

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

## Обработка металлов резанием

Краткий курс лекций  
для студентов II курса

Направление подготовки  
23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы

Профиль подготовки  
Сервис систем обеспечения безопасности и природообустройства

Саратов 2016

УДК

ББК

P

P99            **Обработка конструкционных материалов резанием:** краткий курс лекций для студентов II курса направления подготовки 23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы/ В.В. Чекмарев // ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ».-Саратов, 2016.-71 с.

ISBN ...

Краткий курс лекций по дисциплине «Обработка конструкционных материалов резанием» составлен в соответствии с программой дисциплины и предназначен для студентов направления подготовки 23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы. Краткий курс содержит теоретический материал по основным вопросам обработки конструкционных материалов резанием, направлен на формирование у студентов знаний об основных закономерностях при осуществлении резания конструкционных материалов, формировании новых поверхностей на деталях машин с требуемыми эксплуатационными характеристиками и обеспечением наибольшей эффективности обработки.

УДК 54

ББК 54

© Чекмарев В.В., 2016

ISBN...

© ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2016

## Введение

Уважаемые студенты, дисциплины «Технология конструкционных материалов», которую Вы изучили ранее, и «Обработка конструкционных материалов резанием» очень тесно взаимосвязаны и являются логическим продолжением друг друга. Знание дисциплины «Обработка конструкционных материалов резанием», в частности закономерностей резания конструкционных материалов, конструкций металлорежущих инструментов, устройства и методов наладки металлорежущих станков, основ проектирования технологических процессов механической обработки позволит Вам правильно выбирать необходимый конструкционный материал для деталей машин, рациональный способ механической обработки деталей, металлорежущие станки и режущие инструменты. Кроме того, Вы сможете рассчитывать и назначать:

- режимы обработки;
- упрочняющий вид обработки для получения требуемых прочностных и эксплуатационных свойств деталей;
- нормы времени на механическую обработку.

Курс изучения дисциплины предваряется летними учебной и производственной технологическими практиками на машиностроительных предприятиях и в лабораториях университета.

## Лекция №1

### Основные понятия о методах обработки и геометрических параметрах инструмента

**Краткая историческая справка о развитии теории резания материалов.** В 1870 году наш соотечественник Иван Августович Тиме (1838-1920), профессор Петербургского Горного института, публикует труд «Сопrotивление металлов и дерева резанию» в котором он впервые рассмотрел процесс деформации металла при стружкообразовании. Этот труд и считается началом науки о резании металлов, а ее автор, Иван Августович Тиме, - ее основоположником.

В 1893 году вышла в свет книга профессора Харьковского Технологического института Константина Алексеевича Зворыкина (1861-1928) «Работа и усилие, необходимые для отделения металлических стружек». Эта работа явилась ценным вкладом в мировую техническую литературу и поставила К.А. Зворыкина в ряд крупнейших ученых – основоположников науки о резании металлов.

За свое исследование, описанное в этой книге, Зворыкин был удостоен премии Русского технического общества. В своем исследовании для измерения усилий он впервые применил гидравлический динамометр. Методика изложенного исследования была настолько совершенна и тщательно продумана, что от современных исследований она отличается только технической оснащенностью. К.А. Зворыкиным была предложена схема сил, действующих на резец, в которой были учтены силы трения на передней и задней поверхностях. К.А. Зворыкин теоретически определил положение плоскости скалывания и высказал предположение, что в плоскости скалывания действуют нормальные силы, вызывающие силы трения между элементами стружки, препятствующие их движению. Значительная часть работы посвящена исследованию зависимости сил резания от толщины стружки.

В 1986 году опубликована работа преподавателя Михайловской артиллерийской академии, капитана Андрея Александровича Брикса «Резание металлов». В своей книге автор дал глубокий анализ работ отечественных и зарубежных исследователей, систематизировал понятия и уточнил терминологию, принятую в резании. Такие термины, как «режущее лезвие», «передняя грань», «задняя грань», «угол заострения», «задний угол», «передний угол» утвердились в науке о резании металлов и сохранились до наших дней.

В 1905-1910 годах Н.Н. Савиним выполнены исследования влияния смазочно-охлаждающей жидкости на процесс резания и качество обработанной поверхности. Результаты исследования опубликованы в «Известиях СПб Политехнического института» и в «Вестнике общества технологов» в 1910 году.

В 1914 году в «Известиях Донского политехнического института» была опубликована работа Б.Г. Соколова «О форме обдирочных резцов». В этой работе автор обращает внимание на то, что процесс образования стружки следует рассматривать в плоскости «схода стружки», которую в настоящее время мы называем главной секущей плоскостью.

Выдающейся работой после И.А. Тиме и К.А. Зворыкина была работа мастера механических мастерских Петроградского политехнического института Якова Григорьевича Усачева (1873-1941) «Явления, происходящие при резании металлов». Для изучения пластической деформации в зоне образования стружки Я.Г. Усачев впервые применил микроструктурный анализ корней стружек, позволивший увидеть плоскости скалывания и плоскости сдвигов внутри элементов стружки. При

микроструктурном анализе корней стружек Я.Г. Усачев обратил внимание на явление образования нароста на передней поверхности резца, которое он охарактеризовал как явление приспособляемости металла к условиям резания и указал, что «... нарост образуется всегда, если форма резца не соответствует условиям наименьшего сопротивления резанию».

Я.Г. Усачев был выдающимся экспериментатором и большим мастером своего дела, опубликованные им фотографии микроструктур корней стружек и нароста, удивляют исключительно высоким качеством их выполнения, собственноручно им изготовленные и применяемые в экспериментах резцы со встроенными полуюскусственными термопарами, являют собой образцы ювелирного их исполнения.

Начало работам советского послереволюционного периода времени было положено Андреем Николаевичем Челюсткиным (1891-1926), преподавателем Ленинградской артиллерийской академии. За 7 лет своей научно-педагогической работы он опубликовал целый ряд сочинений, сыгравших большую роль в развитии отечественной науки о резании металлов. Особое место среди его работ занимает сочинение «Влияние размеров стружки на усилие резания металлов».

В годы первой пятилетки 1928-1933 в нашей стране развернулось широкое строительство новых предприятий тяжелой индустрии и реконструкция существующих машиностроительных заводов. В этот период строятся такие гиганты нашей индустрии, как Горьковский Автозавод, Сталинградский, Харьковский и Челябинский тракторные заводы, авиационные заводы в Москве, Воронеже, Горьком, Уралмаш, Ново-Краматорский завод тяжелого машиностроения и другие.

Резкое расширение парка металлорежущих станков и увеличение объема металлообработки потребовало создания научно-обоснованных руководящих материалов по рациональному использованию имеющихся мощностей, выбору оптимальных режимов резания и условий обработки.

Развитие массового производства требовало освоения высокопроизводительных методов обработки металлов с применением специализированных инструментов.

Эти задачи в целом потребовали расширения научно-исследовательских работ в металлообработке. Поэтому в 1936 году по инициативе Наркома тяжелой промышленности СССР Григория Константиновича Орджоникидзе была создана «Комиссия по резанию металлов» под председательством профессора МВТУ имени Н.Э. Баумана. На основании работ, выполненных под руководством комиссии, впервые в мировой практике металлообработки разработаны справочные материалы, содержащие режимы резания всех применявшихся в то время конструкционных материалов и для всех видов обработки всеми видами инструмента. Эти материалы были положены в основу государственных нормативов по режимам резания.

В результате работ Комиссии были прочно заложены основы Советской школы резания металлов. Впервые в мировой практике созданы нормативно-справочные материалы по резанию металлов.

В период Великой Отечественной войны проведены широкие исследования, направленные на определение режимов резания максимальной производительности.

Послевоенный период характеризуется глубокими исследованиями накопившихся за время войны узких вопросов по теории резания металлов.

Результаты исследований опубликованы авторами:

1945г.- В. А . Кривоуховым «Деформирование поверхностных слоев металла в процессе резания»

1946г.- И.М. Беспрозванным «Физические основы теории резания металлов»

1949г. - С.Ф.Глебовым «Механизм пластической деформации при резании металлов»

1950г.- А.И. Исаевым «Процесс образования поверхностного слоя при обработке металлов резанием».

1953 и 1958г. – опубликованы две монографии М.И. Клушина «Резание металлов»

По вопросам тепловых явлений и износа режущего инструмента опубликованы работы:

1946г.-А.М. Даниеляна «Износ инструмента и тепловые явления при резании металлов»

1949г.- Б.И. Костецкого «Стойкость режущего инструмента».

1949г.- М.П. Левицкого «Проблема стойкости резцов».

Наряду с теоретическими исследованиями в послевоенный период решаются и новые практические задачи. В этот период осваивается производство новых мощных турбин, атомных реакторов, реактивных двигателей. Детали этих устройств, работающие в условиях действия высоких температур и давлений, изготавливаются из специальных жаропрочных, нержавеющих, эрозионно-стойких и тугоплавких материалов и сплавов, которые трудно поддаются механической обработке. Работы послевоенного периода и были направлены на определение оптимальных условий обработки таких материалов. В 1947 году интенсивно внедряется скоростное резание твердосплавными инструментами.

Современное состояние науки о резании металлов характеризуется глубокими исследованиями физико-химических явлений в зоне резания, исследуются процессы взаимодействия обрабатываемого материала и инструмента, новые инструментальные материалы, исследуется сверхскоростное резание.

Повышение быстроходности и надежности машин потребовало повышения точности обработки и улучшения качества обработанной поверхности. В связи с этим расширились работы по исследованию размерной стойкости инструмента, большое число работ посвящено исследованию внутренних напряжений в поверхностном слое обрабатываемой детали и исследованию влияния различных технологических факторов на усталостную прочность обрабатываемых деталей.

Необходимо отметить, что в настоящее время обнаруживается несоответствие возможностей металлургической промышленности и металлообработки. Металлургическая промышленность может поставлять нашей промышленности материалы высочайшей прочности, обработка которых вызывает большие трудности и стоит непомерно дорого. И в поиске новых методов металлообработки, совершенствования инструментов и их оптимизации ведутся исследовательские работы в настоящее время.

### 1.1 Основные виды механической обработки

Основными методами обработки материалов резанием являются:  
Точение (рис. 1),

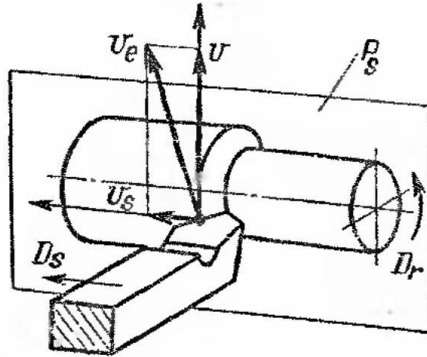


Рис. 1

Сверление (рис 2),

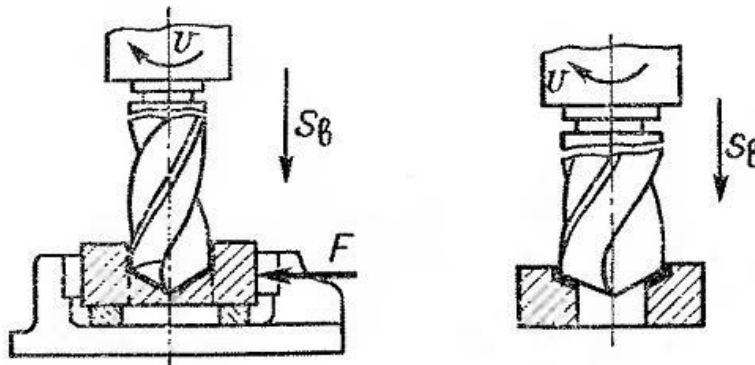


Рис. 2

Фрезерование (рис. 3),

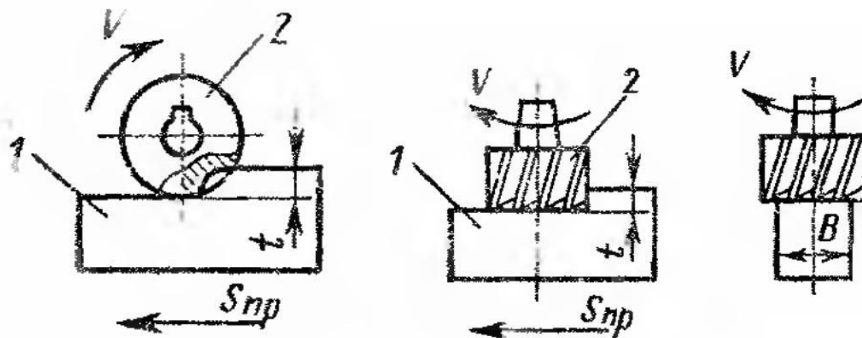


Рис. 3





Из них наиболее распространенным и изученным методом с точки зрения теории резания металлов является точение. Процесс точения имеет много общего со всеми другими методами механической обработки металлов, поэтому правильное понимание этого процесса облегчает изучение всех других методов обработки.

## 1.2. Клин - основная форма режущей части инструмента. Понятие о рабочих поверхностях инструмента и плоскостях.

На детали различают:

- обработанную поверхность – 2
- обрабатываемую поверхность -1
- поверхность резания – 3 (рис.1...5)

**Обрабатываемой поверхностью** называют поверхность, с которой снимается стружка.

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

**Поверхностью резания** называется поверхность, образуемая главной режущей кромкой резца, в результате движений резания.

Для определения углов резца устанавливают исходные плоскости: основную плоскость, плоскость резания и рабочую плоскость (рис. 6).

**Основной плоскостью**  $P_n$  называется плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению скорости главного движения. При токарной обработке основная плоскость параллельна продольной и поперечной подачам резца и если режущая кромка расположена на одном уровне с осью вращения детали, то совпадает с его опорной плоскостью.

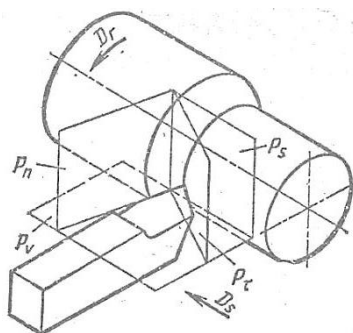


Рис. 6

**Плоскостью резания**  $P_n$  называется плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная основной плоскости.

**Рабочая плоскость**  $P_s$  – это плоскость, в которой расположены направления скоростей главного движения  $D_g$  и движения подачи  $D_s$ .

**При обработке деталей на металлорежущих станках различают следующие виды движения:** главное, движение подачи и вспомогательные.

На рисунках 1.1...1.5 буквой  $V$  обозначено направление главного движения, буквой  $S$  направление движения подачи Вспомогательное движение, это все холостые и установочные движения узлов станка и режущего инструмента.

### 1.3. Геометрические параметры токарного резца.

Токарный резец состоит из рабочей (режущей части) и стержня (присоединительной части), служащего для закрепления резца в резцовой головке суппорта станка.

Режущая часть резца образована передней, главной задней и вспомогательной задней поверхностями (определение см. ранее). Пересечение передней поверхности резца с главной задней и вспомогательной задней образует соответственно главную и вспомогательную режущие кромки. Место сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок называется вершиной резца.

Вершина резца может быть острой закругленной или в виде участка прямой линии, называемой переходной кромкой.

Углы резца рассматриваются в главной и вспомогательных секущих плоскостях и в плане (рис. 7).

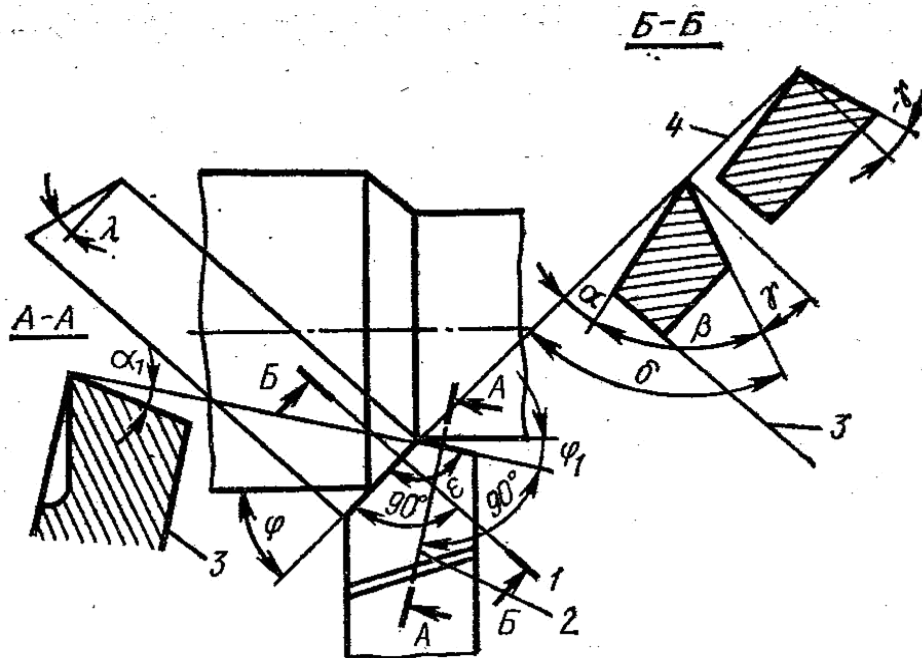


Рис. 7

Главная секущая плоскость – плоскость перпендикулярная линии пересечения основной плоскости и плоскости резания и делящая главную режущую кромку на две части.

В этой плоскости рассматриваются следующие углы:

-передний угол  $\gamma$  – угол между передней поверхностью резца и основной плоскостью;

-главный задний угол  $\alpha$  – угол между главной задней поверхностью резца и плоскостью резания;

- угол заострения  $\beta$  – угол между главной задней и передней поверхностями резца;

-угол резания  $\delta$  – угол между плоскостью резания и передней поверхностью резца.

Условно передний угол  $\gamma$  может быть отрицательным. Из построения между углами в главной секущей плоскости имеются следующие зависимости:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ, \quad \delta = 90^\circ - \gamma = \alpha + \beta$$

Кроме главной секущей плоскости, различают вспомогательную секущую плоскость 2, проходящую перпендикулярно вспомогательной режущей кромке. В этой плоскости, обычно рассматривают два угла:  $\alpha_1$  – задний угол в вспомогательной секущей плоскости и  $\gamma_1$  – передний угол в этой плоскости.

При рассмотрении сверху (в плане) проходного резца, установленного на суппорте токарного станка, видны следующие углы резца.

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

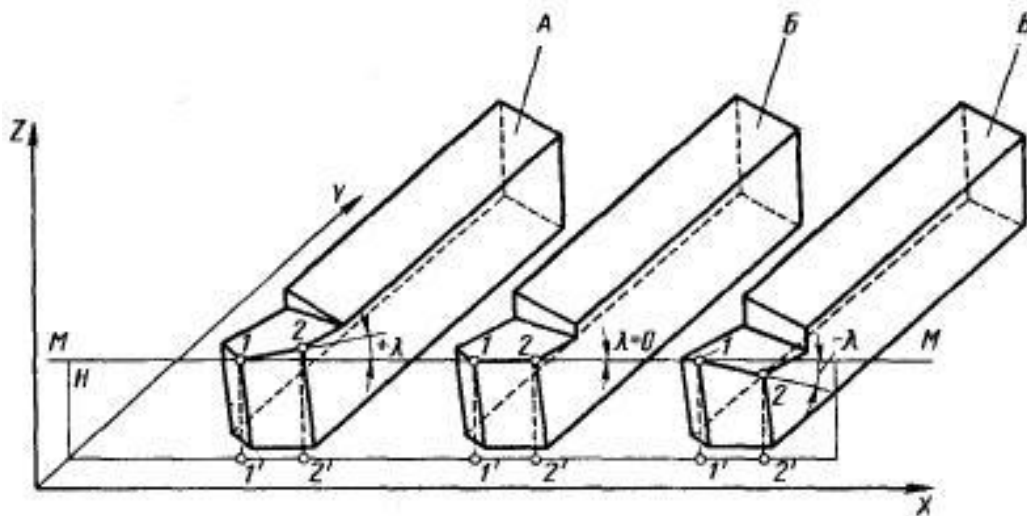
Вспомогательный угол в плане  $\phi_1$  – угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи.

Угол при вершине  $\epsilon$  – угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость.

Сумма этих углов:

$$\phi + \phi_1 + \epsilon = 180^\circ$$

Имеется еще один угол, характеризующий резец. Это угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  – угол в плоскости резания между главной режущей кромкой и основной плоскостью. Угол  $\lambda$  считается положительным, когда вершина резца является нижней точкой режущей кромки, равным нулю, когда режущая кромка



параллельна основной плоскости (рис. 8).

Рис. 8. Угол наклона главной режущей кромки

**Углы режущей части резца существенно влияют на процесс резания.** Так задние углы  $\alpha$  и  $\alpha_1$  уменьшают передние между задними поверхностями резца и обрабатываемой поверхностью заготовки. При обработке стальных и чугунных деталей рекомендуется выполнять задние углы в пределах 6...12.

С увеличением переднего угла  $\gamma$  уменьшается работа на деформирование срезаемого слоя. Изменяется значение угла в весьма широких пределах от  $20^\circ$  до  $-10^\circ$  причем с увеличением твердости обрабатываемых материалов значение угла уменьшается, что объясняется необходимостью обеспечения определенного уровня стойкости инструмента.

Главный угол в плане  $\varphi$  определяет соотношение между радиальной и осевой силами резания. При увеличении угла  $\varphi$  радиальная сила уменьшается, а осевая возрастает. Вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$  оказывает существенное влияние на шероховатость поверхности после обработки. Наиболее распространены  $\varphi_1 = 12 \dots 150$ .

Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  определяет направление схода стружки. При положительном  $\lambda$  стружка имеет направление на обработанную поверхность, при отрицательном  $\lambda$  — на обрабатываемую. При чистовой обработке принимать угол  $\lambda$  положительным не рекомендуется, так как сходящая стружка может повышать шероховатость обработанной поверхности.

#### 1.4. Виды резцов. Кинематические углы резца. Заточка и доводка резцов.

Величины углов  $\gamma$  и  $\alpha$  зависят от расположения резца относительно заготовки в процессе точения, а также от установки, так например, при смещении вершины резца относительно оси заготовки вверх или вниз происходит соответственно увеличение либо уменьшение переднего угла  $\gamma$ .

При растачивании же наоборот.

Кроме того углы несколько изменяются в процессе резания или иначе говоря в кинематике.

Рассмотрим процесс обточки вала проходным упорным резцом ( $\varphi = 90^\circ$ ) с углом  $\lambda = 0$  и вершиной установленной по центру заготовки (см. рис. 9).

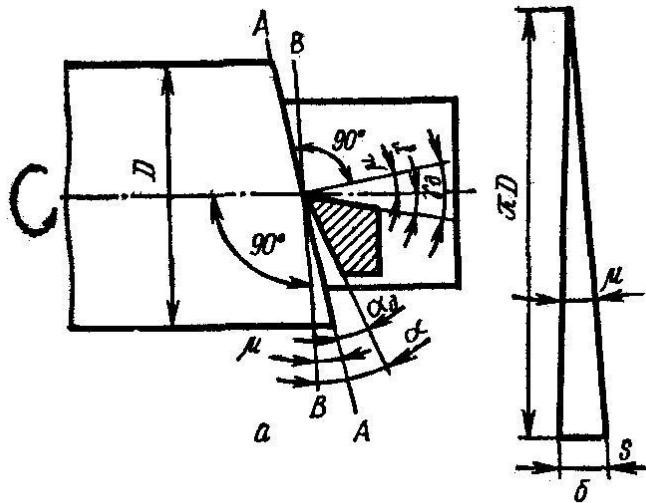


Рис. 9

Величину угла отклонения действительной плоскости резания В-В от ее положения в статике А-А можно определить из выражения.

$$\operatorname{tg} \mu = S / \pi D,$$

где  $S$  —подача, мм/об;

$D$  - диаметр заготовки, мм.

Кинематические углы определяются

$$\alpha_k = \alpha - \mu, \quad \gamma_k = \gamma + \mu,$$

где  $\mu = \arctg S/\pi D$

При точении резцами с  $\varphi \neq 90^0$  угол определяется из выражения

$$\mu_1 = \arctg (S/\pi D * \sin \varphi),$$

где  $S * \sin \varphi = a$  – толщина (высота) срезаемой стружки .

### Вопросы для самоконтроля

1. Охарактеризуйте основные этапы развития науки о резании металлов.
2. Назовите основные элементы режущей части токарного резца и дайте им определение.
3. Дайте определение углам  $\alpha, \gamma, \varphi$  и укажите назначение каждого из них.
4. Как изменяются углы в кинематике?

### Список литературы

#### Основная

1. Оськин, В. А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник. Кн. 1 / В. А. Оськин, В. В. Евсиков. - М. : КолосС, 2008. - 447 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 978-5-9532-0369-2.
2. Карпенко, В.Ф. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник. Кн. 2 / В. Ф. Карпенко, Л. Г. Баграмов, В. Н. Байкалов и др. - М. : КолосС, 2006. - 310 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 5-9532-0208-3

#### Дополнительная

3. Некрасов, С.С. Обработка материалов резанием: Учебник / С.С. Некрасов. – М.: Колос. – 1997. – 320 с.
4. Гапонкин, В.А. и др. Обработка резанием, металлорежущий инструмент и станки: Учебник для средних специальных учебных заведений по машиностроительным специальностям/ В.А. Гапонкин. –М.:Машиностроение.–1990.– 448 с.

## Лекция №2 Классификация резцов

### 2.1. Классификация резцов

- по направлению подачи - правые и левые;
- по типу станков - токарные строгальные, долбежные и т.д. ;
- назначению – проходной, подрезной, отрезной, упорный, резьбовой , расточный, фасонный и т.д.;
- форме режущей кромки- прямолинейной и криволинейной;
- форме передней поверхности- плоской с фаской, радиусная и т.п.;
- материалу режущей части РЗ; ТК; ВК и способу ее крепления –напаянные цельные, с механическими креплениями;
- сечению тела резца (державки) – с прямоугольным, квадратным и круглым сечением.

Конструкция резцов должна удовлетворять следующие требования:

- 1) соответствие своему технологическому назначению (черновая, чистовая обработка, растачивание, нарезание резьбы и т.п.);
- 2) обеспечение наибольшей производительности, для чего резцы должны:
  - а) обладать высокой износостойкостью ,что определяется правильным выбором марки материала режущей части;
  - б) иметь достаточную прочность и жесткость для предотвращения вибраций и обеспечения точности обработки;
  - в) иметь оптимальную геометрию, обеспечивающую наименьшие силы резания и допускающую наибольшие скорости резания при заданном периоде стойкости.

В серийном производстве желательно, чтобы резец был пригоден для возможно более разнообразных работ (универсальность резцов).

С целью придания необходимой геометрической формы режущей части резцов применяют их заточку и доводку.

Заточка резцов производится на универсально-заточных станках с помощью приспособлений, позволяющих фиксировать положения режущего инструмента относительно абразивного круга. Для заточки рекомендуется применять абразивные круги из зеленого карбида кремния (марки 62С, 64С), нитрида бора (эльбора), карбида бора, а также алмазные круги. Так как после заточки (черновой на крупнозернистых кругах) режущие кромки и основные поверхности режущей части инструментов имеют высокую шероховатость, что отрицательно сказывается как на качестве поверхности (особенно при работе фасонными резцами), так и на температуре резания и как следствие стойкости инструмента, то проводится операция доводки резцов, предназначенная для придания поверхностям режущей части высокого класса чистоты. Выполняется она либо при помощи алмазных мелкозернистых кругов, либо при помощи доводочных паст.

### 2.2. Элементы режима резания. Площадь и форма срезаемого слоя, объем снятой стружки. Основное (машинное) время

Режим резания характеризуется глубиной резания  $t$ , подачей  $S$  и скоростью резания  $V$ .

Глубиной резания  $t$  называется расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное по нормам к последней. При точении (Рис. 10)

$$t = (D - d) / 2 \text{ (мм)}$$

Подачей  $S$  называется величина перемещения резца за один оборот детали, измеряемая в миллиметрах (мм/об). В зависимости от вида обработки направление подач может быть различным. При точении различают: продольную подачу – вдоль оси заготовки (обрабатываемой детали); поперечную подачу – перпендикулярно к оси обрабатываемой детали и наклонную подачу – под углом к оси обрабатываемой детали.

Скорость резания  $V$  окружная скорость перемещения обрабатываемой поверхности детали относительно резца в направлении главного движения. Скорость резания (м/мин) для станков с главным вращательным движением (токарных, сверлильных, фрезерных).

$$V = \pi D n / 1000, \text{ (м/мин)}$$

где  $D$  – диаметр заготовки (при точении), диаметр сверла (при сверлении), диаметр фрезы (при фрезеровании);

$n$  – частота вращения заготовки или инструмента, об/мин.

В процессе резания при токарной обработке с заготовки срезается материал, поперечное сечение которого имеет форму параллелограмма. Основание параллелограмма равно подачи  $S$ , его высота – глубине  $t$ . Площадь срезаемого слоя

$$F = t * S, \text{ (мм}^2\text{)}$$

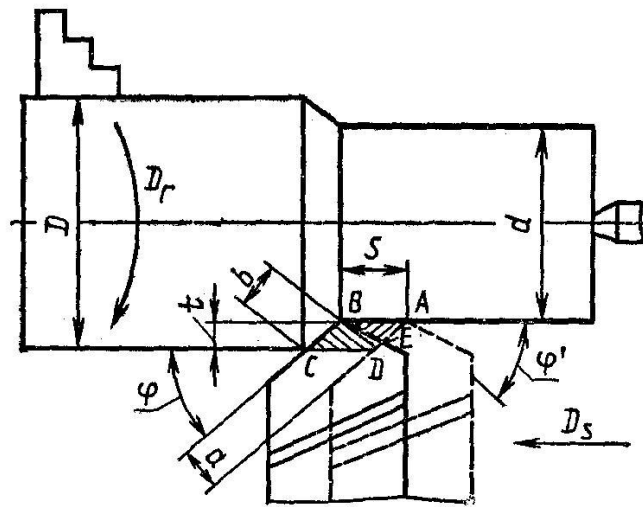


Рис. 10

Величину площади срезаемого слоя  $f$  можно выразить также через основание  $b$  (ширину среза), причем

$$b = t / \sin \varphi \quad a = S * \sin \varphi,$$

где  $\varphi$  – главный угол в плане, град.

При точении возможны три случая резания: свободное, полусвободное, блокированное (см. рис. 11).

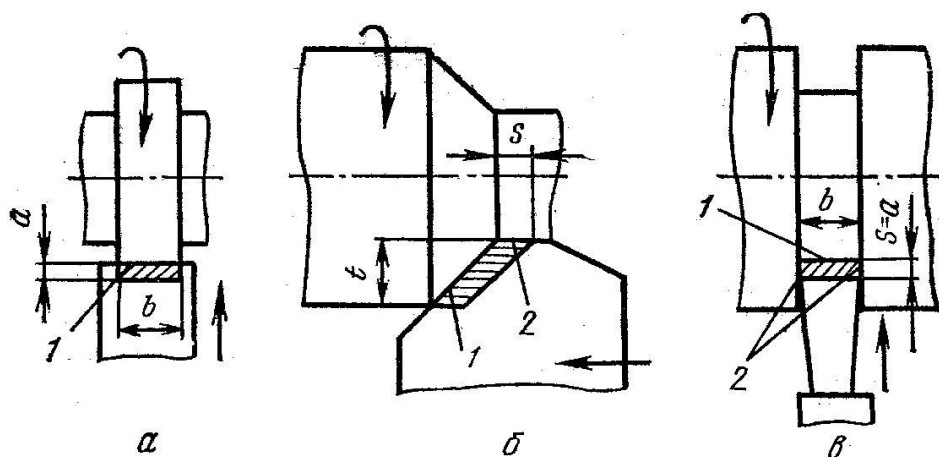


Рис. 11

При свободном резании процесс осуществляется одной режущей кромкой (а). Это соответствует точению узкого буртика с поперечной подачей.

При полусвободном точении в резании участвуют две режущие кромки (б). При блокированном резании участвуют три режущие кромки: главная и две вспомогательные (в).

Для определения объема материала, срезаемого за 1 мин, необходимо умножить площадь поперечного сечения среза на длину обрабатываемой поверхности, проходимой относительно резца за единицу времени (скорость резания  $V$ )

$$Q = t \cdot S \cdot V \quad (\text{м}^3 / \text{мин}),$$

где  $t$  и  $S$  имеют размерность в метрах.

Основным технологическим или машинным временем называется время, затрачиваемое в процессе обработки детали непосредственно на изменение формы и размеров детали. При токарной обработке основное (машинное) время

$$T_0 = L i / n S, \quad (\text{мин}),$$

где  $L$  – расчетная длина обработанной поверхности, мм;

$i$  – число проходов резца;

$n$  – частота вращения детали, об/мин;

$S$  – подача, мм/об.

Расчетная длина  $L$  (рис. 12) складывается из длины обработанной поверхности детали  $l$ , пути врезания резца  $l_1$  перебега резца  $l_2$ .

$$L = l + l_1 + l_2$$



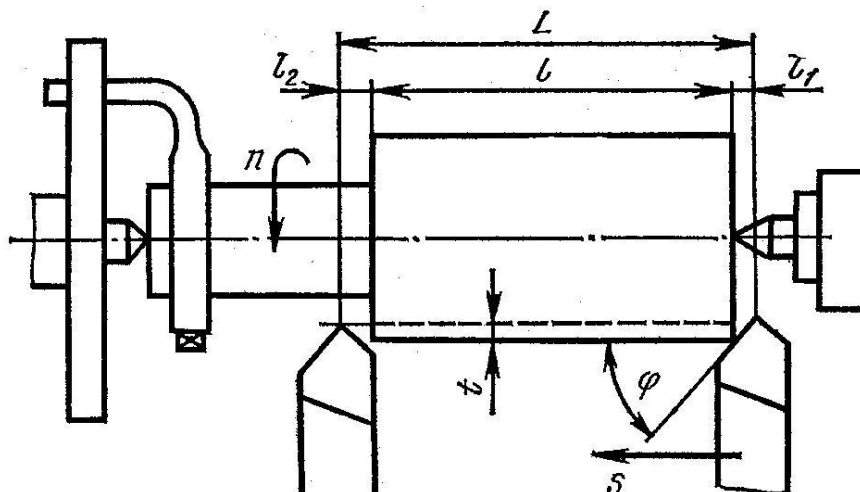


Рис. 12

Длина пути врезания

$$l_1 = t^* \operatorname{ctg} \varphi$$

Перебег резца принимают равным

$$l_2 = 1 \dots 3 \text{ мм}$$

### 2.3. Материалы для изготовления режущих инструментов

Режущие кромки инструментов в процессе работы находятся под действием больших давлений  $p$ , кроме того, нагреваются до высоких температур в результате деформирования обрабатываемого материала и наличия сил трения. Поэтому инструментальные материалы должны обладать высокой твердостью (HRC 60...65), значительной теплостойкостью и износостойкостью, высокой механической прочностью и вязкостью.

Режущие инструменты целиком или режущую часть их изготавливают из инструментальных сталей и твердых сплавов.

Инструментальные стали разделяют на углеродистые, легированные и быстрорежущие.

**Углеродистые инструментальные стали** применяют для изготовления слесарно-монтажных и ручных режущих инструментов. Работающих при малых скоростях резания. Ножницы, отвертки, зубила изготавливают из сталей У7, У7А; пробойники, ножовки – У8, У8А...У 10, У10а; слесарные метчики и напильники У11...У13А.

Инструменты из углеродистой стали подвергают термической обработке, которая состоит в закалке и последующем низком отпуске.

**Легированные инструментальные стали**, применяемые для изготовления режущих инструментов, можно разделить на хромистые, хромокремнистые, вольфрамовые и хромовольфрамомарганцовистые. Наиболее распространены стали марок Х, 9ХС, В1 и ХВГ.

Из стали марки Х изготавливают метчики, плашки; из стали 9ХС – сверла, развертки, фрезы, метчики и плашки. Сталь марки В1 рекомендуется для изготовления

мелких сверл, метчиков, разверток, а сталь ХВГ – для изготовления протяжек, длинных метчиков и разверток.

**Быстрорежущие стали** обладают высокой теплостойкостью, а инструменты из этих сталей могут работать с более высокими скоростями резания и сечения среза. Компонентами, обеспечивающими эти свойства в быстрорежущих сталях, являются вольфрам 9...18%, а также хром и ванадий. Наиболее распространены быстрорежущие стали нормальной производительности марок P18 (вольфрама 18%) и P9 (вольфрама 9%). Введение в состав стали молибдена позволяет снизить содержание вольфрама (дорогостоящего) при сохранении тех же свойств. Это и у стали P18. Это стали марок P6M5, P6M3.

Группа быстрорежущих сталей повышенной производительности характеризуется введением в их состав ванадия и кобальта. Эти стали (P18 K5 Ф2, P10 K5 Ф5, P9 K10, P14 Ф4) обеспечивают повышение стойкости инструмента в 2...4 раза по сравнению со сталью P18. Применяют эту группу сталей для обработки нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов. Теплостойкость быстрорежущих сталей – до 600°C в отличие от инструментальных и легированных – 200-250°C.

**Твердые сплавы** подразделяют на металлокерамические и минералокерамические и выпускают в виде различных пластинок, применяемых для оснащения режущих кромок инструментов. Инструменты, оснащенные пластинками из твердых сплавов, допускают особенно высокие скорости резания, так как их теплостойкость значительно выше, чем у инструментов из быстрорежущих, а тем более углеродистых сталей. Кроме того, твердые сплавы обладают высокой сопротивляемостью истиранию.

**Металлокерамические твердые сплавы** разделяют на вольфрамовые (однокарбидные), вольфрамотитановые (двухкарбидные), вольфрамотитано-танталовые (трехкарбидные).

Вольфрамовые сплавы (группы ВК) состоят из карбидов вольфрама WC и цементирующей связки – кобальта.

Вольфрамотитановые сплавы (группа ТК) состоят из карбидов вольфрама WC, карбидов титана TiC и связующего кобальта.

Вольфрамотитанотанталовые сплавы (группы ТТК) состоят из карбидов вольфрама, титана, тантала и связующего кобальта.

По марке твердого сплава можно судить о химическом составе сплава. Буква К с последующей цифрой обозначает содержание кобальта в процентах. Так в сплаве ВК6 содержится 6% кобальта, остальное 94% – карбиды вольфрама. Содержание карбидов титана в сплаве группы ТК дается после буквы Т. Например, в сплаве ТК10 содержится 5% карбидов титана, 10% кобальта и остальное – 85% карбиды вольфрама.

В группе вольфрамотитанотанталовых сплавов (ТТК) после второй буквы Т дается суммарное содержание в процентах карбидов титана и тантала. Так в сплаве ТТ7К15 содержится 7% карбидов титана и тантала, 15% кобальта, остальное – 78% карбиды вольфрама. Безвольфрамовые сплавы ТН 20, КНТ 16.

По механической прочности твердые сплавы в целом уступают инструментальным сталям. Предел прочности на изгиб у них ниже в 2,5...3,2 раза. Однако твердые сплавы обладают высоким пределом прочности на сжатие и по этому параметру соответствуют и даже превосходят инструментальные стали.

Сплавы группы ВК применяют при обработке деталей из чугуна. При обработке стальных деталей следует применять сплавы группы ТК и ТТК. Кроме того, с увеличением содержания кобальта сплавы становятся менее хрупкими, их прочность при изгибе увеличивается. Поэтому сплавы с большим содержанием кобальта

применяют при черновой обработке, с меньшим содержанием кобальта – при чистовой. Основным преимуществом твердых сплавов является их высокая теплостойкость – до 1000°С и износостойкость.

**Минералокерамические твердые сплавы** представляют собой окись алюминия  $Al_2O_3$  (ЦМ 332) или силиниты  $Si_3N_4$ , подвергнутые специальной термической обработке и выпускаемые в форме пластинок белого цвета. Минералокерамика превосходит металлокерамические твердые сплавы по твердости и теплостойкости (их температуростойкость до 1500°С), но значительно уступают им по вязкости и теплопроводности.

Резцы с минералокерамическими пластинками применяют на чистовых операциях при работе с высокими скоростями резания.

Существуют также материалы в состав которых входят и минералы и карбиды тугоплавких металлов. Их называют керметами и по прочностным показателям и температуростойкости занимают среднее положение между металлокерамикой и минералокерамикой. ВСК60 (63).

#### Новые инструментальные материалы

**Нитрид бора (эльбор) по твердости уступает лишь синтетическому алмазу, превосходя минералокерамику и керметы. Кроме того, он прочнее всех прочих синтетических инструментальных материалов. Температуростойкость нитрида бора достигает 1800°С.** Эльбор является эффективным инструментальным материалом при обработке труднообрабатываемых материалов и термообработанных сталей. Нитрид бора гексагонального строения получил название гексарит-Р.

Синтетические алмазы превосходят все известные синтетические инструментальные материалы, что и предопределяет область их применения. Температуростойкость алмазов сравнительно низка – 650°С, но этот недостаток компенсируется высокой теплопроводностью.

Таблица 1. Характеристики инструментальных материалов

Марка инструментального материала	Предел прочности при изгибе $\sigma_{\text{и}}$ ГПа	Твердость HRC	Температуростойкость °С
У7, У7А	2,0	61...68	200
У10, У10А	2,4		220
У12, У12А	3,5		250
Х	2,3	63...66	240
9ХС	2,2		250
ХВГ	3,4		220
Р18	3,0	63...65 64...66 66...68	615...620
Р6М5	3,4		615...620
Р12Ф3	2,5		630...640
Р9К5	2,5		630...640
В11М7К23	2,3		700
ВК3	1,2	89	800...1100
ВК6	1,5	91	850...1050
ВК8	1,7	87,5	900...950
Т5К10	1,5	88	900...1100
Т15К6	1,2	90	950...1150
Т30К4	1,0	92	1000...1200
ТТ7К12	1,6	90	1000

ВОК-60	0,6...0,7	91...93	До 1300
ЦМ 332	0,3...0,45	91...93	До 1150
Эльбор Гексанит-Р10	-	65 HV (в 3-4р. >Тв. спл.)	До 1600
Алмаз АСБ-5 (искусств.)АСПК-1		90...100 HV	600...700

## 2.4. Маркировка и схемы крепления многогранных пластин

В последнее время все шире применяются резцы, оснащенные многогранными неперетачиваемыми пластинами с их механическим креплением к корпусу инструмента. Это позволяет экономить дорогие инструментальные материалы. Существуют следующие схемы закрепления пластин (рис. 13)

- а) при помощи прижима;
- б) винтом и клиновым распором;
- в) винтом с прижимом;
- г) рычажное крепление;
- д) крепление при помощи винтов, ввертываемых в отверстие корпуса резца, смещенного в сторону державки на 0,15 мм.

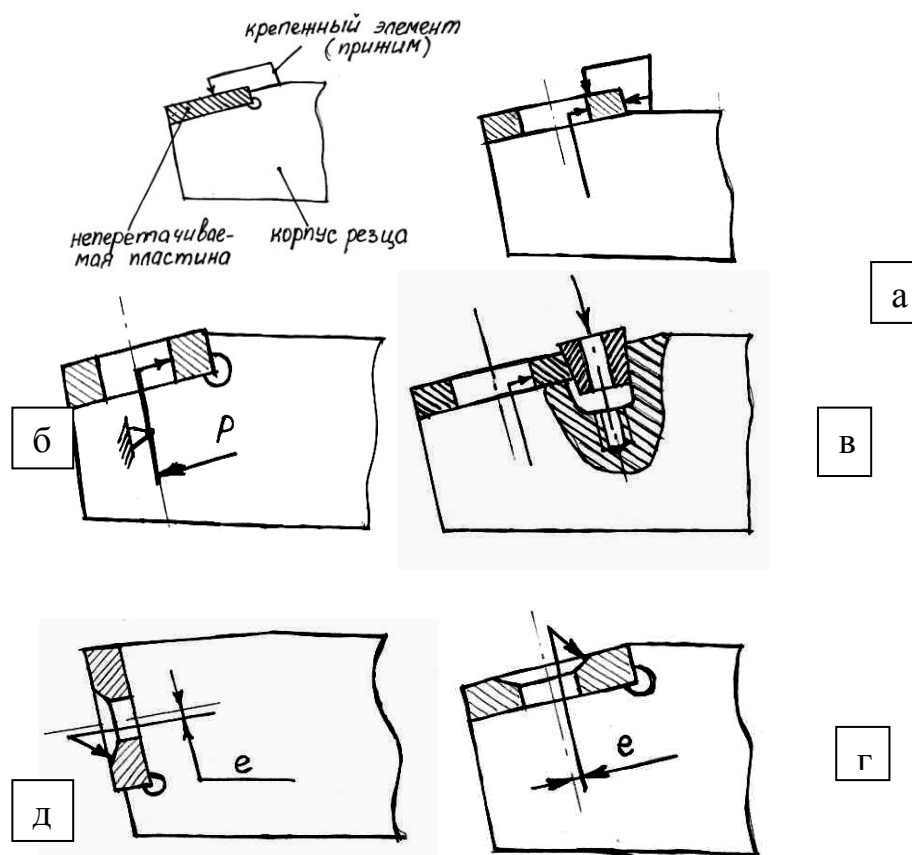


Рис. 13. Схемы закрепления твердосплавных пластин:

- а – при помощи прижима; б – винтом и клиновым распором; в – винтом с прижимом; г – рычажное крепление; д – крепление при помощи винтов, ввертываемых в отверстие корпуса резца, смещенного в сторону державки на 0,15 мм.

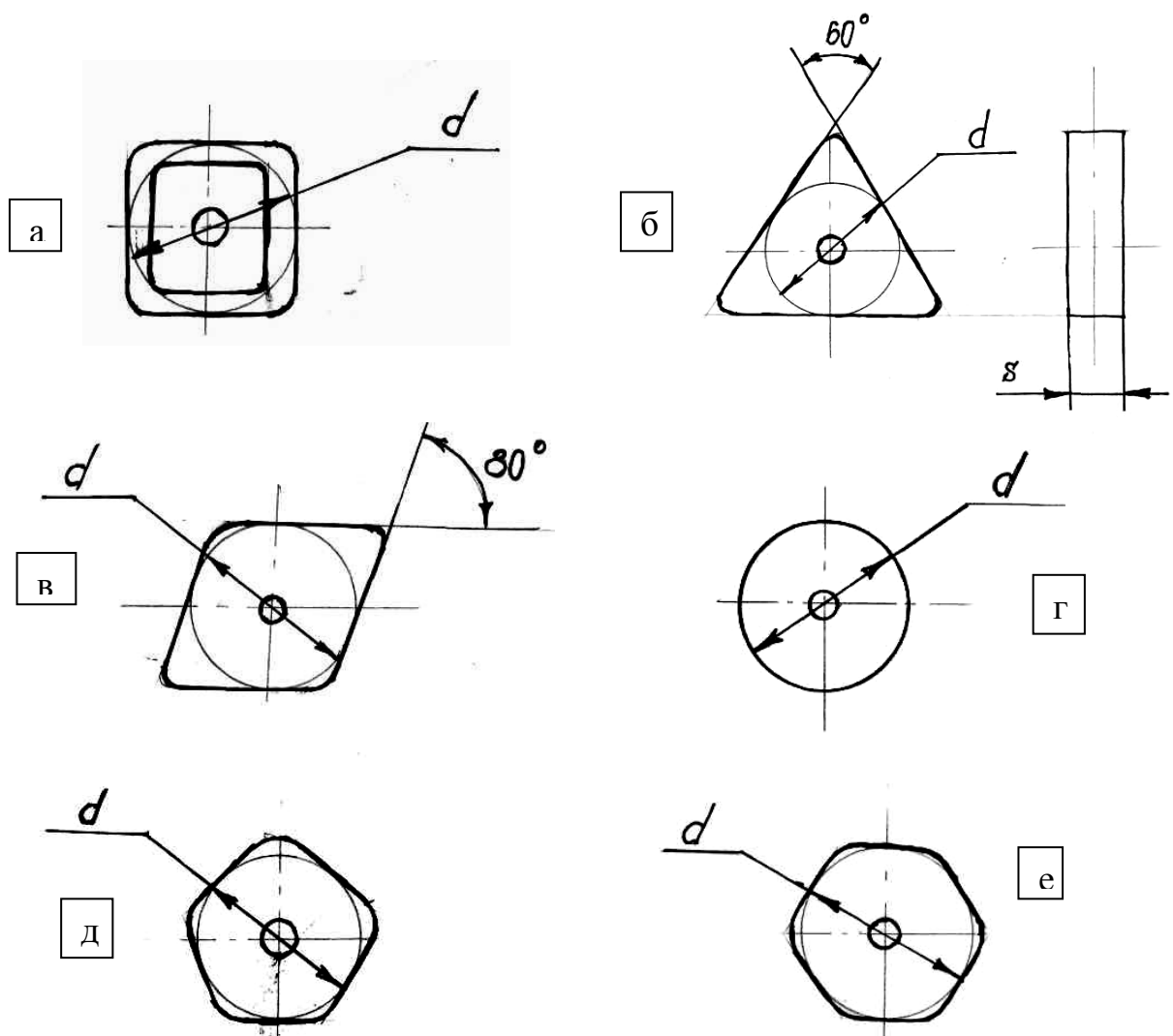


Рис. 14. Виды многогранных неперетачиваемых пластин:  
 а – трехгранные, б – квадратные, в – ромбические, г – круглые,  
 д – пятигранные, е – шестигранные.

Сменные многогранные неперетачиваемые пластины подразделяются по следующим признакам:

а) по форме (рис. 14): трехгранные, квадратные, ромбические, круглые, пятигранные, шестигранные.

б) по конструкции: с отверстием и без отверстия.

в) по форме передней поверхности: плоские и со стружколомающими канавками.

г) по величине задних углов:  $0^\circ$ ,  $7^\circ$ ,  $11^\circ$ ,  $20^\circ$ .

д) по оформлению вершины: с радиусами и с фасками.

е) по размерам: оценивается диаметр вписанной окружности и толщина пластины.

ж) по степени точности: F...U

предельные отклонения по диаметру d:  $F/U = \pm 0,013\text{мм}/\pm 0,25\text{мм}$ ;

предельные отклонения по толщине s:  $F/U = \pm 0,025\text{мм}/\pm 0,13\text{мм}$ .

### Вопросы для самоконтроля

1. Чем определяется понятие «режим резания»?
2. По каким формулам определить скорость резания  $V$  и основное технологическое время  $T_0$  при точении?
3. Перечислите требования, предъявляемые к инструментальным материалам.
4. Перечислите основные группы материалов, применяемых для изготовления режущего инструмента.
5. При каких режимах резания целесообразно использовать режущий инструмент из керамического материала?
6. Назовите область применения инструментов из СТМ.

### Список литературы

#### Основная

1. Оськин, В. А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник. Кн. 1 / В. А. Оськин, В. В. Евсиков. - М. : КолосС, 2008. - 447 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 978-5-9532-0369-2.
2. Карпенко, В.Ф. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник. Кн. 2 / В. Ф. Карпенко, Л. Г. Баграмов, В. Н. Байкалов и др. - М. : КолосС, 2006. - 310 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 5-9532-0208-3

#### Дополнительная

3. Некрасов, С.С. Обработка материалов резанием : Учебник / С.С. Некрасов. – М.: Колос. – 1997. – 320 с.
4. Гапонкин, В.А. и др. Обработка резанием, металлорежущий инструмент и станки: Учебник для средних специальных учебных заведений по машиностроительным специальностям/ В.А. Гапонкин. –М.:Машиностроение.–1990.– 448 с.

### Лекция №3 Физические основы процесса резания металлов

#### 3.1. Процесс образования стружки, явления, сопровождающие процесс резания металлов.

В общем случае обработка резанием заключается в образовании новых поверхностей путем деформирования и последующего отделения поверхностных слоев материала с образованием стружки (ГОСТ 3.1109-73)

Слой металла, подлежащий срезанию, находится в сложнапряженном состоянии, упругой и пластической деформации подвергаются также близлежащие слои металла, расположенные впереди резца и под ним.

По классификации профессора И.А.Тиме в процессе резания различных материалов образуются следующие основные виды стружек: сливные (непрерывные), скалывания (элементные) и надлома (рис. 15).

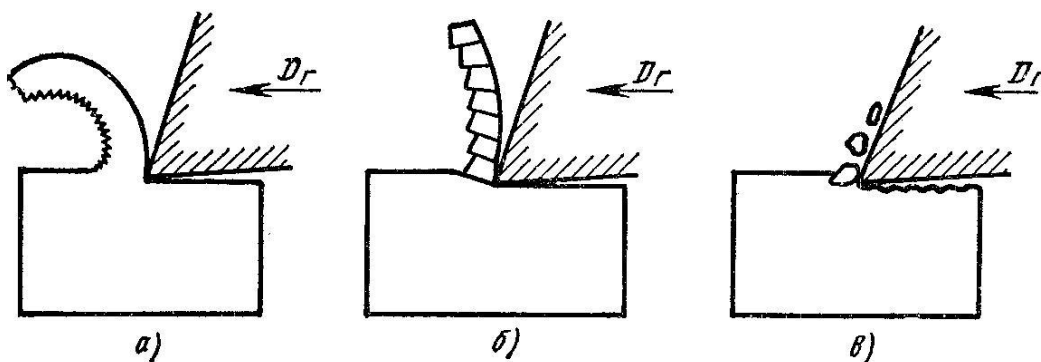


Рис. 15 Типы стружек:  
а - сливная; б - скалывания; в - надлома

**Сливные стружки** образуются при резании вязких и мягких материалов (низкоуглеродистые стали, деформируемые алюминиевые сплавы, латуни и др.) и являются наиболее распространенными.

**Стружки надлома** образуются при резании хрупких материалов (серых чугунов некоторых марок бронз и др.) Такая стружка состоит из отдельных как бы вырванных элементов, не связанных между собой. При этом происходит образование трещины впереди, скорость развития которой превышает скорость резания.

**Стружки скалывания** занимают промежуточное положение между сливными стружками и стружками надлома. С изменением условий обработки стружка скалывания может перейти в сливную и наоборот.

Образование стружки скалывания происходит следующим образом (рис. 16).

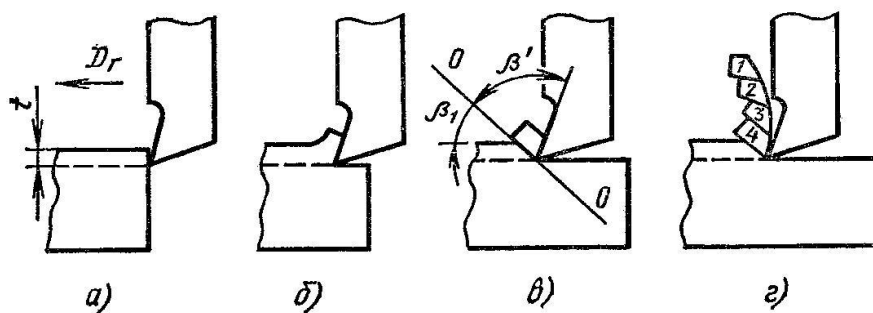


Рис. 16.

Резец под действием силы  $P$  внедряется в металл и сжимает его, вызывая в нем упруго-пластические деформации.

Когда напряжения в срезаемом слое превысят предел прочности металла, произойдет скалывание первого элемента по плоскости скалывания  $AA$ . Затем происходит сдвиг следующего элемента и т.д. Направление плоскости скалывания  $AA$  составляет с направлением движения резца угол  $\beta_1$ , который называется углом скалывания. Этот угол изменяется с изменением условий резания и главным образом с изменением угла резания –  $\delta$ .

В сливных стружках разделение элементов по плоскости скалывания не происходит.

Для процесса образования стружек надлома характерно наличие опережающей трещины впереди режущего инструмента с отделением частиц срезаемого слоя.

В процессе резания пластическая деформация происходит не только в срезаемом слое, но и в поверхностном слое основной массы металла. Деформирование вызывает изменение физических свойств металла: повышает его твердость, снижает относительное удлинение и ударную вязкость. Микротвердость обработанной поверхности выше микротвердости сердцевины детали примерно в 1,5...2,5 раза. Явление, связанное с поверхностным упрочнением обработанных поверхностей, называется наклепом. Глубина его составляет 1...2 мм.

В результате пластической деформации обрабатываемого материала в зоне резания длина стружки  $l_1$  получается меньше длины  $l$ , пройденной резцом (рис. 17).

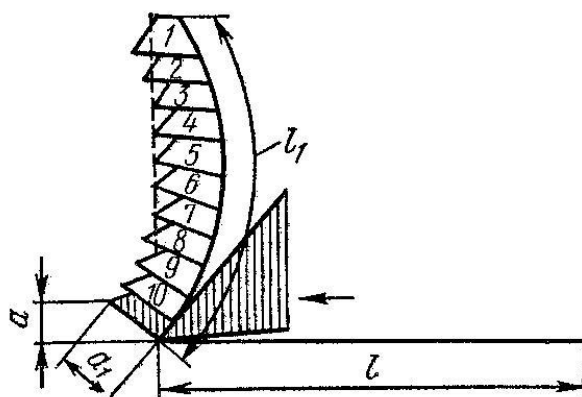


Рис. 17



Для оценки деформаций стружки используют коэффициенты:  
 -укорочения стружки, характеризующего продольную усадку стружки

$$K_1 = l/l_1 > 1,$$

где  $l$  – длина, пройденная резцом;

$l_1$  – длина стружки.

-утолщения стружки, характеризующего поперечную усадку стружки

$$K_a = a_1/a > 1,$$

где  $a$  - толщина срезаемого слоя;

$a_1$  –толщина стружки

- уширения стружки

$$K_b = v_1/v > 1,$$

где  $v$  –ширина срезаемого слоя;

$v_1$  - ширина стружки

Усадка стружки зависит от режимов резания, геометрических параметров инструмента и физико-механических свойств обрабатываемого материала. Усадку стружки можно рассматривать как интегральный показатель степени пластических деформаций при резании металлов. При увеличении переднего угла  $\gamma$ , например, толщины среза (подачи) усадка стружки уменьшается, при обработке же более пластичных материалов усадка стружки возрастает.

Еще одним характерным явлением для процесса резания металлов является так называемый нарост. Причинами образования нароста служат два основных фактора. Наличие весьма высоких давлений около режущей кромки, достигающих при резании сталей до 8...10 ГПа, и наличие около режущей кромки зоны нулевых скоростей. Вблизи точки А (рис. 18) поток материала раздвигается; часть уходит в стружку, а часть металла образует заготовку, при этом на режущей кромке возникает зона нулевых скоростей, т.е. застойная зона. Вследствие высоких давлений в зоне резания и наличия значительных деформаций твердости нароста становится в 2...3 раза больше твердости обрабатываемого металла. В результате образовавшийся нарост сам начинает производить процесс резания.

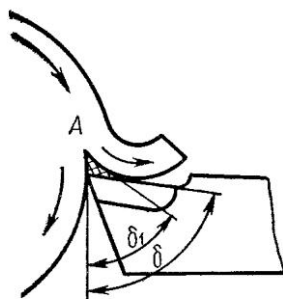


Рис. 18

Нарост уменьшает угол резания ( $\delta > \delta_1$ ) температуру резания и износ резцов. Нестабильность же этого явления приводит к существенному повышению шероховатости обработанной поверхности и нестабильности размера обработанной поверхности

С увеличением пластичности обрабатываемых металлов, подач и угла резания  $\delta$  размеров нароста увеличиваются. Применение смазочно-охлаждающей жидкости уменьшает нарост. Характерно, что при скоростях резания 2...5 м/мин нарост не образуется. В интервале 10...20 м/мин (для стали) нарост значителен. При скоростях резания свыше 20 м/мин высота нароста уменьшается по мере дальнейшего увеличения скорости резания.

Вопрос деформации при резании пластичных материалов рекомендуется для самостоятельного изучения.

### 3.2. Тепловые явления в процессе резания.

**Распределение тепла между стружкой, заготовкой и резцом.** Важнейшим фактором, обуславливающим процесс резания, служит образующаяся в процессе резания теплота. Суммарная работа  $A_{\Sigma}$ , затрачиваемая на процесс резания может быть представлена уравнением:

$$A_{\Sigma} = A_{\text{упр.}} + A_{\text{пл.}} + A_{\text{тр.пп}} + A_{\text{тр.зп}}$$

где  $A_{\text{упр.}}$  – работа, затрачиваемая на упругие деформации;

$A_{\text{пл.}}$  – работа, затрачиваемая на пластические деформации;

$A_{\text{тр.пп}}$  – работа, затрачиваемая на трение стружки о переднюю поверхность резца

$A_{\text{тр.зп}}$  – работа, затрачиваемая на трение заготовки о заднюю поверхность резца.

$$A_{\text{упр.}} + A_{\text{пл.}} \text{ составляют } 80\% \quad A_{\text{тр.пп}} + A_{\text{тр.зп}} - 20\%.$$

Около 95% всей работы резания превращается в теплоту и около 5% идет на искажение кристаллической решетки обрабатываемого материала.

Таким образом, почти вся механическая работа резания полностью переходит в теплоту и количество теплоты можно определить из выражения:

$$Q = A / E = P_z V / E \quad \text{ккал/мин,}$$

где  $E = 4190$  Дж/ккал ( $427 \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{ккал}$ ) – механический эквивалент теплоты;

$P_z$  – сила сопротивления резанию, Н;

$V$  – скорость резания, м/мин

**Зависимость температуры в зоне резания от элементов режима резания и других факторов.** На величину температуры в зоне резания оказывают влияние: физико-механические свойства обрабатываемого материала, режим резания, геометрия инструмента, теплопроводность обрабатываемого материала и применение СОЖ. Наибольшее влияние на температуру в зоне резания оказывает скорость резания. С увеличением подачи температура растет менее интенсивно. Еще меньшее влияние на температуру оказывает глубина резания. Это объясняется тем, что с увеличением глубины резания возрастает поверхность контакта обрабатываемой детали с инструментом, что улучшает условия теплоотвода от наиболее нагретых участков. Экспериментальная (эмпирическая) зависимость температуры от параметров режима резания можно выразить (для стали 40Х Н)

$$\Theta = 148,8V^{0.4} S^{0.24} t^{0.1}$$

Здесь чем больше показатель степени, тем большее влияние оказывает соответствующий параметр на температуру резания.

Выделившаяся теплота в процессе резания уходит на нагрев стружки, резца, заготовки и небольшая часть рассеивается в окружающую среду.

Уравнение теплового баланса, при этом, можно записать в следующем виде:

$$Q_{\text{упр}} + Q_{\text{пл}} + Q_{\text{тр.пл}} + Q_{\text{тр.зн}} = q_{\text{стр}} + q_{\text{и}} + q_{\text{з}} + q_{\text{окр}}$$

где  $q_{\text{стр}}$  – количество теплоты, уходящей в стружку составляет (50 - 86%);

$q_{\text{и}}$  – в инструмент (40-10%);

$q_{\text{з}}$  – в заготовку (9-3%);

$q_{\text{окр}}$  – в окружающую среду (около 1%).

С увеличением угла резания  $\delta$  и главного угла в плане  $\phi$  температура в зоне резания возрастает и т.д.

**Методы измерения температуры резания.** На практике применяют следующие основные методы определения температуры: **косвенные** - калориметрический, термокрасок, пирометрический, микроструктурного анализа; **прямые** искусственной (полуискусственной) термопары, естественной термопары, метод двух резцов.

Наибольшее распространение получили методы измерения температуры резания с помощью термопар (впервые применен Я.Г. Усачевым в 1912 году).

Метод искусственной термопары (рис. 19а) основан на измерении температуры резца около режущей кромки. В резце сверлят отверстие диаметром 1-2 мм, которое не доходит до передней поверхности на 0,2-0,4 мм. В отверстие вставляют термопару с проволочками 0,15 мм.

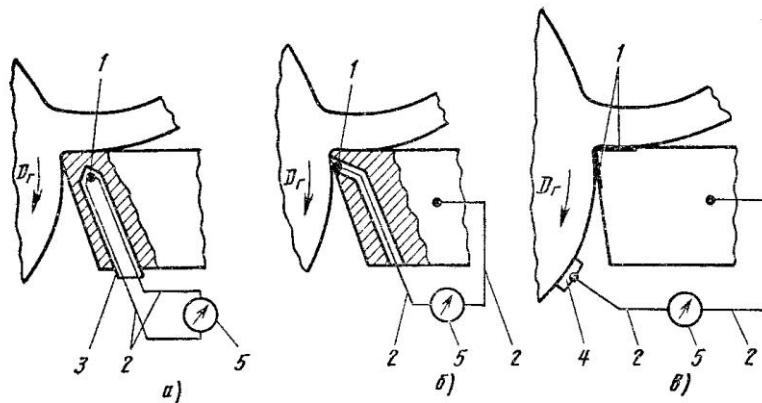


Рис. 19

В методе полуискусственной термопары элементами термопары являются проволока и материал резца (рис. 19 б)

Метод естественной термопары (рис. 19в) дает значение средней температуры. Элементами термопары являются обрабатываемый материал и резец. В качестве регистрирующего прибора в обоих случаях является гальванометр.

### Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите основные виды стружек.
2. Какие основные явления сопровождают процесс резания металлов?
3. Из чего складывается суммарная работа резания?
4. Перечислите методы измерения температур в зоне резания.

### Список литературы

#### Основная

5. Оськин, В. А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник. Кн. 1 / В. А. Оськин, В. В. Евсиков. - М. : КолосС, 2008. - 447 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 978-5-9532-0369-2.
6. Карпенко, В.Ф. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник. Кн. 2 / В. Ф. Карпенко, Л. Г. Баграмов, В. Н. Байкалов и др. - М. : КолосС, 2006. - 310 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 5-9532-0208-3

#### Дополнительная

7. Некрасов, С.С. Обработка материалов резанием: Учебник / С.С. Некрасов. – М.: Колос. – 1997. – 320 с.
8. Гапонкин, В.А. и др. Обработка резанием, металлорежущий инструмент и станки: Учебник для средних специальных учебных заведений по машиностроительным специальностям/ В.А. Гапонкин. –М.:Машиностроение.–1990.– 448 с.

## Лекция №4 Износ режущих инструментов.

### 4.1. Виды износа. Критерии износа.

Одной из основных характеристик режущего инструмента является его способность сопротивляться износу, которая называется износостойкостью.

Изнашивание режущего инструмента происходит при высокой температуре и удельной силе трения (силе, отнесенной к площади изнашиваемой поверхности) в условиях сухого или полусухого трения.

Можно выделить четыре основных вида износа: абразивный, адгезионный, диффузионный и окислительный.

**Абразивный износ** происходит при трении сходящей стружки о переднюю поверхность инструмента и задней поверхности инструмента об обрабатываемую поверхность. При этом твердые структурные составляющие обрабатываемого материала наносят тонкие царапины на рабочие поверхности инструмента около режущей кромки. Абразивный износ значительно возрастает при наличии на заготовках литевой корки или окалины.

**Адгезионный износ** происходит при высокой температуре и значительном давлении, когда проявляются силы молекулярного сцепления (в виде сваривания, схватывания) между материалом заготовки (стружки) и инструментом, приводящие к вырыванию и уносу мельчайших частиц инструментального материала со стружкой или обрабатываемой заготовкой. Проявление адгезионного износа возможно также при периодическом удалении нароста.

**Диффузионный износ** происходит вследствие того, что при высоких температурах частицы инструментального материала проникают в стружку и обрабатываемую деталь. Это приводит к изменению химического состава и физико-механических свойств в поверхностных слоях инструмента и снижает его износостойкость.

В процессе работы у резцов наблюдаются следующие формы износов: (рис. 20).

- по задней поверхности;
- по передней поверхности с образованием лунки;
- по передней поверхности (с образованием уступа) и по задней;
- округление режущей кромки.

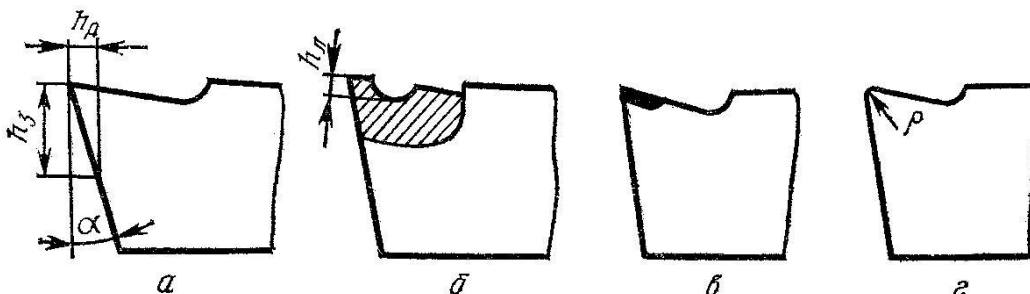


Рис. 20

Существует также понятие радиальный износ  $h_p = h_3 \cdot \operatorname{tg} \alpha$ . Появление радиального износа при точении ведет к соответствующему изменению размеров детали (увеличению на  $2h_p$ ).

В зависимости от условий обработки обрабатываемых материалов может преобладать та или иная форма износа.

За критерий величины износа обычно принимают допустимую величину  $h_3$  изношенной площадки на задней поверхности инструмента. Интенсивность износа зависит от многих факторов, однако наибольшее влияние на износ оказывает скорость резания, меньшее – подача и наименьшее – глубина резания. Так, например, при точении стали средней твердости экспериментально полученная зависимость по величине показателей степени свидетельствует о степени влияния каждого параметра на износ. Самое большое влияние оказывает скорость резания  $V$  и наименьшее –  $t$  глубина резания

$$h_3 = C_h V^{5.5} S^{3.1} t^{1.7}$$

где  $C_h$  – коэффициент, характеризующий условия работы.

Отсюда видно, что повышать производительность при обработке резанием целесообразно в первую очередь увеличением глубины резания и подачи, и только полностью использовав эти возможности, повышать скорость резания. Это позволит достичь максимально возможной производительности обработки резанием при минимальном износе режущего инструмента.

#### 4.2. Качество обработанной поверхности.

Качество обработанной поверхности определяется шероховатостью, волнистостью, а также физико-механическими характеристиками поверхностного слоя.

**Под шероховатостью поверхности понимают совокупность и характер микронеровностей (с относительно малыми шагами) на данной поверхности, рассматриваемых на определенной (базовой) длине.**

**Волнистость (волнообразное искривление поверхности) есть совокупность более или менее регулярно повторяющихся и близких по размеру возвышений и впадин, причем расстояние между соседними возвышенностями (впадинами) превышает базовую длину при измерении шероховатости поверхности, а также высоту возвышений.**

Волнистость занимает промежуточное положение между отклонениями геометрической формы (конусообразность, овальность, огранка и т.п.) и шероховатостью поверхности.

О волнистости поверхности говорят, если соблюдается условие, что

$$S/Rz = 50 \dots 1000$$

где  $S$  – шаг неровностей;

$Rz$  – высота неровностей.

При  $S/Rz > 1000$  неровности относят к отклонению формы, при  $S/Rz < 50$  – к шероховатости поверхности.

Физико-механические свойства поверхностного слоя определяются структурой, твердостью. Остаточными напряжениями, характером изменения свойств по глубине и

др. При обработке резанием поверхностный слой подвергается деформированию и воздействию высоких температур, обезуглероживанию и окислению. Даже при такой обработке как шлифование толщина дефектного слоя составляет 30-50 мкм,

Шероховатость и волнистость поверхности оказывают весьма значительное влияние на такие важные эксплуатационные свойства деталей машин как износостойкость, усталостная прочность, контактная жесткость, антикоррозионная стойкость, стабильность посадок и др. Вследствие шероховатости и волнистости поверхностей сопрягаемых деталей фактическая площадь их контакта становится значительно меньше номинальной, что ведет к увеличению удельных нагрузок, нарушению масляной пленки, разрушению и деформированию выступающих неровностей. Поэтому грубые поверхности имеют низкую износостойкость. Наличие микронеровностей вызывает концентрацию напряжений во впадинах гребешков, что приводит к появлению трещин и снижает прочность деталей (особенно деталей, работающих при знакопеременных нагрузках).

Величина шероховатости поверхности оказывает влияние, как указывалось, и на коррозионную стойкость. Очаги коррозии образуются в первую очередь во впадинах.

Микронеровности (шероховатости) оказывают существенное влияние и на стабильность подвижных и неподвижных посадок. За счет износа трущихся поверхностей происходит увеличение зазоров и изменение посадок. Особенно интенсивный износ происходит в начальный период приработки трущихся поверхностей, когда деформирование микронеровностей сопряженных поверхностей достигали 60-70% их высоты. Надежность неподвижных посадок выше при более низкой шероховатости. Кроме того, шероховатость поверхности оказывает влияние на условия смазки, герметичность сальников и др.

Шероховатость поверхности, согласно ГОСТ 2789-73, оценивается либо средним арифметическим отклонением профиля  $R_a$ , либо высотой неровностей профиля по десяти точкам, взятым в микрометрах.

Среднее арифметическое отклонение профиля определяется как среднее значение расстояний ( $y_1, y_2...y_n$ ) точек профиля поверхности до его средней линии- линии делящей профиль так, что площади по обеим сторонам ее до контура профиля равны между собой (рис. 21).

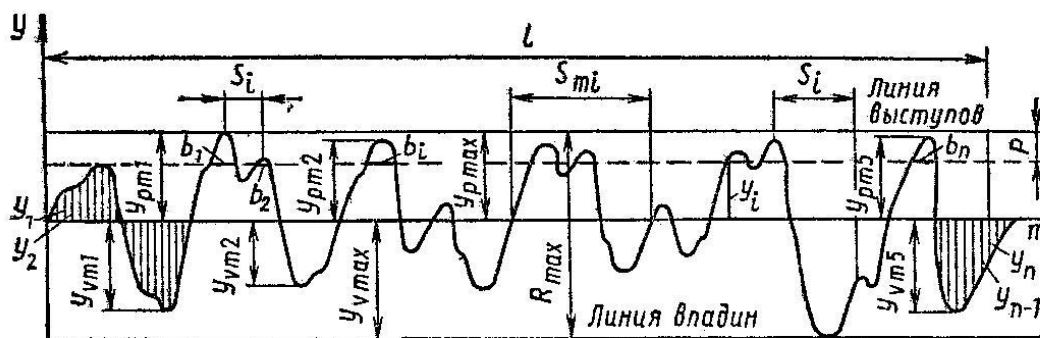


Рис. 21

$$F_1 + F_3 + F_4 + \dots + F_n = F_2 + F_4 + \dots + F_{n+1}$$

Расстояние (мкм) до средней линии суммируется без учета алгебраического знака:

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

Приближенно

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где  $i=1,2,3,\dots,n$ .

Высота неровностей профиля по десяти точкам  $Rz$  представляет сумму средних арифметических абсолютных отклонений пяти наибольших минимумов и пяти наибольших максимумов профиля в пределах базовой длины.

$$Rz = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |y_{pm_i}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vm_i}| \right)$$

Существует 14 классов шероховатости поверхностей.

Важной характеристикой шероховатости поверхности служит относительная опорная длина профиля  $t_p$ , представляющая отношение опорной длины профиля к базовой длине на определенном уровне сечения профиля

$$t_p = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i$$

Уровень сечения  $p$  берется в процентах (от 5 до 90%) от наибольшей высоты неровностей профиля  $R_{max}$ . Поверхности с более высокой относительной опорной длиной имеют большую износостойкость и контактную жесткость.

Основное средство цехового контроля степени шероховатости деталей машин – метод сравнения с эталонными поверхностями соответствующих классов полученных тем же методом обработки, что и данная деталь. В лабораторных условиях для оценки шероховатости поверхности применяются специальные приборы- сравнительный микроскоп, двойной микроскоп, интерференционный микроскоп, профилометры.

При резании на обработанной поверхности всегда остаются небольшие остаточные гребешки, высота которых зависит от величины подачи и геометрии резца ( радиуса при вершине главного и вспомогательного углов в плане  $\varphi$  и  $\varphi_1$  и др.). Кроме того шероховатость поверхности зависит также от обрабатываемого материала, скорости резания, нароста, износа резца, вибраций и др.

Рассмотрим зависимость величины шероховатости от углов в плане (рис. 22 а)

По теореме синусов

$$S/(\sin [180-(\varphi+\varphi_1)])=AB/\sin \varphi$$

после преобразования получаем

$$R_{рас.} = \frac{S \sin \varphi \sin \varphi_1}{\sin(\varphi+\varphi_1)}$$



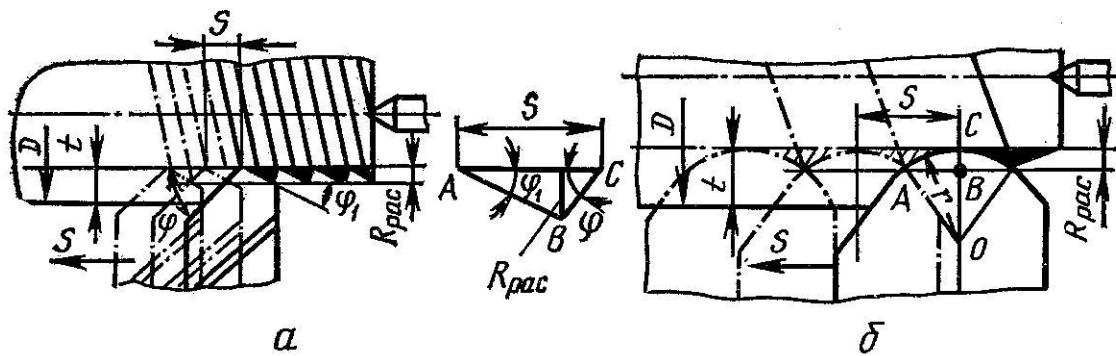


Рис. 22

При  $r \geq 0$  (см. рис. 22 б) расчетная высота гребешка приближенно определяется из выражения:

$$R_{рас} \approx S^2/8r$$

Существенна также зависимость величины шероховатости поверхности от скорости резания по причине образования нароста или его отсутствия.

Практически для получения требуемого класса шероховатости поверхности при обработке резанием можно подобрать значения параметров  $r$ ,  $S$  и  $v$  позволяющие это сделать.

Таблица 2. Точность и качество при различных видах механической обработки

Метод обработки	Шероховатость поверхности, Ra	Глубина деформированного слоя	Квалитет
	мкм		
Точение:			
-черновое	50...6,3	120...60	14...12
-получистовое	25...1,6	50...20	13...11
-чистое	6,3...0,4	30...20	10...8
-тонкое	1,6...0,2	10...5	9...6
Сверление и рассверливание	25...0,8	70...15	13...9
Развертывание:			
-нормальное	12,5...0,8	25...15	11...10
-точное	6,3...0,4	25...5	9...7
-тонкое	3,2...0,1	10...5	6...5
Шлифование:			
-предварительное	6,3...0,4	25...10	9...8
-чистое	3,2...0,2	25...5	7...6
-тонкое	1,6...0,1	10...5	5
Притирка, хонингование	1,6...0,1	5...3	5...4

Эффективным средством для повышения класса шероховатости поверхности можно считать применение смазочно-охлаждающих жидкостей - СОЖ.

СОЖ бывают следующих групп:

1. **охлаждающая** - вода + антикоррозионные добавки;

2.охлаждающая и частичная смазывающая - вода, ПАВ, 0,1...1% олеиновая, стеариновая кислоты и их соли + антикор.;

3. Эмульсии: спиртовая эмульсия 7% олеиновая кислота, 10% каниф. 4%, соды 2,5...4%

4.Смаз. и частично-охлаждающие

минеральные масла с добавкой 1,5...1,7 % серы (сульфофрезолы).

### Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите основные виды и формы износа токарных резцов.
2. Какими параметрами характеризуется качество поверхностей детали, формируемой в процессе резания?
3. Какими параметрами характеризуется шероховатость поверхности детали?
4. По каким формулам рассчитать шероховатость поверхностей после обработки резцом с остrokонечной вершиной  $r=0$  и с вершиной закругленной с некоторым радиусом  $r\neq 0$ ?

### Список литературы

#### Основная

1. Оськин, В. А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник. Кн. 1 / В. А. Оськин, В. В. Евсиков. - М. : КолосС, 2008. - 447 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 978-5-9532-0369-2.
2. Карпенко, В.Ф. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник. Кн. 2 / В. Ф. Карпенко, Л. Г. Баграмов, В. Н.Байкалов и др. - М. : КолосС, 2006. - 310 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 5-9532-0208-3

#### Дополнительная

3. Некрасов, С.С. Обработка материалов резанием : Учебник / С.С. Некрасов. – М.: Колос. – 1997. – 320 с.
4. Гапонкин, В.А. и др. Обработка резанием, металлорежущий инструмент и станки: Учебник для средних специальных учебных заведений по машиностроительным специальностям/ В.А. Гапонкин. –М.:Машиностроение.–1990.– 448 с.

**Лекция №5**  
**Сила резания и скорость резания при точении,**  
**назначение режимов резания**

**5.1. Сила резания и ее составляющие при точении.**  
**Формула для расчета силы резания.**

Со стороны срезаемого слоя нормально к передней поверхности резца действует сила упругой деформации и сила пластической деформации ( $P_{упр.}$  и  $P_{пл.}$ ). Со стороны обработанной поверхности нормально к задней поверхности резца действуют силы  $P'_{упр.}$  и  $P'_{пл.}$ . При относительном перемещении резца и заготовки возникают силы трения по передней и задней поверхностям резца рис. 23.

$$T = \mu (P_{упр.} + P_{пл.}) \text{ и } T_1 = \mu_1 (P'_{упр.} + P'_{пл.}),$$

где  $\mu$  и  $\mu_1$  коэффициенты трения

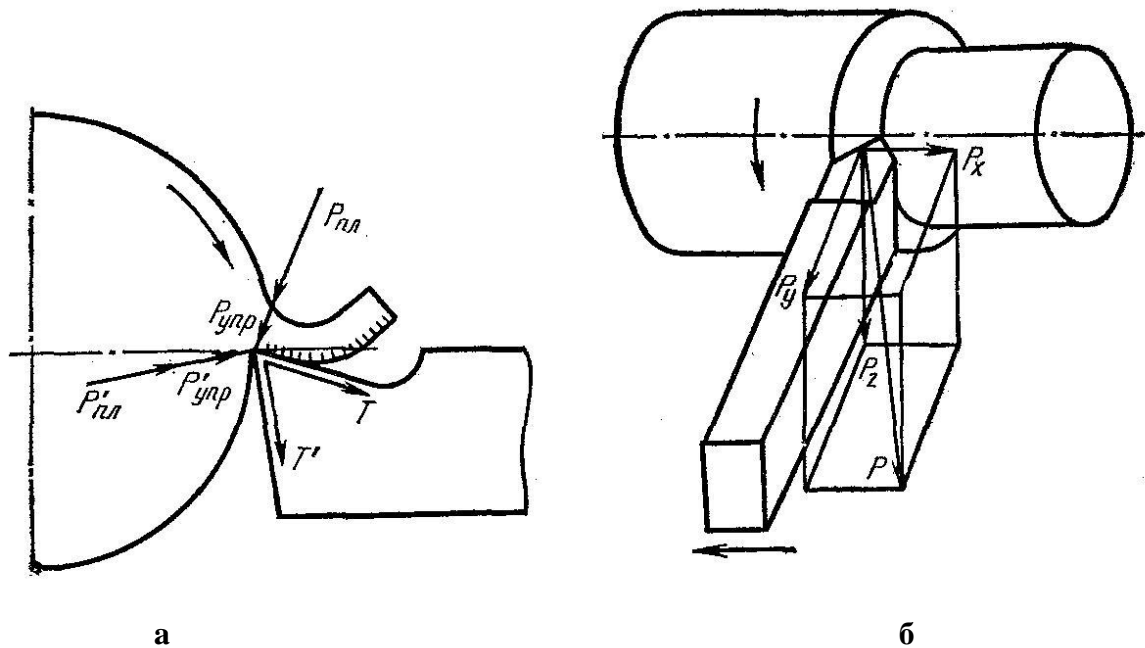


Рис. 23

Эта система сил может быть приведена к одной равнодействующей, называемой силой резания  $P$ .

При точении силу  $P$  можно разложить на три составляющие:

**$P_z$  – касательную составляющую силы резания, направленную по касательной к поверхности резания;**

**$P_y$  – радиальную составляющую силы резания, направленную в горизонтальной плоскости по радиусу обрабатываемой детали;**

**$P_x$  – осевую составляющую силы резания, направленную в сторону, противоположную направлению подачи (Рис. 23б).**

От силы  $P_z$  зависит мощность, затрачиваемая на процесс резания; по максимальной величине этой силы рассчитывают на прочность детали и узлы коробки скоростей станка, а также прочность резца. Сила  $P_y$  вызывает изгиб обрабатываемой детали и способствует появлению вибраций, по максимальной величине этой силы рассчитывают на прочность детали механизма поперечной подачи, а также производят расчет технологической системы СПИД (Станок-Приспособление-Инструмент-Деталь) на жесткость.

Сила  $P_x$  действует на механизм подачи токарного станка; по максимальной величине этой силы рассчитывают механизмы продольной подачи.

Зная величину составляющих, равнодействующую  $P$  можно рассчитать:

$$P = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2}$$

При точении проходными резцами  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\alpha = 15^\circ$ ,  $\lambda = 0$  и  $\sigma_B = 735$  МПа

**Соотношение между составляющими силы резания  $P_z:P_y:P_x=1:(0,3...0,4):(0,2...0,3)$ , а значение равнодействующей  $P \approx 1,1 P_z$ . Учитывая это соотношение, составляющую силы сопротивления резанию  $P_z$  называют главной составляющей силы.**

При наружном точении и растачивании резцами из быстрорежущей стали величину силы  $P_z$  можно определить по эмпирической (полученной экспериментально) зависимости:

$$P_z = 9,81 C_{p_z} * t * S^{0,75} \text{ (Н)},$$

где  $C_{p_z}$  - коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала и условия работы;

$t$  - глубина резания, мм;

$S$  - подача мм/ об.

При обработке сталей средней твердости резцами, оснащенными металлокерамическим твердым сплавом, составляющие силы сопротивления резанию определяют из выражений:

$$P_z = 9,81 C_{p_z} * t^x * S^y * HB^n$$

$$P_y = 9,81 C_{p_y} * t^x * S^y * HB^n$$

$$P_x = 9,81 C_{p_x} * t^x * S^y * HB^n$$

где  $x, y, n$  - показатели степени (находятся по справочникам технологов машиностроителей).

При работе резцами, оснащенными пластинками из твердых сплавов, на скоростных режимах резания в формулу для определения  $P_z$  вводится и скорость резания.

$$P_z = 9,81 C_{p_z} * t^x * S^y * V^n$$

## 5.2. Факторы, влияющие на силу резания. Мощность и крутящий момент резания при точении

Наибольшее влияние оказывают  $t$  и  $S$ .

При изменении условий обработки в формулу для расчета сил вводят поправочные коэффициенты на прочность обрабатываемого материала, передний угол  $\gamma$ , главный угол в плане  $\phi$ , износ резца по задней поверхности, форму передней поверхности и т.п.

С уменьшением переднего угла  $\gamma$  возрастают затрачиваемая на пластические деформации и сила резания.

При затуплении резца силы резания увеличиваются. Применение смазочно-охлаждающих жидкостей на 10...15% уменьшают силы резания. При скоростях выше 50-100 м/мин возрастание температуры приводит к уменьшению коэффициента трения, а также понижению прочностных характеристик обрабатываемого материала.

Зависимость тангенциальной составляющей  $P_z$  от физико-механических свойств обрабатываемого материала при точении, например, черных металлов и сплавов резцом ( $\phi = 45^\circ$  и  $\delta = 90^\circ$ ) определяется по формуле:

$$P_z = 9,81 C_{pz} * t^x * S^y * HB^n \text{ (Н)},$$

где  $HB$  – твердость стали по Бринелю;

$$C_{pz} = 1,36 \text{ для стали};$$

$$C_{pz} = 1,25 \text{ для чугуна.}$$

Мощность, затрачиваемую на процесс резания при точении подсчитывают из выражения:

$$N_p = \frac{P_z * V}{60 * 1020}, \text{ (кВт)},$$

где  $P_z$  - тангенциальная составляющая силы резания, Н;

$V$  - скорость резания, м/мин.

Поскольку часть мощности расходуется на преодоление сил трения и привод механизмов станка, то потребная мощность электродвигателя станка можно определить из выражения:

$$N_{дв.} \geq N_p / \eta,$$

где  $\eta = 0,75 \dots 0,8$  – КПД станка.

Крутящий момент резания определяется:

$$M_{кр.} = \frac{P_z * D}{2000}, \text{ Н*м},$$

где  $P_z$  - тангенциальная составляющая силы резания, Н;

$D$  – диаметр заготовки, мм.

Изгибающий момент резца рассчитывают по формуле:

$$M_{из.} = P_z * l, \text{ (Н * м)},$$

где  $l$  - вылет резца, м.

Важным параметром при выборе резца также является удельная сила резания или среднее давление на переднюю поверхность резца

$$p_{ep} = Pz/f = Pz/ t*S$$

где  $Pz$  –тангенциальная составляющая силы резания;  
 $f$  - площадь среза;  
 $t$  – глубина резания;  
 $S$  - подача.

Для измерения составляющих силы резания и изучения влияния на них различных факторов применяют специальные приборы динамометры.

Динамометры в зависимости от количества измеряемых составляющих бывают одно- двух и трехкомпонентные. По принципу действия динамометры подразделяются на электрические, механические и гидравлические.

В общем случае динамометр состоит из устройства, служащего для закрепления резца, разложения силы резания на составляющие, датчиков для преобразования сил в пропорциональное механическое перемещение, силу электрического тока, давление жидкости и регистрирующего устройства. Наибольшее применение получили электрические динамометры.

### 5.3. Стойкость инструмента и скорость резания при точении. Факторы, влияющие на скорость резания.

**Периодом стойкости режущего инструмента называется время от начала резания новым (или переточенным) резцом до отказа по одному из критериев.**

Ими могут быть критический износ, повышение шероховатости поверхности, повышение сил резания, температуры и т.д.

Под временем резания понимают интервал времени, в течение которого инструмент находится в непосредственном контакте с обрабатываемой деталью, сопровождающимся снятием стружки.

Период стойкости инструмента зависит от материала и геометрии резца материала обрабатываемой детали, элементов режимов резания, методов охлаждения и других факторов. Наибольшее влияние на период стойкости инструмента (по сравнению с подачей  $S$  и глубиной резания  $t$ ) оказывает скорость резания  $V$ .

Между скоростью резания и периодом стойкости резца при точении существует зависимость

$$V = C_v/T^m,$$

где  $T$  – период стойкости резца, мин;

$C_v$  – постоянный коэффициент, зависящий главным образом от качества обрабатываемой детали и инструмента;

$m$  – показатель степени, называемый показателем относительной стойкости инструмента.

$$V_1 * T_1^m = V_2 * T_2^m = C_v.$$

Пользуясь этой зависимостью можно определить скорость резания  $V_2$ , если известны скорость резания  $V_1$  и соответствующий ей период стойкости  $T_1$ , а также величина периода стойкости  $T_2$ .

$$V_2 = V_1 (T_1/T_2)^m$$

где  $m = 1/8$  - для резцов из быстрорежущих сталей;

$m = 1/5$  – для металллокерамических резцов;

$m = 1/2$  – для минералокерамики.

Ввиду того, что показатель относительной стойкости быстрорежущих и металллокерамических резцов мал, то сравнительно незначительное изменение скорости резания вызывает резкое изменение стойкости инструмента. При работе этими резцами необходимо по возможности не отклоняться от расчетной скорости резания.

**Скорость резания оказывает наибольшее влияние на производительность процессов обработки деталей, однако, с ее увеличением возрастает и температура в зоне резания, увеличивается износ резцов и, следовательно, уменьшается стойкость инструмента. Это ведет к увеличению затрат на инструмент т.е. увеличивает стойкость обработки. Поэтому скорость резания следует выбирать, исходя из требования обеспечения высокой производительности обработки при наименьших затратах.**

В нормативах период стойкости резцов устанавливается равным 30...90 мин, для фрез – 60...400 мин, сверл – 6...210 мин. Эти периоды стойкости соответствуют наименьшим затратам на обработку.

Ранее отмечалось, что с изменением физико-механических свойств обрабатываемого материала изменяются силы резания, температура в зоне резания, интенсивность износа резца. С увеличением процента содержания углерода и легирующих элементов увеличивается твердость и прочность стали, что приводит к возрастанию силы резания и ограничивает скорость резания. На величину допустимой скорости резания оказывают влияние также состояние материала (горячекатаный, холоднотянутый, отожженный), наличие корки на заготовке и др. Частная зависимость скорости резания от твердости обрабатываемого материала может быть выражена (при прочих равных условиях) формулой

$$V = C / (HB)^z$$

Скорость резания в большей степени зависит и от материала режущей части резца. Чем больше теплостойкость прочность и износостойкость инструментального материала, тем большую скорость резания можно допустить при прочих равных условиях обработки. Если для резцов из быстрорежущей стали P18, P9 принять скорость резания за единицу, то для легированных и углеродистых инструментальных сталей она составит

9XC – 0,5;

У10А – 0,4.

Для твердых сплавов типа ВК: ВК8 -1, ВК6-1,2, ВК3 -1,3...1,5.

Для твердых сплавов типа ВТК: Т5К10 - 0,65, Т15К6-1, Т30К4 - 1,3...1,5.

Таким образом все пути снижения температуры в зоне резания ( увеличение переднего -  $\gamma$ , главного заднего -  $\alpha$  и уменьшение главного угла в плане  $\phi$ ; увеличение

площади сечения тела резца применение СОЖ) позволяют в определенной степени повысить скорость резания.

Зная механические свойства обрабатываемого материала, материал резца и задавшись определенными значениями подачи  $S$  и глубины резания  $t$ , стойкости, по формуле:

$$V = C_1 / (t^x * S^y)$$

где  $C_1$  – коэффициент, зависящий от материала резца и заготовки и от геометрии резца;  $x, y$  – показатели степени, причем  $x < y < 1$ .

Например при точении образцов из конструкционной углеродистой стали с пределом прочности  $\sigma_B = 750$  МПа резцами, оснащенными пластинками твердого сплава Т15К6. С передним углом  $\gamma = 150^\circ$  и главным углом в плане  $\phi = 45^\circ$  скорость резания может быть вычислена по следующим формулам:

$$V = \frac{170}{t^{0,18} * S^{0,2}} \quad \text{при } S < 0,3 \text{ мм/об}$$

$$V = \frac{141,5}{t^{0,18} S^{0,35}} \quad \text{при } S > 0,3 \text{ мм/об}$$

При этом период стойкости инструмента был равен  $T = 90$  мин = const.

Из анализа формулы для скорости резания при постоянной заданной стойкости резца можно установить следующее. Поскольку показатель степени  $y$  при подаче  $S$  больше показателя  $x$  при  $t$ , то степень влияния подачи  $S$  на скорость резания  $V$  значительно больше, чем степень влияния глубины резания  $t$ .

Так если в формуле (при  $S > 0,3$  мин/об) увеличить подачу  $S$  в 2 раза, то скорость должна быть уменьшена в  $2^{0,35} = 1,27$  раза или на 21%. Если же удвоить глубину резания  $t$ , то скорость резания потребует уменьшения в  $2^{0,18} = 1,13$  раза или на 12%.

**Таким образом, для достижения наиболее рационального режима резания обычно более выгодно увеличивать глубину резания.**

Если условно оценить производительность процесса резания объемом снятой стружки в единицу времени при заданном периоде стойкости резца из приведенных формул можно видеть, что выгоднее увеличивать площадь поперечного сечения среза (т.е. одновременно  $t$  и  $S$ ), чем скорость резания  $V$ .

Так при одновременном удвоении подачи и глубины резания скорость резания должна быть уменьшена в  $1,27 * 1,13 = 1,44$  раза. Однако объем снятой стружки за тот же период стойкости возрастет с величины

$$Q = t * S * V \quad \text{до величины} \quad Q_1 = 2t * 2S * V / 1,44 = 2,8Q \quad \text{т.е. на 180\%}.$$

Таким образом, для достижения большой производительности резания выгоднее работать с большими сечениями среза за счет уменьшения скорости резания. На практике скорость резания увеличивают лишь исчерпав все возможности увеличения глубины резания и подачи.

Обобщенная формула, связывающая скорость резания с периодом стойкости резца, твердостью обрабатываемого материала глубиной резания и подачей имеет следующий вид



$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S^y (HB)^z}, \text{ м/мин}$$

#### 5.4. Методика назначения режима резания при точении. Проверка выбранного режима. Применение ЭВМ в расчетах режимов резания.

Наивыгоднейшим режимом резания будет такой, при котором деталь требуемого качества изготавливают при минимальных затратах средств (с учетом затрат на инструмент). Такой режим соответствует экономическому периоду стойкости инструмента.

При назначении режимов резания придерживаются следующей последовательности:

1. Выбор глубины резания производят по величине припуска на обработку на данной операции. Если припуск нельзя снять за один проход, число проходов должно быть как можно меньшим. При числовом точении ориентируются на заданное чертежом значение шероховатости поверхности; чем выше класс шероховатости поверхности, тем меньше величина глубины резания. Она колеблется в пределах 2...0,2 мм.

2. Выбор максимально технологически допустимой подачи производится с учетом класса шероховатости обработанной поверхности для чистовой обработки мощности и прочности станка, жесткости системы СПИД и прочности резца (для черновой обработки). Работать с подачами меньшими, чем максимально технологически допустимые, значит терять в производительности.

3. Назначение скорости резания производится либо по справочным таблицам с учетом всех необходимых поправочных коэффициентов, либо по уже известной нам формуле

$$V = \frac{C_v}{T^m * t^x * S^y (HB)^z}$$

4. По полученной расчетом скорости резания определяют расчетную частоту вращения  $n_p$  шпинделя станка

$$n_p = \frac{1000V}{\pi D}$$

где  $D$  – наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм

5. По расчетной частоте вращения  $n_p$  определяют ближайшую меньшую или равную частоту вращения шпинделя, имеющуюся в паспорте станка (фактическую частоту вращения)  $n_f \leq n_p$ . Затем вычисляют фактическую скорость резания

$$V_f = \pi D n_f / 1000.$$

Выбранный режим проверяют по следующим параметрам:

1. По мощности, затрачиваемой на процесс резания. Она должна быть меньше или равна мощности на шпинделе

$$N_p \leq N_{шп.} = N_{дв.} * \eta$$

где  $N_{дв.}$  – мощность электродвигателя;

$\eta$  - КПД станка (0,75...0,8)

Если расчетная мощность окажется больше мощности на шпинделе, то скорость резания должна быть уменьшена.

2. Проверка выбранного режима резания по крутящему моменту. Крутящий момент резания должен быть меньше или равен крутящему моменту на шпинделе

$$M_{кр} \leq M_{шп.}$$

3. Выбранный режим проверяют по прочности механизмов подачи станка, пластинки твердого сплава и тела резца.

4. При чистовой обработке режим проверяют по шероховатости обработанной поверхности.

Применение ЭВМ для расчетов режимов резания повышает точность расчетов и ускоряет решение задачи (при наличии заранее отработанных алгоритмов и программ расчета). В этом случае решают задачу о наивыгоднейшем резании, в результате получают экономически более выгодный режим. Глубина резания выбирается на основе ранее приведенных соображений. В ЭВМ вводят исходные данные и приводят расчет наибольшей допустимой подачи в соответствии с имеющимися ограничениями (учитываются все, влияние которых можно описать математически), определяют наивыгоднейшую ступень, на которой произведение частоты вращения шпинделя на фактическую подачу максимально, и соответствующую скорость резания, тангенциальную составляющую силы резания, мощность резания.

Таким образом, применение ЭВМ позволяет выбрать наиболее оптимальный режим резания с учетом множества факторов и в сравнительно малое время.

### **5.5. Штучное время и его составляющие.**

#### **Производительность работы при точении и пути ее повышения.**

В основе всех работ по расчету производительности труда лежит техническое нормирование – определение нормы времени, т.е. времени, в течение которого рабочий должен выполнить определенную работу.

Технической нормой штучного времени называется время, установленное для выполнения данной операции при определенных организационно-технических условиях и наиболее эффективном использовании средств производства и передового опыта.

Общую норму штучного времени можно представить в следующем виде:

$$T_{шт.} = T_0 + T_B + T_{об} + T_{от} = (T_0 + T_B) \left(1 + \frac{K_1 + K_2}{100}\right)$$

где  $T_0$  – основное технологическое (машинное) время – время, в течение которого происходит снятие стружки с детали и формируются новые поверхности;

$T_B$  – вспомогательное время на выполнение различных действий, обеспечивающих выполнение основной работы (управление станком, снятие и установка детали, подвод и отвод инструмента, контроль размеров и т.д.);

$T_{об}$  – время на обслуживание рабочего места и станка (смазка станка, уборка стружки, смена инструмента и др.);

$T_{от}$  – время на отдых при утомительной работе и личные потребности;

$K_1$  и  $K_2$  –процент, учитывающий время на обслуживание рабочего места и личные потребности.

Основными составляющими штучного времени являются основное и вспомогательное время. Сумму основного и вспомогательного времени называют оперативным временем.

В единичном и серийном производстве (при малом количестве изготавливаемых деталей) имеется также понятие штучного калькуляционного времени  $T_{шк}$ .

$$T_{шк} = T_{ш} + \frac{T_{пз}}{n},$$

где  $T_{пз}$ - подготовительно-заключительное время (а переналадку станка – смену и наладку приспособлений, ознакомление с новым чертежом при переходе к обработке другой детали);

$n$  - число деталей в партии.

В машиностроении время обслуживания рабочего места составляет 3...8%, а время на личные потребности – 4...9% от оперативного времени.

Основное время составляет от 30 до 75% штучного времени. Поэтому для снижения штучного времени, а следовательно и повышения производительности при работе на станках следует в первую очередь изыскивать пути увеличения основного и уменьшения вспомогательного времени.

### Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите составляющие силы сопротивления резанию, как они направлены и что по ним можно рассчитать?
2. Какова последовательность назначения режима резания ?
3. Как рассчитать мощности, затрачиваемую на резание?
4. Как рассчитать скорость резания соответствующую экономическому периоду стойкости режущего инструмента?

### Список литературы

#### Основная

6. Оськин, В. А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник. Кн. 1 / В. А. Оськин, В. В. Евсиков. - М. : КолосС, 2008. - 447 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 978-5-9532-0369-2.
7. Карпенко, В.Ф. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник. Кн. 2 / В. Ф. Карпенко, Л. Г. Баграмов, В. Н. Байкалов и др. - М. : КолосС, 2006. - 310 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 5-9532-0208-3

#### Дополнительная

8. Некрасов, С.С. Обработка материалов резанием : Учебник / С.С. Некрасов. – М.: Колос. – 1997. – 320 с.
9. Гапонкин, В.А. и др. Обработка резанием, металлорежущий инструмент и станки: Учебник для средних специальных учебных заведений по машиностроительным специальностям/ В.А. Гапонкин. –М.:Машиностроение.–1990.– 448 с.

## Лекция №6 Сверление зенкерование и развертывание. Фрезерование

### 6.1. Работы, выполняемые на станках сверлильной группы, конструкция режущего инструмента.

Сверлильные станки предназначены для сверления, рассверливания и зенкерования отверстий, развертывания цилиндрических и конических отверстий, подрезку торцов, зенкерование и цекование, нарезание резьбы метчиками.

При сверлении, рассверлении, зенкеровании и развертывании инструмент получает два движения: вращательное (главное движение) и осевое поступательное (движение подачи).

Режущий инструмент для обработки отверстий.

Зенкерованием обрабатывают отверстия после литья, штамповки или сверления. Некоторые разновидности зенкеров применяют также для обработки цилиндрических и конических углублений под головки винтов и для подрезания торцовых поверхностей. Обычно зенкерование проводят как получистовую обработку перед развертыванием, но оно может быть и окончательной операцией. Припуск на сторону при зенкеровании принимается равным 0,5-2 мм. Точность обработки находится в пределах 8-10 квалитетов, а шероховатость поверхности - 5-6 классов (2,5-5 мкм).

Зенкеры различают: по назначению

- для цилиндрических углублений;
- для зачистки торцовых поверхностей;

По конструкции: целые и сборные

- зенковки;
- ступенчатые зенкеры и т.д.

По способу крепления: хвостовые диаметром 10-35 мм и насадные 25-80 мм.

На рис. 24 показаны элементы цельного цилиндрического зенкера

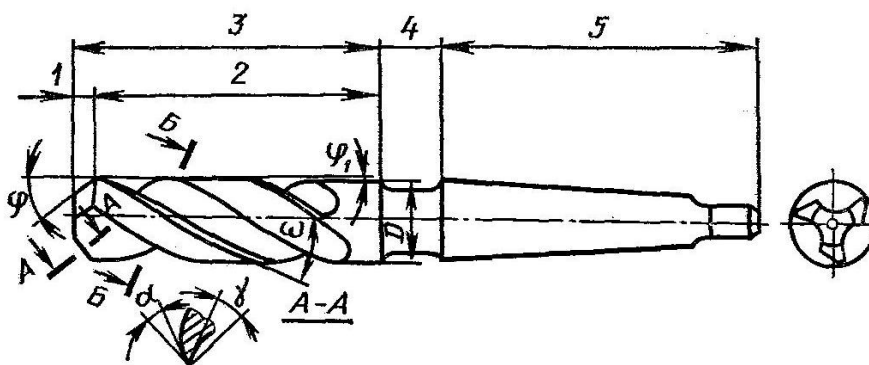


Рис 24

- 1- режущая (заборная) часть;
- 2- калибрующая часть;
- 3-рабочая часть;
- 4-шейка;
- 5-хвостовик.

Значения угла при вершине  $2\phi = 90-120^\circ$ . Для зенкеров из быстрорежущих сталей  $2\phi = 120-150^\circ$ , для зенкеров, оснащенных пластинами из твердого сплава.

Значения  $\omega$  колеблются в пределах  $10-20^\circ$ . Число зубьев у зенкера 3-10.

Развертывание – это процесс окончательной обработки со снятием очень тонкой стружки предварительно обработанных отверстий.

Точность обработки при развертывании находится в пределах 5-7 классов точности, а шероховатость обработанной поверхности соответствует 7-8 классам (0,63-1,25). Припуск на диаметр при развертывании черновом – 0,1-0,4 мм, а при чистовом 0,05-0,2 мм.

Развертки различают машинные и ручные, с цилиндрическим и коническим хвостовиками, по форме обрабатываемого отверстия цилиндрические и конические. Число зубьев развертки 6-16. Причем распределены они по окружности неравномерно, что обеспечивает высокий класс шероховатости обработанной поверхности и отсутствие огранки при обработке пластичных материалов.

Развертка состоит из следующих частей: см. рис. 25.

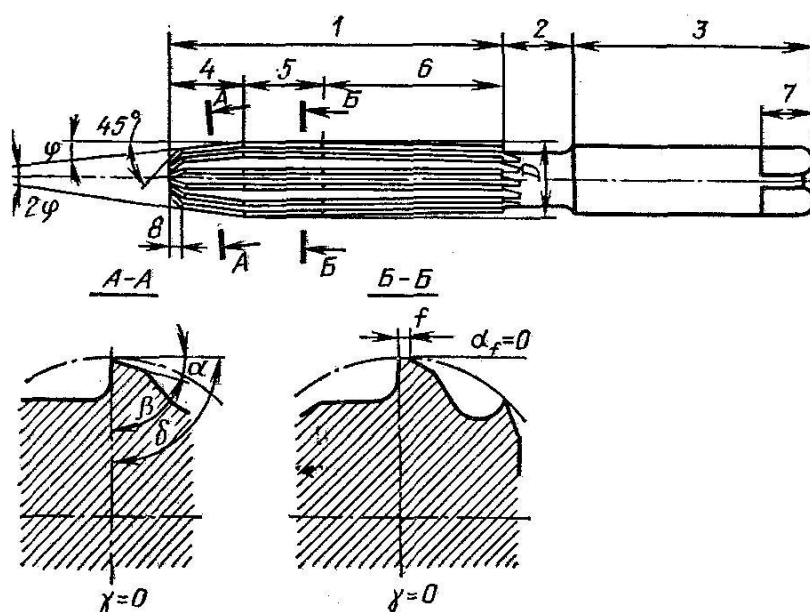


Рис. 25 Ручная развертка

1- рабочей части; 2- шейки; 3-хвостовика; 4- заборной (режущей части); 5- калибрующей части; 6 – обратного конуса; 7- квадрата; 8- направляющего конуса.

Значения углов при вершине при обработке сквозных отверстий ручными развертками  $2\varphi$  – 1-30° у машинных 25-30° при обработке вязких и 6-10° при обработке хрупких и труднообрабатываемых материалов. Для разверток, оснащенных пластинками из твердых сплавов  $2\varphi = 60-90^\circ$ .

## 6.2. Элементы режима резания, силы резания и крутящий момент при сверлении. Назначение режимов резания при сверлении.

Глубина резания при сверлении равна половине диаметра сверления  $t = D/2$ ; при рассверливании зенкерования и развертывании она равна полуразности диаметров отверстия до и после обработки  $t = (D-d) / 2$ , мм.

Подача – перемещение инструмента вдоль оси за один оборот шпинделя. Различают еще подачу на 1 зуб развертки или зенкера  $S_z = S_0/z$ , где Z- число зубьев.

Скорость резания определяется по уже известной нам формуле:

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

Где D- диаметр инструмента, мм;  
n- частота его вращения, об/мин.

Машинное (основное технологическое) время при сверлении и рассверливании определяют из выражения.

$$T_0 = \frac{L}{nS}, \text{ мин}$$

где L – длина прохода инструмента в направлении подачи, мм;

$$L = l_1 + l_2$$

где l – глубина сверления;

$l_1$  – величина врезания,  $l_1 \approx 0,3 D = t \cdot \text{ctg} \varphi$  (при сверлении)

$l_2 = 1-3$  мм – величина перебега.

Все основные явления, свойственные процессу точения, (упругие и пластические деформации обрабатываемого материала, усадка стружки, наростообразование на режущей кромке сверла, тепловыделение и др.) присущи также сверлению. Вместе с тем, процесс сверления имеет ряд особенностей:

- в более тяжелых условиях происходит процесс образования стружки;
- затруднен отвод стружки и подвод СОЖ.

При резании сверлами возникает давление сходящей стружки на переднюю поверхность и давление материала на заднюю поверхность. Трение стружки о переднюю поверхность и трение задней поверхности о поверхность резания, а также трение о стенки отверстия ленточек. Обнаружится также осевое давление и момент от поперечной кромки сверла.

Если рассмотреть силы, действующие на две главные режущие кромки, и принять что эти силы сконцентрированы в точках А, то при разложении этих сил получим составляющие  $P_x$   $P_y$   $P_z$

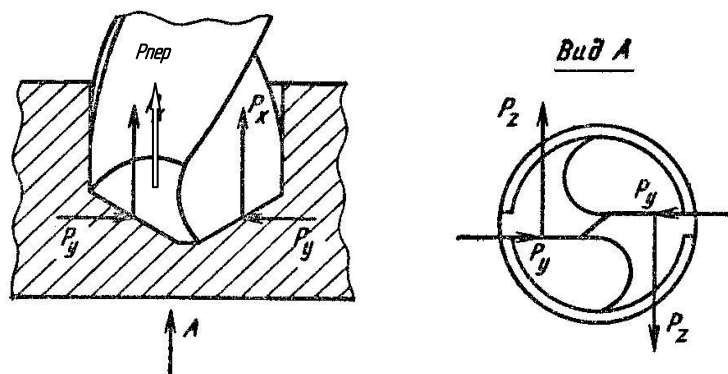


Рис. 26

Радиальные силы  $P_y$ , равные и противоположно направленные, взаимно уничтожаются. Силы  $P_z$  создают крутящий момент сопротивления резанию. Силы  $P_x$  и  $P_{пер}$  в сумме (рис. 26) дают осевую составляющую  $P_0$ .

В практических расчетах для определения момента сопротивления резанию и осевой силы при сверлении пользуются электрическими формулами:

$$M_{кр} = 9,81 C_m * D_m^L * S_m^y, (H * M)$$

$$P_o = 9,81 * C_p * D_p^L * S_p^y, (H)$$

$$N_{рез.} = \frac{M_{кр.} * n}{9750}, (кВт)$$

Важным фактором при сверлении является скорость резания. Зависимость скорости резания от периода стойкости сверла выражается уже знакомой нам формулой

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

где  $m$  – показатель стойкости, для быстрорежущих сталей  $m = 0,2$  при обработке сталей и  $m = 0,125$  при обработке чугунов;

$C$  – коэффициент, зависящий от материала заготовки резца и условий обработки.

Период стойкости для быстрорежущих сверл колеблется в пределах 6-16 мин для диаметра до 5 мм и 100-210 мин для диаметров 60-80 мм.

Допустимая скорость при сверлении

$$V = \frac{C_v * D_v^g}{T_m * S_v^y}$$

где  $D$ -диаметр сверла;

$g_v$  и  $y_v$  показатели степени

В целом же методика назначения режимов резания не отличается от методики описанной для операции точения.

### 6.3. Область применения и разновидности сверлильных станков

Сверлильные станки подразделяются на вертикально-сверлильные, радиально-сверлильные, горизонтально-сверлильные, центральные, полуавтоматы (одно и многошпиндельные). Наиболее распространенные – вертикально и радиально сверлильные станки.

Кроме сверлильных станков для обработки отверстий предназначены также станки расточные, которые в свою очередь подразделяются на горизонтально и вертикально расточные, координатно-расточные и алмазно-расточные.

Координатно-расточные станки предназначены для обработки отверстий высокой точностью их взаимного расположения относительно базовых поверхностей в корпусных деталях, кондукторах, штампах и т.п. Для точного измерения координатных перемещений станки снабжены различными механическими оптико-механическими, электронными устройствами отсчета. Точность установки достигает 0,005-0,01 мм (5-10 мкм).

### 6.4. Фрезерование

Фрезерование широко распространенный в машиностроении процесс обработки плоских ступенчатых и фасонных поверхностей многолезвийными режущими инструментами-фрезами. Фреза представляет собой режущий инструмент в виде тела вращения, на образующей поверхности или на торце которого расположены режущие зубья. Главное движение при фрезеровании вращение фрезы, движение подачи-

поступательное перемещение заготовки или фрезы. При фрезеровании каждый отдельный зуб фрезы за время одного полного ее оборота находится в контакте с обрабатываемой поверхностью детали лишь относительно малое время, а большую часть времени зуб проходит по воздуху и при этом охлаждается, что является положительным фактором.

Среди всех видов лезвийного инструмента фрезы выделяются наибольшим разнообразием.

Фрезы классифицируют : по конструкции и форме зубьев бывают двух типов: фрезы с остrokонечными зубьями, в которых образующая задней поверхности – прямая линия и фрезы с затылованными зубьями, в которых задняя поверхность образована спиралью Архимеда.

Фрезы первого типа проще в изготовлении, обладают более высокой стойкостью и обеспечивают при обработке меньшую шероховатость поверхностей. Однако при заточке, которая может проводится как по передней так и по задней поверхностям, изменяется форма и периметр режущей кромки зуба. Поэтому фрезы с такими зубьями применяются при обработке плоских поверхностей или поверхностей, состоящих из нескольких плоскостей. В затылованных фрезах при заточке, которая проводится только по передней поверхности, профиль и периметр режущей кромки зуба не изменяется и они применяются при обработке фасонных криволинейных поверхностей, наиболее ярким представителем которых можно назвать эвольвентный профиль впадин зубчатых колес.

Фрезы изготавливают с мелким (тип1) и крупным (тип2) зубом. Фрезы с мелким зубом применяют при чистовой и получистовой обработке, с крупным зубом при черновой обработке.

По месту расположения режущих зубьев цилиндрические (см.плакат) , торцовые, дисковые одно – двух- и трехсторонние, угловые одно- и двухугловые, концевые, фасонные. червячные, резьбовые и т.д.

По направлению зубьев относительно оси вращения прямозубые  $\omega = 0$  и со спиральным зубом  $\omega > 0$ .

По способу установки на станке насадные, устанавливаемые на оправку (одновременно может быть установлено до 6 фрез) и хвостовые с коническим или цилиндрическим хвостовиком.

По виду инструментального материала быстрорежущие, твердосплавные и т.д.

По конструкции и способу креплений режущей части цельные в основном из быстрорежущей стали, с напаянными пластинами (твердосплавными), с механическим креплением пластин в том числе многогранных неперетачиваемых.

Рекомендуемые значения углов:  $\gamma - 5...30^\circ$  для фрез из быстрорежущей стали

$\gamma - + 10...20^\circ$  для фрез из твердого сплава

$\alpha - 12...30^\circ$  для быстрорежущей стали

$\alpha - 10...25^\circ$  для твердого сплава

$\phi - 10...30^\circ$  для станков с высокой жесткостью

$\phi - 30-90^\circ$  системы СПИД с пониженной жесткостью

$\phi_1 - 2...10^\circ$

Часто применяют заточку с так называемой переходной режущей кромкой

Движения при фрезеровании и способы фрезерования. Фрезерование применяется при обработке плоских поверхностей и поверхностей со сложным профилем. Главным движением при фрезеровании является вращение фрезы, движением подачи – поступательное перемещение заготовки или фрезы.



Фрезерование может осуществляться двумя способами:

Встречное фрезерование : фреза вращается против направления подачи.

Попутное фрезерование : вращение фрезы совпадает с направлением подачи.

При встречном фрезеровании толщина срезаемого слоя и нагрузка на зуб возрастают постепенно, выполняя не резание, а сжатие. Это приводит к повышенному износу зуба по задней поверхности и вызывает наклеп поверхности.

При попутном фрезеровании зуб начинает работать с максимальной толщиной среза и в первый же момент воспринимает наибольшую нагрузку.

По результатам исследований затрачиваемая мощность при попутном фрезеровании на 10...15% меньше, а класс шероховатости обработанной поверхности на 1-2 класса выше, чем при встречном фрезеровании. Однако попутное фрезерование невозможно осуществить при наличии у заготовки твердой корки.

Элементы режима резания при фрезеровании. Глубина фрезерования (глубина резания) определяется толщиной срезаемого слоя материала, измеренной по перпендикуляру к обработанной поверхности.

Подача – перемещение обрабатываемой детали относительно фрезы при вращении последней. Различают три вида подач: минутную подачу, подачу на оборот и подачу на зуб. Минутная подача – перемещение обрабатываемой детали в миллиметрах за одну минуту. Подача на оборот – перемещение обрабатываемой детали в миллиметрах на один оборот фрезы. Подача на зуб – подача обрабатываемой детали в миллиметрах, приходящаяся на один зуб фрезы. Между видами подач существует следующая зависимость:

$$S_m = S_o \cdot n = S_z \cdot z \cdot n$$

где  $n$  – частота вращения фрезы, мин<sup>-1</sup>;  $z$  – число зубьев фрезы.

Подачей на зуб пользуются при расчете режимов резания. Ее определяют по справочным таблицам в зависимости от обрабатываемого материала, мощности станка, конструкции фрезы. Так, для цилиндрической фрезы при обработке конструкционной стали  $s_z=0,03...0,6$  мм на зуб. Фрезерные станки настраивают по величине минутной подачи.

Скорость резания (м/мин) – окружная скорость вращения фрезы – определяется по формуле:

$$V = \pi \cdot D \cdot n / 1000$$

где  $D$  – наружный диаметр фрезы, мм.

Площадь среза при фрезеровании цилиндрической прямозубой фрезой для одного зуба фрезы (рис. )::

$$f = B \cdot a$$

где  $B$  – ширина фрезерования, мм;  $a$  – толщина среза, мм.

Толщиной среза называют толщину срезаемого одним зубом слоя, измеренную по направлению радиуса фрезы. При фрезеровании поперечное сечение среза имеет вид «запятой». Наибольшего значения при встречном фрезеровании толщина среза достигает при выходе фрезы из обрабатываемой заготовки. Максимальная толщина среза  $a_{\max} = s_z \cdot \sin \psi$ , где  $\psi$  – угол контакта фрезы с деталью – центральный угол,

соответствующий дуге соприкосновения фрезы с заготовкой:

$$\cos \varphi = \frac{D/2 - t}{D/2} = 1 - 2 \cdot t / D$$

При фрезеровании прямозубой цилиндрической фрезой на каждый зуб фрезы действует сила, которая может быть разложена на касательную составляющую силы резания, направленную по касательной к траектории движения режущей кромки зуба (силы  $PZ_1, PZ_2, PZ_3, \dots, PZ_n$ ), и радиальную силу, направленную по радиусу к центру фрезы (силы  $PZ_1, PZ_2, PZ_3, \dots, PZ_n$ ). Радиальные силы вызывают изгиб фрезерной оправки и действуют на подшипники шпинделя станка. касательные силы (окружные силы) создают крутящий момент резания, преодолеваемый крутящим моментом на шпинделе станка, и скручивают оправку. Суммируя графически силы, получим суммарную силу  $P_y$  и суммарную силу  $P_z$ . Равнодействующую сил  $P_y$  и  $P_z$  обозначим  $P$ . Сила  $P$  в свою очередь может быть разложена на горизонтальную составляющую и вертикальную, при этом горизонтальная сила воспринимается механизмом подачи станка, а вертикальная при встречном фрезеровании стремится оторвать обрабатываемую деталь от стола станка. Наоборот, при попутном фрезеровании вертикальная сила стремится прижать обрабатываемую деталь к столу станка.

Окружная сила  $PZ$  зависит от прочности материала заготовки (оцениваемой величиной  $c$ ), подачи  $SZ$ , ширины фрезерования  $B$ , и глубины резания  $t$ . Экспериментальные формулы для определения средней силы  $PZ$  имеют вид:

$$P_z = \frac{c_p \cdot t^{X_p} \cdot S_z^{Y_p} \cdot B^{\mu_p} \cdot z^{Y_p}}{D^{q_p}} \cdot k_M \cdot k_\gamma \cdot k_g \cdot k_{h_3}$$

где  $k_M, k_\gamma, k_g, k_{h_3}$  - коэффициенты, учитывающие влияние прочности материала заготовки, передний угол фрезы, скорость резания и износ зубьев фрезы.

Значения постоянной  $C_p$  и показателей степени находят по справочникам нормативов режимов резания при фрезеровании.

Кроме силы резания  $P_z$  на фрезу также действует осевая сила  $P_o$ :

$$P_o = P_z \cdot \operatorname{tg} \omega$$

где  $\omega$  - угол наклона винтовой канавки фрезы относительно оси, град.

Площадь среза при фрезеровании цилиндрической прямозубой фрезой – величина переменная, периодически изменяющаяся в процессе фрезерования, так как в каждый отдельный момент времени в работе находится неодинаковое число зубьев. Поэтому при фрезеровании необходимо стремиться к тому, чтобы площадь среза в процессе фрезерования оставалась постоянной. Постоянства площади среза можно добиться применением фрез с винтовыми зубьями. При этом при обработке ширина фрезерования  $B$  должна быть кратна осевому шагу, т.е.

$$B = k \cdot t_0$$

где  $K$  – целое число; обычно  $K=2 \dots 3$ ,  $t_0$  – осевой шаг фрезы – расстояние между двумя соседними зубьями фрезы вдоль оси.

Зависимость между осевым  $t_0$  и торцовым  $t$  шагом определяется из рис.8:

$$t_0 = t \cdot \operatorname{ctg} \omega = \frac{\pi \cdot D}{z} \cdot \operatorname{ctg} \omega$$

тогда

$$K = \frac{B \cdot z \cdot \operatorname{tg} \omega}{\pi \cdot D}$$

Задавая  $D$ ,  $z$ , и  $B$ , находим  $\omega$  - угол наклона винтовой канавки фрезы, при котором  $K$  – целое число.

Торцовое фрезерование в отличие от цилиндрического является процессом несвободного резания. В зависимости от установки фрезы относительно заготовки фрезерование может быть симметричным и несимметричным. В зависимости от ширины детали симметричное торцовое фрезерование может быть полным и неполным. При симметричном фрезеровании начальная и конечная толщины среза

одинаковые и их величина зависит от соотношения  $B/D$  (оптимальное  $B/D = 0,7 \dots 0,8$ ). Несимметричное фрезерование позволяет значительно уменьшить конечную толщину среза и, следовательно, снизить нормальные и касательные напряжения на зубьях в момент их выхода и при малых значениях  $k$  существенно уменьшить Адгезионный износ и повысить стойкость фрез. При фрезеровании труднообрабатываемых материалов при  $k \leq 5 \dots 8$  мм и при отношении  $k/D \leq 0,05$  стойкость инструмента возрастает в  $6 \dots 100$  раз.

Ширина фрезерования  $B$  при обработке торцовыми фрезами определяет ширину контакта фрезы с заготовкой в плане.

Характер износа фрез несколько отличается от износа резцов в силу того, что толщина срезаемого слоя при фрезеровании небольшая. В связи с этим износ происходит в основном по задним поверхностям и является лимитирующим. Фрезы разного назначения имеют свои места износа: угловые фрезы – по уголкам наибольшего диаметра, фасонные фрезы – в местах с наименьшими углами  $\alpha$ , цилиндрические фрезы – в середине контакта, торцовые сборные фрезы – по вершинам ножей и т.д. Для всех типов фрез критерием износа служит величина фаски износа  $h_z$ , находящаяся в пределах  $0,3 \dots 1,2$  мм в зависимости от условий резания и свойств материалов. При чистовом фрезеровании за критерий износа принимается такой износ, при котором шероховатость обработанной поверхности уже не удовлетворяет техническим требованиям.

Точность процессов фрезерования следующая:

– при черновом фрезеровании качество точности IT13...11 при значении шероховатости  $R_z = 80 \dots 40$  мкм;

– при чистовом фрезеровании качество точности IT10...8 при значении шероховатости  $R_a = 1,25$  мкм;

Методика назначения режима резания.

Выбор конструкции фрезы и марки инструментального материала. При фрезеровании сталей с  $\sigma_b \leq 1,4$  ГПа, применяют фрезы с зубьями из быстрорежущих сталей P9M4K8, или P6M5K5, а также твердые сплавы BK8 – при черновой обработке и BK3M, BK6M, BK6M-0M – при чистовых операциях. При обработке высокопрочных материалов, имеющих  $\sigma_b > 1,4 \dots 1,6$  ГПа, фрезы следует оснащать пластинами из твердых сплавов группы BK. Передний угол  $\gamma$  так же как и для резцов зависит от прочности обрабатываемых материалов: для быстрорежущих фрез  $\gamma = 10 \dots 15^\circ$ , для твердых сплавов  $\gamma = 10 \dots 15^\circ$ ; для твердых сплавов  $\gamma = 5 \dots 10^\circ$ . Задний угол  $\alpha = 15 \dots 16^\circ$ .

Глубину резания выбирают в зависимости от припуска на обработку. Надо стремиться вести черновое и получистовое фрезерование за один проход, если это

допускается мощностью станка и жесткостью системы СПИД. При припуске на обработку более 5 мм фрезерование ведут в два или более проходов, оставляя на последний проход припуск 1...1,5 мм.

Подачу выбирают максимально возможной. Ее величина может быть ограничена следующими основными факторами:

- а) Шероховатостью обработанной поверхности;
- б) Прочностью зуба фрезы;
- в) Прочностью механизма подач станка;
- г) Жесткостью системы СПИД;
- д) Прочностью и жесткостью оправки.

При черновом фрезеровании стальных заготовок цилиндрическим и фрезами из быстрорежущей стали принимают подачу на зуб  $S_z = 0,06...0,6$  мм/зуб, при обработке чугуна  $S_z = 0,1...0,6$  мм/зуб и при черновом торцовом фрезеровании фрезами из быстрорежущей стали  $S_z = 0,04...0,6$  мм/зуб.

Скорость резания подсчитывают по формуле:

$$V_p = \frac{C_g \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p},$$

где  $C_g$  – коэффициент, характеризующий материал заготовки и условия обработки;  $T$  – период стойкости фрезы, мин;  $t$  – глубина резания, мм;  $S_z$  – подача, мм/зуб;  $B$  – ширина фрезерования, мм;  $z$  – число зубьев фрезы;  $q, m, x, u, p$  – показатели степеней;  $K$  – общий поправочный коэффициент, учитывающий изменения условий обработки.

Определение расчетной частоты вращения фрезы:

$$n_p = \frac{1000 \cdot g}{\pi \cdot D}, \text{ мин-1};$$

где  $D$  – диаметр фрезы, мм;

Корректировка расчетной частоты вращения шпинделя по паспортным данным станка. При этом должно выполняться условие:

$$n_\phi \leq n_p;$$

Определение фактической скорости резания:

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n_\phi}{1000};$$

Определение главной составляющей силы сопротивления резанию:

$$P_z = \frac{c_p \cdot t^{X_p} \cdot S_z^{Y_p} \cdot B^{\mu_p} \cdot z^{Y_p}}{D^{q_p}} \cdot k_M \cdot k_\gamma \cdot k_g \cdot k_{h_3};$$

Определение мощности, потребной на процесс резания:

$$N_p = \frac{M \cdot n}{9750};$$

где  $M$  – крутящий момент на фрезе, Н·м;  $n$  – частота вращения фрезы, мин-1;

$$M = \frac{P_z \cdot D}{2},$$

где  $P_z$  – главная составляющая силы резания, Н;  $D$  – диаметр фрезы, мм.

Проверка расчетов по мощности электродвигателя станка:

$$N_p \leq N_{um} = N_\Delta \cdot \eta,$$

где  $NЭ$  – мощность главного электродвигателя станка, кВт;  $\eta$  - КПД станка.

Определение основного технологического времени:

$$T_o = \frac{L}{S_{мин}}, \text{ мин};$$

где  $L$  – расчетная длина прохода фрезы, мм;

$$L = l + l_1 + l_2,$$

где  $l$  – длина обрабатываемого участка, мм;  $l_1$  длина пути врезания, мм ;  $l_2$  – величина перебега фрезы, мм; ( $l_2 = 1 \dots 5$  мм);

Величина врезания при фрезеровании цилиндрическими фрезами определяется по формуле:

$$l_1 = \sqrt{\frac{D^2}{4} - \left(\frac{D}{2} - t\right)^2} = \sqrt{t \cdot (D - t)}$$

Величина врезания при фрезеровании торцовыми фрезами определяется по формуле:

$$l_1 = \frac{D}{2} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - \frac{B^2}{4}} = 0,5 \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - B^2}\right),$$

где  $B$  – ширина фрезерования, мм.

### Вопросы для самоконтроля

1. В чем особенность конструкции и геометрии зенкеров и разверток
2. Как распределяются силы сопротивления резанию при сверлении.
3. Какой вид механической обработки называется фрезерованием, в чем его суть?
4. Как рассчитать величину врезания при цилиндрическом и торцовом фрезеровании.

### Список литературы

#### Основная

1. Оськин, В. А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник. Кн. 1 / В. А. Оськин, В. В. Евсиков. - М. : КолосС, 2008. - 447 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 978-5-9532-0369-2.
2. Карпенко, В.Ф. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник. Кн. 2 / В. Ф. Карпенко, Л. Г. Баграмов, В. Н. Байкалов и др. - М. : КолосС, 2006. - 310 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 5-9532-0208-3

#### Дополнительная

3. Некрасов, С.С. Обработка материалов резанием : Учебник / С.С. Некрасов. – М.: Колос. – 1997. – 320 с.
4. Гапонкин, В.А. и др. Обработка резанием, металлорежущий инструмент и станки: Учебник для средних специальных учебных заведений по машиностроительным специальностям/ В.А. Гапонкин. –М.:Машиностроение.–1990.– 448 с.

## Лекция №7

### Строгание, долбление и протягивание как способы обработки материалов резанием.

#### 7.1. Особенности процесса резания при строгании и долблении. Строгальные и долбежные резцы

Строгальные станки предназначены для обработки резцом плоских и линейчатых поверхностей, пазов, торцов, а также фасонных поверхностей, представляющих собой сочетание плоскостей, расположенных под разными углами.

По классификации ЭНИМС строгальные станки относятся к седьмой группе, в которую входят:

1) Поперечно – строгальные: главное движение – поступательно-возвратное - совершает резец; движением подачи является периодическое перемещение инструмента (резца) в конце холостого хода резца.

2) Продольно-строгальные: бывают одно- и двухстоечные; главным движением является поступательно-возвратное движение обрабатываемой детали, закрепленной на столе станка; движение подачи – периодическое перемещение резца в конце каждого холостого хода.

3) Долбежные станки: главное движение – поступательно-возвратное перемещение в вертикальном направлении ; движение подачи – перемещение детали в поперечном направлении в конце каждого холостого хода.

4) Протяжные станки: бывают горизонтальные и вертикальные.

Процесс строгания по производительности и качеству обработки уступает фрезерованию. Однако в некоторых случаях его применение целесообразно вследствие простоты и дешевизны инструмента.

По-сравнению с точением процесс строгания имеет ряд особенностей:

1) Переменная скорость рабочего и холостого хода.

2) Резец находится под воздействием факторов резания только во время совершения рабочего хода, а во время холостого хода происходит охлаждение резца.

3) Врезание резца в заготовку сопровождается ударами.

4) Подача имеет прерывистый характер и осуществляется в конце холостого хода.

Строгальные резцы по своей конструкции аналогичны токарным. Однако как правило они при прочих равных условиях имеют большее поперечное сечение, т.к. работают с переменной нагрузкой и ударами. Часто (особенно при обработке стальных отливок) строгальные резцы делаются изогнутыми, чтобы при встрече с твердыми включениями резец, изгибаясь, не врезался в уже обработанную поверхность.

Это предохраняет режущее лезвие от выкрашивания и улучшает чистоту обработанной поверхности.

По назначению строгальные резцы бывают проходные, подрезные, отрезные и фасонные. Долбежные резцы имеют вид, представленный на рисунке.

#### 7.2. Элементы режима резания и силы резания при строгании и долблении

Глубина резания  $t$  при строгании равна толщине срезаемого слоя за один проход резца. При долблении глубина резания равна ширине резца.

Подача  $s$  – величина перемещения детали либо резца за один двойной ход резца.

Скорость резания  $\mathcal{S}$  - средняя скорость рабочего хода резца (детали), измеренная в метрах в минуту (м/мин). Для поперечно-строгальных станков с кулисным механизмом средняя скорость рабочего хода резца производится по формуле:

$$V_{p.c.p} = \frac{0,36 \cdot L' \cdot n}{\alpha},$$

где  $L'$  - длина хода ползуна, мм;  $n$  - число двойных ходов ползуна в минуту;

$\alpha = 180 + 2 \cdot \delta$ ,  $\operatorname{tg} \delta = \frac{L}{2 \cdot H}$ ,  $H$  - расстояние от центра качания кулисы до центра пальца, соединяющего кулису с ползуном, мм.

Площадь среза при строгании и долблении:

$$f = t \cdot s = a \cdot b.$$

Силы резания при строгании и долблении зависят от тех же факторов, что и при точении и рассчитываются по тем же формулам.

### 7.3. Назначение назначения режима резания при строгании

1) Первоначально определяют глубину резания в зависимости от припуска на обработку:

$$t = \frac{h}{i},$$

где  $i$  - число проходов;  $h$  - величина припуска на обработку, мм.

2) Выбирают максимально допустимую по технологическим требованиям (в зависимости от требований к шероховатости обработанной поверхности, прочности державки резца, прочности станка и др. факторов).

3) Определяют скорость резания по формуле:

$$V_{px} = \frac{C_g}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_T,$$

где  $K_T$  - поправочный коэффициент на тип станка (для продольно-строгальных  $K_T=1,0$ ; для поперечно-строгальных  $K_T=0,8$ ; для долбежных  $K_T=0,6$ ).

4) По найденной скорости резания определяют число двойных ходов резца:

$$n_{\text{дх.р}} = \frac{1000 \cdot V_{px}}{L \cdot (1 + m)},$$

где  $L$  - длина хода резца в направлении главного рабочего движения, мм;  $m$  -

отношение скорости рабочего хода к скорости холостого хода,  $m = \frac{V_{px}}{V_{xx}} \approx 0,5$ .

5) Согласно паспорту станка принимают ближайшее меньшее значение двойных ходов в минуту и определяют фактическую среднюю скорость резания:

$$n_{\text{дх.ф}} \leq n_{\text{дх.р}}, \quad V_{px.ф} = \frac{L \cdot n_{\text{дх.ф}}}{1000} \cdot (1 + m).$$

6) Выбранный режим резания проверяют по мощности:

$$N_p = \frac{P_z \cdot V_{px.ф}}{1020 \cdot 60} \leq N_{II} = N_{\mathcal{E}} \cdot \eta,$$

где  $P_z$  - главная составляющая силы резания, Н;  $N_{II}$  - мощность на ползуне станка, кВт;  $N_{\mathcal{E}}$  - мощность электродвигателя станка, кВт.

7) Основное (машинное) время определяется по формуле:

$$T_o = \frac{(B + B_1 + B_2) \cdot i}{n_{\text{дх.ф}} \cdot s}$$

где  $B$  – ширина детали, мм;  $B_1$  – длина врезания резца, мм;  $B_1 = t \cdot \text{ctg } \varphi$ ;  $B_2$  – перебег резца ( $B_2=2 \dots 5$  мм);  $i$  – число проходов.

#### 7.4. Протягивание, понятие о наружном протягивании

Протягивание применяется в серийном и массовом производстве для обработки круглых и фасонных отверстий, пазов, наружных поверхностей и тел вращения. Протягиванию обычно предшествует предварительная обработка отверстия сверлом, резцом, или зенкером. Протягивание обеспечивает точность размеров по 6-9 качеству и классу шероховатости обработанной поверхности 6-10 ( $R_a=2,5 \dots 0,08$  мкм).

Различают следующие виды протягивания:

- 1) Внутреннее протягивание;
- 2) Наружное протягивание;
- 3) Прошивка.

При протягивании обрабатываемая деталь 1 прижимается силами резания к опоре 4 станка, которая часто выполняется сферической 2. основное отличие протягивания от пошивки заключается в том, что при обработке инструмент – протяжка 3 подвергается растягивающему усилию  $P$ , а инструмент – прошивка подвергается сжимающим усилиям.

Различают прогрессивную, профильную и генераторную схемы протягивания. При профильной схеме резания профиль среза у каждого зуба подобен конфигурации протягиваемого отверстия. Применение данной схемы ограничивает большая сложность изготовления протяжек.

Прогрессивная схема резания предусматривает срезание каждым отдельным зубом лишь части периметра припуска с оставлением остальной части периметра на последующие зубья. Недостаток данной схемы – большая сложность изготовления протяжек.

Генераторная схема протягивания предусматривает срезание припуска концентрическими слоями при обработке либо плоскими параллельными слоями при наружном протягивании. Эта схема широко применяется при изготовлении круглых, шлицевых, квадратных и других протяжек ввиду относительной простоты изготовления и заточки генераторных протяжек.

#### 7.5. Силы и мощность резания при протягивании

При работе шпоночными и шлицевыми протяжками:

$$P_z = 10 \cdot C'_p \cdot s_z^Y \cdot b \cdot z \cdot n \cdot K_h \cdot K_{ж} \cdot K_\alpha \cdot K_\gamma;$$

При работе круглыми протяжками:

$$P_z = 10 \cdot C''_p \cdot s_z^Y \cdot D \cdot z \cdot K_h \cdot K_{ж} \cdot K_\alpha \cdot K_\gamma,$$

где  $C'_p$  и  $C''_p$  – коэффициенты, характеризующие материал заготовки;  $s_z$  – подача на зуб, мм/зуб;  $b$  – ширина шпонки или шлица, мм;  $z$  – максимальное число одновременно работающих зубьев;  $D$  – диаметр обрабатываемого отверстия, мм;  $n$  – число шлицев;  $Y$  – показатель степени;  $K_h$ ,  $K_{ж}$ ,  $K_\alpha$ ,  $K_\gamma$  – коэффициенты, характеризующие влияние соответственно износа, СОЖ, величин заднего и переднего углов.



$$z = \frac{L}{t_p},$$

где  $L$  – длина протягиваемой поверхности, мм;  $t_p$  – шаг режущих зубьев протяжки, мм.

Применение в качестве СОЖ сульфифрезолоа дает уменьшение силы резания на 30...35%.

### 7.6. Выбор режима резания при протягивании

Т.к. подача на зуб определяется при проектировании протяжки и равна разности по высоте двух соседних зубьев протяжки в зависимости от материала заготовки и условий обработки, то расчет режима резания сводится к определению скорости резания по формуле:

$$g_{рез} = \frac{C_g}{T^m \cdot s_z^Y},$$

где  $C_g$  - коэффициент, характеризующий условия обработки;  $T$  – период стойкости протяжки, мин;  $s_z$  – подача на зуб, мм/зуб;  $m$  и  $Y$  – показатели степени.

Затем проводят проверку, сравнивая осевую силу резания и мощность. При этом должны выполняться следующие условия:

$$P_{тяг} \geq P_z,$$

где  $P_{тяг}$  – максимальная тяговая сила станка, Н;

$$N_p = \frac{P_z \cdot g_{рез}}{1020 \cdot 60} \leq N_{II} = N_{э} \cdot \eta,$$

где  $N_{II}$  – мощность на ползуне станка, кВт.

Основное (машинное) время при протягивании определяется по формуле:

$$T_o = \frac{L_{ПП} \cdot K}{1000 \cdot g_{рез}},$$

где  $L_{ПП}$  – длина рабочего хода протяжки, мм;  $K$  – коэффициент, учитывающий обратный ход (обычно  $K = 1,14...1,5$ ).

$$L_{ПП} = L + l_p + l_K + l_H + l,$$

где  $L$  – длина протягиваемой части детали, мм;  $l_p$  – длина режущей части протяжки, мм;  $l_K$  – длина калибрующей части протяжки, мм;  $l_H$  – длина задней направляющей части протяжки, мм;  $l$  – длина перебегов протяжки, учитывающая вход и выход протяжки, мм; ( $l = 10...20$  мм).

### 7.7. Конструктивные элементы протяжек

Протяжка представляет собой многолезвийный инструмент, состоящий из следующих элементов:

$l_1$  – замковая часть (хвостовик): предназначен для закрепления протяжки в суппорте станка.

$l_2$  – шейка;

$l_3$  – передняя направляющая часть: предназначена для центрирования обрабатываемой детали в начале резания;

$l_4$  – режущая часть: каждый последующий зуб режущей части больше предыдущего на величину подачи на зуб  $S_z = 0,01...0,3$  мм;

$l_5$  – калибрующая часть (включает в себя 4-8 зубьев одинакового диаметра и предназначена для окончательной зачистки обработанной поверхности, а также является резервом для переточки протяжки;

$l_6$  – задняя направляющая часть, служащая для поддержания протяжки от провисания.

Шаг режущих зубьев определяется в зависимости от длины  $L$  протягиваемой детали:  $t_p = (1,25...1,5) \cdot \sqrt{L}$ , мм.

Передний и задний углы на зубьях протяжек измеряют в плоскости, перпендикулярной к главной режущей кромке. Чем больше вязкость обрабатываемого материала, тем больше должен быть передний угол  $\gamma$ . На калибрующих зубьях  $\gamma = 0...5^\circ$ ,  $\alpha = 0^\circ 30' ... 2^\circ$ ,  $f = 0,2...1$  мм.

### Вопросы для самоконтроля

1. В чем особенность поперечно- и продольно строгальной обработки?
2. Поясните принцип работы протяжки.
3. Перечислите элементы конструкции протяжки.
4. Приведите формулу основного технологического времени при протягивании.

### Список литературы

#### Основная

1. Оськин, В. А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник. Кн. 1 / В. А. Оськин, В. В. Евсиков. - М. : КолосС, 2008. - 447 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 978-5-9532-0369-2.
2. Карпенко, В.Ф. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник. Кн. 2 / В. Ф. Карпенко, Л. Г. Баграмов, В. Н. Байкалов и др. - М. : КолосС, 2006. - 310 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 5-9532-0208-3

#### Дополнительная

3. Некрасов, С.С. Обработка материалов резанием : Учебник / С.С. Некрасов. – М.: Колос. – 1997. – 320 с.
4. Гапонкин, В.А. и др. Обработка резанием, металлорежущий инструмент и станки: Учебник для средних специальных учебных заведений по машиностроительным специальностям/ В.А. Гапонкин. – М.:Машиностроение.–1990.– 448 с.

## Лекция №8 Шлифование и доводка поверхностей

### 8.1. Физическая сущность процесса шлифования. Основные виды шлифования

Шлифование – метод обработки материалов при помощи абразивных инструментов, режущими элементами которых являются твердые зерна абразивных материалов. В процессе резания при шлифовании снимается очень мелкая стружка. Во многих случаях шлифование является окончательной обработкой деталей, выполняемой после операций точения, фрезерования, строгания, а также термообработки. Шлифование обеспечивает 4...10 класс шероховатости поверхности ( $R_a$  до 0,10 мкм) и точность размеров по 11...6 IT.

Особенностью шлифования является срезание абразивным зерном как режущим зубом небольшого слоя металла, в результате чего на поверхности детали остается царапина ограниченной длины и весьма малой площади поперечного сечения. Обработанная шлифованием поверхность детали образована совокупностью множества царапин следов резания абразивных зерен, расположенных на режущей поверхности шлифовального круга.

Различают следующие виды шлифования:

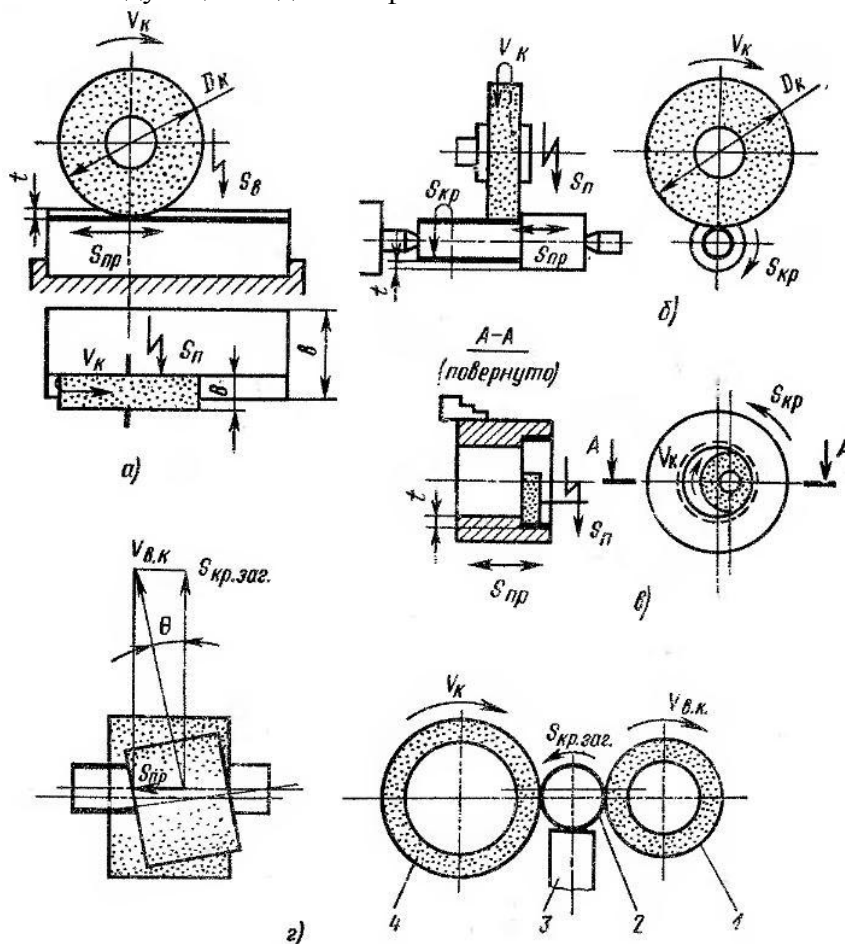


Рис. 27. Схемы шлифования: а- плоское, б - наружное круглое; в – внутреннее круглое; г – бесцентровое круглое

## 8.2. Элементы режима резания при наружном круглом шлифовании

Глубина резания  $t$  – толщина снимаемого слоя металла за один проход шлифовального круга; она совпадает с величиной поперечной подачи круга, которая осуществляется в крайнем положении круга относительно обрабатываемой поверхности детали, когда круг по ширине частично выходит за пределы детали. При черновом шлифовании  $t = 0,001 \dots 0,08$  мм; при чистовом  $t = 0,005 \dots 0,015$  мм.

Продольная подача  $S$  – продольное перемещение обрабатываемой детали или круга в миллиметрах за один оборот детали. Подачу назначают в долях от ширины шлифовального круга. При черновом шлифовании  $S = (0,3 \dots 0,7)B$ ; при чистовом  $S = (0,2 \dots 0,4)B$ , мм/об.

Скорость резания  $V_k$  – окружная скорость шлифовального круга, (м/с):

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

где  $D_k$  – диаметр круга, мм;

$n_k$  – частота вращения круга, мин<sup>-1</sup>;

Обычно  $\mathcal{G}_k = 30 \dots 35$  м/с. Для специальных высокопрочных кругов может достигать 70 м/с. Окружная скорость вращения детали  $\mathcal{G}_d$ :

$$V_d = \frac{\pi D_d n_d}{1000},$$

где  $D_d$  – диаметр детали, мм;

$n_d$  – частота вращения детали, мин<sup>-1</sup>;

Обычно  $\mathcal{G}_d = 20 \dots 60$  м/мин (при обработке сталей и чугунов).

Объем металла (мм<sup>3</sup>), срезаемый за один оборот обрабатываемой детали:

$$Q = \pi D_d t s$$

## 8.3. Сила и мощность при шлифовании

Сила резания  $P$ , действующая на обрабатываемую деталь, может быть разложена на три составляющие<sup>^</sup>

- касательную  $P_z$ ;
- радиальную  $P_x$ ;
- осевую  $P_y$ ;

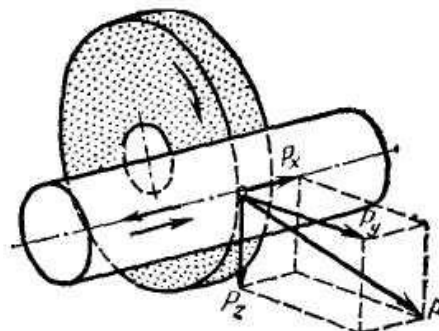


Рис. 28. Схема сил, действующих при шлифовании.

При шлифовании  $P_y = (1,5 \dots 3) P_z$ .

Мощность резания рассчитывается по формулам:

- Для наружного и внутреннего круглого шлифования

$$N_k = C_N s_{\text{прод}} v_{\text{д}}^{0,7} s_{\text{поп}}^{0,7},$$

где  $s_{\text{прод}}$  – продольная подача, мм/об;

$s_{\text{поп}}$  – поперечная подача, мм/дв.ход;

$v_{\text{д}}$  – окружная скорость детали, м/мин;

Коэффициент  $C_N$  рассчитывается по формуле:

$$C_N = C_O D_{\text{д}}^n k_1 k_2 k_3,$$

где  $C_O$  и  $n$  – коэффициенты, зависящие от вида обработки;

$k_1, k_2, k_3$  – коэффициенты, учитывающие соответственно твердость круга, ширину круга, вид обрабатываемого материала;

Зная мощность резания  $N_k$  можно определить касательную составляющую силы резания  $P_z$ :

$$P_z = \frac{1000 N_k}{v_k}.$$

Мощность на вращение детали  $N_{\text{д}}$  приблизительно в 60...100 раз меньше  $N_k$ .

#### 8.4. Износ и затупление шлифовальных кругов

Шлифовальные круги имеют так называемую пористую структуру, т.е. зерна абразива, которые непосредственно осуществляют процесс резания, соединены между собой связками; остальное же пространство абразивного инструмента заполнено порами (воздухом). В процессе шлифования каждое зерно абразивного инструмента вырезает царапину на поверхности обрабатываемой заготовки, превращая снимаемый металл в стружку. В результате деформаций, происходящих с высокой скоростью, и трения срезанная стружка нагревается до температуры плавления.

За время прохождения холостого цикла под действием центробежных сил и потока охлаждающей жидкости стружка может удаляться из пор (внешнее проявление этого – сноп искр при шлифовании). Однако часть стружки застревает в объемах пор и через некоторое время поры на режущей поверхности оказываются заполненными обрабатываемым материалом. Такое явление называется засаливанием круга. Вследствие этого температура в зоне резания значительно повышается, увеличиваются затраты энергии на процесс обработки. Это в свою очередь приводит к снижению качества обрабатываемой поверхности (на ней появляются так называемые прижоги). Кроме того, в процессе обработки происходит вырывание абразивных частиц из тела абразивного круга и происходит изменение формы и размеров режущей поверхности. Причем более интенсивно изнашиваются места угловых переходов и выступов, где абразивные зерна менее прочно скреплены связкой и шлифовальный круг принимает форму, показанную на рисунке.

Для возвращения шлифовальным кругам режущей способности после засаливания или износа режущих лезвий абразивных зерен, а также для придания кругам правильной заданной формы необходимо проводить их правку.

Правкой круга называется процесс удаления с поверхности круга слоя затупившихся абразивных зерен для восстановления режущей способности, придания кругу правильной геометрической формы и балансировки.

Средняя стойкость шлифовальных кругов при круглом наружном шлифовании  $T=30...40$  мин. Правят круги при помощи алмазов, заделанных в оправке, алмазных карандашей (мелкие алмазы, сцементированные сплавом вольфрама, меди и алюминия в виде цилиндриков) и металлических шарошек, которые крепят в ручных державках. После правки круга необходимо обязательно проводить балансировку кругов с целью уменьшения вибраций.

### 8.5. Назначение режима резания при шлифовании. Основное время

Первоначально перед назначением режима резания определяют характеристику шлифовального круга в соответствии с видом обработки, обрабатываемым материалом, условиями обработки.

Затем определяют (назначают) глубину обработки, число проходов и продольную подачу в долях ширины круга. Далее по вышеприведенным формулам определяют скорость и частоту вращения детали, которые корректируют по паспорту станка. По принятой фактической частоте определяют фактическую окружную скорость детали. После этого определяют (выбирают) окружную скорость вращения шлифовального круга (скорость резания), тщательно учитывая недопустимость превышения этой скорости против указанной в характеристике круга и находят мощность, необходимую для шлифования. Эта мощность должна быть меньше или равна мощности на шпинделе станка. Затем подсчитывают машинное время по формуле (для круглого шлифования с продольной подачей).

$$T_0 = \frac{2 \cdot L \cdot h}{n_d \cdot s \cdot t} \cdot k,$$

где  $L$  – длина продольного хода стола (круга), мм;

$h$  – припуск на сторону, мм;

$n_d$  – частота вращения обрабатываемой детали,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$s$  – продольная подача, мм/об; либо поперечная подача, мм/дв.ход;

$k$  – поправочный коэффициент, учитывающий добавочное число проходов без поперечной подачи (на выхаживание); для грубого шлифования  $k = 1,2...1,4$ ; для чистового  $k = 1,25...1,7$ .


Если подача происходит в конце каждого хода, то вместо  $2L$  в формуле берут величину  $L$ .

### 8.6. Инструменты для абразивной обработки

К абразивным инструментам относятся круги для шлифования деталей и затачивания инструментов, для разрезания металлов, сегменты и бруски.

Абразивный инструмент характеризуется формой и размерами, материалом абразивных зерен, связывающим веществом, зернистостью, твердостью и структурой. По форме круги могут быть следующих видов (табл. 3):

Таблица 3. Виды шлифовальных кругов

Форма инструмента	Наименование, назначение	Примечание
	Плоские прямого профиля ПП	Круглое наружное и внутреннее бесцентровое шлифование периферией круга, заточка резцов

	Плоские с двухсторонней конической выточкой ПВДК	Круглое шлифование с подрезкой торца
	Кольца К; чашки цилиндрические ЧЦ	Плоское шлифование торцом круга
	Чашки конические ЧК; тарелки Т	Заточка инструмента
	Диски Д	Отрезание, прорезание пазов
	Бруски: Квадратные БКв, круглые БКр, трехгранные БТ, полукруглые БПкр.	Для ручных работ
	Бруски: квадратные БКв, плоские БХ.	Для хонингования и суперфиниша.
	Сегменты: плоские СП, выпукловогнутые 1С, 2С.	Для наборных кругов в зависимости от типа станка и конструкции сегментной головки или оправки.

- 1) Плоские прямого профиля (ПП).
- 2) Кольцевые (К).
- 3) Чашечные: а) цилиндрические(ЧЦ); б) конические (ЧК).
- 4) Тарельчатые (Т).
- 5) Дисковые (Д).

Абразивные материалы могут быть естественного и искусственного происхождения:

- 1) Естественные: алмаз, корунд (80...95%  $Al_2O_3$ ), наждак (20...60%  $Al_2O_3$ ), кварц (оксид кремния  $SiO_2$ );
- 2) Искусственные: электрокорунд(основной компонент –  $Al_2O_3$ ):
  - нормальный электрокорунд: марки 12А...16А;
  - электрокорунд белый: марки 22А...25А (более высокая режущая способность);
  - хромистый электрокорунд (технический рубин): дополнительно содержит до 0,3%  $Cr_2O_3$  марки 32А...34А(розовый или темно-вишневый);
  - титанистый электрокорунд: марки 37А (содержит добавки  $TiO_2$ );
  - монокорунд: марки 43А...45А (имеет форму правильных кристаллов). обладает повышенными прочностью и износостойкостью.

Электрокорунды применяют при обработке пластичных материалов (сталь, ковкий чугун, мягкая бронза).

Карбид кремния (карборунд)  $SiC$

- черный: марки 52С...55С (обработка серого чугуна, твердой бронзы, алюминиевых сплавов);
- зеленый: марки 62С, 64С (заточка твердосплавного материала);

Карбид бора  $B_4C$  применяется для доводки твердосплавного инструмента.

Нитрид бора (эльбор): марки ЛЮ, ЛП. Термостойкость до 1500°C.

Синтетические алмазы изготавливаются из графита при температуре  $t = 2500 \dots 2600^\circ\text{C}$  и давлении  $p = 10000\text{МПа}$ .

В зависимости от размера зерен, метода получения и контроля делятся на две группы: шлифпорошки зернистостью 630...50 мкм и микропорошки – 40...3 мкм.

Шлифпорошки бывают пяти марок:

- АСО – обычной прочности;
- АСП – повышенной прочности;
- АСВ – высокой прочности;
- АСК – более прочные, чем АСВ;
- АСС – имеют наибольшую прочность.

Микропорошки выпускают двух марок: АСМ – нормальной абразивной способности (обработка твердой стали, чугуна, стекла);

АСН – повышенной абразивной способности (обработка алмазов, корунда и других особо твердых материалов).

Зернистость абразивных материалов: характеризует размеры зерен. В зависимости от размеров делятся на три группы:

- шлифовальные зерна (шлифзерна): №200...16;
- шлифовальные порошки (шлифпорошки): №12...3;
- микропорошки: М63...М14;
- тонкие микропорошки: М10...М5.

Номер зернистости для шлифзерна или шлифпорошка дает величину отверстия сита, на котором задерживается зерно основной фракции или минимальный размер зерна основной фракции.

Номер зернистости микропорошков дает величину максимального размера зерен основной фракции в микрометрах. По содержанию основной фракции абразивного порошка круги имеют индекс зернистости: В (55...60 % зерен основной фракции), П(45...55%), Н(40...45%), Д(39...41%).

#### Связки абразивных инструментов

При изготовлении шлифовальных кругов и брусков абразивные зерна соединяют связующим веществом (связкой). Связки бывают: неорганические, органические и металлические.

1) Неорганические:

– керамическая «К»: К1...К8 – имеют высокую прочность, огнеупорность, химическую стойкость, влагостойкость, сохраняемость профиля; недостаток – большая хрупкость;

–магнезиальная;

–силикатная.

2) Органические:

– бакелитовая Б: прочность, эластичность, возможность работы на больших окружных скоростях; недостаток – разрушаются от действия щелочной охлаждающей жидкости, при температуре более 200°C их прочность резко уменьшается;

– вулканитовая В: марки В1, В2, В3. преимущества: прочность, эластичность, окружная скорость до 75 м/с; недостаток – низкая теплостойкость.

3) Металлические: порошковые и гальванические. Преимущества: высокая прочность (используется для крепления алмазных и эльборных зерен).



Твердость абразивных инструментов характеризует сопротивляемость связки вырыванию абразивных зерен с поверхности под действием внешних сил. категории твердости абразивных инструментов представлены в таблице 2:

Таблица 4.Твердость абразивного инструмента

Категория твердости	Обозначение с учетом степени твердости
Мягкий	M1, M2, M3
Среднемягкий	CM1, CM2
Средний	C1, C2
Среднетвердый	CT1, CT2, CT3
Твердый	T1, T2
Весьма твердый	BT1, BT2
Чрезвычайно твердый	CT1, CT2

По твердости шлифовальные круги выбирают исходя из следующих положений:

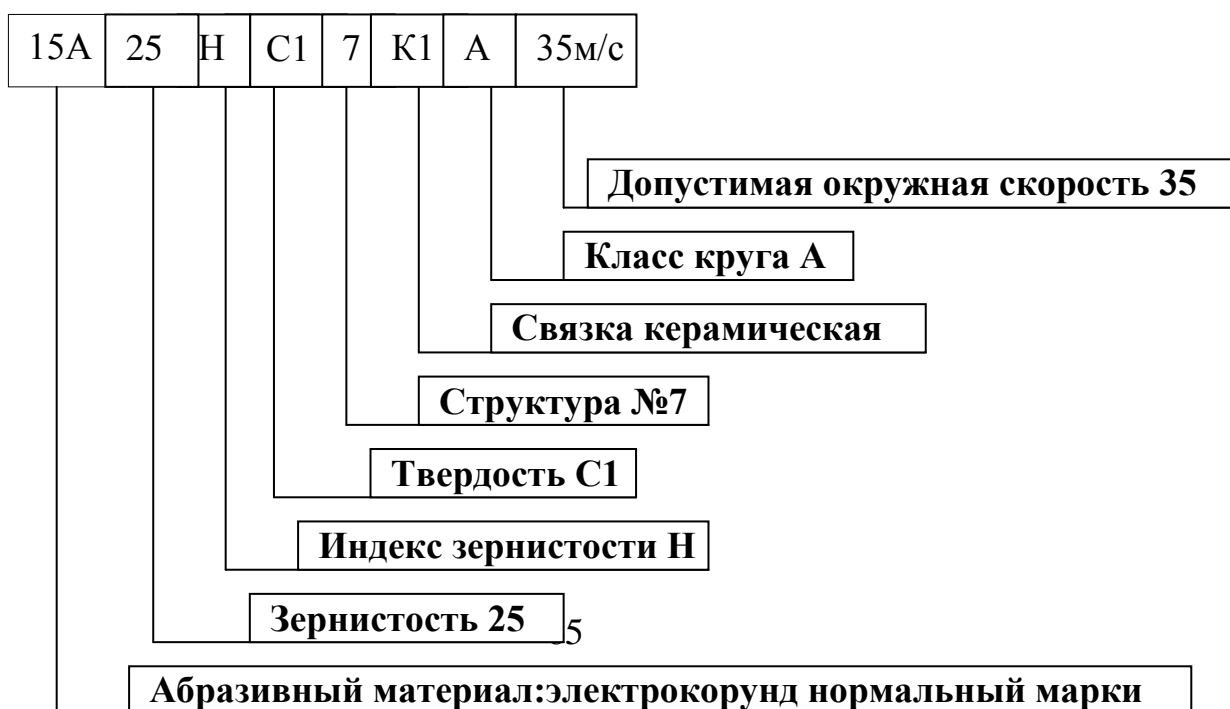
- а) твердые материалы необходимо обрабатывать мягкими кругами (M, CM, C);
- б) при обработке вязких материалов также необходимо выбирать мягкие круги (M, CM), но более крупнозернистые;
- в) при шлифовании фасонных поверхностей следует применять более твердые круги для сохранения фасонного профиля круга.

Структура абразивного инструмента—это соотношение между абразивными зернами, связкой и порами. Различают 4 группы структуры:

- плотная №0-3 (62...56% абразивных зерен по объему), используется при доводочных операциях;
- средняя №4-8 (54...46%), используется при обработке вязких материалов;
- открытая №9-12 (44...38%), используется на высоких режимах резания;
- очень открытая №13-20 (36...22%), применяется при обработке резины, пластмасс, дерева.

Маркировка абразивных инструментов. В маркировке указывают: абразивный материал, зернистость, индекс зернистости, твердость, номер структуры, связку, класс круга, допустимую окружную скорость круга.

Класс круга определяет допуски на его размеры, геометрическую форму и другие параметры. Круги бывают 3<sup>х</sup> классов: АА, А, Б, (АА – наиболее точные, Б - наименее точные.



### Отделочные методы абразивной обработки.

1) Притирка (доводка) – удаление с поверхности детали весьма незначительного слоя металла посредством применения особо мелкозернистого абразивного материала в среде смазки, нанесенного на поверхность инструмента, называемого притиром.

В качестве притира обычно используют специальные инструменты, по форме напоминающие сопрягаемую с данной поверхностью деталь. Чаще всего притиры изготавливают из серого чугуна, реже из меди или свинца. В качестве абразивных материалов для притиров применяют порошки алмаза, корунда, карборунда, наждака зернистостью 100...1 мкм и пасты ГОИ. Широкое распространение получила взаимная притирка клапанов и их седел в двигателях внутреннего сгорания.

2) Хонингование – метод отделочной обработки цилиндрических отверстий при помощи мелкозернистых абразивных брусков, совершающих вращательное и возвратно-поступательное движение вместе с особой державкой, называемой хонем (хонинговальной головкой). При наличии на станке гидравлической или пневматической подачи происходит непрерывный прижим брусков к обрабатываемой поверхности.

Для стали применяют электрокорундовые бруски, для чугуна – из карбида кремния на керамической связке. Точность обработки при хонинговании соответствует 5-7 классам, шероховатость 9-13 классам ( $R_a=0,32...0,0125$  мкм). Окружная скорость вращения колеса при обработке закаленной стали 10-25 м/мин, серого чугуна – 30...70 м/мин. Скорость осевого движения 1/2...1/5 от окружной скорости. В качестве СОЖ применяют смесь керосина и масла (10...30%).

3) Суперфиниширование – окончательная обработка предварительно шлифованных поверхностей (чаще наружных цилиндрических) при помощи мелкозернистых абразивных или алмазных брусков, совершающих сложное движение с целью получения высокого качества поверхности.

Обрабатываемая деталь совершает вращательное движение  $V_d$  (5...15 м/мин), а бруски – колебательное движение  $S_{вп}$  с длиной хода 1,5...6 мм и частотой 200...1000 двойных ходов в минуту и движение подачи вдоль обрабатываемой поверхности величиной 1...2 мм/об. Точность размеров деталей повышается незначительно, но обеспечивается минимальная шероховатость поверхности: 9-11 кл ( $R_a=0,63...0,008$  мкм).

4) Полирование обработка деталей при помощи особо мелкозернистой абразивной (полировальной) пасты, нанесенной на эластичный полировальный круг из войлока, кожи и парусины. В качестве абразива применяют порошки окиси хрома, крокуса (окиси железа), венской извести;  $V_{кр}=30...35$  м/с.

Круг прижимается к детали усилием 20...50 Н. полирование применяют обычно в качестве декоративной отделки, а также в качестве подготовительной операции перед никелированием, хромированием и другими гальваническими покрытиями. шероховатость поверхности соответствует 7-12 классу ( $R_a=1,25...0,025$  мкм).

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Перечислите разновидности шлифования и сферу применения этого вида обработки.

2. Какие методы отделочной обработки Вы знаете и в чем их суть?
3. Какие материалы используют в качестве исходных для абразивных кругов?
4. Расшифруйте обозначение круга.

#### Список литературы

##### Основная

1. Оськин, В. А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник. Кн. 1 / В. А. Оськин, В. В. Евсиков. - М. : КолосС, 2008. - 447 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 978-5-9532-0369-2.
2. Карпенко, В.Ф. Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник. Кн. 2 / В. Ф. Карпенко, Л. Г. Баграмов, В. Н. Байкалов и др. - М. : КолосС, 2006. - 310 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 5-9532-0208-3

##### Дополнительная

3. Некрасов, С.С. Обработка материалов резанием : Учебник / С.С. Некрасов. – М.: Колос. – 1997. – 320 с.
4. Гапонкин, В.А. и др. Обработка резанием, металлорежущий инструмент и станки: Учебник для средних специальных учебных заведений по машиностроительным специальностям/ В.А. Гапонкин. –М.:Машиностроение.–1990.– 448 с.

### Библиографический список

1. **Оськин, В. А.** Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник. Кн. 1 / В. А. Оськин, В. В. Евсиков. - М. : КолосС, 2008. - 447 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 978-5-9532-0369-2.
2. **Карпенко, В.Ф.** Материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебник. Кн. 2 / В. Ф. Карпенко, Л. Г. Баграмов, В. Н. Байкалов и др. - М. : КолосС, 2006. - 310 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 5-9532-0208-3
3. **Технология конструкционных материалов** : учебник для студ. машиностроительных специальностей вузов / А.М. Дальский [и др.] ; Под общ. ред. А.М. Дальского. - 6-е изд., испр. и доп. - М. : Машиностроение, 2005. - 592 с. : ил. - (В для вузов). - ISBN 5-217-03311-8
4. **Технология конструкционных материалов:** учебное пособие / Б. П. Загородских [и др.]. - Саратов : ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ", 2009. - 220 с. : ил. - ISBN 978-5-7011-0665-7.
5. **Материаловедение.** Технология конструкционных материалов ("Обработка конструкционных материалов резанием") : метод. указ. по самостоятельному изучению курса для студентов / сост. Ж. И. Альшин, Б. П. Загородских. - Саратов: ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ", 2004. - 45 с.
6. **Некрасов, С.С.** Обработка материалов резанием : Учебник / С.С. Некрасов. – М.: Колос. – 1997. – 320 с.
7. Гапонкин, В.А. и др. Обработка резанием, металлорежущий инструмент и станки: Учебник для средних специальных учебных заведений по машиностроительным специальностям/ В.А. Гапонкин. –М.:Машиностроение.–1990.– 448 с.
8. **Межецкий, Г.Д.** Методика безмашинного программированного закрепления и контроля знаний студентов по дисциплине «Обработка конструкционных материалов резанием» часть 1: Вопросы / Г.Д. Межецкий, В.В. Чекмарев.- Саратов.-1996.- 20 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> .....	<b>3</b>
<b>Лекция №1. Основные понятия о методах обработки и геометрических параметрах инструмента</b> .....	<b>4</b>
1.1. Основные виды механической обработки .....	7
1.2. Клин - основная форма режущей части инструмента. Понятие о рабочих поверхностях инструмента и плоскостях .....	9
1.3. Геометрические параметры токарного резца.....	10
1.4. Виды резцов. Кинематические углы резца. Заточка и доводка резцов. ....	12
Вопросы для самоконтроля. ....	13
Список литературы. ....	13
<b>Лекция №2. Классификация резцов</b> .....	<b>14</b>
2.1. Классификация резцов .....	14
2.2. Элементы режима резания. Площадь и форма срезаемого слоя, объем снятой стружки. Основное (машинное) время .....	14
2.3. Материалы для изготовления режущих инструментов .....	17
2.4. Маркировка и схемы крепления многогранных пластин .....	20
Вопросы для самоконтроля. ....	22
Список литературы. ....	22
<b>Лекция №3. Физические основы процесса резания металлов</b> .....	<b>23</b>
3.1. Процесс образования стружки, явления, сопровождающие процесс резания металлов. ...	23
3.2. Тепловые явления в процессе резания. ....	25
Вопросы для самоконтроля. ....	28
Список литературы. ....	28
<b>Лекция №4. Износ режущих инструментов.</b> .....	<b>29</b>
4.1. Виды износа. Критерии износа. ....	29
4.2. Качество обработанной поверхности. ....	30
Вопросы для самоконтроля. ....	34
Список литературы. ....	34
<b>Лекция №5. Сила резания и скорость резания при точении, назначение режимов резания</b> .....	<b>35</b>
5.1. Сила резания и ее составляющие при точении. Формула для расчета силы резания. ....	35
5.2. Факторы, влияющие на силу резания. Мощность и крутящий момент резания при точении .....	37

5.3. Стойкость инструмента и скорость резания при точении. Факторы, влияющие на скорость резания.....	38
5.4. Методика назначения режима резания при точении. Проверка выбранного режима. Применение ЭВМ в расчетах режимов резания.....	41
5.5. Штучное время и его составляющие. Производительность работы при точении и пути ее повышения.....	42
Вопросы для самоконтроля.....	43
Список литературы.....	43
<b>Лекция №6. Сверление зенкерование и развертывание. Фрезерование .....</b>	<b>44</b>
6.1. Работы, выполняемые на станках сверлильной группы, конструкция режущего инструмента.....	44
6.2. Элементы режима резания, силы резания и крутящий момент при сверлении. Назначение режимов резания при сверлении.....	45
6.3. Область применения и разновидности сверлильных станков.....	47
6.4. Фрезерование.....	47
Вопросы для самоконтроля.....	53
Список литературы.....	53
<b>Лекция №7. Стругание, долбление и протягивание как способы обработки материалов резанием.....</b>	<b>54</b>
7.1. Особенности процесса резания при строгании и долблении. Строгальные и долбежные резцы.....	54
7.2. Элементы режима резания и силы резания при строгании и долблении.....	54
7.3. Назначение назначения режима резания при строгании.....	55
7.4. Протягивание, понятие о наружном протягивании.....	56
7.5. Силы и мощность резания при протягивании.....	56
7.6. Выбор режима резания при протягивании.....	57
7.7. Конструктивные элементы протяжек.....	57
Вопросы для самоконтроля.....	58
Список литературы.....	58
<b>Лекция №8. Шлифование и доводка поверхностей.....</b>	<b>59</b>
8.1. Физическая сущность процесса шлифования. Основные виды шлифования.....	59
8.2. Элементы режима резания при наружном круглом шлифовании.....	60
8.3. Сила и мощность при шлифовании.....	60
8.4. Износ и затупление шлифовальных кругов.....	61
8.5. Назначение режима резания при шлифовании. Основное время.....	62
8.6. Инструменты для абразивной обработки.....	62

Вопросы для самоконтроля. ....	66
Список литературы. ....	67
Библиографический список. ....	68