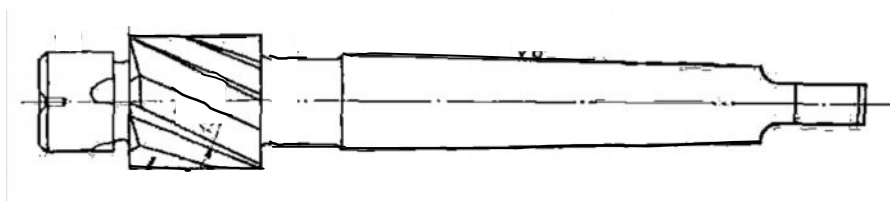


Рис.59. Зенкер для цилиндрических углублений

Зенкеры со съемной цапфой проще затачивать, так как заточка торцовых зубьев производится при снятой цапфе. У зенкеров же с цапфой, изготовленной как одно целое с корпусом, при переточках стачивается и направляющая цапфа,

в результате чего после ряда переточек зенкер становится непригодным для работы.

Съемная направляющая часть расширяет область применения зенкера, так как позволяет устанавливать цапфы разных диаметров и обрабатывать различные отверстия.

Главные режущие кромки зенкера располагаются на торце в плоскости, перпендикулярной его оси. Поэтому обеспечивается обработка цилиндрических углублений с плоским торцом.

### 11.2.3. Зенкеры для конических углублений

Зенкеры для конических углублений (рис.60) предназначены для обработки конических отверстий небольшой глубины.

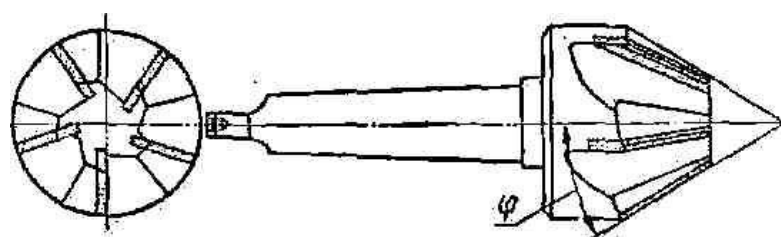


Рис.60. Зенкер для конических углублений

Они имеют прямые режущие лезвия с плоской передней поверхностью. В зависимости от размеров число режущих лезвий конического зенкера колеблется от 6 до 12. Толщина сердцевины на торце выбирается  $0,1D$ , диаметр торца  $(0,15 - 0,18)D$ , где  $D$  – диаметр зенкера, а ширина задней поверхности зуба - 0,6 - 1,2 мм.

### 11.2.4. Торцовые зенкеры

Торцовый зенкер (рис.61) имеет режущие лезвия, расположенные только на торце, число которых колеблется от 4 до 6, и направляющую цапфу. Торцовые зенкеры применяются для зачистки торцовых плоскостей, бобышек, приливов и т. п. В целях облегчения работы рекомендуется на зенкерах, имеющих значительные по длине режущие кромки, делать в шахматном порядке стружкоразделительные канавки. Такие зенкеры бывают односторонние и двусторонние.

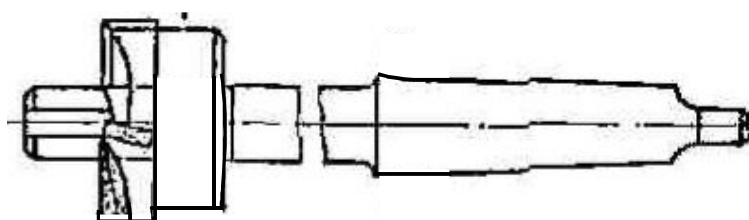


Рис.61. Торцовый зенкер

Двусторонние имеют режущие зубья на обоих торцах. Зубья торцовых зенкоров часто выполняются твердосплавными, особенно при обработке чугунных заготовок.

### 11.2.5. Насадные зенкеры

Насадные зенкеры (рис.62) имеют цилиндрическое отверстие под оправку для крепления на станке. Крутящий момент передается за счет паза на торце корпуса зенкера. Насадные зенкеры бывают цельные из быстрорежущей стали и сборные, с припаянными или закрепленными механическим путем пластинками твердого сплава. Применяются, как и цельные цилиндрические зенкеры, для обработки отверстий.

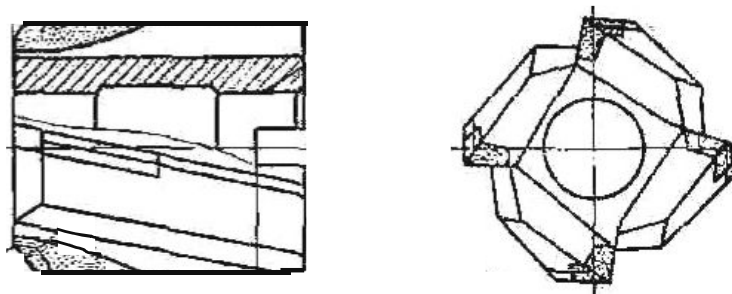


Рис.62. Насадной зенкер

### 11.3. Развертки. Краткая классификация разверток

Развертывание представляет собой процесс обработки отверстий с целью получения повышенной чистоты и точности. Развертка — это многозубый инструмент, который, подобно сверлу и зенкеру, в процессе обработки совершает вращение вокруг своей оси (главное движение) и поступательно перемещается вдоль оси, совершая движение подачи.

Развертывание позволяет получить отверстие до 5-го квалитета точности и чистоту обработанной поверхности до 0,1 Ra [21].

По способу применения различают развертки машинные и ручные. Последние применяются для развертывания отверстий вручную, а машинные используются на различных станках (сверлильных, токарных, револьверных и др.). Развертки могут быть хвостовые и насадные, цельные и сборные, постоянного диаметра и регулируемые. Развертки относительно малого диаметра изготавливаются с цилиндрическим или коническим хвостовиком, который служит для ее закрепления на станке либо в воротке с квадратным отверстием при работе вручную. Насадные развертки насаживаются на специальные оправки, которые устанавливаются в шпиндель станка.

Развертки цельные являются наиболее простыми по конструкции, но не могут регулироваться по диаметру. Поэтому находят применение разжимные и сборные развертки с быстрорежущими и твердосплавными вставными зубьями,

которые после износа и переточки могут быть отрегулированы на требуемый размер, что повышает срок их службы.

По конструкции и виду обработки развертки разделяются на следующие основные типы: цилиндрические, разжимные, конические, котельные.

### 11.3.1. Цилиндрические развертки

Цилиндрическая развертка (рис.63) состоит из рабочей части 1, шейки 2 и хвостовика 3. Назначение шейки и хвостовика у разверток такое же, как у сверл и зенкеров. Рабочая часть состоит из режущей 4 и калибрующей 5 частей. Режущая часть имеет направляющий конус 6, который служит для предохранения от повреждений и облегчения попадания развертки в отверстие.

Режущая (заборная) часть развертки представляет собой конус, на поверхности которого образованы зубья. Калибрующая часть состоит из цилиндрического участка и участка с обратной конусностью. Передние и задние поверхности зубьев развертки, как на режущей части, так и на калибрующей, выполняются плоскими.

Передний угол  $\gamma$  разверток обычно принимается равным нулю, поскольку развертка работает с малой толщиной срезаемого слоя, характер протекания процесса резания зависит главным образом не от переднего угла, а от радиуса закругления режущей кромки. У черновых разверток и разверток, предназначенных для обработки вязких материалов, передний угол  $5-10^\circ$ . Задние углы у разверток колеблются в пределах  $4-8^\circ$ . Для чистовых разверток угол  $\alpha$  выбирается меньшим, чем для черновых.

Затачивание зубьев на режущей части производится «до остра», а на калибрующей части — с оставлением цилиндрической ленточки шириной  $0,05-0,3$  мм. При обработке вязких металлов, во избежание налипания частиц металла, ширина ленточки уменьшается до  $0,05-10$  мм. Ленточка служит для направления развертки в отверстии, способствует калиброванию отверстия и облегчает контроль развертки по диаметру.

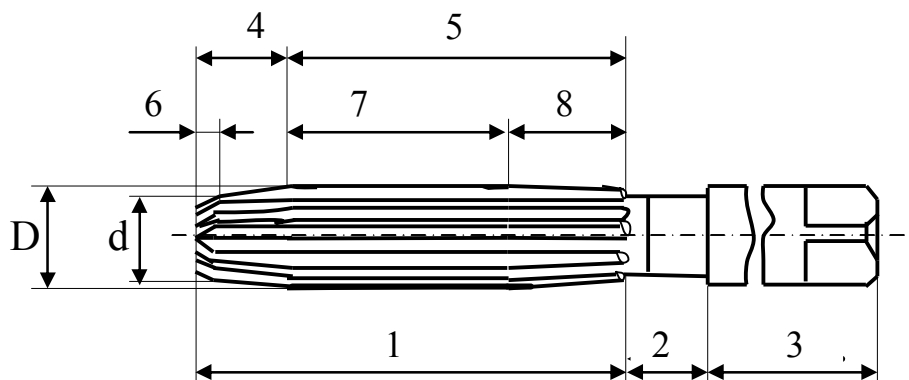
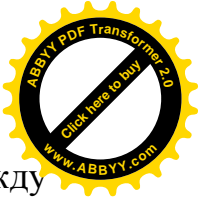


Рис.63. Конструктивные элементы цилиндрической развертки





Большое влияние на работу развертки оказывает угол в плане  $\varphi$ , между осью развертки и режущей кромкой, которая при переднем угле, равном нулю, идет по образующей конуса режущей части. С изменением угла в плане  $\varphi$  изменяются соотношение между шириной и толщиной срезаемого слоя, составляющими усилия резания, интенсивность и характер износа инструмента. С увеличением угла заборного конуса растет осевое усилие, затрудняется продвижение развертки. Поэтому у ручных разверток угол в плане принимается небольшим, что способствует также плавному входу развертки в отверстие и выходу из него. На основе экспериментальных данных для ручных разверток при обработке сквозных отверстий  $\varphi = 1 \div 2^\circ$ .

Режущая часть служит для снятия припуска на обработку. Для обеспечения входа в отверстие диаметр направляющего конуса режущей части  $d$  выполняется меньше диаметра обработанного отверстия  $D$  на 1,3–1,4 припуска на развертывание. Цилиндрические машинные развертки при работе направляются лучше ручных, поэтому длина их режущей части может быть меньшей, а угол в плане - большим. При обработке чугуна угол в плане  $\varphi = 4 \div 5^\circ$ , а при обработке стали  $\varphi = 12 \div 15^\circ$ . Для глухих отверстий как у ручных, так и у машинных разверток  $\varphi = 45 \div 60^\circ$ .

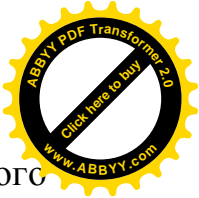
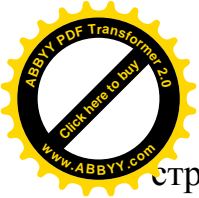
Калибрующая часть развертки служит для окончательного получения необходимого качества отверстия. Диаметр развертки в конце режущей части и на цилиндрическом участке калибрующей части 7 (рис.63) выбирается в зависимости от разбивания отверстия при обработке, допуска на изготовление отверстия и стремления обеспечить максимально возможный запас на износ развертки по диаметру. Поэтому, для того чтобы получить отверстие в пределах поля допуска, максимальный диаметр развертки принимается равным разности максимального диаметра отверстия и величины максимального разбивания. Допуск на диаметр развертки необходимо выбирать так, чтобы его обеспечение на шлифовальных и доводочных станках не представляло особых затруднений.

Диаметр в конце калибрующей части берется меньше диаметра развертки. В результате получается обратный конус 8 (рис.63). Принято считать, что обратный конус на развертках служит для уменьшения трения развертки об обработанное отверстие, облегчения вывода развертки и предохранения отверстия от разбивания.

Для ручных разверток уменьшение диаметра к хвостовику составляет 0,010–0,015 мм. Из-за столь малой величины обратного конуса цилиндрический участок у ручных разверток часто не делается, и обратный конус начинается сразу же после режущей части.

Для машинных разверток величина уменьшения диаметра калибрующей части колеблется от 0,04–0,10 мм, а длина калибрующей части выбирается равной 0,25–0,30 диаметра развертки.

Число зубьев развертки выбирается в зависимости от обрабатываемого материала, диаметра и её конструкции. С увеличением числа зубьев чистота обработки отверстий повышается, однако уменьшается поперечное сечение



стружечных канавок, и они могут оказаться недостаточными для свободного размещения и отвода стружки. При большом числе зубьев и небольшой глубине канавок перешлифовывание разверток на меньшие размеры затрудняется. Несмотря на снятие небольших слоев металла, развертки имеют относительно небольшое число зубьев. Для цельных машинных и ручных разверток диаметром 3—50 мм число зубьев выбирается в пределах от 6 до 14.

### 11.3.2. Разжимные развертки

Разжимные развертки используются при ремонте всевозможных машин (рис.64). Они позволяют в определенных пределах регулировать размер диаметра. Это дает возможность применять одну и ту же развертку при обработке отверстий различных диаметров. Рабочая часть разжимных разверток снабжена отверстием, ось которого совпадает с осью инструмента и продольными прорезями. Диаметр разверток регулируется шариком, который вставляется в коническое отверстие и поджимается регулировочным винтом. Такие развертки изготавливаются диаметром от 6 мм до 50 мм и позволяют изменять диаметр в пределах 0,15–0,50 мм.



Рис.64. Разжимная развертка

### 11.3.3. Конические развертки

Для обработки конических отверстий применяют конические развертки (рис.65). При этом отверстие, предварительно обработанное, может быть цилиндрическим или коническим. Отверстия с небольшим припуском развертываются на конус за один проход. При обработке же цилиндрических отверстий, когда требуется снимать значительный припуск, используют комплект конических разверток. Черновая развертка имеет ступени на зубьях, расположенные по винтовой линии (рис.65, а). Торцовыми кромками каждой ступени развертка срезает узкие стружки, свободно размещающиеся в канавках. Эта развертка превращает цилиндрическое отверстие в ступенчатое. Вторая развертка снимает припуск меньше, чем черновая развертка (рис.65, б). Режущие кромки промежуточной развертки снабжены стружкоразделительными канавками, которые образуются нарезанием прямоугольной резьбы на рабочей части развертки. Чистовая развертка выполняется без стружкоразделительных канавок (рис.65, в), и снимает стружку всей прямолинейной режущей кромкой, расположенной на образующей конуса.

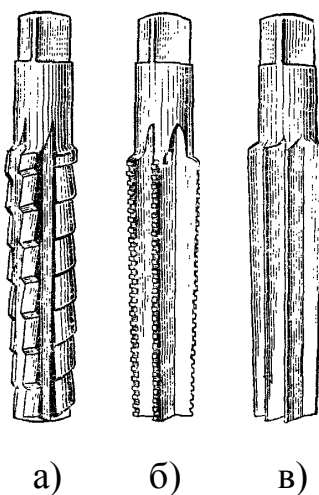


Рис.65. Конические развертки

Развертка имеет зубья с плоской передней поверхностью, совпадающей с осевой плоскостью инструмента, то есть передний угол чистовой развертки берется равным нулю.

#### 11.3.4. Котельные развертки

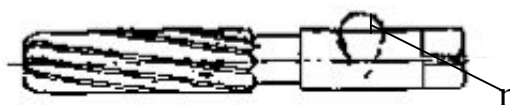


Рис.66. Котельная развертка

Для развертывания отверстий в металлических листах применяют котельные развертки (рис.66). Они имеют винтовые зубья, направление которых обратно направлению вращения. Это предупреждает самозатягивание и заедание развертки при работе.

#### 11.3.5. Насадные развертки

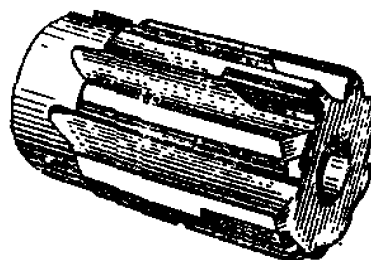
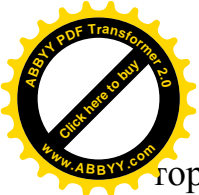


Рис.67. Сборная насадная развертка

Насадные развертки (рис.67) имеют цилиндрическое отверстие под оправку для крепления на станке. Крутящий момент передается за счет паза на



горце корпуса развертки. Насадные развертки бывают цельные из быстрорежущей стали и сборные, с припаянными или закрепленными механическим путем пластинками твердого сплава.

Для обеспечения возможности восстановления размера диаметра по мере износа применяются конструкции сборных разверток, с креплением зубьев в корпусе с помощью рифлений, винтов и т. п. Вставные зубья с рифлениями закрепляются с помощью клина. Эта конструкция допускает регулировку по диаметру перестановкой зубьев на рифлениях, с их последующим шлифованием по диаметру и заточкой. Во избежание осевого сдвига предусматриваются упорные кольца.



## Глава 12

### Фрезы

#### 12.1. Обработка фрезами

Фрезерование является распространенным видом механической обработки. Фрезерованием в большинстве случаев обрабатываются плоские или фасонные линейчатые поверхности. Фрезерование ведется многолезвийными инструментами – фрезами. Фреза представляет собой тело вращения, у которого режущие зубья расположены на цилиндрической или торцовой поверхности. В зависимости от этого фрезы соответственно называются цилиндрическими или торцовыми, а само выполняемое ими фрезерование – цилиндрическим или торцовым. Главное движение придается фрезе, движение подачи обычно придается обрабатываемой детали, но может придаваться и инструменту – фрезе. Чаще всего оно является поступательным, но может быть вращательным или сложным.

Процесс фрезерования отличается от других процессов резания тем, что каждый зуб фрезы за один ее оборот находится в работе относительно малый промежуток времени. Большую часть оборота зуб фрезы проходит, не производя резания. Это благоприятно сказывается на стойкости фрез. Другой отличительной особенностью процесса фрезерования является то, что каждый зуб фрезы срезает стружку переменной толщины.

Фрезерование может производиться двумя способами: против подачи и по подаче (рис.68). Первое фрезерование называется встречным, а второе – попутным. Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки.

Встречное фрезерование является основным. Попутное фрезерование целесообразно вести лишь при обработке заготовок без корки и при обработке материалов, склонных к сильному обработочному упрочнению, так как при фрезеровании против подачи зуб фрезы, врезаясь в материал, довольно значительный путь проходит по сильно наклепанному слою. Износ фрез в этом случае протекает излишне интенсивно.

При работе торцовыми или концевыми фрезами различают симметричное и несимметричное резание. При симметричном резании ось фрезы совпадает с плоскостью симметрии обрабатываемой поверхности, а при несимметричном – не совпадает.

Основными параметрами режима резания при фрезеровании являются глубина резания, подача, скорость резания и ширина фрезерования.

Глубиной резания  $t$  является толщина слоя металла, срезаемого за один проход. При цилиндрическом фрезеровании она соответствует длине дуги контакта фрезы с обрабатываемым изделием и измеряется в направлении, перпендикулярном оси вращения фрезы, при торцовом – в параллельном. При фрезеровании пазов концевыми фрезами ширина фрезерования равна диаметру фрезы ( $B = D$ ).

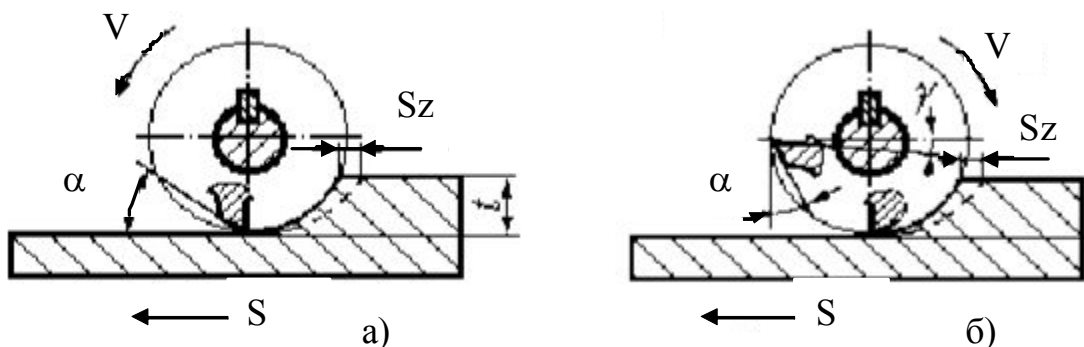


Рис.68. Виды фрезерования: а) – против подачи, б) – по подаче

Под шириной фрезерования  $V$  следует понимать ширину обрабатываемой поверхности, измеренную в направлении, параллельном оси вращения цилиндрической или концевой фрезы, а при фрезеровании торцевой фрезой – в перпендикулярном. Скоростью резания  $V$  (м/мин) является окружная скорость

режущих лезвий фрезы

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

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

Подачей называется перемещение обрабатываемой заготовки относительно фрезы. При фрезеровании различают три вида подач, которые связаны между собой зависимостями:

$$S_0 = S_Z \cdot z, \quad S_Z = S_0 / z, \quad S_M = S_0 \cdot n = S_Z \cdot z \cdot n,$$

где  $S_0$  – подача на оборот фрезы – величина перемещения заготовки за время одного оборота фрезы мм/об;

$S_Z$  – подача на зуб фрезы – величина перемещения заготовки за время поворота фрезы на один зуб, мм/зуб;

$S_M$  – подача в минуту (или минутная подача,) – величина перемещения заготовки в минуту, мм/мин;

$z$  – число зубьев фрезы;

$n$  – частота вращения, об/мин.

Плавность работы фрезы зависит от глубины резания, диаметра фрезы и числа зубьев. При расчете режима резания глубина резания  $t$  назначается максимально возможной по условиям жесткости технологической системы, ширина фрезерования  $V$  определяется размерами обрабатываемой поверхности. Подача на зуб  $S_Z$  выбирается по таблицам справочников в зависимости от вида и размеров применяемого инструмента, мощности станка и свойств обрабатываемого материала.

Скорость резания  $V$  (м/мин) рассчитывается с учетом величины выбранных параметров режима резания по формуле:

$$V = \frac{C_V \cdot D^s}{T^m \cdot t^X \cdot S_Z^Y \cdot B^u \cdot z^P} \cdot K_V,$$

где:  $C_V$  – безразмерный коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала;

$D$  – диаметр фрезы, мм;

$T$  – стойкость фрезы, которая назначается в зависимости от вида и размера фрезы в пределах от 60 до 400, мин;

$z$  – число зубьев фрезы;

$S_Z$  – подача на зуб, мм/зуб.

После расчета режима резания определяются главная составляющая силы резания  $P_z$  (Н), крутящий момент  $M$  (Н·м) и потребляемая на резание мощность  $N$  (кВт):

$$P_z = \frac{10C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p}{D^g \cdot n^w} \cdot K_{MP}, \quad M = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 1000},$$

$$N = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1000}.$$

Основное технологическое время  $t_0$  (мин) рассчитывается по формуле:

$$t_0 = \frac{L}{S_M}, \quad L = l_1 + l_0 + l_2.$$

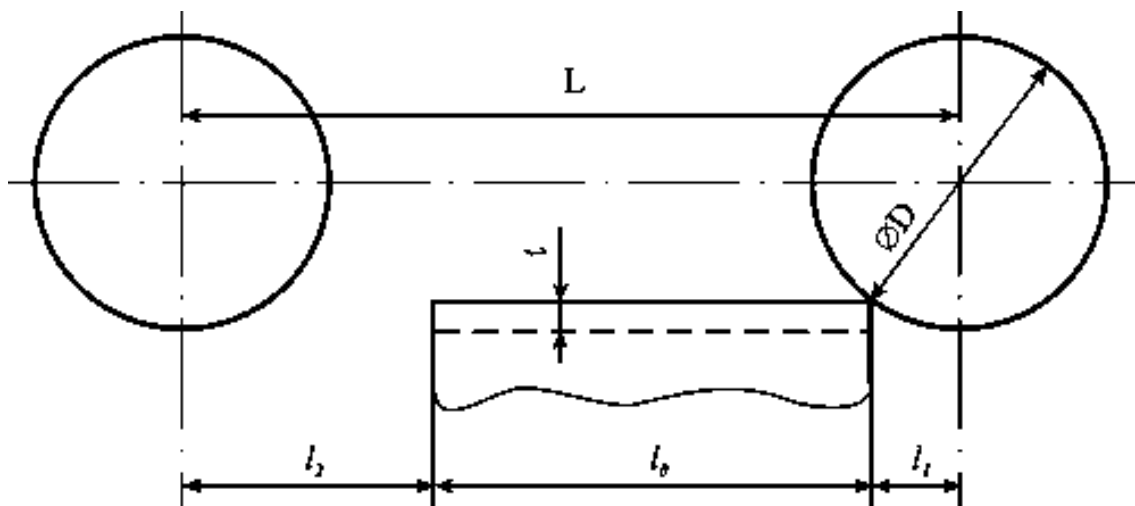


Рис.69. Схема для расчета основного технологического времени

Величина врезания  $l_1$  зависит от диаметра фрезы и глубины резания.

Из представленной на рис.69 схемы видно, что

$$\left(\frac{D}{2}\right)^2 = \left(\frac{D}{2} - t\right)^2 + l_1^2,$$

откуда

$$l_1 = \sqrt{t(D - t)}.$$

Величина перебега  $l_2$  выбирается в зависимости от размеров обрабатываемого изделия и диаметра фрезы.

## 12.2. Краткая классификация фрез

Основные типы фрез: цилиндрические; торцовые; дисковые; угловые; концевые, в том числе - угловые, шпоночные, для обработки Т-образных пазов; фасонные фрезы.

### 12.2.1. Цилиндрические фрезы

Цилиндрические фрезы (рис.70) 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.

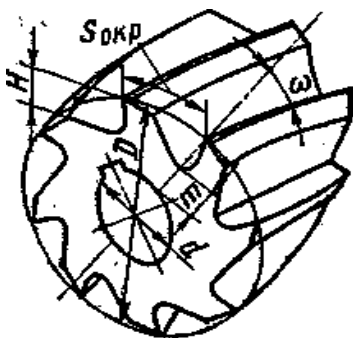


Рис.70. Конструктивные элементы цилиндрических фрез

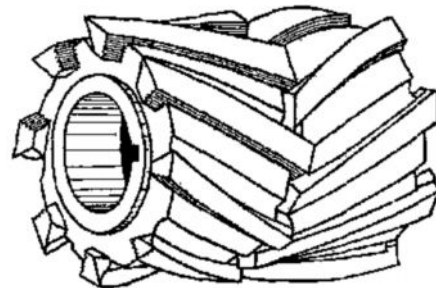


Рис.71. Цилиндрическая сдвоенная фреза

Конструктивные элементы цилиндрических фрез представлены на рис.70. К ним относятся: диаметр фрезы  $D$ , диаметр под оправку  $d$ , высота зуба  $H$ , толщина тела фрезы  $t$ , шаг зубьев  $S$  и угол наклона винтовой канавки  $\omega$ . При работе цилиндрических фрез с винтовыми зубьями возникают осевые усилия, которые при угле наклона зуба  $\omega = 30 \div 45^\circ$  достигают значительной величины. Поэтому применяют цилиндрические сдвоенные фрезы (рис.71) у которых винтовые режущие зубья имеют разное направление наклона. Это позволяет уравновесить осевые усилия, действующие на фрезы в процессе резания. 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.

### 12.2.2. Торцовые фрезы

Торцовые фрезы (рис.72) широко применяются при обработке плоскостей на вертикально-фрезерных станках. Ось их устанавливается перпендикулярно



обрабатываемой поверхности детали. В отличие от цилиндрических фрез, где все точки режущих кромок являются профилирующими и формируют обрабатываемую 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 либо 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  $45\text{--}60^\circ$ . С точки зрения стойкости фрезы его целесообразно выбирать наименьшей величины, обеспечивающей достаточную виброустойчивость процесса резания и заданную точность обработки детали.

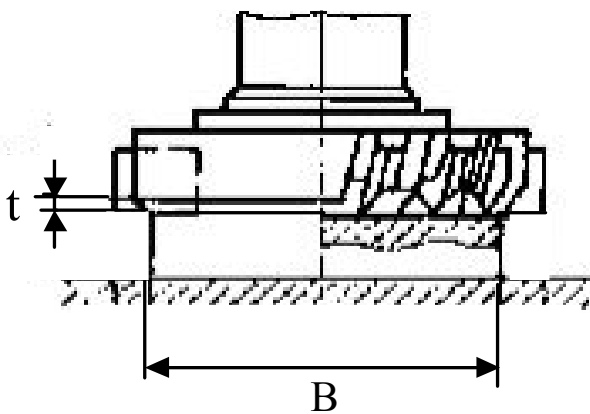


Рис.72. Фрезерование торцовыми фрезами

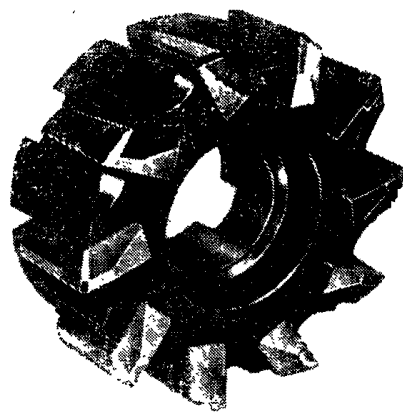


Рис.73. Торцовая фреза

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 (рис.73). Торцовое фрезерование обеспечивает более производительное, чем цилиндрическое. Поэтому большинство работ по фрезерованию плоскостей выполняется торцовыми фрезами.

### 12.2.3. Дисковые фрезы

Способы фрезерования дисковыми фрезами представлены на рис.74. Дисковые двух- и трехсторонние фрезы используются при фрезеровании пазов и канавок (рис.74, б), при необходимости их можно применять для фрезерования плоскостей, как показано на рис.74, а.

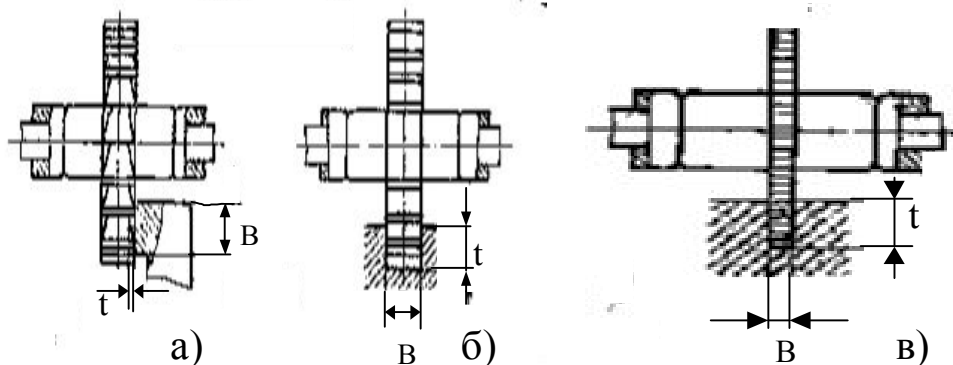


Рис.74. Фрезерование дисковыми фрезами

Односторонние дисковые фрезы имеют зубья только на цилиндрической поверхности (рис.74, в) и предназначены для обработки относительно неглубоких пазов.

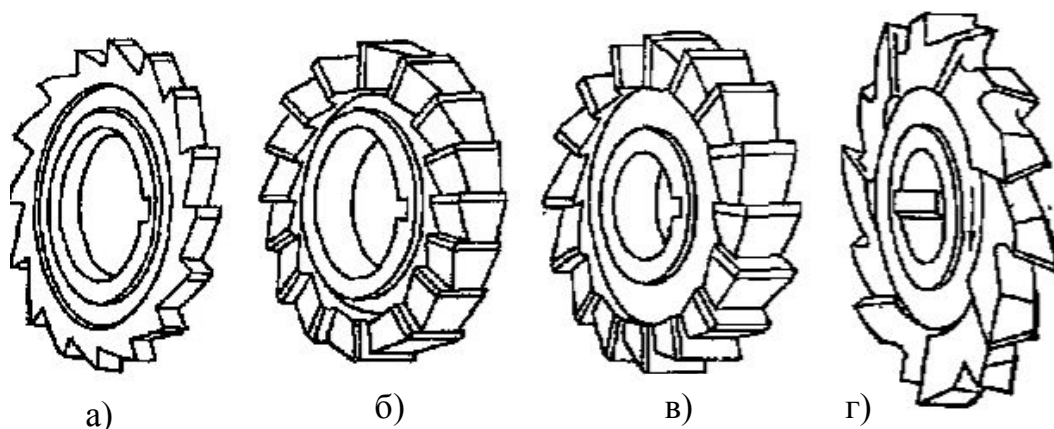


Рис.75. Дисковые фрезы для обработки пазов

Для уменьшения трения по торцам этих фрез выполняется поднутрение - вспомогательный угол в плане  $\phi_1$ , порядка  $30^\circ$ , то есть фреза делается на периферии толще, чем в центральной части у ступицы. Важным элементом односторонней дисковой фрезы является ее толщина, которая выполняется с допуском  $0,04 \div 0,05$  мм. По мере стачивания зубьев, в результате поднутрения, толщина фрезы уменьшается. Однако это не имеет практического значения, так как уменьшение невелико.

Дисковые двухсторонние (рис.75, б) и трехсторонние (рис.75, 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 (рис.75, б, в) 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.75, 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 тонкие односторонние дисковые фрезы, которые называют пилами, (рис.75, а). У таких фрез поочередно то с одного, то с другого торца затачиваются фаски под углом  $45^\circ$ . Фаска срезает обычно  $1/3-1/5$  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 срезаемого слоя, равной ширине паза, торцы стружки будут соприкасаться с боковыми сторонами прорезаемого паза, что затруднит свободное завивание и размещение стружки во впадине зуба и может привести к заклиниванию зубьев и поломке фрезы.

#### 12.2.4. Угловые фрезы

Угловые фрезы применяются для фрезерования наклонных плоскостей, угловых пазов, стружечных канавок (рис.76).

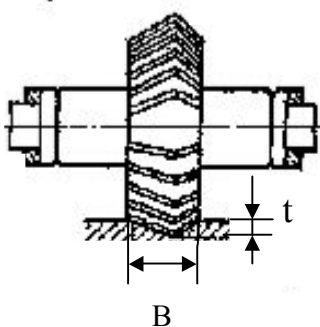


Рис.76. Фрезерование угловыми фрезами

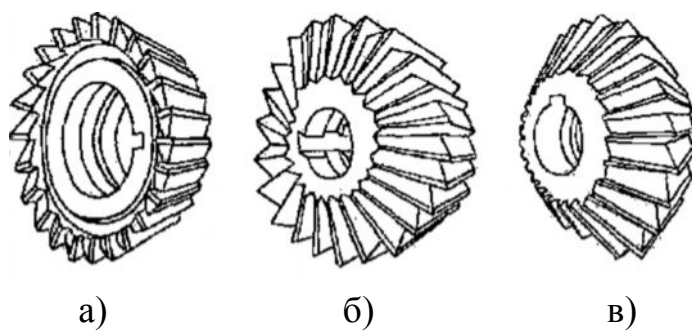
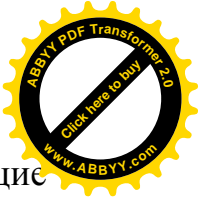
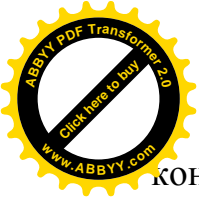


Рис.77. Угловые фрезы

Одноугловые фрезы (рис.77, а) имеют режущие кромки, расположенные на конической поверхности и торце. В процессе работы одноугловыми фрезами возникают осевые усилия резания, так как срезание металла заготовки производится в основном режущими кромками, расположенными на



конической поверхности. Двухугловые фрезы (рис.77, б) имеют режущие кромки, расположенные на двух смежных конических поверхностях. У двухугловых фрез осевые усилия, возникающие при работе двух смежных угловых кромок зуба, несколько компенсируют друг друга, а при работе симметричных двухугловых фрез (рис.77, в) они взаимно уравновешиваются. Поэтому двухугловые фрезы работают более плавно.

### 12.2.5. Концевые фрезы

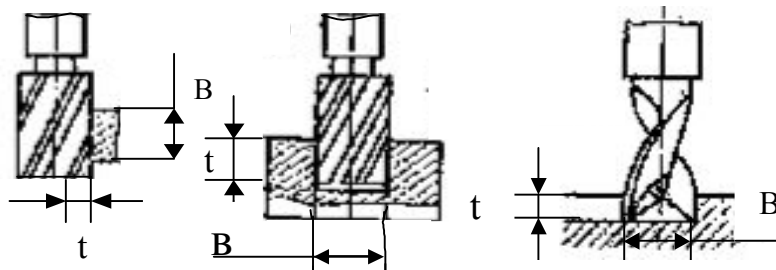


Рис.78. Фрезерование концевыми фрезами

Концевые фрезы (рис.78) применяются для обработки глубоких пазов в корпусных деталях контурных выемок, шпонок, уступов, взаимно перпендикулярных плоскостей. Концевые фрезы в шпинделе станка крепятся коническим или цилиндрическим хвостовиком. Конический хвостовик с торца фрезы имеет резьбовое отверстие для закрепления фрезы в шпинделе станка.

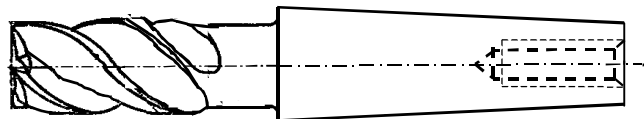


Рис.79. Концевая фреза

У концевых фрез основную работу резания выполняют главные режущие кромки, расположенные на цилиндрической поверхности (рис.79), 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) ширины канавки, так как при фрезеровании наблюдается разбивание канавки.

### 12.2.6. Шпоночные фрезы

Разновидностью концевых фрез являются шпоночные двузубые фрезы (рис.80). Подобно сверлу они 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.



Рис.80. Шпоночная фреза

### 12.2.7. Фрезы для обработки Т-образных пазов

Для обработки Т-образных пазов, часто встречающихся в станкостроении, применяют Т-образные фрезы (рис.81). 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  $\varphi_1 = 1^\circ 30' \div 2^\circ$  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.

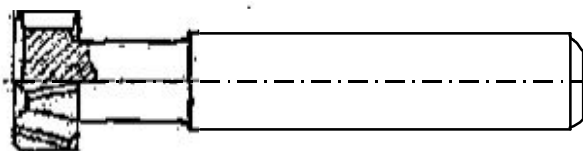


Рис.81. Фреза для обработки Т-образных пазов

### 12.2.8. Концевые угловые фрезы

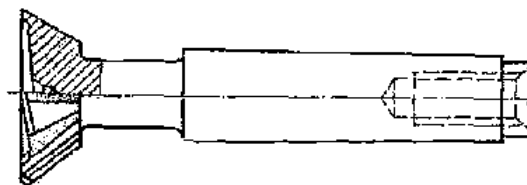


Рис. 82. Концевая угловая фреза

Угловые фрезы малых размеров изготавливаются концевыми (рис.82), с цилиндрическим или коническим хвостовиком. Толщина срезаемого слоя 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, будет срезаться незначительная толщина, соизмеримая 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, срезаяемого слоя их через один зуб. Необходимость уменьшения числа зубьев на малых диаметрах иногда вызывается тем, что при проектировании угловых фрез возникают затруднения в выборе числа зубьев. В зоне, расположенной ближе к центру, трудно разместить количество зубьев, равное числу зубьев на вершине фрезы. Это объясняется большой разницей в окружных шагах зубьев на наибольшем и наименьшем диаметрах фрезы. Зубья, расположенные на меньшем диаметре, получаются небольшими по высоте, что может привести к забиванию канавок стружкой. Вершину угловой фрезы необходимо закруглять во избежание быстрого износа.

### 12.2.9. Фасонные фрезы

Фасонные фрезы получили значительное распространение при обработке разнообразных фасонных поверхностей (рис.83). 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.

По конструкции зубьев разделяются на фрезы с затылованными зубьями и фрезы с остrokонечными (острозаточенными) зубьями.

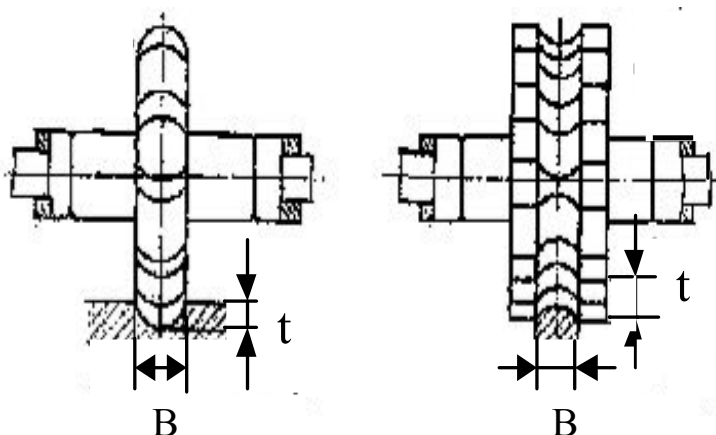


Рис. 83. Фрезерование фасонными фрезами

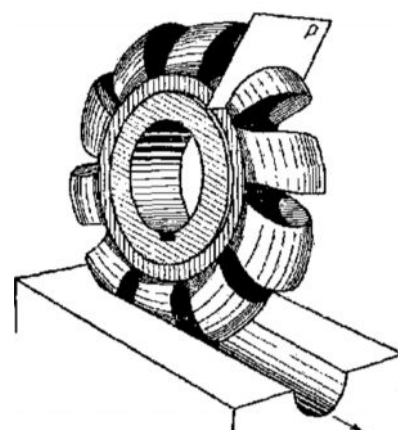
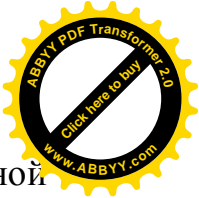
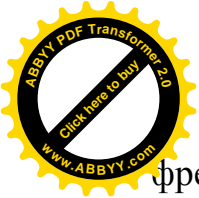


Рис.84. Фасонная затылованная фреза

Фасонные затылованные фрезы (рис.84) имеют плоскую переднюю поверхность, по которой при износе перетачиваются. Новой и переточенной



фрезой можно обрабатывать одни и те же детали, если форма фасонной режущей кромки при переточках не изменяется. Это обеспечивается за счет формы задней поверхности зуба фрезы. Задняя поверхность зуба затылованной фрезы с передним углом  $\gamma = 0$  — это совокупность фасонных режущих кромок, постоянных по форме и размещенных в радиальных плоскостях на различных расстояниях от оси фрезы. При переходе от передней поверхности новой фрезы к спинке зуба, расстояние от оси до режущей кромки уменьшают, что обеспечивает получение положительных задних углов на режущей части.

Фасонные фрезы с остроконечными зубьями, в отличие от затылованных, затачивают по задним поверхностям зубьев. Остроконечные фасонные фрезы дают более чистую поверхность, имеют повышенную стойкость по сравнению с затылованными фасонными фрезами. Однако, изготовление и переточка этих фрез требуют специальных приспособлений и копировальных устройств, обеспечивающих получение точного контура фасонных режущих кромок, как при их изготовлении, так и при переточке. Поэтому фасонные фрезы с остроконечными зубьями применяются в условиях крупносерийного и массового производства.

### 12.3. Конструктивные элементы фрез с остроконечными зубьями

Для фрез общего назначения используется остроконечная форма зуба, преимуществом которых является: высокая стойкость, в 1,5–3 раза выше стойкости фрез с затылованными зубьями; простота изготовления (за исключением фасонных фрез); повышенный класс шероховатости обработанной поверхности. Известны три формы остроконечных зубьев: трапециевидная (рис.85, а) с двойной заточкой спинки зуба (рис.85, б) и параболическая (рис.85, в). Форма зуба фрезы должна обеспечить необходимую прочность и жесткость зубьев и конструкции фрезы в целом, свободное размещение и удаление срезаемой стружки, максимально возможное количество переточек, а также препятствовать появлению трещин при термической обработке.

Для фрез с мелким зубом принята трапециевидная форма профиля (рис.46, а), угол профиля зуба  $\eta = 45 \div 50^\circ$ . Ширина фаски на вершине зуба  $f = 0,5 \div 2,0$  мм. Во избежание появления трещин при термической обработке впадина зуба закругляется радиусом  $r = 0,5 \div 2,0$  мм. Затачиваются такие фрезы по задней поверхности. Поэтому, с точки зрения числа возможных переточек, а, следовательно, и срока службы фрезы, целесообразно увеличивать высоту зуба. Но в этом случае уменьшаются прочность и жесткость зубьев. Сопоставление этих условий обеспечивает выбор оптимальной величины высоты зуба. Для рассматриваемых фрез она обычно принимается 0,5–0,65 окружного шага.

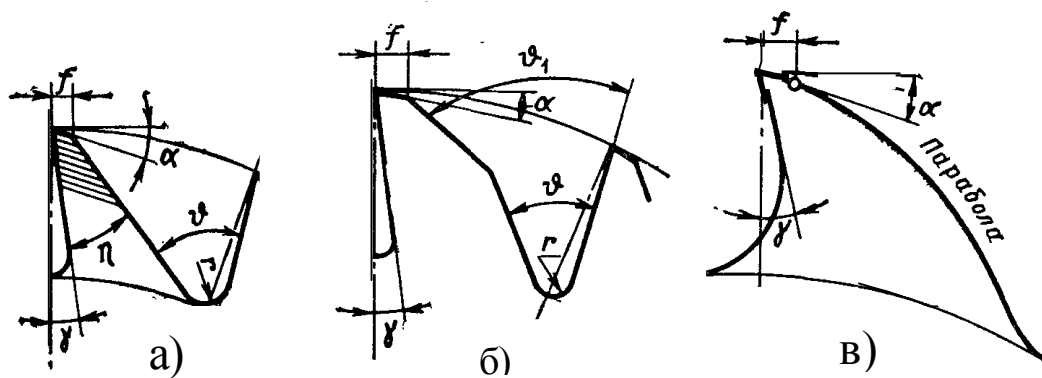


Рис.85. Формы остроконечных зубьев

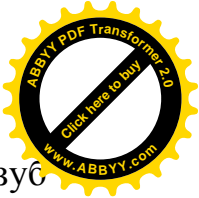
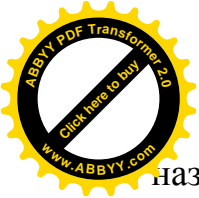
Для фрез с крупным зубом применяется усиленная форма профиля (рис.85, б). Канавка зуба фрезы обрабатывается сначала под углом  $60-65^\circ$ , а затем зуб срезается по спинке под углом, большим заднего угла на  $10-20^\circ$ , с оставлением фаски шириной  $f$ .

В третьей форме профиля зуба (рис.85, в) ломаная линия затылка зуба второго типа заменена параболой, близкой к окружности, радиусом  $0,3-0,45$  диаметра фрезы. У дна впадины зуба делается закругление радиусом  $r = (0,4 \div 0,6)H$ , где  $H$  - высота зуба, принимается  $0,3-0,45$  окружного шага. Фрезерование канавки при параболической форме зуба производится за один проход специально спроектированной фрезой. Криволинейная форма зуба обеспечивает большее пространство и лучшие условия стружкообразования. Зуб такой формы приближается к балке равного сопротивления, нагруженной усилиями резания. В результате он может выдержать большую нагрузку и позволяет применять повышенные режимы резания. Зубья рассматриваемых фрез затачиваются по задней поверхности с оставлением фаски шириной  $f$ , что позволяет обеспечивать минимальное биение зубьев.

### 12. 3.1. Цилиндрические фрезы с остроконечными зубьями

Фрезы диаметром  $60-90$  мм применяются в основном при глубине резания до  $5$  мм, диаметром  $90-110$  мм – при глубине резания до  $8$  мм, диаметром  $110-150$  мм – при глубине резания до  $12$  мм. Ширина фрезы должна быть больше ширины обрабатываемой поверхности (не менее чем на  $2-5$  мм). От диаметра фрезы зависят: отвод теплоты, толщина срезаемого слоя, число зубьев, форма зубьев и диаметр отверстия под оправку. Большой диаметр фрезы позволяет применить более жесткую оправку, лучше разместить зубья и канавки фрезы, увеличить число зубьев, а также улучшить отвод тепла и повысить подачу. Однако, при этом повышается расход материала на изготовление фрезы и количество энергии на фрезерование. Диаметр фрезы зависит от высоты зубьев, толщины тела фрезы и диаметра отверстия под оправку. Диаметр отверстия под оправку приблизительно в  $2,5-3$  раза меньше диаметра фрезы. Число зубьев фрезы зависит от их высоты. В зависимости от





назначения фрезы разделяются на крупнозубые и мелкозубые. Крупный зуб лучше отводит теплоту и более прочен, допускает большее число переточек, и впадины между зубьями имеют большую вместимость для стружки. Недостатком фрез с крупным зубом является менее плавная работа, а значит низкое качество обработанной поверхности. Поэтому они применяются при черновом фрезеровании. Фрезы с мелким зубом этих недостатков не имеют, но и не могут работать с большой толщиной срезаемого слоя, поэтому они и применяются только при чистовом фрезеровании.

Число зубьев фрез рассчитывается по формуле:

$$z = m\sqrt{D},$$

где  $m$  – коэффициент, зависящий от условий работы и конструкции фрезы. Значения коэффициента  $m$  приведены в табл.17 [1].

Таблица 17

Наименование		$\omega,^\circ$	$m$
Цельные:	крупнозубые	30	1,05
	мелкозубые	15 – 20	2
Сборные:	крупнозубые	45	0,8
	мелкозубые	20	0,9

У фрез с крупным зубом коэффициент  $m$  меньше чем у сверл с мелким зубом, а значит и меньшее число зубьев при их большей величине, а угол подъема стружечных канавок  $\omega$  больше, в связи с необходимостью отвода большего объема стружки.

### 12.3.2. Концевые фрезы с остrokонечными зубьями

Цилиндрическая часть концевых фрез работает так же, как и цилиндрические фрезы, поэтому число зубьев концевых фрез рассчитывается аналогично цилиндрическим фрезам. Концевые фрезы выпускаются двух типов: с нормальным зубом, когда число зубьев рассчитывается по формуле:

$z = \sqrt{D}$ , а угол подъема стружечных канавок  $\omega = 30^\circ$ , и с крупным зубом, когда число зубьев равно:  $z = 0,6\sqrt{D}$ , а угол  $\omega = 45^\circ$ . С целью уменьшения вибрации окружной шаг от зуба к зубу у концевых фрез переменный, например, у фрез с тремя зубьями углы между зубьями следующие –  $110^\circ$ ,  $123^\circ$ ,  $127^\circ$ , а не  $120^\circ$ . Концевые фрезы с цилиндрическим хвостовиком имеют диаметр  $D = 3 \div 20$  мм и длину  $\ell = 2 \div 45$  мм. Концевые фрезы с коническим хвостовиком имеют диаметр  $D = 14 \div 50$  мм и длину  $\ell = 32 \div 70$  мм.



## Глава 13

### Протяжки

#### 13.1. Обработка протяжками

Протягивание применяется как окончательный вид обработки деталей, обеспечивающий высокую точность размеров и качество обработанных поверхностей. Метод высоко производительный, поскольку полная обработка изделия производится за один проход инструмента. Применяется в крупносерийном и массовом производстве. Инструментами служат протяжки и прошивки. Протяжки протягиваются через обрабатываемое изделие, а прошивки продавливаются (прошиваются) через него.

Главным движением резания является движение протяжки (рис.86), а скорость его — скоростью резания. Движение подачи отсутствует. Срезание припуска обеспечивается увеличением размера (подъемом) зубьев: каждый последующий зуб выше предыдущего на величину подачи  $S_z$ . Глубиной резания при протягивании является ширина обрабатываемой поверхности или периметр обрабатываемого отверстия.

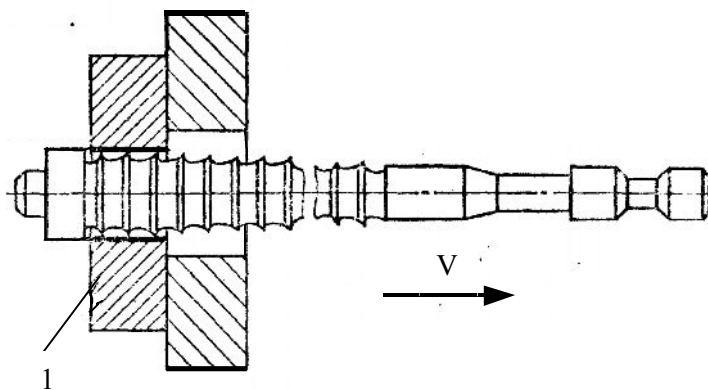


Рис.86. Обработка отверстия протяжкой круглого сечения: 1 – обрабатываемая деталь

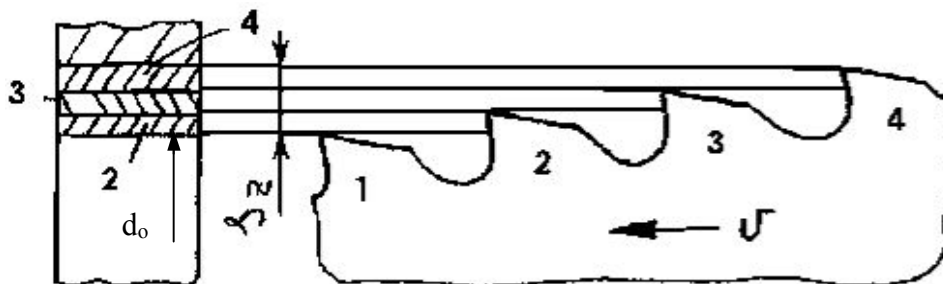


Рис.87. Схема срезания припуска при протягивании

Срезание припуска производится последовательно (послойно) режущими зубьями протяжки (рис.87). Первый зуб не срезает припуск, так как его размер равен первоначальному размеру протягиваемого отверстия  $d_0$ . Второй зуб срезает слой припуска, расположенный против второго зуба, обозначенного цифрой 2. Третий зуб срезает слой 3 и т.д. Последние зубья протяжки имеют одинаковый размер и потому срезания припуска не производят, а лишь зачищают поверхность и калибруют ее. Эти зубья называются калибрующими.

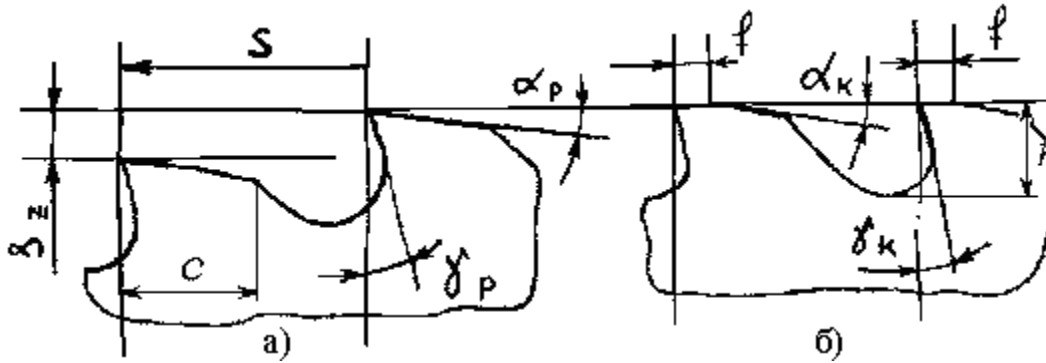


Рис.88. Профиль: а) режущих и б) калибрующих зубьев протяжки

В отличие от режущих (рис.88, а) калибрующие зубья имеют на задней поверхности фаску  $f$  с нулевым задним углом (рис.88, б). Задний угол режущих зубьев делается  $3-4^\circ$ , а калибрующих -  $1^\circ$ . Величина переднего угла и у режущих, и у калибрующих зубьев назначается в зависимости от свойств обрабатываемого материала в пределах  $10-15$  градусов. Размеры зубьев протяжки зависят от длины протягиваемого отверстия  $l_0$ . Шаг равен  $S = 1,25 \div 1,75 \sqrt{l_0}$ , высота зуба -  $h = (0,35 \div 0,5)S$ , ширина зуба равна  $C = 0,25S$ .

Число режущих зубьев определяется как частное от деления величины припуска на подъем зуба  $S_z$ . Так, при протягивании круглого отверстия припуск  $A$ , мм, равен половине разности диаметров до и после протягивания

$$A = \frac{D - d_0}{2},$$

тогда число режущих зубьев  $Z_p$  равно

$$Z_p = \frac{A}{S_z} + 1,$$

где  $S_z$  – подача на зуб (подъем зуба), мм/зуб.

В этой расчетной формуле добавлена единица, так как первый режущий зуб припуск не срезает, его размер сделан равным размеру отверстия под протягивание, на случай отклонения этого размера.

В процессе резания вся образующаяся стружка размещается во впадинах между зубьями и никуда не отводится. Поэтому производится проверка протяжки на заполнение впадины. Активная площадь продольного сечения впадины  $F_{\text{АКТ}}$  равна площади вписанного в нее круга и должна быть больше

площади продольного сечения стружки  $F_{СТР}$  в 2,5–4,5 раза. Отношение этих площадей называется коэффициентом заполнения впадины  $k$ .

$$k = \frac{F_{АКТ}}{F_{СТР}}, \quad F_{АКТ} = \frac{\pi h^2}{4}, \quad F_{СТР} = S_Z l_o, \quad k = \frac{\pi h^2}{4S_Z l_o}, \quad k > 2,5 \div 4,5.$$

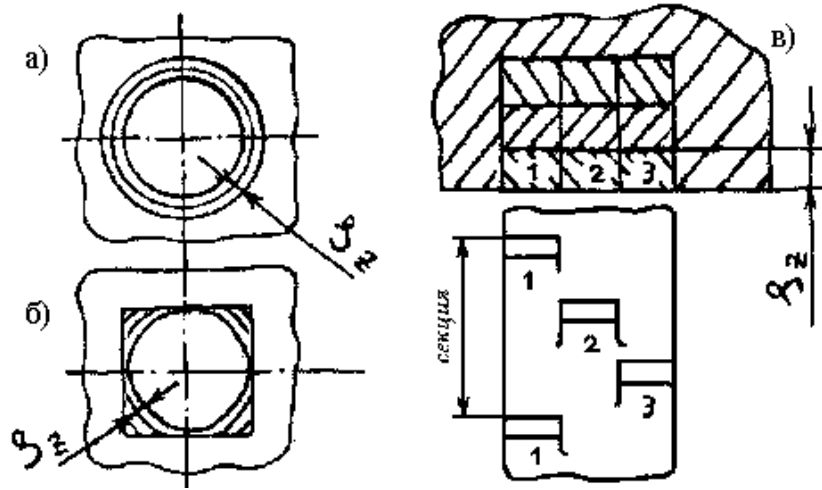


Рис.89. Схемы резания при протягивании: а) профильная, б) генераторная, в) прогрессивная

Последовательность срезания припуска определяется конструкцией протяжки и схемой резания. Различают три схемы резания: профильную, генераторную и прогрессивную.

Профильная схема резания предусматривает последовательное срезание припуска зубьями, профиль которых подобен профилю обрабатываемой поверхности (рис.89, а).

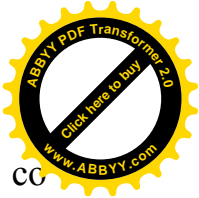
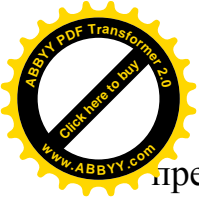
Генераторная схема характеризуется тем, что каждый зуб не повторяет, а формирует (генерирует) профиль обрабатываемой поверхности (рис.89, б).

Прогрессивная схема резания заключается в разделении ширины срезаемого слоя между несколькими зубьями одной секции (рис.89, в). Высота зубьев одной секции одинакова. Подача на зуб здесь значительно увеличивается. Таким образом, создаются более выгодные условия резания - режущие кромки зубьев проходят в объеме основного, неупрочненного слоя обрабатываемого материала и меньше изнашиваются.

Расчет режима резания при протягивании производится обычным порядком, но глубина резания не выбирается и не назначается, так как она определяется размерами и формой обрабатываемой поверхности. Подача выбирается из таблиц справочников в зависимости от свойств обрабатываемого материала в пределах от 0,01 до 0,3 мм. Скорость  $V$  резания выбирается в справочной литературе или рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{C_V}{T^m \cdot S_Z^Y}, \quad [V] = \text{м/мин.}$$

Стойкость протяжек назначается в пределах 100–500 мин. Обычно скорость при протягивании быстрорежущими протяжками находится в



пределах от 2 до 10 м/мин., твердосплавные протяжки могут работать со скоростью резания до 20 м/мин.

Сила резания при протягивании рассчитывается по величине длины одновременно работающих режущих кромок зубьев протяжки

$$P_Z = P \cdot \Sigma B, \quad P_Z = P \cdot p \cdot Z_{O.P.},$$

где  $P$  – сила резания, приходящаяся на 1мм длины режущего лезвия зуба протяжки;

$B$  – общая длина режущих кромок;

$p$  – периметр обрабатываемой поверхности;

$Z_{O.P.}$  – число одновременно работающих зубьев,  $Z_{O.P.} = \frac{\ell_0}{S_Z}$ .

После определения силы резания производится выбор станка и проверка принятой скорости резания  $V_n$  по мощности двигателя станка

$$V_{\max} = \frac{60000 \cdot N \cdot \eta}{P_Z} \leq V_n,$$

где  $N$  – мощность двигателя станка, кВт;

$\eta$  – к.п.д. станка, ( $\eta = 0,75 \div 0,9$ ).

Основное технологическое время рассчитывается по формуле:

$$t_0 = \frac{L}{1000 \cdot V} \cdot k, \quad [t_0] - \text{мин.}$$

где  $L$  – длина рабочего хода протяжки;

$k$  – коэффициент, учитывающий время обратного хода протяжки, ( $k=1,2 \div 1,5$ ).

Протягивание является одним из наиболее производительных видов обработки металлов резанием. Высокая производительность при протягивании объясняется большой суммарной длиной режущих кромок, одновременно участвующих в срезании металла. Протягивание позволяет получить обработанные поверхности с высокой степенью точности и чистоты. Внутренние протяжки предназначались сначала для обработки цилиндрических и фасонных отверстий. Сейчас протягивание стало применяться и для обработки наружных поверхностей. Вначале с помощью протягивания обрабатывали только плоские поверхности, а затем, по мере развития и усовершенствования методов наружного протягивания, стали обрабатывать поверхности, имеющие сложную конфигурацию. Протяжки являются сложным и дорогостоящим специальным инструментом, изготавливаемым для обработки определенных деталей. Поэтому экономическая эффективность от их применения в полной мере выявляется лишь при массовом и серийном характере производства изделий. Однако на предприятиях с единичным и мелкосерийным выпуском изделий протяжки могут дать весьма значительный экономический эффект, если формы обрабатываемых поверхностей и их размеры нормализованы. Методы протягивания и протяжной инструмент непрерывно совершенствуются. В настоящее время в промышленности применяется несколько схем протягивания. Наиболее простой является схема

протягивания, при которой осуществляется возвратно-поступательное относительное движение инструмента заготовки. Эта схема используется при обработке как внутренних, так и наружных поверхностей на универсальных протяжных станках.

## 13.2. Краткая классификация протяжек

Существует два вида протяжек: для внутреннего протягивания и для наружного протягивания. Протяжки для внутреннего протягивания подразделяются на: цилиндрические, для обработки отверстий различного профиля (круглые, квадратные, многогранные); шлицевые; шпоночные. Протяжки для внешнего протягивания применяются для обработки плоскостей, пазов, сложных фасонных профилей и т.п.

### 13.2.1. Протяжки для обработки отверстий

Для обработки отверстий применяется цилиндрическая протяжка, имеющая форму стержня с поперечным сечением, соответствующим поперечному сечению обработанной детали. На наружной (рабочей) поверхности исходного стержня создаются режущие зубья, диаметральные размеры которых увеличиваются к концу протяжки. При поступательном движении протяжки относительно детали за счет постепенного увеличения диаметральных размеров зубьев происходит срезание металла. Последние профилирующие зубья протяжки имеют режущие кромки, расположенные на поверхности исходного стержня, что и обеспечивает формирование заданной поверхности детали.

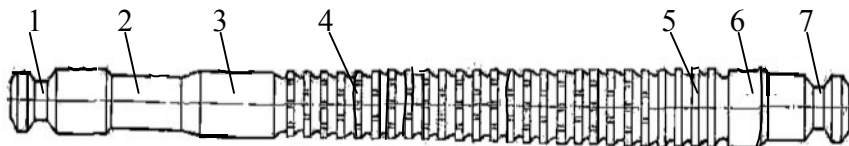


Рис.90. Конструктивные элементы цилиндрической протяжки

Протяжки для обработки отверстий имеют следующие конструктивные элементы (рис.90): хвостовик 1, шейку 2, переходный конус, переднюю направляющую часть 3, режущую часть 4, калибрующую часть 5, заднюю направляющую часть 6, опорную цапфу и задний хвостовик 7.

Протягивание отверстий производится в следующей последовательности: заготовка с предварительно просверленным отверстием насаживается на переднюю направляющую часть протяжки, которая своим хвостовиком присоединяется к тяговому патрону станка. В процессе рабочего хода протяжка протягивается кареткой станка сквозь отверстие в заготовке, которая при этом

упирается в опорную плоскость станка или приспособления и удерживается на ней силой трения. Когда протяжка пройдет сквозь отверстие в заготовке, обработанная деталь падает в корыто станка либо рабочий снимает ее со стола. Затем дается обратный ход, отсоединяется протяжка от тягового патрона, очищается от стружки, после чего весь цикл работы повторяется.

При обработке отверстий на вертикальном станке со вспомогательным верхним цилиндром после протягивания очередной заготовки протяжка своим задним хвостовиком автоматически присоединяется к вспомогательному патрону, отсоединяется от тягового патрона и поднимается в исходное положение для обработки новой заготовки. Затем рабочий устанавливает на столе станка обрабатываемую деталь, и после включения рабочего хода протяжка при помощи верхнего вспомогательного цилиндра вводится в предварительно обработанное отверстие, захватывается тяговым патроном и протягивается сквозь заготовку, после чего цикл повторяется. В этом случае производят только смену обрабатываемой заготовки и очищают протяжку от стружки, если она не смывается струей смазывающе-охлаждающей жидкости. По аналогичному полуавтоматическому циклу работают и некоторые горизонтально-протяжные станки.

Хвостовик воспринимает усилие протягивания и служит для закрепления протяжки в патроне протяжного станка. Он может иметь различную форму. Широко применяется цилиндрический хвостовик, имеющий круговую выточку, куда заходят кулачки быстродействующего патрона для закрепления протяжки. Достоинством такой формы хвостовика являются простота изготовления, достаточно высокая прочность, быстрота закрепления и раскрепления инструмента. Размеры хвостовика выбираются по стандарту в соответствии с имеющимся на станке патроном. Для свободного насаживания заготовки на протяжку, диаметр патрона должен быть не менее чем на 0,5 мм меньше диаметра предварительно обработанного отверстия. Длина хвостовика принимается в соответствии с размерами патрона - от пяти диаметров у малых, до двух — у больших протяжек, чтобы обеспечить надежное положение хвостовика в патроне и избежать чрезмерного провисания инструмента.

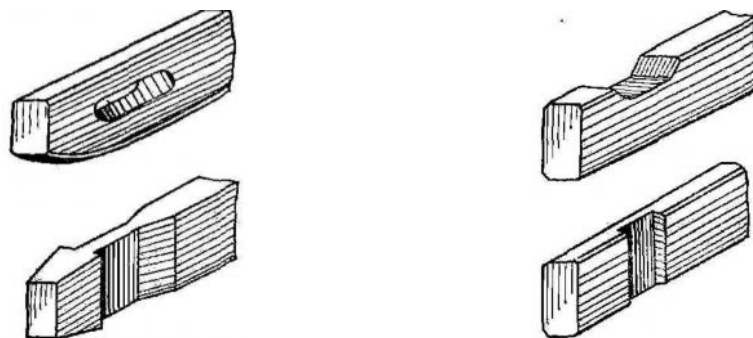
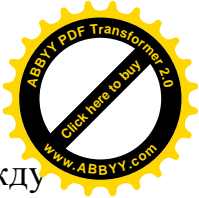


Рис.91. Хвостовики внутренних протяжек некруглого сечения

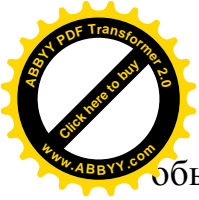
Для крепления протяжек с поперечным сечением некруглой формы, например, шпоночных применяют призматические хвостовики (рис.91).



Шейка и переходный конус составляют связующее звено между хвостовиком и направляющей частью. Диаметр шейки берется равным или на 0,3—1 мм меньше диаметра хвостовика. Длина шейки выбирается с таким расчетом, чтобы обеспечить необходимую длину протяжки до первого режущего зуба и возможность присоединения протяжки к патрону протяжного станка. Переходный конус длиной 10—25 мм делается для более легкого ввода передней направляющей части в протягиваемое отверстие. Передняя направляющая часть является как бы калибром для размеров предварительного отверстия, служит для установки заготовки на протяжке перед обработкой и обеспечения перехода ее на режущую часть без перекосов. Форма передней направляющей части соответствует форме протягиваемого отверстия заготовки. Диаметр направляющей части принимается равным наименьшему диаметру предварительного отверстия, а длина — длине протягиваемого отверстия. Более короткая передняя направляющая часть может не обеспечить надежного центрирования. Режущая часть является основной частью протяжки, срезающей металл заготовки. Она представляет собой совокупность режущих зубьев различных размеров. Количество режущих зубьев зависит: от величины припуска под протягивание, от размеров и формы обрабатываемой детали, от выбранной схемы резания и принятого подъема на зуб, от толщины срезаемого слоя и т. п. Режущая часть протяжки представляет собой цилиндрический стержень, сопряженный с поверхностью детали и превращенный в инструмент путем образования на его периферии режущих зубьев. Диаметр этого стержня выбирается с учетом разбивания отверстия при протягивании. Его максимальный размер равен разности максимального диаметра протянутого отверстия и максимальной величины разбивания, которая зависит от качества изготовления протяжки и предварительного отверстия, размеров детали и инструмента, материала заготовки, состава смазочно-охлаждающей жидкости, несоосности предварительного отверстия и протяжки. Величина разбивания определяется экспериментально. На основании производственного опыта и исследовательских работ величину разбивания ориентировочно принимают равной 0,005—0,01 мм для протяжек длиной до 700—800 мм. У протяжек с большей длиной величина разбивания достигает 0,01—0,015 мм.

Режущие зубья протяжки образуются путем прорезания на исходном стержне поперечных стружечных канавок, т. е. образования передней поверхности и пространства для размещения образующейся при резании стружки и создания задних поверхностей, обеспечивающих положительные задние углы на режущих кромках. При конструировании круглых протяжек можно принять плоскую переднюю поверхность и расположить ее перпендикулярно оси протяжки. В этом случае режущая кромка зуба будет окружностью пересечения наружной поверхности исходного стержня и передней плоскости. Во всех точках режущей кромки такой протяжки передние углы будут равны нулю, что зачастую не целесообразно. Чтобы создать положительные передние углы во всех точках рассматриваемой режущей кромки, принимают коническую форму передней поверхности, ось которой совмещается с осью протяжки. Величина переднего угла  $\gamma$  выбирается, как





Обычно, в зависимости от свойств обрабатываемого материала и материала инструмента. У протяжек из быстрорежущей стали величины передних углов колеблются от 5 до 25 °, а у протяжек, оснащенных твердым сплавом, — от 0 до 10 °. Задняя поверхность зубьев круглой протяжки выполняется также в форме конической поверхности и таким образом создаются положительные задние углы во всех точках режущих кромок. Задние углы  $\alpha$  внутренних протяжек имеют обычно небольшую величину, порядка 2—4 °. При выборе величин задних углов необходимо сохранить диаметральные размеры протяжки в течение возможно длительного времени. Протяжки перетачиваются по передней поверхности. При переточках уменьшаются диаметральные размеры инструмента тем быстрее, чем больше ее задний угол. Это обстоятельство и заставляет выбирать при конструировании протяжек относительно малые величины задних углов.

Чтобы распределить работу резания на все режущие зубья, диаметры их выполняются различными. Диаметр первого зуба принимается равным наименьшему диаметру предварительного отверстия. Диаметр каждого последующего зуба увеличивается на определенную величину  $\tau$ , которая равна удвоенной толщине срезаемого слоя  $\tau = 2\alpha$ . Только диаметр последнего режущего зуба выполняется равным диаметру исходного стержня.

Толщина срезаемого слоя  $\alpha$ , равная подъему на зуб, оказывает большое влияние на процесс протягивания. Чем больше будет она, тем короче будет протяжка, тем меньше ее стоимость и выше производительность протягивания. Вместе с тем, при увеличении толщины срезаемого слоя возрастают усилия резания, что может привести к разрыву протяжки, ухудшается чистота обработанной поверхности, повышается интенсивность износа инструмента. Однако, при очень малой толщине срезаемого слоя, радиус округления режущей кромки становится соизмеримым с толщиной срезаемого слоя и отдельные зубья протяжки вместо резания производят вдавливание материала заготовки. Это приводит к возрастанию усилий резания, интенсивности износа, неравномерной загрузке режущих зубьев, ухудшению качества протянутой поверхности. Поэтому брать толщину срезаемого слоя меньше 0,015 мм не следует. Для рассматриваемых цилиндрических протяжек ориентировочные значения толщины срезаемого слоя  $\alpha$  при обработке стали равны 0,02–0,04 мм; чугуна - 0,03–0,1 мм; алюминия - 0,02–0,05 мм; бронзы и латуни - 0,05–0,12 мм. Толщина срезаемого слоя оказывает существенное влияние на процесс завивания стружки и ее размещение во впадине зуба.

При большой толщине срезаемого слоя жесткость стружки мешает ей завиваться во впадине зуба, стружка упирается в дно впадины, что может привести к заклиниванию стружки и поломке протяжки.

По опытным данным, предельные значения толщины срезаемого слоя (из условий правильного завивания стружки) при обработке сталей средней твердости колеблются от 0,05 до 0,35 мм и зависят от глубины впадины и ширины срезаемого слоя. С увеличением глубины впадины и уменьшением

ширины срезаемого слоя предельная величина толщины срезаемого слоя возрастает.

У рассматриваемых протяжек толщина срезаемого слоя или подъем зубьев режущей части принимается постоянной, за исключением нескольких последних зачищающих (чистовых) зубьев, на которых подъем на зуб постепенно уменьшается до 0,025–0,015 мм. Чистовые зубья необходимы для обеспечения плавного падения усилий резания в конце протягивания и получения требуемой чистоты обработанной поверхности, их число колеблется от 2 до 5. Оно должно быть тем больше, чем больше подъем на зуб и выше требования к чистоте протянутой поверхности.

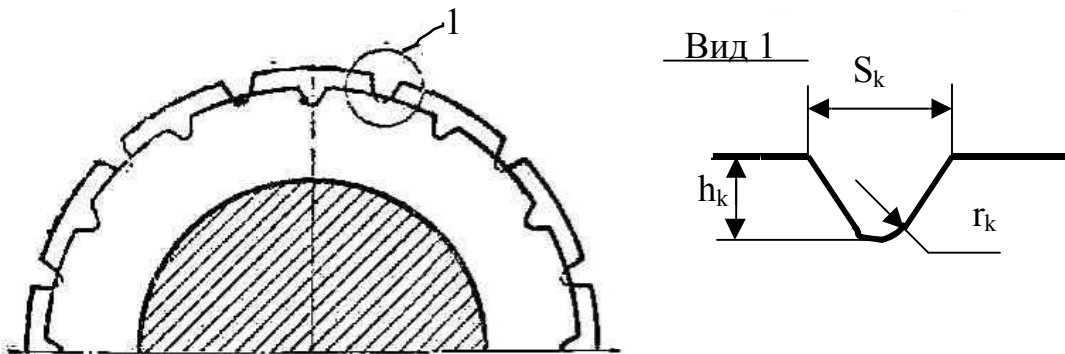


Рис.92. Стружкоразделительные канавки

Для разделения стружки на отдельные узкие участки, при протягивании стали и других пластичных металлов, на режущих зубьях в шахматном порядке выполняются стружкоразделительные канавки (рис.92). Расстояние между канавками выбирается в пределах 3–10 мм. Оно равно ширине срезаемого слоя, который оказывает заметное влияние на условия формирования и размещения стружки во впадине зуба. Широкая стружка сворачивается в валик труднее, чем узкая, особенно при криволинейной форме кромки. При слишком широких стружках процесс резания затруднен и могут наблюдаться поломки инструмента.

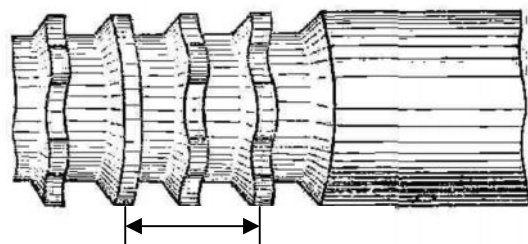
Стружкоразделительные канавки необходимы также для обеспечения легкого удаления стружки после протягивания очередной детали. Если режущие зубья не будут иметь стружкоразделительных канавок, то при обработке металлов, дающих сливную стружку, в канавках будут образовываться кольца стружки, удалять которые после протягивания каждой детали будет чрезвычайно трудно. Глубина стружкоразделительных канавок  $h_k = (0,4 \div 1)$  мм, а их ширина  $S_k = (0,6 \div 1,2)$  мм. Радиус закругления дна канавки  $r_k = (0,2 \div 0,5)$  мм.

Калибрующая часть протяжки служит для заглаживания и окончательного формирования обработанной поверхности. Кроме того, калибрующие зубья по мере переточек восполняют режущие. При переточке первый калибрующий зуб становится последним режущим. Калибрующая часть

представляет собой совокупность ряда зубьев постоянного диаметра, равного диаметру последнего режущего зуба, т. е. диаметру исходного стержня. Количество калибрующих зубьев должно быть таким, чтобы обеспечить требуемое число переточек протяжки. Поэтому для протяжек, обрабатывающих точные отверстия, число калибрующих зубьев следует принимать больше, чем при протягивании отверстий с относительно грубыми допусками. Число калибрующих зубьев протяжек выбирается в пределах от 4 до 8. Шаг калибрующих зубьев составляет 0,6-1,0 шага режущих зубьев. Укороченные шаги калибрующих зубьев способствуют устойчивому направлению протяжки и тем самым обеспечивают получение правильной формы и высокой точности размеров отверстия. Соотношения размеров профиля калибрующих зубьев сохраняются такими же, как и у режущих зубьев. На калибрующих зубьях оставляется цилиндрическая ленточка с нулевым задним углом шириной  $f = 0,2$  мм. Задний угол на этих зубьях выполняется небольшой величины  $0,5-2^\circ$ , что оправдывается необходимостью обеспечить медленное уменьшение поперечных размеров калибрующей части при переточках и получить качественные отверстия на протяжении всего периода эксплуатации инструмента. Калибрующие зубья не имеют стружкоразделительных канавок.

Помимо схемы одинарного резания, при которой каждый последующий режущий зуб имеет подъем (подачу на зуб  $S_z$ ), по сравнению с предыдущим, существует схема группового резания, применяемая для протяжек переменного резания.

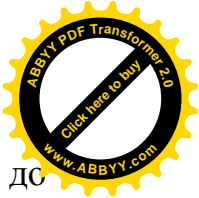
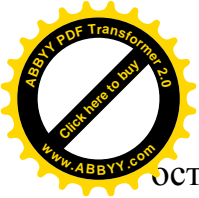
При групповой схеме резания, режущие зубья работают группами и срезают слой заданной толщины за счет удлинения режущей кромки последующего зуба по сравнению с предыдущим. В каждой секции протяжки переменного резания режущие зубья, равные по диаметру, имеют на задней поверхности выкружки, расположенные в шахматном порядке (рис.93). Ширина выкружки с учетом толщины стружки равна 8-12 мм.



Секция из трех зубьев

Рис.93. Протяжка переменного резания

Стружка имеет приблизительно прямоугольное сечение без ребра жесткости. Это обеспечивает улучшение условий завивания стружки и более плотное ее размещение в канавках. Последний зачищающий зуб каждой секции выполняется без выкружек. Во избежание снятия этим зубом замкнутой кольцевой стружки его диаметр выполняется на  $0,03-0,05$  мм меньше диаметра



Остальных зубьев секции. Число зубьев в секции колеблется обычно от двух до пяти. Вместо выкружек, образование отдельных участков режущих кромок может производиться менее глубокими прямолинейными лысками. В этом случае каждый режущий зуб протяжки напоминает многогранник. Протяжки с лысками проще в изготовлении, так как они могут шлифоваться на проход. Однако, у протяжек с лысками удлиняется вспомогательная кромка, в результате увеличивается ширина стружки и уменьшается ее толщина, что снижает эффект групповой схемы резания. Благоприятная геометрия режущей части зубьев протяжек переменного резания дает возможность увеличить подъемы на секцию зубьев при обработке сталей до 0,3-0,4 мм, а при обработке чугуна — до 1,0-1,2 мм.

Для обеспечения высокой степени чистоты обработанной поверхности режущая часть заканчивается чистовыми зубьями с малым подъемом на каждый зуб. Протяжки переменного резания способствуют значительному повышению экономичности процесса и стойкости инструмента.

Цилиндрические протяжки изготавливаются, как правило, из быстрорежущей стали. С целью ее экономии протяжки имеют приваренный хвостовик из конструкционной стали.

### 13.2.2. Шлицевые протяжки

Шлицевую протяжку можно представить как цилиндрическую, предназначенную для обработки отверстий, которые обработаны поверху, подобно шлицевому валу, сопряженному с заданным шлицевым отверстием (рис.94). Полученная таким образом протяжка будет обрабатывать заданные шлицевые отверстия. Однако, боковые плоскости шлицевых выступов протяжки в процессе обработки будут полностью соприкасаться с боковыми сторонами обработанных шлицев. Поэтому, чтобы уменьшить трение, на боковых поверхностях шлицевых выступов делают боковое поднутрение, образуемое вспомогательным углом в плане  $\varphi_1 = 1 \div 3^\circ$ . Поднутрение начинается не от самой вершины выступа, а на расстоянии  $f = 0,8 \div 1,0$  мм.

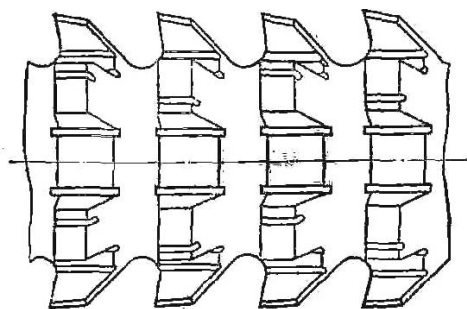


Рис.94. Шлицевая протяжка

У основания шлицевых выступов протяжки для выхода шлифовального круга делают продольные канавки шириной 1—1,2 мм, глубиной 0,8—1,0 мм и углом профиля 50–60 °. С целью облегчения процесса свертывания срезаемого металла в виток и обеспечения отгибания образующейся стружки от боковых сторон протягиваемых шлицев на режущих зубьях в шахматном порядке выполняют стружкоразделительные канавки. Однако, наблюдения показывают, что стружкоразделительные канавки недостаточно эффективны для отвода образующейся при резании стружки от стенок шлицевого паза. Лучшие результаты дают шлицевые протяжки переменного резания. У этих протяжек два соседних зуба объединяются в одну секцию. На первом зубе секции с обеих сторон выполняются по дуге окружности фаски (выкружки). Второй зуб секции, имеющий такую же форму, как и зуб обычной шлицевой протяжки, выполняется (по диаметру) меньше размера первого зуба. Поэтому первый прорезной зуб режет только центральной частью. У второго же зуба работают его периферийные участки. Такая конструкция позволяет значительно увеличить подачу на зуб и за счет этого сократить длину протяжки, улучшить чистоту протянутой поверхности, повысить точность обработки. Стойкость шлицевых протяжек переменного резания в 1,5–2 раза выше стойкости обычных шлицевых протяжек.

### 13.2.3. Шпоночные протяжки

Шпоночные протяжки применяются для обработки шпоночных канавок в отверстиях. Наибольшее распространение получили плоские шпоночные протяжки (рис.95).

Обработка заготовок плоской шпоночной протяжкой производится через направляющую втулку (рис.96), имеющую продольный паз. По этому пазу втулки, закрепленной на станке, движется в процессе работы протяжка. Заготовка насаживается на переднюю цилиндрическую часть втулки. Промежуточный цилиндрический бурт-фланец является опорной частью втулки. Режущие и калибрующие зубья плоской шпоночной протяжки имеют прямолинейные режущие кромки, параллельные дну протягиваемой канавки. Аналогично шлицевым протяжкам, режущие зубья шпоночных протяжек имеют стружкоразделительные канавки.

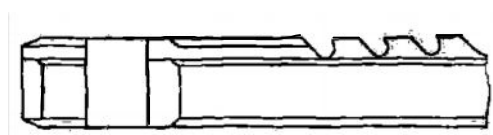


Рис.95. Шпоночная протяжка

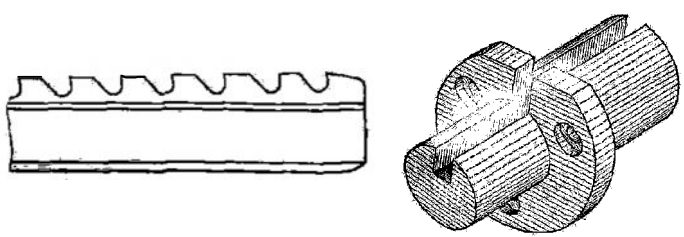


Рис.96. Направляющая втулка

Используются также шпоночные протяжки, у которых два соседних зуба объединяются в одну секцию. Первый зуб секции выполняется со скосами на

боковых сторонах под углом  $20-25^\circ$  и является прорезным. Второй зуб имеет обычную конструкцию и снабжен прямолинейной режущей кромкой на всю ширину шпоночной канавки. Он на  $0,03-0,04$  мм ниже первого зуба. В целях уменьшения трения на боковых сторонах протяжки делается поднутрение с углом  $\varphi_1 = 1 \div 2^\circ$  либо на боковых сторонах вышлифовываются выемки глубиной  $0,05-0,1$  мм. Задняя направляющая часть, как правило, у шпоночных протяжек не делается, так как в момент окончания протягивания как заготовка, так и протяжка поддерживаются направляющей втулкой. Наиболее часто шпоночные канавки обрабатываются в несколько проходов. В этой случае применяют одну и ту же протяжку и сменные размерные прокладки, которые устанавливаются между протяжкой и дном паза направляющей втулки. По принципу работы шпоночная протяжка занимает промежуточное положение между внутренними и наружными протяжками. Подобно наружным протяжкам шпоночные протяжки могут затачиваться как по передней, так и по задней поверхностям зубьев, поскольку уменьшение зубьев по высоте может быть компенсировано увеличением толщины прокладки.

### 13.2.4. Наружные протяжки

Наружные протяжки применяются, как правило, при обработке разнообразных поверхностей деталей, имеющих незамкнутый контур. В отличие от внутренних протяжек, наружные протяжки состоят только из режущей и калибрующей частей. Это объясняется тем, что наружные протяжки, а также заготовки жестко закрепляются на вертикально-протяжных станках, за счет чего и обеспечивается определенное относительное движение и расположение инструмента и детали в процессе обработки. Определенное взаимное расположение и относительное перемещение инструмента и заготовки создается с помощью соответствующих приспособлений и на горизонтально-протяжных станках при работе наружными протяжками.

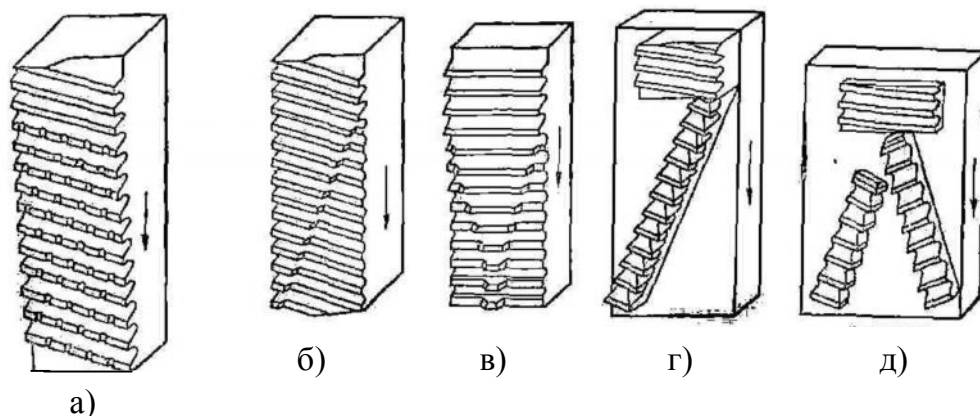
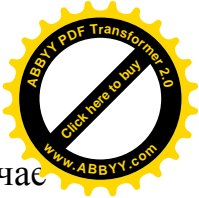
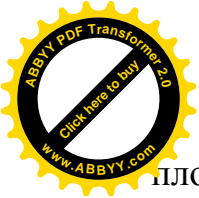


Рис.97. Плоские наружные протяжки

Из наружных протяжек наиболее распространены плоские протяжки для обработки одной или нескольких плоских поверхностей. Конструкция протяжки и ее размеры в значительной степени предопределяются принятой схемой резания. В настоящее время широко используются обыкновенные



плоские протяжки с профильной схемой резания (рис.97, а). В этом случае стружка срезается параллельными слоями во всю ширину протягиваемой поверхности. Для разделения стружки по ширине на режущих зубьях протяжки профильной схемы резания в шахматном порядке выполняют стружкоразделительные канавки. При протягивании узких плоскостей шириной менее 10–12 мм протяжки можно не снабжать стружкоразделительными канавками. Толщина срезаемого слоя при проектировании профильных протяжек выбирается в зависимости от свойств обрабатываемого материала в пределах 0,0–0,2 мм. Первый зуб протяжки при обработке черных поверхностей выполняется усиленным с шагом в 1,5–2,0 раза большим шага остальных режущих зубьев, так как зуб обычной формы часто выкрашивается или ломается при встрече с твердой коркой. Для большей плавности работы и лучшего схода стружки, зубья плоских протяжек делают наклонными. Угол  $\lambda$  наклона зубьев колеблется в пределах 10–45°. Направление наклона зубьев желательно выбирать так, чтобы боковая составляющая силы резания была направлена на более прочную часть детали. Необходимо также, чтобы боковая составляющая силы резания, действующая на протяжку, воспринималась жесткой опорой и не была направлена на элементы крепления. Для уравнивания боковых усилий при протягивании широких плоскостей целесообразно применять две протяжки с различным направлением наклона зубьев. Величины переднего угла  $\gamma$  и заднего угла  $\alpha$  у плоских протяжек выбираются большими, чем у внутренних протяжек. В плоских протяжках большие передние углы выполнить технологически легче, чем в протяжках для внутреннего протягивания. Задние углы можно увеличивать до 10°, потому что уменьшение высоты зубьев при переточках не так существенно, как в протяжках для внутреннего протягивания. Все остальные элементы, определяющие конструкцию зубьев, выбираются аналогично внутренним протяжкам. Из-за малой толщины срезаемого слоя протяжки профильной схемы резания получают значительной длины, относительно быстро изнашиваются. Поэтому, подобно внутренним протяжкам, и для наружных протяжек характерна тенденция замены профильной схемы резания на другие схемы, обеспечивающие большую толщину и меньшую ширину срезаемого слоя. Применяются, в частности, плоские протяжки с последовательной (генераторной) схемой резания (рис.97, б, в, г, д). Эти протяжки предназначены для обработки заготовок относительно небольшой ширины, имеющих на поверхности корку послековки или штамповки. Такие протяжки для широких плоскостей получают довольно большой длины, что усложняет их конструкцию и эксплуатацию. Рассматриваемые протяжки подразделяются на прямые односторонние (рис.97, б), прямые двусторонние (рис.97, в), наклонные односторонние (рис.97, г) и наклонные сдвоенные (рис.97, д). Протяжки с последовательной схемой резания снимают припуск боковыми кромками в виде узких слоев, расположенных нормально или наклонно под углом  $\varphi$  к обрабатываемой поверхности. На таких протяжках угол  $\varphi = 60 \div 90^\circ$ . Наклон зубьев позволяет получить передний угол на боковых режущих кромках. Угол

наклона зубьев принимается равным  $90^\circ - \gamma$ . Передний угол принимается в зависимости от обрабатываемого материала. Для чугуна он равен  $10^\circ$ .

При обработке длинных деталей актуальной является задача непрерывного удаления стружки из зоны резания. При работе протяжки непрерывный боковой отвод стружки обеспечивается наклоном дна стружечной канавки на  $10-35^\circ$  и углом наклона режущей кромки  $\lambda = 10 \div 30^\circ$ . Непрерывный отвод стружки обеспечивается также специальной конструкцией протяжки, которая имеет вставные зубья, закрепленные по торцам в корпусе.

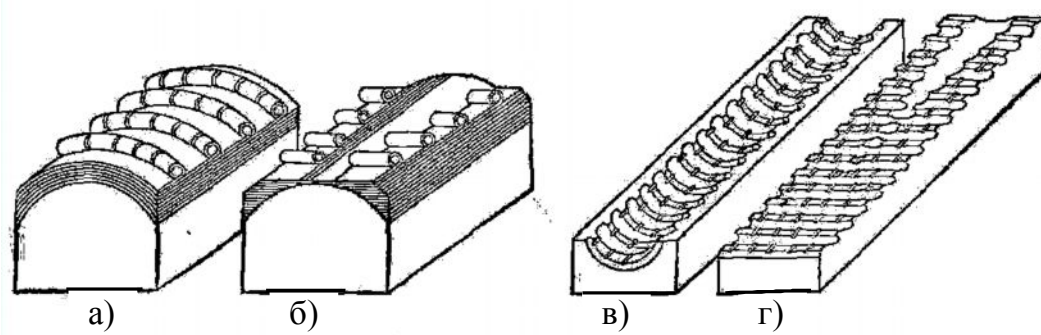
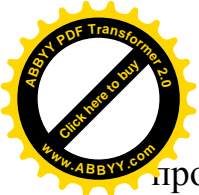


Рис.98. Фасонные наружные протяжки

Протяжки для обработки наружных фасонных поверхностей могут также проектироваться на базах профильной (рис.98, а) и последовательной (генераторной) схем резания (рис.98, б). Фасонная протяжка представляет собой превращенное в инструмент исходное тело в форме длинной призмы, которая имеет фасонную рабочую инструментальную поверхность, являющуюся копией поверхности детали. В процессе протягивания инструментальная исходная поверхность скользит по поверхности детали, подобно поверхности резьбы гайки, скользящей по поверхности резьбы винта. У протяжки с профильной схемой резания (рис.98, в) создают на рабочей стороне исходной призмы режущие зубья прорезанием поперечных стружечных канавок и образованием задних поверхностей. В результате пересечения стружечных канавок с исходной поверхностью создаются режущие кромки зубьев, форма которых соответствует профилю детали. При этом профиль дна стружечных канавок выполняется эквидистантным режущей кромке.

Если у рассматриваемой протяжки оставить размеры по высоте всех зубьев одинаковыми и расположить их режущие кромки на исходной инструментальной поверхности, то первый зуб будет снимать весь припуск, а последующие не будут работать. Чтобы распределить работу на все режущие зубья, режущие кромки каждого предыдущего зуба занижаются на величину подъема на зуб по сравнению с последующим зубом. При протягивании такой протяжкой металл, удаляемый с заготовки, срезается слоями, эквидистантными обработанной поверхности, и формирование поверхности детали производится только последним режущим зубом. Изготовление и эксплуатация таких протяжек сопряжены с большими трудностями, особенно в тех случаях, когда





Профиль детали имеет значительную кривизну. Этому недостатка лишены протяжки с последовательной схемой резания (рис.98, г), у которых рабочую сторону исходной призмы на высоте ее профиля срезают наклонной плоскостью и создают на ней режущие зубья путем прорезания поперечных стружечных канавок и образования задних поверхностей. В результате пересечения наклонной плоскости со стружечными канавками образуются прямолинейные режущие кромки, граничные точки которых располагаются на исходной инструментальной поверхности и являются профилирующими. Поэтому при конструировании такой протяжки создается обычная плоская протяжка, предназначенная для срезания всего профиля обработанной поверхности детали, у которой вдоль всех зубьев изготовлена продольная канавка, профиль которой совпадает с профилем детали. При шлифовке этой канавки задний конец протяжки приподнимается на 0,03-0,1 мм, благодаря чему при установке протяжки в рабочее положение на вспомогательных режущих кромках, формирующих поверхность детали, создаются небольшие задние углы. Это способствует уменьшению трения и устранению налипания металла.



## Глава 14

### Нарезание резьбы резцами, метчиками и плашками

Нарезание резьбы резцами может производиться по профильной или генераторной схеме (рис.99). В обоих случаях полный профиль резьбы формируется за несколько проходов резца. После каждого прохода резец совершает холостой ход и возвращается в исходное положение, смещается на величину глубины резания и совершает следующий проход. Число проходов  $i$  зависит от шага  $p$  нарезаемой резьбы и примерно равно удвоенному его значению.

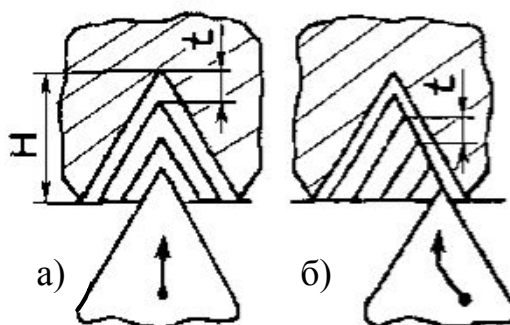


Рис.99. Нарезание резьбы резцами: а) по профильной схеме, б) по генераторной схеме

Глубина резания равна доле высоты профиля, приходящейся на один проход  $t = \frac{H}{i}$ , мм, подача равна шагу резьбы  $S = p$ , мм/об. Скорость резания рассчитывается так же, как при точении:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \quad V = \frac{C_V}{T^m \cdot t^X \cdot p^Y} \cdot k_V, \quad [V] = \text{м/мин.}$$

Основное технологическое время  $t_0$  (мин) определяется с учетом времени на обратный (холостой) ход резца и числа заходов резьбы:

$$t_0 = \left( \frac{L}{p \cdot n_{p.x.}} + \frac{L}{p \cdot n_{x.x.}} \right) \cdot i \cdot q,$$

где  $L$  – длина хода, мм;  
 $p$  – шаг резьбы, мм;  
 $n_{p.x.}$  – частота вращения шпинделя при рабочем ходе резца, об/мин;  
 $n_{x.x.}$  – частота вращения шпинделя при холостом ходе резца, об/мин;  
 $i$  – число проходов;  
 $q$  – число заходов резьбы.

Схемы нарезания резьбы метчиком и плашкой представлены на рис.100.

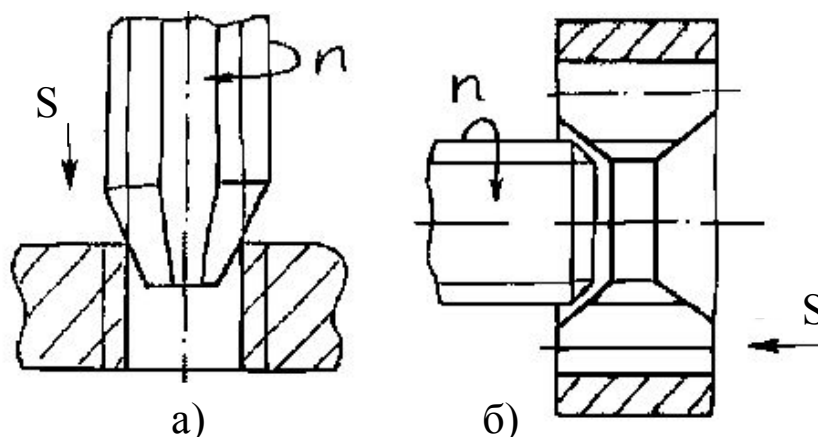


Рис. 100. Схемы нарезания резьбы: а) метчиком, б) плашкой

Главное движение резания (вращательное) может придаваться как изделию, так и режущему инструменту. Движение подачи – поступательное вдоль оси. Нарезание резьбы метчиками и плашками может проводиться на токарных, сверлильных и многооперационных станках. При обработке машинными метчиками и плашками глубина резания равна высоте профиля резьбы,  $t = H$ , мм, подача, равна шагу резьбы  $S = p$ , мм/об, скорость резания  $V$ , м/мин., рассчитывается по формулам:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \quad V = \frac{C_V \cdot D^q}{T^m p^Y}.$$

Основное технологическое время  $t_0$  (мин.) определяется с учетом времени на обратный (холостой) ход метчика или плашки.

$$t_0 = \frac{L}{p \cdot n_{P.X.}} + \frac{L}{p \cdot n_{X.X.}}.$$

## 14.1. Метчики

Внутреннюю резьбу нарезают метчиком. Он представляет собой винт, снабженный продольными прямыми или винтовыми канавками, образующими режущие кромки. Метчики подразделяются на следующие основные типы: ручные, гаечные, машинные, плашечные, калибровочные, регулируемые и самооткрывающиеся.

Метчик показан на рис.101. Конструктивными элементами метчика являются: 1 – рабочая часть, которая состоит из заборной – 2 и калибрующей – 3 частей, хвостовая часть – 4, которая состоит из стержня и квадрата – 5. Передняя конусная часть метчика, называемая заборной или режущей частью, осуществляет черновое нарезание резьбы, калибрующая часть метчика служит для зачистки, калибровки резьбы. Квадрат на стержне хвостовой части метчика непосредственно передает крутящий момент при закреплении метчика в патроне станка или воротке. К конструктивным элементам метчика также

относятся канавки для размещения стружки, режущие и калибровочные зубья и сердцевина (внутренняя часть метчика).

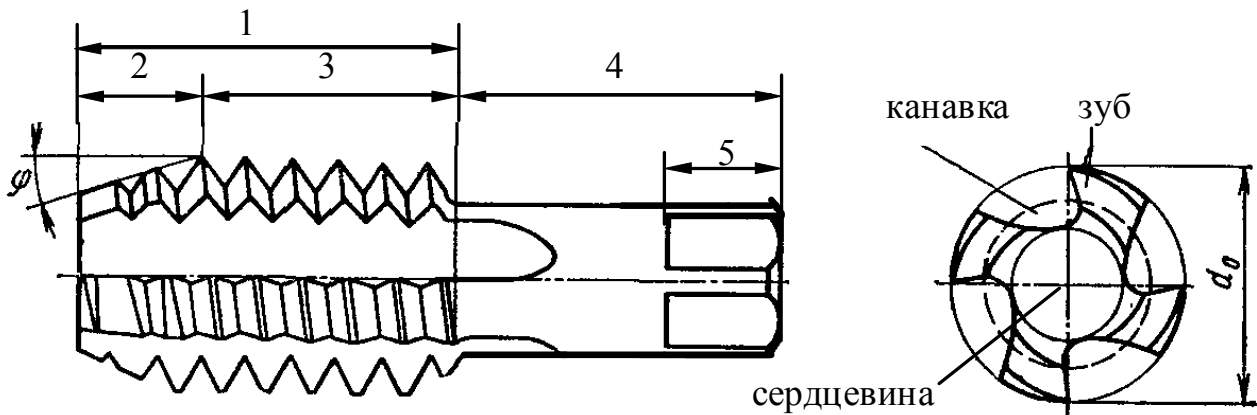


Рис.101. Метчик

К геометрическим параметрам метчика относятся: передний угол  $\gamma$ , задний угол  $\alpha$ , угол наклона конуса заборной части  $\varphi$  и угол наклона винтовых канавок  $\omega$ . На рис.101 канавки прямые, параллельные оси. Угол  $\omega = 0$ . В зависимости от свойств обрабатываемого материала,  $\gamma = 5 \div 30^\circ$ . У метчиков, предназначенных для обработки стали средней твердости,  $\gamma = 10^\circ$ , для обработки чугуна  $\gamma = 5^\circ$ . Задний угол на заборной части метчика получается затылованием резьбы только по вершинам. У ручных нешлифованных метчиков  $\alpha = 4 \div 8^\circ$ , а у гаечных метчиков со шлифованной резьбой  $\alpha = 8 \div 12^\circ$ . На калибрующей части задний угол  $\alpha = 0^\circ$ . Для уменьшения трения калибрующую часть метчика изготавливают с обратным конусом, т.е. наружный и внутренний диаметры метчика уменьшаются в направлении хвостовика на 0,05 – 0,1 мм на 100 мм длины для метчиков со шлифованным профилем, и на 0,08 – 0,12 мм на 100 мм длины для метчиков с нешлифованным профилем.

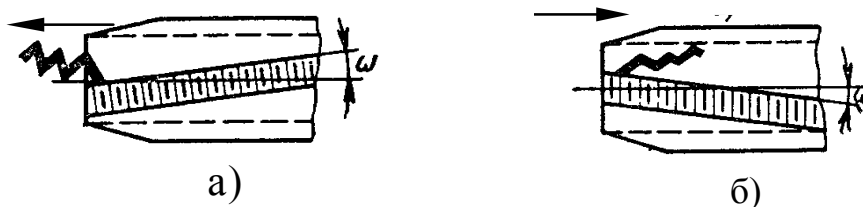
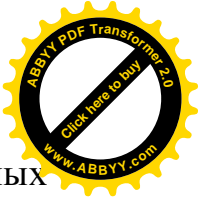
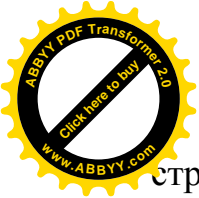


Рис.102. Метчики с различным направлением стружечных канавок

Метчики изготавливают в основном с прямыми канавками, но иногда - с винтовыми. Направлением винтовых канавок можно регулировать направление схода стружки. На рис.102 показаны метчики с различным направлением винтовых канавок. При направлении канавок, как показано на рис.102, а,



стружка сходит вперед, что целесообразно при нарезании резьбы в сквозных отверстиях. При обратном направлении канавок (рис.102, б) стружка сходит назад, что применимо при нарезании резьбы в глухих отверстиях.

При нарезании резьбы вручную вся работа распределяется между двумя или тремя метчиками, т.е. применяется комплект метчиков, при этом полный профиль резьбы имеет только чистовой метчик. Черновой и промежуточный метчики имеют меньшие наружные диаметры. Различна и длина заборной части каждого метчика: у чернового метчика она наибольшая и равна  $4p$  ( $p$  - шаг резьбы), у чистового метчика длина заборной части наименьшая и равна  $(1,5-2)p$ . Наиболее распространенным является такое распределение работы, при котором 50 – 60 % - приходится на черновой метчик, 28 – 30 % на средний и 16-10 % - на чистовой метчик. Материалом для изготовления машинных метчиков служит быстрорежущая сталь, ручных – углеродистая инструментальная сталь У10А. Число зубьев метчика приведено в табл.18.

Таблица 18

Число зубьев метчиков, в зависимости от диаметра и назначения

Метчик	Диаметр метчика в мм				
	2 -6	8 -14	16 - 24	27 - 30	39 - 52
Ручной, гаечный, машинный: для метрической или дюймовой резьбы.....	3	3	3 – 4	4	4 – 6
для трубной резьбы.....	-	3 – 4	6	6	6
Калибровочный.....	3	4	6	6	6 - 8

## 14.2. Плашки

Если метчик представляет собой винт, снабженный продольными прямыми или винтовыми, образующими режущие кромки, то плашку можно представить как гайку с канавками круглой формы, которые в сечении внутренним диаметром гайки после затылования образуют режущие кромки. Плашки используются для нарезания наружных резьб обычно за один проход. Нарезание резьбы происходит посредством наворачивания плашки на цилиндрическую заготовку.

Плашка не может нарезать резьбу высокой точности, так как после термической обработки в ее резьбе невозможно устранить возникшие при этом искажения шага, угла профиля. Однако, из-за дешевизны и несложной эксплуатации плашки получили широкое распространение. Число стружечных отверстий у плашек колеблется от 3 до 7 для резьб диаметром от 2 до 52 мм.

Существует несколько видов плашек: резьбонарезные цельные и разрезные, которые могут быть круглые, квадратные и шестигранные (рис.103, а, б, в); трубчатые резьбонарезные. На рис.103, г показана схема закрепления плашек в станке или воротке.

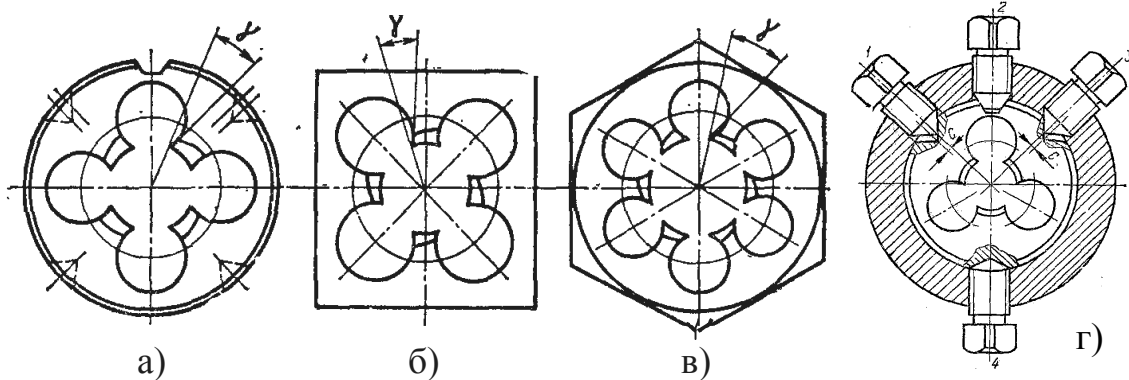


Рис.103. Виды плашек: а) – круглые, б) – квадратные, в) – шестигранные, г) – схема закрепления плашек.

Круглая плашка представлена на рис.104. К конструктивным элементам плашки относятся: рабочая часть, которая состоит из заборной (режущей) -  $l_1$  и калибрующей -  $l_2$  частей, внутренний диаметр отверстия  $d$ , ширина плашки  $H$ , ширина зуба  $B$ , ширина просвета  $H_1$  и величина затылования  $k$ . Элементы, обеспечивающие закрепление плашки на станке или в воротке: наружный диаметр плашки  $D$ , толщина перемычек  $e_1$  и  $e$ , гнезда для крепежных и регулировочных винтов. К геометрическим параметрам плашки относятся: передний угол  $\gamma$ , задний угол  $\alpha$ , угол заборного конуса  $\varphi$ , угол наклона режущей кромки  $\lambda$ .

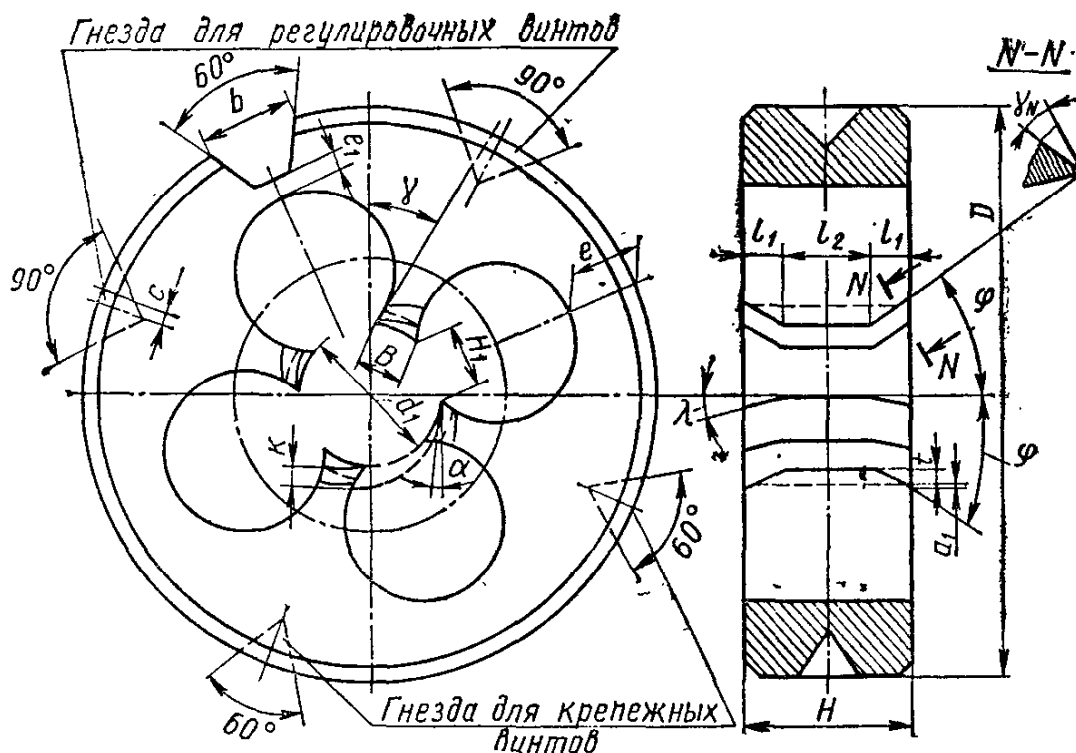


Рис.104. Круглая плашка



Большое влияние на работу плашки оказывает ширина зуба, с увеличением которой увеличивается прочность и жесткость, плашка лучше центрируется и самозатягивается при работе. Однако, большая ширина зуба приводит к повышенному трению, ухудшает отвод стружки и ее размещение в канавках, что может вызвать поломку плашки. При проектировании плашек между шириной зуба  $B$  и шириной просвета  $H_1$  выдерживается принятое на практике соотношение:  $B = (0,65 \div 0,8) H_1$ . Число зубьев плашки представлено в табл.9.

Таблица 19

Число зубьев плашки в зависимости от диаметра резьбы

Диаметр резьбы в мм	1 - 5	5,5 - 16	18 - 27	30 - 33	36 - 48	52 - 61
Число зубьев	3	4	5	6	7	8



## Глава 15

### Нарезание зубчатых колес

Для нарезания зубчатых колес применяют следующие виды обработки резанием: фрезерование, строгание, долбление, протягивание, шевингование, шлифование. Фрезерование осуществляется на фрезерных станках профильными, дисковыми или пальцевыми фрезами, цилиндрическими или коническими червячными фрезами. Для получения конических колес применяют торцовые зуборезные фрезы со вставными зубьями. Конические колеса также получают строганием резцами с прямолинейной режущей кромкой на специальных зубострогальных станках. Долбление производится на зубодолбежных станках. Протягивание для производства зубчатых колес применяется редко. Шевингование – процесс чистовой обработки зубчатых колес инструментом – шевером, имеющим вид зубчатого колеса с зубьями, снабженными по профилю мелкими режущими зубцами. Шлифование используется как процесс чистовой обработки зуба, а в отдельных случаях, при мелких модулях, для образования зуба в целой заготовке.

Нарезание зубьев осуществляется двумя методами:

- копирования, при котором форма режущей кромки фасонного инструмента соответствует форме впадины зуба колеса;
- обкатки, при котором поверхность зуба получается посредством обработки инструментом, режущие кромки которого представляют собой профиль сопряженной рейки или профиль зуба сопряженного колеса, и во время обработки инструмент с заготовкой образует сопряженную зубчатую пару.

#### 15.1. Нарезание зубчатых колес червячными фрезами

Скорость резания и подача определяется, как при обычном фрезеровании цилиндрическими фрезами (глава 12). Глубина резания равна глубине впадины зуба нарезаемого колеса при нарезании за один проход и равна  $t = 2,2m$  где  $m$  модуль колеса. При большем числе проходов глубина резания изменяется. Например, при двух проходах общая глубина резания разбивается следующим образом: на первый, черновой проход  $t = 1,4m$ , на второй, чистовой проход  $t = 0,8m$ .

Мощность, потребляемая на резание зубьев, рассчитывается по формуле

$$N = C_n \times 10^{-3} V^{R_n} S_0^{Y_n} m^{X_n} D^{P_n} z^{q_n}, [N] = \text{кВт},$$

где  $C_n$  – коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала,  $V$  – скорость резания, м/мин,  $S_0$  – подача, мм/об,  $m$  – модуль нарезаемого колеса, мм,  $D$  – наружный диаметр нарезаемого колеса, мм,  $z$  – число зубьев нарезаемого колеса,  $R, Y, X, P, q$  – показатели степени.

Основное технологическое время  $t_0$  (мин) рассчитывается по формуле





$$t_o = \frac{Lz}{nS_oR} i ,$$

где  $L$  – путь фрезы в направлении подачи при осевом врезании, мм;  $n$  – частота вращения фрезы, об/мин;  $R$  – число заходов фрезы;  $i$  – число проходов.

$$L = qb + y + \Delta,$$

где  $q$  – количество одновременно нарезаемых колес;  $b$  – ширина венца нарезаемого колеса, мм;  $y$  – величина врезания, мм;  $\Delta$  – величина перебега, мм.

$$y = \frac{\sqrt{t(D-t)}}{\cos \omega} i ,$$

где  $t$  – глубина резания, мм,  $D$  – диаметр фрезы, мм,  $\omega$  – угол установки фрезы на стенке.

## 15.2. Зубодолбление

Скорость резания при зубодолблении линейная. Скорость рабочего хода  $v$  (м/мин) рассчитывается по формуле

$$v = \frac{nL(1+p)}{1000} ,$$

где  $n$  – число двойных ходов долбяка в минуту,  $L$  – длина хода долбяка,  $p$  – отношение скорости рабочего хода к скорости холостого хода долбяка.

$$L = y + b + \Delta,$$

где  $y$  – величина врезания,  $y = 3 \div 5$  мм;  $b$  – ширина венца нарезаемого зуба в мм;  $\Delta$  – величина перебега,  $\Delta = 2 \div 3$  мм.

Подача  $S$  представляет собой длину дуги, измеренную по начальной окружности нарезаемого колеса, отнесенную к одному двойному ходу долбяка и называемую круговой подачей, она обозначается  $S = [\text{мм/дв.ход}]$ . Глубина резания  $t$  при работе в один проход равна глубине впадины зуба колеса. При работе в несколько проходов, глубина резания соответственно распределяется между проходами.

Мощность  $N$  (кВт), затрачиваемая на зубодолбление, рассчитывается по формуле

$$N = C_n \times 10^{-4} V^{Rn} S^{Yn} m^{Xn} z^{qn} .$$

Основное технологическое время  $t_o$  (мин) рассчитывается по формуле

$$t_o = \frac{\pi m z}{nS} + \frac{t}{nS_1} ,$$

где  $S_1$  – радиальная подача при врезании на полную глубину резания в мм при врезании за один двойной ход долбяка, обычно принимается равной  $S_1 = (0,1 \div 0,3) S$ , мм/дв.ход.

## 15.3. Краткая классификация зуборезного инструмента

Для нарезания зубчатых колес в основном применяется режущий инструмент: строгальные резцы; пальцевые, дисковые, торцовые, червячные цилиндрические фрезы; дисковые, хвостовые и чашечные долбяки; гребенки;

шеверы. Протяжки применяются редко. Шлифовальные круги только для чистового шлифования зубчатых колес с мелким модулем при получении полного профиля зуба за один проход.

Более широко используется нарезание зубьев методом обкатки, так как этот метод более универсален. Для нарезания зубьев методом копирования требуется отдельный инструмент для каждого модуля зубчатых колес.

### 15.3.1. Зуборезные инструменты, работающие по методу копирования

По методу копирования работают дисковые модульные фрезы, пальцевые модульные фрезы и зуборезные долбяки. Они представляют собой фасонные инструменты, профиль зуба которых соответствует профилю впадин нарезаемых колес.

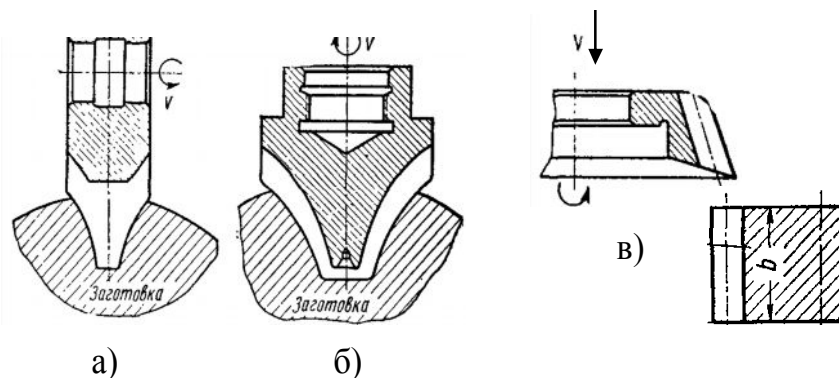


Рис.105. Нарезание зубчатых колес методом копирования: а – обработка дисковой модульной фрезой; б – обработка пальцевой модульной фрезой; в – обработка зуборезным долбяком.

Обработка зубчатого колеса дисковой модульной фрезой (рис.105, а) производится с применением делительной головки на горизонтально-фрезерном станке. Применение дисковых фрез ограничено, так как точность зубчатых колес при нарезании дисковыми фрезами невысокая.

Пальцевая модульная фреза (рис.105, б) применяется для фрезерования профиля косозубых и прямозубых колес крупного модуля ( $m \geq 10$  мм), используемых в тяжелом машиностроении, а также двухшворных колес.

Схема нарезания зубчатого колеса долбяком показана на рис.105, в. Стружка срезается при движении долбяка вниз, при обратном ходе, чтобы избежать трения зубьев долбяка об обработанную поверхность, заготовка отводится от долбяка после каждого рабочего хода. При нарезании зубчатых колес за один проход, после поворота нарезаемого колеса на один шаг, долбяк подводится в радиальном направлении на глубину впадины нарезаемого зуба.

Профиль зуборезного инструмента, работающего по методу копирования, зависит от числа зубьев нарезаемых колес и модуля. Поэтому этот инструмент получил меньшее распространение, по сравнению с зуборезным инструментом, работающим по методу обкатки.

## 15.3.2. Зуборезные инструменты, работающие по методу обкатки

Профиль инструмента, работающего по методу обкатки, не зависит от числа зубьев нарезаемого колеса, поэтому одним и тем же зуборезным инструментом можно нарезать зубчатые колеса с любым числом зубьев. Точность колеса, полученного методом обкатки, значительно выше точности зубчатых колес, полученных методом копирования, что объясняется, прежде всего, непрерывностью процесса обката. При этом не требуется производить отдельного деления, что сокращает холостые ходы, и поэтому он производительнее метода копирования.

Из инструментов для обработки зубчатых колес, работающих по методу обкатки, наибольшее применение получили червячные фрезы, долбяки, гребенки и шеверы.

### 15.3.2.1. Червячные фрезы

Червячная фреза представляет собой тот же червяк, но от последнего отличающаяся наличием режущих кромок. Червячные фрезы (рис.106) изготавливаются трех типов: архимедовы (с прямым профилем в осевом сечении), эвольвентные и с прямым профилем в нормальном сечении (по витку или впадине).

Архимедовы и эвольвентные червячные фрезы применяются в основном для нарезания червячных колес, причем архимедовы червячные фрезы получили большее распространение, так как их проще изготавливать, чем эвольвентные.

Червячные модульные фрезы с прямым профилем в нормальном сечении (рис.106) широко применяются для обработки цилиндрических колес с прямыми и винтовыми зубьями. Схема обработки цилиндрического колеса представлена на рис.107. В процессе обработки фреза вращается, осуществляя главное движение резания, и перемещается вдоль оси заготовки – движение подачи. Заготовка, кинематически связанная с фрезой, также вращается.

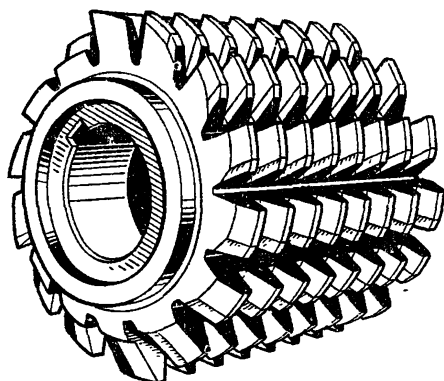


Рис.106. Червячная модульная фреза

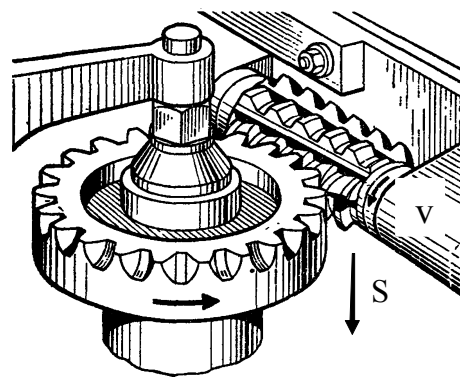


Рис.107. Обработка червячной модульной фрезой

Для экономии инструментального материала и повышения производительности посредством применения твердого сплава изготавливаются сборные червячные фрезы (рис.108) со вставными гребенчатыми ножами [20].

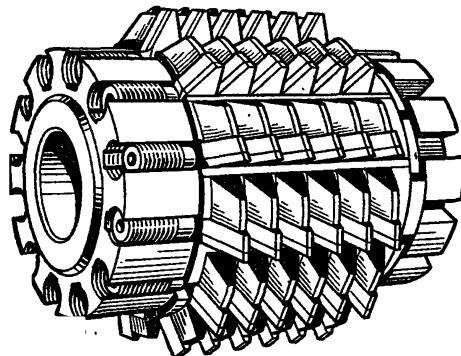


Рис.108. Червячная сборная острозаточенная твердосплавная фреза

В корпус сборных фрез из конструкционной стали вставлены гребенчатые твердосплавные ножи, которые с двух сторон плотно прижимаются винтами.

Фрезы для червячных колес выполняются как насадными, так и хвостовыми, это зависит от диаметра и модуля червяка. Хвостовые фрезы применяются лишь в тех случаях, когда нельзя сделать отверстие под оправку во фрезе.

### 15.3.2.2. Долбяки

Зуборезный долбяк выполнен в виде зубчатого цилиндрического колеса, снабженного режущими кромками. Долбяки применяются для чистового нарезания зубчатых колес.

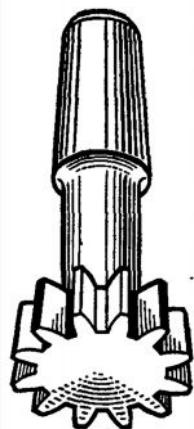


Рис.109. Хвостовой зуборезный долбяк

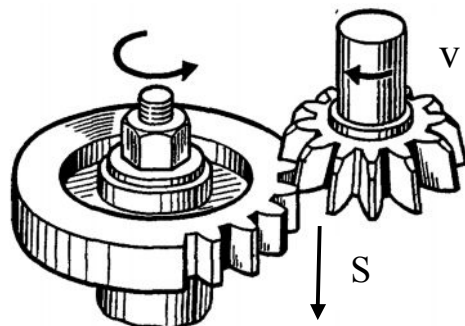


Рис.110. Обработка зуборезным долбяком

Долбяки предназначены для нарезания прямозубых, косозубых и шевронных колес. По конструкции долбяки подразделяются на хвостовые

(рис.109) и насадные (рис.111). Схема обработки зубчатого колеса зуборезным долбяком показана на рис.110.

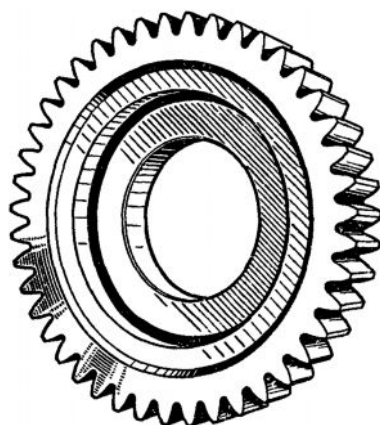


Рис.111. Насадной дисковый долбяк

### 15.3.2.3. Шеверы

Шеверы предназначены для окончательной обработки боковых сторон зубьев колес посредством срезания тонких стружек. Этот процесс напоминает скобление или шабрение.

Для этой цели применяются шеверы трех видов: дисковый, червячный и шевер-рейка [22].

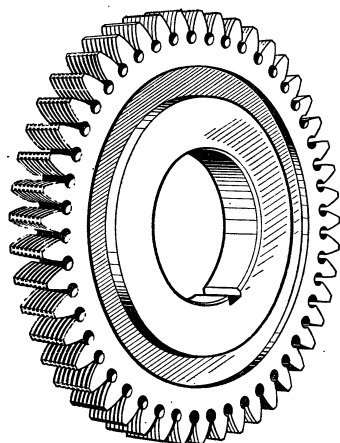


Рис.112. Дисковый шевер.

Дисковый шевер (рис.112) представляет собой закаленное зубчатое колесо, зубья которого снабжены канавками, образующими режущие кромки. Дисковые шеверы благодаря их небольшим размерам получили более широкое распространение, чем остальные виды шеверов. Они применяются для шевингования колес с модулем до 8 мм.

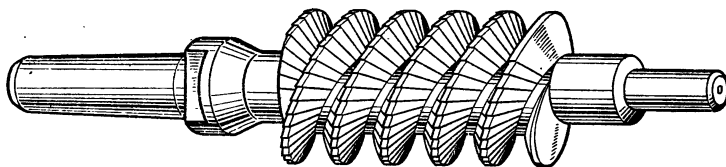


Рис.113.Червячный шевер.

Червячный шевер (рис.113) представляет собой червяк с мелкими насеченными зубьями, работающими как червячная фреза, отличием является то, что стружка из-за большого числа часто расположенных зубьев очень мелкая, и поэтому обработанная поверхность получается более чистой.

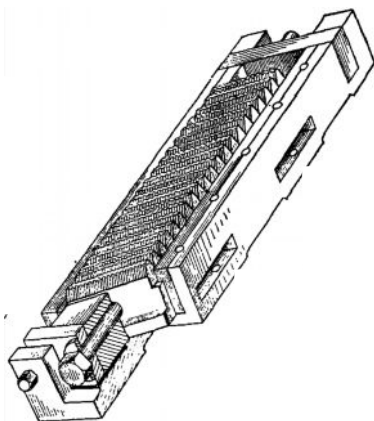


Рис.114. Шевер-рейка.

У шевер-рейки (рис.114) зацепление обеспечивается не между двумя колесами, а между рейкой и колесом. Шевер-рейка из-за большой сложности изготовления практически не находит применения для нарезания зубчатых колес.



## Глава 16

### Абразивные инструменты

Шлифование обеспечивает высокую чистоту обработанной поверхности и точность размеров обрабатываемых деталей. Шлифование выполняется абразивными инструментами. Последний представляет собой твердое тело, состоящее из зерен абразивного (шлифовального) материала, скрепленных между собой связкой. Значительную часть объема абразивного инструмента занимают воздушные поры. Абразивные инструменты в подавляющем большинстве используются в виде шлифовальных кругов разнообразной формы. Кроме того, используются шлифовальные: головки, сегменты, бруски, шкурки, порошки и пасты.

#### 16.1. Особенности процесса резания при шлифовании

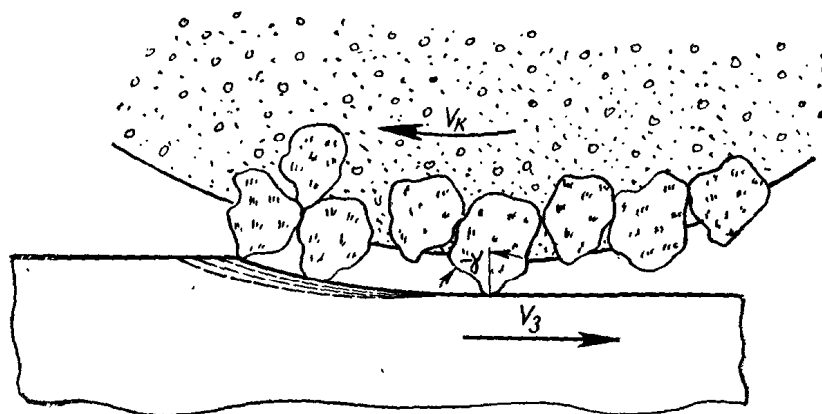
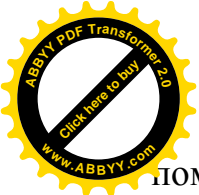


Рис.115. Процесс резания при шлифовании

Процесс резания при шлифовании можно рассматривать как фрезерование многозубой фрезой с высокой скоростью (рис.115). Как и при фрезеровании, различают встречное и попутное шлифование. Каждое единичное абразивное зерно представляет собой режущее лезвие со случайными геометрическими параметрами, которые зависят не только от формы зерна, но и от положения его в абразивном инструменте. Каждое единичное зерно срезает стружку очень малого переменного сечения. Обработанная поверхность образуется в результате совокупного действия большого числа абразивных зерен. Срезаемая в процессе работы стружка располагается в порах между зернами. Разогревшаяся до высокой температуры и размягчившаяся стружка забивает поры и налипает на поверхность круга, происходит так называемое «засаливание» шлифовального круга, при этом его режущая способность резко падает, ухудшается качество обработанной поверхности. Для восстановления режущей способности круг правят с



помощью правочных роликов или алмазных «карандашей» удаляется поверхностный слой затупившихся и засалившихся зерен.

## 16.2. Связующие вещества (связки)

Для соединения зерен в одно целое применяют связующие (цементирующие) вещества, так называемые связки. От связки зависит прочность удержания зерна в круге и прочность самого круга, так как при его вращении возникают большие центробежные силы. Связки делятся на органические и неорганические. К органическим связкам относятся вулканитовая (В), бакелитовая (Б) и глифталевая (ГФ).

Вулканитовая связка (В1, В2, В3 и др.) состоит из каучука и серы (30%), получается смешением размягченного бензином каучука с серой. Абразивный инструмент на этой связке обладает высокой прочностью и эластичностью и не боится влаги. Благодаря этому он может иметь толщину до 0,5 мм при диаметре до 150 мм. Шлифовальные круги на вулканитовой связке допускают окружные скорости до 75 м/с и обладают высоким полирующим действием. Недостатком этой связки является быстрое засаливание круга, снижающее его производительность.

Бакелитовая связка (Б1, Б2 и др.) состоит из бакелита – искусственной смолы, приготовленной из карболовой кислоты и формалина. Круги на этой связке прочны, эластичны и допускают большие окружные скорости, но разрушаются от действия щелочной охлаждающей жидкости. Во избежание этого, рекомендуется пропитка круга парафином. Другим существенным недостатком является то, что эта связка теряет прочность при нагреве свыше 180 °С.

Глифталевая связка – синтетическая смола из глицерина и фталевого ангидрида применяется для изготовления абразивного инструмента для доводочных и полировальных работ (шероховатость обработанной поверхности до  $\nabla 13$ ).

К неорганическим связкам относятся керамическая (К), магнезиальная (М) и силикатная (С). Керамическая связка (К0, К1, К3 и др.) получила наибольшее распространение. Основными компонентами связки являются огнеупорная глина, полевой шпат и кварц с добавкой талька, мела и жидкого стекла. Керамическая связка огнеупорная и химически стойкая, абразивные инструменты, изготовленные на ней, обладают большой производительностью, хорошо сохраняют профиль рабочей кромки и не боятся влаги, недостатком является хрупкость, что делает абразивные инструменты чувствительными к ударной нагрузке. Допускают работу с окружными скоростями до 50 м/с.

Магнезиальная связка изготавливается из магнезита и хлористого магния, а силикатная представляет собой смесь глины, кремневой пыли и жидкого стекла. Эти связки для изготовления абразивного инструмента применяются редко, так как инструмент, изготовленный на их основе, является мягким, малопрочным и малопродуктивным.





Для изготовления алмазных и эльборовых кругов используют бакелитовые, керамические, а также металлические связки. В виде металлической связки чаще всего применяют бронзу.

### 16.3. Твердость абразивного инструмента

Под твердостью абразивного инструмента подразумевается способность связки удерживать зерно в инструменте при воздействии внешних сил. Чем легче выкрашивается зерно из инструмента, тем мягче круг, и наоборот. Твердость - важная характеристика абразивного инструмента, от которой во многом зависят производительность и качество обработки. Слишком твердый круг будет способствовать возникновению прижогов обрабатываемой поверхности, быстро засаливаться и требовать частой правки. Затупившиеся зерна не будут выкрашиваться из твердой связки, а работа затупленными зернами приведет к необходимости увеличения мощности оборудования и к большему тепловыделению, что может вызвать не только прижеги, но и коробление обрабатываемой детали. Слишком мягкий круг будет осыпаться и не будет держать форму и размеры. Поэтому для каждого конкретного случая обработки требуется инструмент определенной твердости.

Установлена следующая шкала твердости абразивного инструмента: М1 – М3 – мягкий; СМ1 – СМ2 – среднемягкий; С1 и С2 – средний; СТ1 – СТ3 – среднетвердый; Т1 – Т2 – твердый; ВТ – весьма твердый; ЧТ – чрезвычайно твердый. Цифры 1, 2, 3 характеризуют твердость инструмента в порядке возрастания. Определение и контроль твердости производят двумя основными методами: 1) пескоструйный – по глубине лунки на инструменте от воздействия определенного объема кварцевого песка, выбрасываемого под давлением  $1,5 \text{ кгс/см}^2$ ; 2) вдавливанием стального шарика [9].

### 16.4. Структура абразивного инструмента

Кроме материала зерна, зернистости, твердости и связки, абразивный инструмент определяется еще и структурой. Структура характеризует строение абразивного инструмента в зависимости от количественного соотношения между зернами, связкой и пораами в единице объема.

Абразивный инструмент имеет 13 основных номеров структур (с 0 по 12) которые делятся на три группы: плотные (0 – 3); среднеплотные (4 – 6); открытые (7 – 12). Номер структуры определяет промежутки (расстояние) между зернами – чем больше номер, тем больше промежутки. Правильный выбор структуры абразивного инструмента будет способствовать меньшему заполнению пор стружкой, а, следовательно, повышению производительности. При повышении номера структуры уменьшаются прижеги обрабатываемой поверхности. В отдельных случаях применяют специальные высокопроизводительные круги с номерами структуры (13 – 18), в которых размер и количество пор увеличены.



## 16.5. Маркировка абразивного инструмента

Для конкретных условий обработки требуется определенный абразивный инструмент. Поэтому его маркируют с указанием полной характеристики, например: Э950СМ1К5 ПП150×50×65 30 – 35 м/с. Данная маркировка означает, что это - шлифовальный круг из белого электрокорунда (9), зернистостью 50, среднемягкий 1, на керамической связке, структура № 5; форма плоская прямого профиля, с наружным диаметром 150, шириной (высотой) 50, диаметром отверстия 65 мм; окружная скорость не более 30 – 35 м/с.

## 16.6. Краткая классификация абразивного инструмента

По применяемости абразивные инструменты подразделяются на шлифовальные: круги, головки, сегменты, бруски, порошки и пасты.

### 16.6.1. Шлифовальные круги

Основные формы шлифовальных кругов представлены на рис.116. Шлифовальные круги имеют 22 профиля диаметром от 3 до 1100 мм и высотой от 0,18 до 250 мм, с диаметром отверстия от 1 до 305 мм.

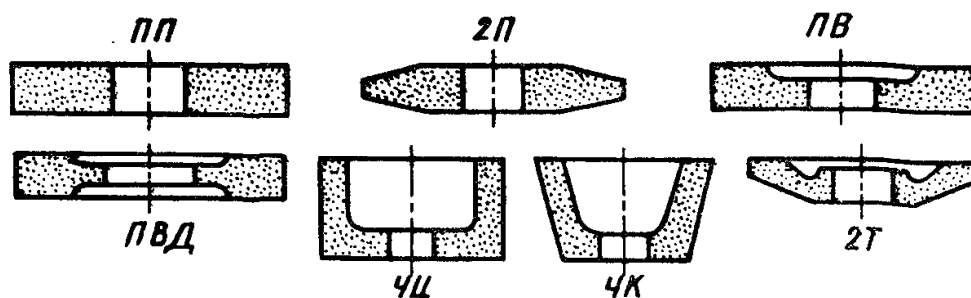
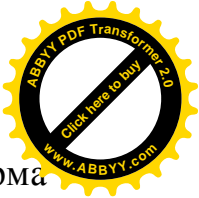
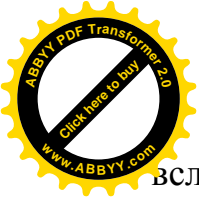


Рис.116. Основные формы шлифовальных кругов

Плоские круги прямого профиля ПП применяют для круглого наружного, внутреннего и бесцентрового шлифования, для плоского шлифования периферией круга и для заточки инструмента. Плоские круги с двусторонним коническим профилем 2П применяют для шлифования зубьев шестерен и резьбы. Плоские круги с выточкой ПВ и с двусторонней выточкой ПВД характерны тем, что в выточках помещаются зажимные фланцы, которые позволяют более свободно подвести круг к обрабатываемой заготовке и совместить круговое шлифование с подрезкой торца. Круги форм ПВД применяют также при бесцентровом шлифовании (для ведущих кругов). Цилиндрические круги-чашки ЧЦ применяют для заточки инструментов и для плоского шлифования торцом, имея надежное (фланцевое) крепление к шпинделю станка. Конические круги-чашки ЧК применяют для заточки режущего инструмента и плоского шлифования торцом круга, который



вследствие малой поверхности легко поддается правке. Коническая форма чашки облегчает подвод затачиваемого инструмента к рабочей поверхности круга. Круги-тарелки 2Т имеют две конические поверхности под углом 25 и 5°, что облегчает правку круга по конической поверхности, которая при заточке винтовых поверхностей режущего инструмента является рабочей поверхностью. Шлифовальные круги изготавливаются двух классов точности А и В. Круги класса А более качественны.

Алмазные круги имеют алмазное кольцо толщиной 1–5 мм, закрепленное на корпусе из дюралюминия или стали (рис.117). Концентрация алмазных зерен в единице объема алмазного слоя 50, 75, 100 и 150% (за 100% концентрацию условно принято содержание 0,878 мг алмазного порошка в 1мм<sup>3</sup> алмазного слоя). Плоские алмазные круги прямого профиля АПП малых размеров (диаметром до 13 мм) делаются цельными, без металлического корпуса. Наряду с кругами плоского прямого профиля алмазные круги делают чашечными, тарельчатыми, специальными (профильными) всего стандартизовано 14 форм алмазных кругов различных размеров. При обозначении формы алмазных кругов впереди ставится буква А (например, АПП, АПВ, АЧК). Алмазные круги применяются для заточки и доводки инструмента, оснащенного твердым сплавом (что по сравнению с заточкой обычными кругами повышает стойкость режущего инструмента в два раза), а также для шлифования изделий из твердых сплавов и неметаллических материалов.

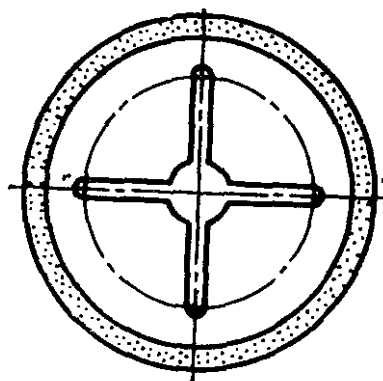


Рис.117. Алмазный круг формы АП

Эльборовые круги подобны алмазным, только на металлическом корпусе закреплен эльборовый слой. Концентрация эльборовых зерен в слое 100, 124 и 150%. По сравнению со стандартными абразивными и алмазными кругами инструмент из эльбора имеет более высокие режущие свойства и стойкость, почти не засаливается и работает с меньшим тепловыделением. Наибольший эффект эльборовые круги имеют при чистовом шлифовании закаленных сталей высокой твердости (HRC 60 и более), быстрорежущих сталей и твердых сплавов, жаропрочных и нержавеющей сталей и при чистовом шлифовании резьбы.

## 16.6.2. Шлифовальные головки

Шлифовальные головки выпускаются семи форм (рис.118) диаметром от 3 до 40 мм. Они применяются для внутреннего шлифования и для зачистки заготовок, когда не могут быть применены шлифовальные круги. Головки не имеют сквозных посадочных отверстий и приклеиваются к специальным шпилькам.

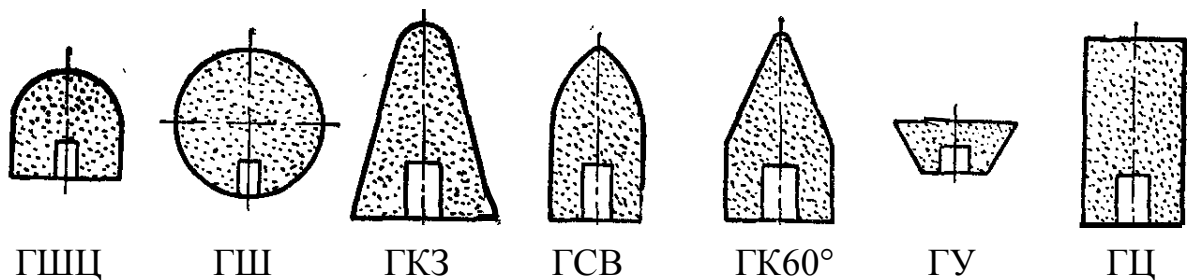


Рис. 118. Шлифовальные головки

## 16.6.3. Шлифовальные сегменты

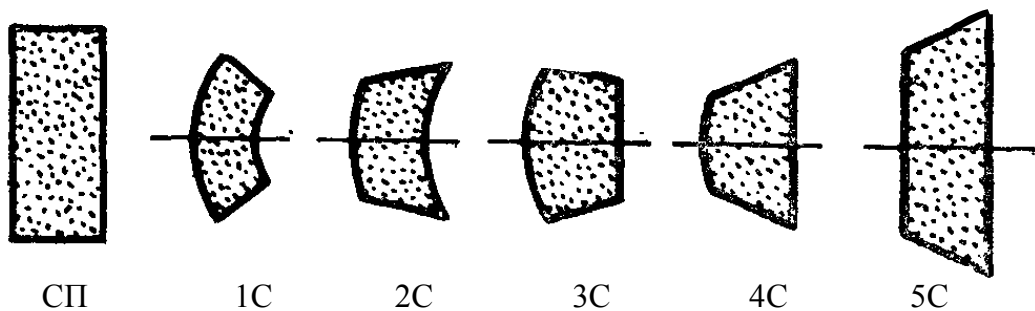


Рис.119. Шлифовальные сегменты

Предусмотрены сегменты десяти различных форм, некоторые из которых приведены на рис.119. Длина сегментов от 60 до 300 мм. Сегменты применяются для плоского шлифования, при этом шлифовальный круг состоит их нескольких сегментов, закрепленных тем или иным способом. К достоинствам сегментных кругов относится то, что при повреждении какого-либо сегмента не надо выбрасывать весь круг, а достаточно заменить поврежденный сегмент новым. Пространство между сегментами облегчает подвод СОЖ и отвод стружки и отработавших частиц круга. Меньшая площадь соприкосновения круга с заготовкой способствует уменьшению нагрева детали.

#### 16.6.4. Шлифовальные бруски

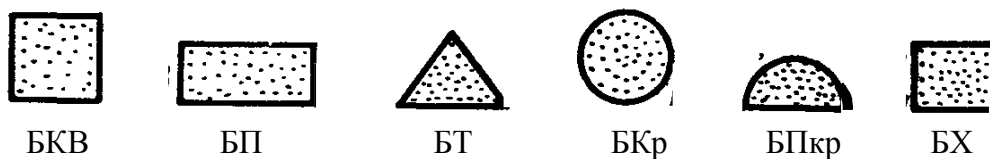


Рис.120. Шлифовальные бруски

Предусмотрено шесть форм сечений брусков (рис.120). Шлифовальные бруски применяются для ручных слесарных работ и для отделочных операций – хонингования и суперфиниширования, в последних случаях используют бруски квадратные БКВ, плоские БП и специальные плоские хонинговальные БХ, которые закрепляют в специальных головках.

#### 16.6.5. Шлифовальные шкурки

Шкурки состоят из основы – бумаги или хлопчатобумажной ткани, на которую наклеены абразивные зерна. Шлифовальные шкурки применяются для ручной и машинной зачистки и отделки деталей. Для шкурок, используемых без водного охлаждения, применяют мездровый клей, для работы с СОЖ изготавливают водостойкую шкурку на специальных лаках и смолах. Шкурки делают в виде листов и лент.

#### 16.6.6. Шлифовальные порошки

Выпускают шлифовальные порошки и микропорошки из природных и синтетических алмазов. Шлифпорошки из природных алмазов выпускают одной марки А. Шлифпорошки из синтетических алмазов выпускаются пяти марок: АСО, АСР, АСВ, АСК и АСС. По мере перехода от марки АСО к марке АСС прочность шлифпорошков на сжатие повышается. Микропорошки из природных алмазов выпускают двух марок – АМ и АН, а синтетических алмазов – АСМ и АСН. Микропорошки марок АН и АСН имеют более высокую абразивную способность, чем микропорошки марок АМ и АСМ.

#### 16.6.7. Абразивные пасты

Для абразивных паст используют шлифпорошки и микропорошки. Для этого абразивные зерна связывают маслами, воском, животными жирами, стеарином и др. Пасты применяются для доводки (притирки) режущего инструмента и поверхностей деталей машин.



## Литература

1. Аршинов В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов и режущий инструмент: учебник для машиностроительных техникумов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1976. - 440 с.
2. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. - М.: Машиностроение, 1975. - 344 с.
3. Грановский Г.И. и др. Резание металлов. - М.: Машгиз, 1954. - 472 с.
4. Грановский Г.И. Кинематика процесса резания. - М.: Машгиз, 1948. - 199 с.
5. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. - М.: Высшая школа, 1986. - 304 с.
6. Грановский Г.И., Панченко К.П. Фасонные резцы. - М.: Машиностроение, 1975. - 309 с.
7. Рагрин Н.А. Физическая модель стойкостной зависимости. // Технология Машиностроения. – 2012. - № 11. - С. 11 – 17.
7. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. - М.: Металлургия, 1968. - 567 с.
8. Даниелян А.М. Теплота и износ инструментов в процессе резания металлов. - М.: Машгиз, 1954. - 275 с.
9. Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов: учебник. - М.: Машиностроение, 1984. - 272 с.
10. Клушин М.И. Резание металлов. - М.: Машгиз, 1953. - 431 с.
11. Кривоухов В.П. Обработка металлов резанием. - М.: Машгиз, 1931. - 340 с.
12. Лоладзе Т.Н. Износ режущего инструмента. - М.: Машгиз, 1958. - 356 с.
13. Нефедов Н.А., Осипов К.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту: учебное пособие по предмету «Основы учения о резании металлов и режущий инструмент». – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. - 448 с.
14. Подгорков В.В. Теория резания: учебн. пособие/ Иван. энерг. ун-т.- Иваново: ИвГУ, 1986. - 80 с.
15. Развитие науки о резании металлов. Коллектив авторов. - М.: Машиностроение, 1967. - 416 с. с.
16. Резников И.И. Учение о резании металлов. – М.: Машгиз, 1947. - 360 с.
17. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов: учебник. - К.: Выща шк., 1990. - 424 с.
18. Русские ученые - основоположники науки о резании металлов./ Общая редакция К.П. Панченко. - М.: Машгиз, 1952. – 478 с.
19. Сахаров Г.Н. и др. Металлорежущие инструменты: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1989. - 328 с.
20. Семенченко И.И., Матюшин В.М., Сахаров Г.И. Проектирование металлорежущих инструментов.- М.: Машгиз, 1962. - 952 с.
21. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т./ Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. - 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. - 912 с.

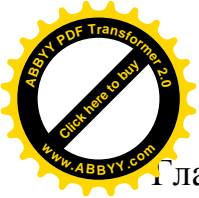


22. Рагрин Н.А. Особенности процесса резания и износа при сверлении быстрорежущими спиральными сверлами // Машиностроитель. – 2012. - №10 С. 48-51

22. Суворов А.А. , Зайдин Г.С., Стискин Г.М. Металлорежущие инструменты: учебное пособие для машиностроительных техникумов. – М.: Машиностроение, 1979. - 64с.

## Содержание

	Стр.
Введение	3
Глава 1. Основные понятия и определения процесса обработки со снятием стружки	5
1.1. Виды обработки со снятием стружки	5
1.2. Кинематика процесса резания	5
1.3. Понятия скорости резания, подачи и глубины резания	7
1.4. Элементы процесса резания	8
1.5. Элементы конструкции резцов и геометрические параметры их режущей части	9
1.6. Геометрия срезаемого слоя при точении	12
1.7. Основные случаи резания металлов	13
1.7.1. Свободное резание	13
1.7.2. Несвободное резание	14
Глава 2. Инструментальные материалы	15
2.1. Требования, предъявляемые к инструментальным материалам	15
2.2. Углеродистые инструментальные стали	17
2.3. Легированные инструментальные стали	17
2.4. Быстрорежущие инструментальные стали	18
2.5 Твердые сплавы	20
2.6. Минеральная керамика	22
2.7. Алмазы и кубический нитрид бора	22
2.8. Абразивные материалы	23
2.9. Электрокорунды	23
2.10. Карбид кремния	24
2.11. Карбид бора	25
2.12. Основные свойства абразивных материалов	25
Глава 3. Стружкообразование при резании металлов	27
3.1. Типы стружек	27
3.2. Нарост	29
3.3. Меры борьбы с наростом	32
3.4. Усадка стружки. Коэффициент усадки стружки	32
3.5. Связь коэффициента усадки стружки с углом сдвига	33
3.6. Способы определения коэффициента усадки стружки	34
3.7. Влияние параметров режима резания, геометрических параметров режущей части инструмента и других факторов процесса резания на усадку стружки	35



Глава 4. Силы резания	38
4.1. Силы, действующие на резец	38
4.2. Влияние параметров режима резания на составляющие силы резания	39
4.3. Влияние геометрических параметров режущей части инструмента на составляющие силы резания	41
4.4. Влияние обрабатываемого и инструментального материалов на составляющие силы резания	42
4.5. Влияние степени затупления резца и смазочно-охлаждающей жидкости на составляющие силы резания	44
4.6. Формулы для расчета составляющих силы резания при точении	44
Глава 5. Тепловые явления при резании металлов	45
5.1. Источники образования тепла и его распределение	45
5.2. Влияние параметров режима резания на распределение тепла	46
5.3. Температурное поле стружки, резца и заготовки	47
5.4. Температура резания. Формулы для расчета температуры резания. Влияние различных параметров и факторов на температуру резания	48
Глава 6. Износ режущего инструмента	51
6.1. Внешнее проявление изнашивания	51
6.2. Физическая природа изнашивания инструментов	53
6.2.1. Абразивное изнашивание	53
6.2.2. Адгезионное изнашивание	54
6.2.3. Диффузионное изнашивание	54
6.2.4. Окислительное изнашивание	55
6.3. Нарастание износа за время работы инструмента	56
6.4. Критерии износа инструмента	57
6.4.1. Критерий оптимального износа	57
6.4.2. Критерий технологического износа	59
Глава 7. Стойкость режущих инструментов и допускаемая ими скорость резания	60
7.1. Методика построения стойкостных зависимостей	60
7.2. Связь между скоростью резания и периодом стойкости инструмента	61
7.3. Влияние параметров режима резания и геометрических параметров режущей части инструмента на период стойкости и допускаемую скорость резания	61
Глава 8. Качество обработанной поверхности	66
8.1. Характеристики качества обработанной поверхности. Механизм образования микронеровностей	66
8.2. Влияние условий процесса обработки на величину микронеровностей	66
8.3. Состояние материала поверхностного слоя, характеристики	69
8.4. Влияние параметров режима резания и износа инструмента	





на состояние материала поверхностного слоя	70
Глава 9. Основы конструирования металлорежущих инструментов	72
9.1. Рабочая часть инструмента	72
9.2. Соединительная часть инструмента	73
9.3. Расчет державки резца	74
1.4. Расчет конического хвостовика	74
Глава 10. Резцы	77
10.1. Токарная обработка резцами	77
10.2. Краткая классификация резцов	78
10.2.1. Токарные резцы	78
10.2.2. Фасонные резцы	80
10.2.3. Строгальные резцы	84
10.2.4. Долбежные резцы	85
Глава 11. Инструмент для обработки отверстий	86
11.1. Сверла. Краткая классификация сверл	88
11.1.1. Спиральные сверла. Конструктивные элементы и геометрические параметры спиральных сверл	88
11.1.2. Центровочные сверла	94
11.1.3. Перовые сверла	95
11.1.4. Пушечные сверла	95
11.1.5. Ружейные сверла	96
11.1.6. Шнековые сверла	97
11.1.7. Сверла для кольцевого сверления	98
11.2. Зенкеры. Краткая классификация зенкеров	98
11.2.1. Цилиндрические зенкеры	99
11.2.2. Зенкеры для цилиндрических углублений	100
11.2.3. Зенкеры для конических углублений	101
11.2.4. Торцовые зенкеры	101
11.2.5. Насадные зенкеры	102
11.3. Развертки. Краткая классификация разверток	102
11.3.1. Цилиндрические развертки	103
11.3.2. Разжимные развертки	105
11.3.3. Конические развертки	105
11.3.4. Котельные развертки	106
11.3.5. Насадные развертки	106
Глава 12. Фрезы	108
12.1. Обработка металла фрезами	108
12.2. Краткая классификация фрез	111
12.2.1. Цилиндрические фрезы	111
12.2.2. Торцовые фрезы	111
12.2.3. Дисковые фрезы	113
12.2.4. Угловые фрезы	114
12.2.5. Концевые фрезы	115
12.2.6. Шпоночные фрезы	115



12.2.7. Фрезы для обработки Т-образных пазов	116
12.2.8. Концевые угловые фрезы	116
12.2.9. Фасонные фрезы	117
12.3. Конструктивные элементы фрез с остроконечными зубьями	118
12.3.1. Цилиндрические фрезы с остроконечными зубьями	119
12.3.2. Концевые фрезы с остроконечными зубьями	120
Глава 13. Протяжки	121
13.1. Обработка протяжками	121
13.2. Краткая классификация протяжек	125
13.2.1. Протяжки для обработки отверстий	125
13.2.2. Шлицевые протяжки	131
13.2.3. Шпоночные протяжки	132
13.2.4. Наружные протяжки	133
Глава 14. Нарезание резьбы резцами, метчиками и плашками	137
14.1. Метчики	138
14.2. Плашки	140
Глава 15. Нарезание зубчатых колес	143
15.1. Нарезание зубчатых колес червячными фрезами	143
15.1. Зубодолбление	144
15.3. Краткая классификация зуборезного инструмента	144
15.3.1. Зуборезные инструменты, работающие по методу копирования	145
15.3.2. Зуборезные инструменты, работающие по методу обкатки	146
15.3.2.1. Червячные фрезы	146
15.3.2.2. Долбяки	147
15.3.2.3. Шеверы	148
Глава 16. Абразивные инструменты	150
16.1. Особенности процесса резания при шлифовании	150
16.2. Связующие вещества (связки)	151
16.3. Твердость абразивного инструмента	152
16.4. Структура абразивного инструмента	152
16.5. Маркировка абразивного инструмента	153
16.6. Краткая классификация абразивного инструмента	153
16.6.1. Шлифовальные круги	153
16.6.2. Шлифовальные головки	155
16.6.3. Шлифовальные сегменты	155
16.6.4. Шлифовальные бруски	156
16.6.5. Шлифовальные шкурки	156
16.6.6. Шлифовальные порошки	156
16.6.7. Абразивные пасты	156
Список использованной литературы	157