



---

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ**  
**ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»**  
**(БГТУ)**

---

Политехнический колледж (ПК БГТУ)

УТВЕРЖДАЮ  
Ректор ФГБОУ ВО БГТУ  
\_\_\_\_\_ О.Н. Федонин  
«20».04. 2023 г.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

по организации самостоятельной работы студентов  
по дисциплине ОП.06 Программирование ЧПУ для автоматизированного  
оборудования

Специальность:	<b>15.02.14 Оснащение средствами автоматизации технологических процессов и производств (по отраслям)</b>
Уровень образования выпускника:	среднее профессиональное образование (СПО)
Программа подготовки специалиста среднего звена (ППССЗ):	базовая
Присваиваемая квалификация:	Техник
Форма обучения:	очная
Срок получения СПО по ППССЗ:	3 года 10 месяцев
Уровень образования, необходимый для приема на обучение по ППССЗ:	основное общее образование
Год приема на обучение на 1-й курс:	2023

Брянск 2023

**Методические рекомендации по организации самостоятельной  
работы студентов**  
по дисциплине ОП.06 Программирование ЧПУ для автоматизированного  
оборудования

для специальности **15.02.14 Оснащение средствами автоматизации  
технологических процессов и производств (по отраслям)**

Разработал:

– преподаватель ПК БГТУ

Сергеева Е.Г.

РП рассмотрена и одобрена на заседании предметно-  
цикловой комиссии «Автоматизация технологических  
процессов и производств» ПК БГТУ (далее — ПЦК)

от 20.04. 2023г., протокол № 9

Председатель ПЦК

Сергеева Е.Г.

Согласовано:

Заместитель директора ПК БГТУ  
по учебно-методической работе

Т.Е. Балашова

© *В.Я. Бойко*

© ФГБОУ ВО «Брянский государственный  
технический университет»

## **Тема: Формообразование литьём**

### Методические указания

Литейное производство — отрасль машиностроения, продукцией которой являются отливки, получаемые в литейных формах при заполнении их жидким сплавом заданного химического состава. При охлаждении расплав затвердевает, сохраняя конфигурацию полости формы. Полости в отливке получают, устанавливая в форму «стержень». Литьём изготавливают отливки простой и сложной формы, которые нельзя получить другими способами (например, корпусные детали автомобиля).

Процесс получения отливки можно разбить на следующие самостоятельные этапы:

- изготовление литейной оснастки: модели, стержней и литейной формы;
- плавка литейного сплава и заливка его в форму;
- выбивка отливки из формы после кристаллизации расплава и охлаждения отливки;
- контроль качества получившейся отливки.

Различают разовые и многоразовые формы, комбинированные.

Литература [6, с. 272, с. 35-43] Вопросы для самопроверки:

1. Как получают полости в отливках?
2. Что такое модель?
3. Какие требования предъявляются к сплавам для изготовления отливок?
4. Зачем на модели и стержнях предусматривают знаки?
5. Для чего нужны выпар, прибыль, шлакосборник?
6. Какие технологические требования предъявляются к заготовке, получаемой литьём в песчаные формы?
7. В чем преимущества литья в оболочковые формы по сравнению с литьём в песчаные формы?

## **Тема Формообразование давлением**

### Методические указания

Обработка металлов давлением (ОМД) основана на свойстве пластичности металлов, т. е. на их способности воспринимать под действием внешних сил остаточную деформацию без нарушения целостности материала заготовки. Все процессы ОМД можно условно разделить на процессы, завершающие металлургический цикл, и процессы производства заготовок (прокатка, прессование, волочение, ковка, объемная штамповка, листовая штамповка и др.).

Прокатка — пластическое деформирование металла вращающимися валками. Различают три основных вида прокатки: продольную, поперечную и поперечновинтовую.

Ковка — процесс горячего пластического деформирования металла универсальным инструментом — бойком при свободном течении металла в одном или двух направлениях.

Ковкой получают поковки массой от 0,1 кг до 400 т. Различают ковку ручную и машинную.

Ковка — процесс универсальный, не требующий сложного, дорогостоящего оборудования и оснастки, но требующий высокой квалификации оператора (кузнеца). Ковка - процесс малопроизводительный, поковки имеют низкую размерную точность, высокую шероховатость и геометрические погрешности. Основная область применения ковки - единичное и мелкосерийное производство. Объемная штамповка — процесс холодного или горячего пластического

деформирования металла в полости специального инструмента — штампа. Штамп состоит из двух или нескольких частей, которые в сомкнутом состоянии образуют одну или несколько полостей (ручьев). При сближении частей штампа происходит принудительное перераспределение металла заготовки по ручью. Объемная штамповка — высокопроизводительный процесс, обеспечивающий высокую размерную точность заготовки, стабильность ее формы и размеров, уменьшение технологических припусков на последующую обработку (в некоторых случаях имеется возможность обойтись без снятия стружки), получение поволоков сложной формы, возможность частичной автоматизации процесса. Штамп — сложная, дорогостоящая, узкоспециальная оснастка, поэтому область применения объемной штамповки — среднесерийное и массовое производство.

Листовая штамповка (ЛШ) - способ изготовления плоских и полых изделий с помощью штампов из полос, листов, лент, изготовленных из углеродистых и легированных сталей, цветных сплавов. Исходным материалом служит

Вопросы для самопроверки:

1. Чем поперечная прокатка отличается от продольной?
2. Какие заготовки можно получать поперечно-винтовой прокаткой?
3. Что такое осадка?
4. Какие технологические требования предъявляются к заготовке, получаемой ковкой?
5. В чем отличие закрытых штампов от открытых?
6. Что такое облой?
7. Какие заготовки получают на ГКМ?
8. Перечислите основные операции ХОШ.
9. В чем отличие вырубки от пробивки?
10. Что такое вытяжка?

## **Раздел Инструменты формообразования**

**Тема:** Инструменты формообразования в машиностроении.

Геометрия токарного резца

Методические указания

Инструментальный материал должен иметь высокую твердость, чтобы в течение длительного времени срезать стружку. Значительное превышение твердости инструментального материала по сравнению с твердостью обрабатываемой заготовки должно сохраняться и при нагреве инструмента в процессе резания. Способность материала инструмента сохранять свою твердость при высокой температуре нагрева определяет его красностойкость (теплостойкость). Режущая часть инструмента должна обладать большой износостойкостью в условиях высоких давлений и температур.

Важным требованием является также достаточно высокая прочность инструментального материала, так как при недостаточной прочности происходит выкрашивание режущих кромок либо поломка инструмента, особенно при их небольших размерах.

Инструментальные материалы должны обладать хорошими технологическими свойствами, т. е. легко обрабатываться в процессе изготовления инструмента и его переточек, а также быть сравнительно дешевыми.

В настоящее время для изготовления режущих элементов инструментов применяются инструментальные стали (углеродистые, легированные и быстрорежущие), твердые сплавы, минералокерамические материалы, алмазы и другие сверхтвердые и абразивные материалы. Геометрия резца, форма и углы заточки режущей части резца. Геометрия резца влияет на характер процесса резания материалов, на его производительность и экономичность, качество обработанной детали, стойкость (время работы до нормального затупления) резца и т. п. Режущую часть составляют рабочие поверхности: передняя, по которой сходит образующаяся в процессе резания стружка, задняя главная и задняя вспомогательная, обращенные к обрабатываемой поверхности заготовки. Рабочие поверхности при пересечении образуют режущие кромки. Литература [1, с. ]

Вопросы для самопроверки:

1. Классификация инструментальных материалов.
2. Требования, предъявляемые к инструментальным материалам.
3. Что понимается под теплостойкостью инструментальных материалов и чем она характеризуется?
4. Углеродистые инструментальные стали, их маркировка и применение.
5. Теплостойкость углеродистых инструментальных сталей и допустимые скорости резания
6. Легированные инструментальные стали, их маркировка и применение
7. Расшифровать марку материалов: BK10OM, T15K6, TT20K9

### **Тема** Обработка материалов точением

Методические указания

Обработка металлов резанием – это процесс снятия режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла для получения необходимой геометрической формы, точности размеров и шероховатости поверхности детали.

В процессе обработки на заготовке различают: обрабатываемую поверхность, с которой срезается слой металла; обработанную поверхность, с которой слой металла срезан и превращён в стружку; поверхность резания, образованную главной режущей кромкой инструмента и являющуюся переходной между обрабатываемой и обработанной поверхностями

Различают следующие элементы режущей части резца: передняя поверхность, по которой сходит стружка. Главная задняя поверхность, обращённая к поверхности резания заготовки.

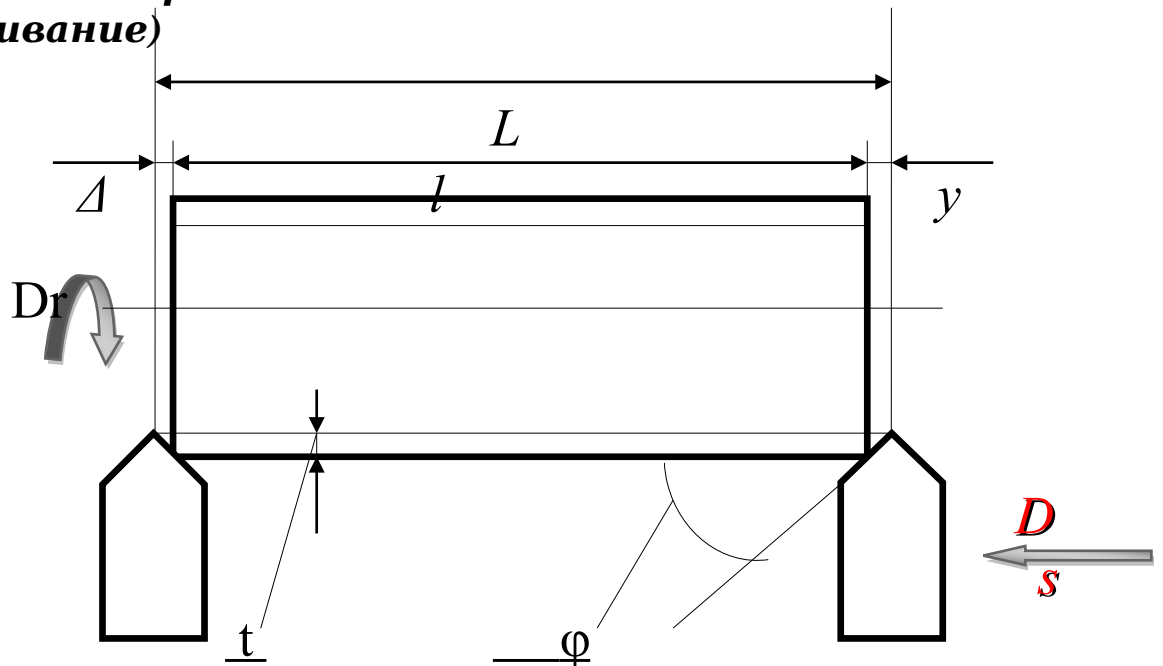
Вспомогательная задняя поверхность, обращённая к обработанной поверхности заготовки.

Главная режущая кромка, выполняющая основную работу при резании, образуется в результате пересечения передней и главной задней поверхности; вспомогательная режущая кромка - при пересечении передней и вспомогательной задней поверхности.

Движения, обеспечивающие срезание с заготовки поверхностного слоя металла или изменение состояния обработанной поверхности, называют движениями резания. К ним относят главное движение и движение подачи. Главным движением  $D_r$  называется движение, определяющее скорость деформирования и отделения стружки. Движением подачи  $D_s$  называется движение, обеспечивающее непрерывность врезания режущей кромки инструмента в материал заготовки. Эти движения могут быть вращательными, поступательными, возвратно-поступательными, непрерывными или прерывистыми. Для любого процесса резания можно составить схему обработки, на которой условно изображают обрабатываемую заготовку, ее базирование и закрепление в рабочем приспособлении станка, режущий инструмент в положении, соответствующем концу обработки.



***Наружное продольное точение заготовки  
(обтачивание)***



**Основное технологическое время  $T_0$**

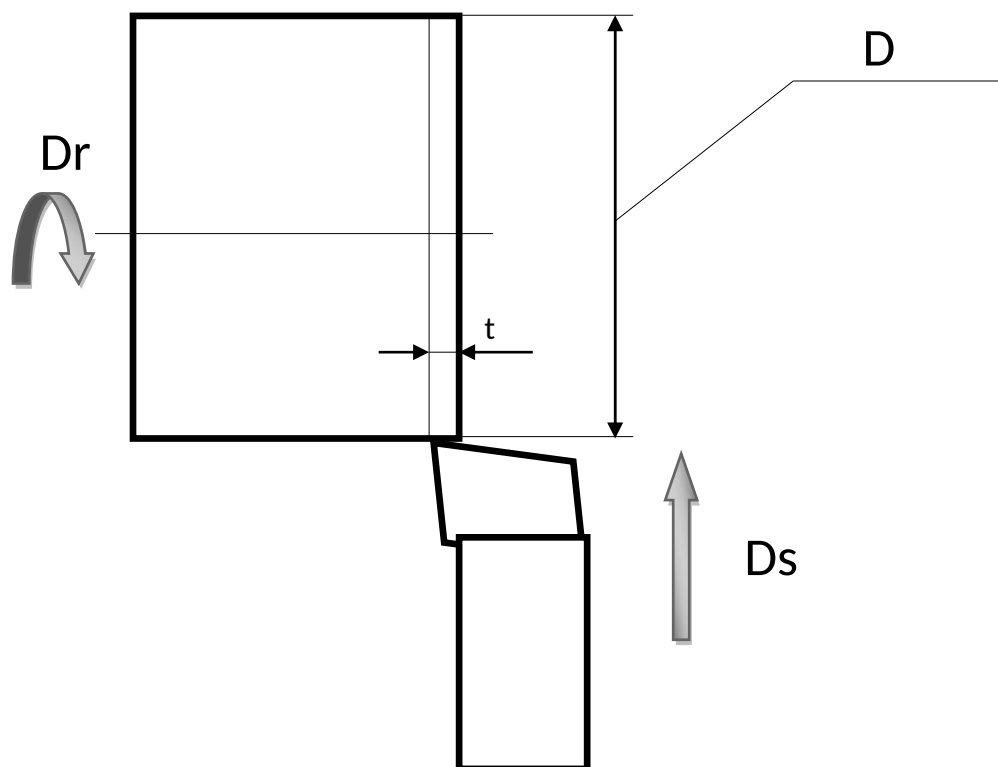
$$T_0 = (L / V_s) \cdot i, \text{ мин}$$

где  $L = l + y + \Delta$ , мм

$$y = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi, \text{ мм}$$

$$\Delta = 1 \dots 4, \text{ мм}$$

## Подрезка сплошного торца заготовки



$$l = D / 2 \text{ мм}$$

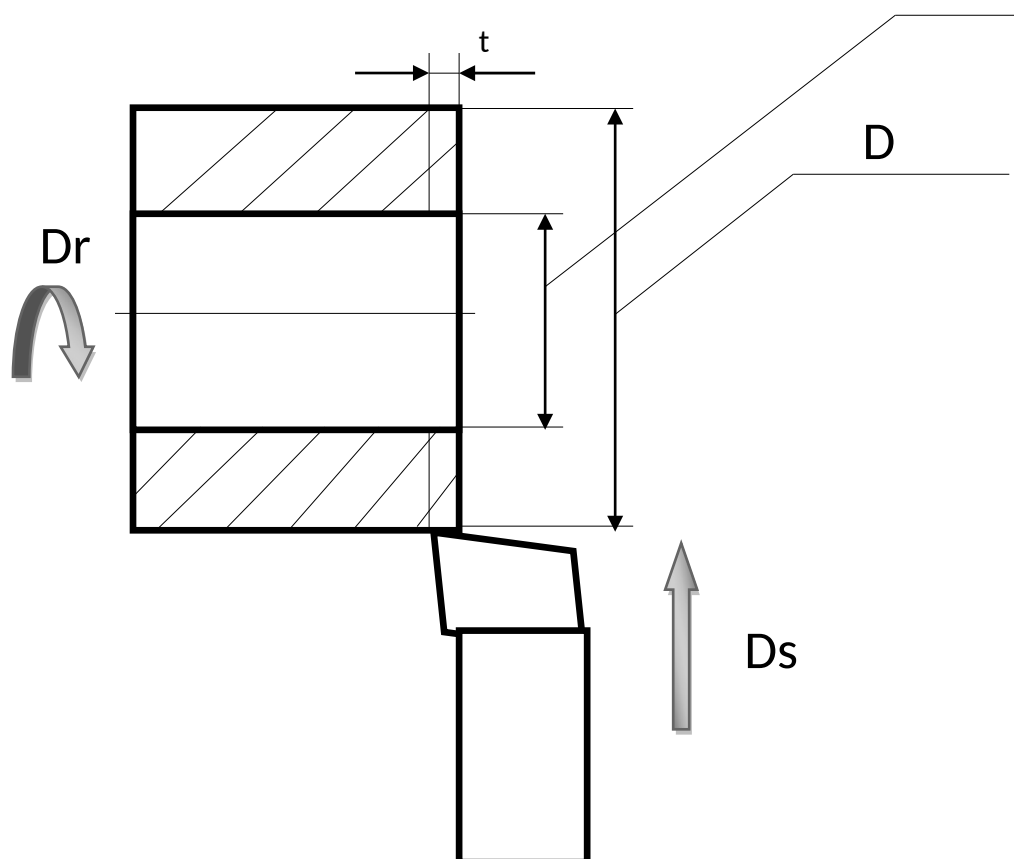
$$y = l \dots 2 \text{ мм}$$

\

Подрезка торца трубы

d

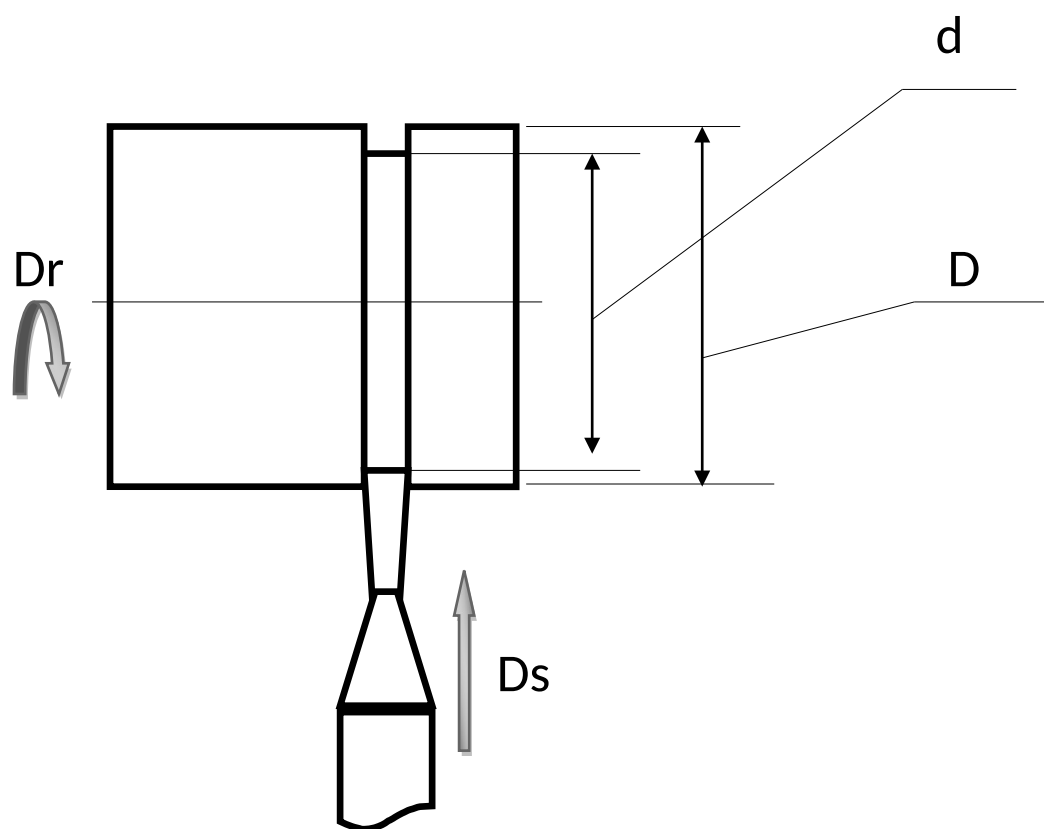




$$l = (D - d) / 2 \text{ мм}$$

$$y = l \dots 2 \text{ мм}$$

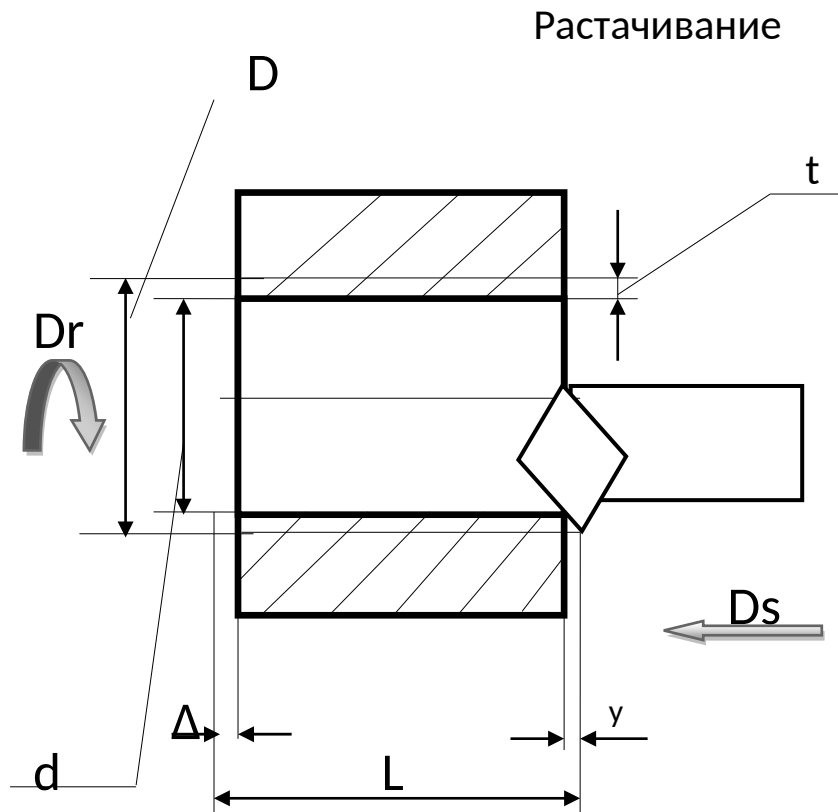
Точение канавки



$$l = (D - d) / 2 \text{ мм}$$

$$y = 1 \dots 2 \text{ мм}$$

$$\Delta = 0 \text{ мм}$$



### Основное технологическое время $T_0$

$$T_0 = (L / V_s) \cdot i, \text{ мин}$$

где  $L = l + y + \Delta$ , мм

$$y = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi, \text{ мм} \quad \Delta = 1 \dots 4, \text{ мм}$$

Литература [1, с. 392, с. 188-201] Вопросы для самопроверки:

1. Что такое главное движение?
2. Что такое передняя поверхность режущего инструмента?
3. Как проводят плоскость резания?
4. Что такое составляющая сила резания?
5. Элементы режущей части резца
6. Схема токарной обработки

## **Тема** Физические явления при токарной обработке.

**Тема** Сопротивление резанию при токарной обработке Методические указания

Резание металлов — это сложный процесс физико-химического взаимодействия режущего инструмента, заготовки и окружающей среды. Все физико-химические процессы, возникающие при резании металлов (трение стружки о переднюю поверхность, трение обработанной поверхности о заднюю, высокая температура и высокое давление в зоне резания, окисление материала передней поверхности и т. д.), приводят к изнашиванию режущего инструмента.

Нормальные напряжения  $\sigma$  вначале действуют как растягивающие ( $+\sigma$ ), а затем быстро уменьшаются до нуля и переходят в напряжения сжатия ( $-\sigma$ ). Срезаемый слой металла пластически деформируется. Рост пластических деформаций приводит к деформации сдвига, т. е. смещению частей кристалла относительно друг друга. Срезанный сегмент стружки претерпевает дополнительную деформацию вследствие трения о переднюю поверхность и закручивается в спираль. По мере прохождения режущего инструмента обработанная поверхность, вследствие воздействий упругих и пластических деформаций, упруго восстанавливается на величину  $h$ , и структура поверхностных слоев отличается от структуры сердцевины. Твердость поверхностного слоя будет выше твердости сердцевины, образуется так называемый наклепанный слой, наклеп. Величина упругого восстановления обработанной поверхности, твердости поверхностного слоя, глубины расположения наклепанного слоя и эпюры напряжений зависят от физико-механических свойств обрабатываемого металла, геометрии режущего инструмента, условий обработки, режимов резания. Чем больше упруго-пластические свойства обрабатываемого материала, чем больше применяемые глубина резания и подача и чем меньше скорость резания, тем больше величина упругого восстановления обработанной поверхности, твердость поверхностного слоя и тем глубже распространен наклеп.

Литература [6, с. 272, с. 91-112]

Вопросы для самопроверки:

1. Какой формы образуется стружка при обработке вязких металлов? При обработке хрупких металлов?
2. Назовите основные элементы резца, влияющие на процесс резания.
3. Какое назначение имеют передний и задний углы резца?
4. Как материал режущей части резца влияет на процесс резания?
5. Какие процессы происходят в зоне резания?

**Тема** Скорость резания, допускаемая режущими свойствами резца Методические указания

Допускаемая скорость резания и функционально связанная с ней стойкость инструмента зависят от интенсивности образующегося и отводимого в процессе резания тепла, в свою очередь зависящего от рода обрабатываемого материала при прочих равных условиях. Образующаяся в процессе резания теплота является результатом механической работы, расходуемой на: а) деформацию стружки, б) трение сходящей стружки по передней грани режущего инструмента и в) трение задней грани режущего инструмента об обработанную поверхность.

При одинаковых механических свойствах, допускаемая скорость резания тем меньше, чем большую способность к наклепу имеет обрабатываемый металл, чем меньше его теплопроводность и меньше величина зерна.

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

Размеры резца и углы его заточки также влияют на допускаемую скорость резания: чем массивнее резец, особенно его головка, тем лучше он отводит образующееся при резании тепло. Неправильно выбранные, не соответствующие обрабатываемому материалу углы резца увеличивают усилие резания и способствуют более быстрому **взносу** резца. Литература [6, с. 272, с. 91-112] Вопросы для самопроверки:

1. Как влияют на допускаемую скорость резания размеры резца и углы его заточки?
2. Что увеличивает допускаемые скорости резания?
3. Что характеризует износостойкость режущего инструмента?

### **Тема** Токарные, строгальные и долбежные резцы

Методические указания

Токарные резцы подразделяются на проходные, подрезные, отрезные, расточные, фасочные и фасонные.

Подрезные токарные резцы служат для подрезания уступов под прямым или острым углом к основному направлению обтачивания. Обычно этот инструмент имеет поперечную подачу.

Отрезные резцы предназначены для отрезания материала от прутков небольшого диаметра. Как правило, для этих целей применяются инструмент с оттянутой головкой. В связи с тем, что работа ведется с большим усилием, а отвод стружки из зоны резания затруднен, нередко происходят выкрашивание или сколы режущей части инструмента, а иногда и отрыв пластинки от державки.

Расточные резцы необходимы для обработки отверстий. Они имеют меньшие поперечные размеры, чем обрабатываемое отверстие, и довольно большую длину. В силу своей малой жесткости, расточные резцы не позволяют снимать стружку большого сечения.

Для обработки длинных отверстий или отверстий большого диаметра применяются вставные резцы круглого или квадратного сечения, используемые вместе с державками. Державки позволяют производить расточку с помощью как одностороннего, так и двустороннего резца. Литература [1, с. 392, с. 217-230]

Вопросы для самопроверки:

1. Виды токарных резцов.
2. Главный угол в плане и его обозначение.
3. Что происходит при уменьшении угла в плане?
4. В чем различие токарных, строгальных и долбежных резцов?

### **Тема** Аналитический и табличный методы расчета режимов резания

Методические указания

Существует два метода расчета режима резания: расчетно-аналитический (по формулам Тейлора) и опытно-статистический (по справочным таблицам). Исходными данными для определения режимов резания являются: 1) материал обрабатываемой детали, его основная характеристика, способ получения заготовки, т. е. состояние обрабатываемой поверхности; 2) размеры обрабатываемых поверхностей (с учетом допусков), размеры

после обработки, требуемая точность и допустимая шероховатость обработанной поверхности; 3) масса обрабатываемой детали;

4) размер технологической партии;

5) применяемое оборудование (основные сведения из паспорта станка, если станок задан), предполагаемые режущий и измерительный инструменты; 6) предполагаемый способ установки и закрепления детали, конструкция приспособления, способ базирования, обеспечения точности установки (с **выверкой** или без выверки), способ закрепления и открепления; для деталей, устанавливаемых с помощью специальных устройств, основная характеристика этого устройства;

7) планировка рабочего места;

8) порядок обслуживания рабочего места: обеспечение заготовками, необходимой документацией, инструментами и приспособлениями; обеспечение наладки, подналадки и ремонта станка и т. п.

В расчет режима резания по каждому переходу входит определение: глубины резания, мм;  $S_0$  или  $S_m$ -осевой или минутной подачи, мм/об или мм/мин;  $V_p$  - скорости резания, м/мин (м/с - при шлифовании).

Глубину резания рекомендуется назначать равной величине припуска, снимаемого на данном переходе (обработка в один проход). Обработка за 2-3 прохода может встретиться на черновых операциях, при удалении напусков, когда значительная глубина резания (свыше 3-5 мм) невозможна по прочности режущего инструмента или мощности станка. Подача режущего инструмента обычно ограничивается на чистовых операциях требуемой величиной шероховатости, на черновых - прочностью механизма подачи станка. Чем выше подача, тем выше производительность обработки.

Скорость определяет производительность, как и подача. Назначается максимально возможной, но ограничивается периодом стойкости инструмента между переточками. Нормативной считается стойкость в 45 мин машинного времени резания. При чистовой обработке и требованиях к высокой точности (качество) стойкость может быть увеличена до 60 и даже 90 мин.

Литература [1, с. 392, с. 267-270] Вопросы для самопроверки:

1. От чего зависит выбор подач при токарной обработке?
2. По какой эмпирической формуле определяется скорость резания?
3. Какой из рассмотренных методов определения режимов резания более точный?

## **Раздел Обработка материалов сверлением, зенкерованием, развертыванием**

### **Тема Обработка материалов сверлением**

Методические указания

Сверление отверстий. Сверло является более сложным инструментом, чем резец. Оно имеет пять лезвий: два главных, два вспомогательных и лезвие перемычки.

Вспомогательные лезвия представляют собой винтовую кромку, идущую вдоль всей рабочей поверхности сверла. Передняя поверхность является винтовой. Задняя поверхность, в зависимости от способа заточки, может быть конической, винтовой, цилиндрической или плоской. В главной секущей плоскости сверло имеет форму резца с присущими ему геометрическими параметрами.

Сверление отверстий производится при вращении сверла и его осевой подаче. Инструментом служит обыкновенное спиральное или другой конструкции сверло. На сверлильном станке часто выполняют рассверливание, т. е. вторичную обработку сверлом большего диаметра ранее просверленного отверстия, это делают для того, чтобы сохранить межцентровое расстояние при сверлении отверстий больших диаметров, когда обработка одним сверлом большего (диаметра может дать значительное отклонение оси сверления. При нормальном сверлении достигается точность диаметра отверстия по микроточностям.

Литература [1, с. 392, с. 273-276] Вопросы для самопроверки:

1. Чем отличается сверло от резца?
2. Геометрические параметры режущей части сверла.
3. Что нужно обеспечить для правильного направления сверла?
4. Виды сверл.
5. Какие значения углов сверла при обработке вязких материалов?
6. Перечислите методы повышения производительности при обработке отверстий

**Тема** Обработка материалов зенкерованием и развертыванием Методические указания

Зенкерование отверстий. Для увеличения диаметра просверленных отверстий, а также для обработки отверстий, отлитых или штампованных, применяют зенкер цельный или насадной. Насадные зенкеры применяют для обработки отверстий диаметром мм. Такие зенкеры имеют четыре винтовые канавки и, следовательно, четыре режущие кромки. Они не имеют хвостовика и крепятся в пиноли задней бабки станка с помощью оправки, на которую их насаживают.

Развертывание отверстий. Отверстия диаметром до 10 мм развертывают после сверления. Отверстия больших диаметров обрабатывают зенкером или резцом и лишь после этого развертывают одной или двумя развертками. Растачивать отверстия следует только в тех случаях, когда не имеется зенкера необходимого размера. Растачивание, однако, обязательно тогда, когда ось отверстия должна быть строго прямолинейной и требуется обеспечить ее определенное положение: выдержать расстояние от оси другого отверстия, параллельность к этой оси или к какой-либо плоской поверхности детали и т. д.

Для сбережения дорогостоящих разверток часто производят двукратное развертывание — черновое (предварительное) и чистовое (окончательное). Для чернового развертывания часто используют износившиеся и заточенные на новый размер чистовые развертки. Литература [1, с. 392, с. 273-291] Вопросы для самопроверки:

1. Какие инструменты применяют при чистовой обработке отверстий?
2. Для зенкерования отверстий в заготовках из высокопрочного чугуна какие рекомендуются зенкеры?
3. Что следует сделать с торцевой поверхностью обрабатываемой заготовки перед развертыванием?
4. Какая точность обеспечивается при обработке отверстий на станках с ЧПУ?

**Тема** Расчет и табличное определение режимов резания при сверлении, зенкерованием и развертывании Методические указания

Обработка отверстий сверлами, зенкерами, зенковками, развертками и другими инструментами имеет ряд существенных особенностей:

- а) размер обрабатываемого отверстия определяется размером инструмента;
- б) отделение и выход стружки затруднен, что вызывает нагрев инструмента и требуется обильное охлаждение;
- в) на заборной конусной части режущего инструмента скорость резания различна в разных точках режущих кромок инструмента, что приводит к увеличению деформации металла и повышению расхода энергии на резание;
- г) главное движение и движение подачи осуществляется инструментом, что понижает точность направления оси отверстия;
- д) применение направляющих втулок создает трение направляющих ленточек режущего инструмента о стенки втулки и увеличивает нагрев инструмента.

Литература [1, с. 392, с. 286-287] Вопросы для самопроверки:

1. Какие типы сверл применяются при сверлении на токарных станках?
2. Перечислите элементы спирального сверла.
3. Какими способами закрепляются сверла в станок?
4. Какое охлаждение применяют при сверлении?
5. Как предупредить увод сверла?

#### Тема 3.4 Конструкции сверл, зенкеров, разверток.

Высокопроизводительные инструменты для обработки отверстий.

Методические указания

Сверла предназначены для сверления отверстий в сплошном металле, для рассверливания уже имеющихся отверстий, для рассверливания конических углублений. Точность обработки 11-12 квалитет, шероховатость поверхности RZ40 мкм.

Различают следующие типы сверл: спиральные с цилиндрическим и коническим хвостиком, центровочные, перовые, ружейные, кольцевого сверления и другие

Самым высокопроизводительным инструментом для обработки отверстий малого диаметра являются сверла из цельного твердого сплава. До недавнего времени эти сверла позволяли вести обработку на глубину до 5-7 диаметров. Но разработки последнего времени позволили растянуть диапазон глубин обработки цельнотвердосплавными сверлами до 12-14 диаметров. Такие сверла поставляются по спецзаказу.

При зенкерование одновременно участвует в работе большое число зубьев, что обеспечивает лучшую направленность зенкера и более высокую производительность, меньшую глубину резания и соответственно уменьшение сил резания.

Развертка служит для окончательной обработки отверстий высокой точности, поэтому критерием ее износа служит технологический критерий, т. е. такой, при котором отверстие перестает отвечать заданным параметрам (точности геометрической формы отверстия и его размеров, параметрам шероховатости поверхности и т. п.). Развертка срезают слои металла малой толщины, поэтому она изнашивается в основном по задней поверхности. Литература [1, с. 392, с. 288-291] Вопросы для самопроверки:

1. Назовите основные виды спиральных сверл, конструктивные и геометрические параметры их режущей части.
2. Приведите методы улучшения геометрических параметров спиральных сверл.
3. Укажите основные виды твердосплавных сверл, их эффективность и область применения.
4. Каково назначение зенкеров и зенковок, их конструктивные особенности.
5. Укажите назначение и разновидности разверток.



## **Раздел** Обработка металлов фрезерованием

### **Тема** Обработка материалов фрезами

#### Методические указания

Для формообразования различных плоскостей, а также поверхностей типа уступов, пазов, фасонных и т. п. используют один из самых распространенных методов обработки — фрезерование.

Фрезерование является одним из самых высокопроизводительных методов обработки поверхностей резанием. Фрезерование осуществляется многолезвийным режущим инструментом — фрезой. Фреза представляет собой тело вращения, по периферии которого или на торце расположены режущие элементы — зубья фрезы. Каждый зуб фрезы можно рассматривать как резец с присущими ему конструктивными и геометрическими параметрами: передние и задние поверхности, главные и вспомогательные режущие кромки, геометрические параметры: углы  $\alpha$ ,  $g$ ,  $j$  и т. п. Наиболее распространенные фрезы различают по форме и назначению: цилиндрические, торцовые, концевые, шпоночные, дисковые, угловые, фасонные, резьбовые и т. д.

Метод формообразования поверхностей фрезерованием характеризуется вращательным движением инструмента (главное движение) и, как правило, поступательным движением заготовки, что является движением подачи. Особенностями процесса фрезерования является прерывистый характер процесса резания каждым зубом фрезы и переменность толщины срезаемого слоя. Каждый зуб фрезы участвует в резании только на определенной части оборота фрезы, остальную часть проходит по воздуху, вхолостую, что обеспечивает охлаждение зуба и дробление стружки. При цилиндрическом фрезеровании плоскостей работу резания осуществляют зубья, расположенные на цилиндрической поверхности фрезы.

При торцевом фрезеровании плоскостей работу резания осуществляют зубья, расположенные на цилиндрической и торцевой поверхностях фрезы.

Литература [1, с. 392, с. 326-327] Вопросы для самопроверки:

1. Какие фрезы применяют для фрезерования плоскостей?
2. Какой припуск надо оставлять для окончательного прохода при фрезеровании плоскостей?
3. Укажите виды и причины брака при фрезеровании плоскостей и меры предупреждения брака

#### **Тема** Расчет и табличное определение рациональных режимов резания при фрезеровании

##### Методические указания

К режимам резания при фрезеровании относят скорость резания, подачу (минутную, на оборот и на зуб), глубину резания и ширину фрезерования  $B$ . Скорость резания, мм/мин, рассчитывается как окружная скорость вращения фрезы.

Влияние диаметра фрезы на производительность обработки неоднозначно. С увеличением диаметра фрезы повышается расчетная скорость резания при постоянной стойкости; это объясняется тем, что уменьшается средняя толщина срезаемого слоя, улучшаются условия охлаждения зуба фрезы, так как удлиняется время нахождения зуба вне зоны резания.

С целью повышения производительности лучше выбирать фрезы большего диаметра, поскольку с увеличением скорости резания пропорционально увеличивается частота вращения фрезы и минутная подача (при пропорциональном увеличении числа зубьев фрезы). Возможности увеличения диаметра фрез ограничиваются мощностью и жесткостью станка, размерами инструментального отверстия в шпинделе станка. Силы резания. В процессе работы фреза должна преодолеть суммарные силы резания, действующие на каждый зуб, находящийся в контакте с заготовкой. При фрезеровании цилиндрической прямозубой фрезой равнодействующую силу резания  $R$  можно разложить на окружную составляющую  $R_z$ , касательную к траектории движения зуба, и на радиальную составляющую  $R_y$ , направленную по радиусу. Силу  $R$  можно также разложить на вертикальную  $R_v$  и горизонтальную  $R_h$ , составляющие. При фрезеровании цилиндрическими косозубыми фрезами в осевом направлении действует осевая сила  $R_0$  причем, чем больше угол наклона винтовых канавок фрезы  $\alpha$ , тем она больше.

Литература [1, с. 392, с. 329-330] Вопросы для самопроверки:

1. От каких факторов зависит выбор режима резания при фрезеровании?

2. Перечислите порядок выбора режима резания?

3. Как влияет стойкость фрезы на скорость резания? 4. Что называется экономической стойкостью фрезы?

**Тема** Конструкции фрез. Высокопроизводительные фрезы Методические указания

Различают цельные, составные и сборные конструкции фрез. Цельные фрезы изготавливают полностью из инструментальной стали. У составных фрез режущую часть изготавливают из инструментального материала, а приваренный к ней хвостовик из конструкционной стали. К составным относятся также фрезы, у которых зубья — пластины из инструментального материала напаивают на корпус фрезы. У сборных фрез зубья закрепляют в корпусе механически с помощью специальных крепежных элементов. Режущий элемент — зуб — может представлять собой резец с напаянной твердосплавной пластинкой или монолитную пластинку из инструментальной стали, твердого сплава или другого инструментального материала.

Наиболее компактную конструкцию имеют цельные и составные фрезы. При небольших размерах у них может быть больше зубьев, чем у сборных фрез. Недостатки цельных фрез — повышенный расход инструментального материала; составных с напайными пластинками твердых сплавов — невозможность регулирования положения зубьев при износе и трудность восстановления в случае поломки. Для переточки такие фрезы необходимо снимать со станка.

Сборные конструкции обеспечивают наиболее рациональное использование инструментального материала. Изношенные зубья можно быстро заменить, не снимая фрезу со станка. Вследствие этого сокращаются потери времени, связанные со сменой инструмента для переточек. К недостаткам сборных конструкций можно отнести трудность размещения большого числа зубьев в корпусе определенного размера, из-за чего при равных диаметрах сборные фрезы обычно имеют меньше зубьев, чем цельные и составные; наличие крепежных деталей, удерживающих режущие элементы в корпусе, а следовательно, повышенную трудоемкость изготовления фрез; высокие требования к точности обработки базовых поверхностей, обеспечивающих заданное положение вставных зубьев, и к точности размеров самих зубьев в конструкциях, где смену зубьев выполняют без последующей тонкой регулировки их положения в корпусе фрезы; соответствующие требования к точности твердосплавных пластинок в конструкциях

фрез с механически закрепляемыми неперетачиваемыми пластинками. Литература [1, с. 392, с. 335-341] Вопросы для самопроверки:

1. Какие конструкции торцовых фрез вы знаете?
2. Перечислите геометрические параметры торцовых фрез?
3. Как влияет вспомогательный угол в плане на шероховатость поверхности?

### **Раздел Резьбонарезание**

#### **Тема Нарезание резьбы резцами, метчиками и плашками**

Методические указания

Применяются следующие способы получения резьб:

- лезвийная обработка резанием;
- абразивная обработка;
- накатывание;
- выдавливание прессованием;
- литье;
- электрофизическая и электрохимическая обработка.

Наиболее распространенным и универсальным способом получения резьб является лезвийная обработка резанием. К ней относятся:

- нарезание наружных резьб плашками;
- нарезание внутренних резьб метчиками;
- точение наружных и внутренних резьб резьбовыми резцами и гребенками; - резьбофрезерование наружных и внутренних резьб дисковыми и червячными фрезами;
- нарезание наружных и внутренних резьб резьбонарезными головками; - [вихревая](#) обработка наружных и внутренних резьб.

Накатывание является наиболее высокопроизводительным способом обработки резьб, обеспечивающим высокое качество получаемой резьбы. К накатыванию резьб относятся:

- накатывание наружных резьб двумя или тремя роликами с радиальной, осевой или тангенциальной подачей;
- накатывание наружных и внутренних резьб резьбонакатными головками;
- накатывание наружных резьб плоскими плашками;
- накатывание наружных резьб инструментом ролик-сегмент; - накатывание (выдавливание) внутренних резьб бесстружечными метчиками.

Выбор способа изготовления резьбы зависит от типа производства. Основным критерием выбора способа обработки должен быть экономический. Оценка по этому критерию обязательно должна быть комплексной и включать несколько составляющих - стоимость самого инструмента, стойкость инструмента (и, соответственно, стоимость инструмента, отнесенная к одному отверстию) и время обработки отверстия (и, соответственно, перенесенная на одно отверстие стоимость станкочаса).

Литература [1, с. 392, с. 315-318] Вопросы для самопроверки:

1. Какими инструментами можно нарезать резьбу?
2. Как устроен метчик?
3. Как нарезается резьба плашкой?
4. Как отличить правую резьбу от левой?

## **Тема** Нарезание резьбы фрезами

### Методические указания

Фрезерование резьбы производят при двух относительных движениях заготовки и инструмента: вращательном и поступательном, путем последовательного обкатывания с внешней или внутренней касанием. Подача на оборот заготовки (для планетарно-фрезерных станков — на один оборот инструмента вокруг заготовки) равна ходу резьбы (ход равен шагу резьбы, умноженному на число заходов). Фрезерованием могут быть получены все виды цилиндрических и конических резьб, за исключением прямоугольных с углом профиля  $\alpha = 0^\circ$ .

Различают монолитные и сборные резьбовые фрезы одноконтурные (дисковые или торцовые) и многоконтурные — гребенчатые.

Дисковые фрезы применяют для нарезания длинных резьб крупного шага и многозаходных резьб. Фрезы изготавливают с острозаточенными зубьями и устанавливают относительно оси заготовки под углом подъема резьбы. Гребенчатые фрезы служат для нарезания резьб, длина которых на два-три хода короче ширины фрезы. Оси гребенчатой фрезы и заготовки лежат в одной плоскости. Витки нарезки — кольцевые.

Гребенчатые фрезы изготавливают из быстрорежущей стали и твердого сплава — монолитные или с припаянными пластинками и сборные — с рейками или дисковыми гребенками. Размеры их регламентированы ГОСТом.

При выборе гребенчатой резьбовой фрезы следует учитывать модель станка и конфигурацию обрабатываемой заготовки. Допустимые значения диаметра  $D$  фрез выбирают по номограмме в зависимости от основных параметров резьбы. Диаметр фрезы для внутренней резьбы первоначально принимают равным  $2/3$  диаметра фрезеруемой резьбы, а затем проверяют по номограмме. [Получить полный текст](#) [Подписаться на рассылку!](#)

Для уменьшения вибраций при резьбофрезеровании рекомендуются фрезы с винтовыми канавками с углом подъема  $\approx 5^\circ$ . Для праворежущих фрез направление винтовых канавок левое, для леворежущих — правое. При шаге резьбы 1 мм следует применять фрезы с шахматным профилем нарезки: профиль четных зубьев смещен относительно профиля нечетных зубьев на шаг резьбы.

Фрезерование наружных резьб гребенчатыми фрезами внутреннего касания обеспечивает более высокую производительность. Гребенчатые фрезы внутреннего касания состоят обычно из корпуса и закрепленных на нем радиально дисковых гребенок. Внутренний диаметр фрезы на 3-10 мм больше диаметра фрезеруемой резьбы.

Литература [1, с. 392, с. 315-318]

Вопросы для самопроверки:

1. Назовите разновидности торцовых фрез
2. Как определить угол подъема винтовой линии фрез
3. По каким признакам классифицируются резьбовые фрезы
4. Виды движения при фрезеровании резьбы

## **Раздел** Зубонарезание

**Тема** Нарезание зубьев зубчатых колес методом копирования и обката.

Зубонарезные инструменты

## Методические указания

Нарезание зубьев производится методом копирования или методом обкатки.

Метод копирования является менее распространенным, чем метод обкатки. Он применяется в основном при обработке зубчатых колес не эвольвентного профиля и при ремонте, если нет зуборезного оборудования, работающего по методу обкатки.

Сущность метода копирования заключается в том, что изготовление зубчатого венца производится инструментом, имеющим профиль, совпадающий с профилем его впадины. После нарезания одной впадины с помощью дисковой (или пальцевой) фрезы заготовка поворачивается на угловой шаг, и процесс повторяется до тех пор, пока не будут нарезаны все впадины.

При нарезании зубчатых колес по методу копирования для каждого сочетания  $m$  и  $z$  нужно иметь отдельную фрезу. Стандарт предусматривает более 50 модулей, и число употребляемых более 100. Поэтому в универсальном комплекте должно быть не более 5000 фрез.

Основные недостатки метода копирования: а) низкая точность;

б) большое инструментальное хозяйство - в наборе одного модуля (и основного шага) до 26 инструментов;

в) низкая производительность, т. к. впадины нарезаются последовательно, а не одновременно (этот недостаток не характерен для протяжек и тому подобных инструментов).

При нарезании зубчатых колес по методу обкатки режущий контур инструмента имеет очертание рейки. Автоматическое образование эвольвентного профиля, при нарезании зубчатых колес по этому методу, получается в результате согласованных перемещений зуборезного инструмента и заготовки колеса. При этом зубья формируются постепенно и одновременно для всего колеса Литература [1, с. 392, с. 294-295]

Вопросы для самопроверки:

1. Какие **кинематические** пары имитируются при нарезании зубчатых колес методом обката?
2. Что такое червячная фреза, долбяк, шеввер?
3. Что такое производящее колесо?
4. Характеристики методов копирования и огибания. Область применения. 5. В чем заключается метод копирования при зубонарезании (инструмент, движения, достоинства и недостатки)?

**Тема** Расчет и табличное определение режимов резания при зуборезании.

Конструкции зуборезных инструментов.

## Методические указания

При нарезании зубчатых колес с числом зубьев  $z = 60$  применяются однозаходные и двухзаходные фрезы. Если число зубьев нарезаемого колеса и число заходов фрезы не имеют общих множителей, то берется фреза многозаходная.

Глубина резания  $t$  определяется числом проходов, необходимых для полной обработки впадины. При черновом нарезании число проходов выбирается в зависимости от модуля нарезаемого зуба, мощности станка и жесткости системы СПИД.

Цилиндрические колеса с модулем  $m = 2$  мм и конические колеса с модулем  $m = 3$  мм нарезаются за один проход. Колеса с большим модулем нарезаются за два прохода. При этом первый проход производится с глубиной резания  $t = 1,4m$ , а второй - с глубиной резания  $t = 0,7t$ .

Чистовой проход производится за один проход за исключением обработки цилиндрических колес дисковыми долбьяками при высоких требованиях к шероховатости

обработанной поверхности и к точности зубьев колеса (при  $m = 3$  число проходов  $i = 2$ ). Шестерни-валики, обрабатываемые в центрах, даже при малых модулях нарезаются за 2-3 прохода.

Подача  $s$  зависит от заданного качества поверхности нарезаемых зубьев и требуемой точности, мощности и жесткости станка; прочности механизма подачи; обрабатываемого материала; размеров нарезаемого зуба. Поддачи при нарезании внутренних зубьев колес долбяками со средним диаметром 75 мм выбираются по таблицам рекомендуемых подач для нарезания колес внешнего зацепления. При среднем диаметре долбяка меньше 75 мм подача уменьшается.

В целях повышения производительности фрезерования зубчатых колес червячными модульными фрезами и фрезерования шлицевых валов червячными фрезами рекомендуются осевые перемещения фрезы за время работы между переточками. Это дает возможность увеличивать скорость резания до 30%.

Получить полный текст Подписаться на рассылку!

Назначение режимов резания при шевинговании зубчатых колес имеет некоторые особенности. Для шевингования колес с прямыми зубьями применяется дисковый шевёр с косыми зубьями, наклоненными к оси под углом  $10-15^\circ$ , а для колес с косым зубом - прямозубые шевёры или косозубые с разницей в наклоне зубьев колеса и шевёра в пределах  $10-15^\circ$ . для повышения точности шевингования число зубьев у шевёра берется некратным числу зубьев.

При шевинговании глубиной резания является припуск на обработку, который определяется в зависимости от формы зуба (прямой, наклонный), величины модуля и угла зацепления (по профилю). При шевинговании определяют два вида подачи:  $s_o$  - продольная подача стола за один оборот детали, мм/об;  $s_{рад}$  - радиальная подача на один ход стола, мм/ход. Окружная скорость шевёра на начальном диаметре определяется в зависимости от обрабатываемого материала.

Мощность зубофрезерования  $N$  определяется по расчетным формулам или по нормативам.

Литература [1, с. 392, с. 312-318] Вопросы для самопроверки:

1. В чем заключаются особенности процесса фрезерования?
2. Объясните значение всех величин в формулах расчета основного времени при различных операциях.
3. Как определить затраты времени на технологическое обслуживание при зуборезных работах.
4. Что понимается под оптимальным режимом резания при работе на [металлорежущих станках](#).
5. Какие виды износа преобладают при низких скоростях резания и почему? В чем заключается их физическая природа?
6. Объяснить влияние элементов режима резания на температуру резания

## **Раздел Протягивание**

**Тема** Процесс протягивания. Расчет и табличное определение рациональных режимов резания при протягивании

Методические указания

Протягивание – механическая обработка внутренних и наружных поверхностей с прямолинейной образующей с помощью многолезвийного режущего инструмента -

протяжки. Заготовка при прямолинейном протягивании неподвижна. Особенно эффективно протягивание сложных и фасонных профилей заготовок. Находит широкое применение в массовом и серийном производствах. В мелкосерийном и единичном производствах обрабатывают поверхности, к которым предъявляются высокие требования к точности и параметрам шероховатости.

Основное отличие протягивания от других методов обработки - отсутствует движение подачи  $D_s$ . Значение подачи заключено в конструкции самого РИ. Размер каждого последующего зуба протяжки, больше предыдущего на величину, численно равную подаче на зуб  $S_z$ . Каждый зуб только один раз чувствует в процессе резания.

Протягиванием обрабатывают различные внутренние и наружные, а также полуоткрытые поверхности.

Существует два варианта протягивания: свободное и координатное. Все протяжки работают на растяжение, т. к. сила  $P$  прикладывается к замковой части.

Если сила прикладывается к задней части протяжки, то такой метод обработки называют прошиванием, а режущий инструмент - прошивкой. Прошивка работает на сжатие и продольный изгиб. Прошивки чаще всего применяют для калибровки внутренних отверстий высокой точности. Иногда последние секции прошивки или протяжки выполняют полукруглыми для развальцовки - сглаживания шероховатости и придания поверхности высоких эксплуатационных свойств.

При протягивании применяют профильную, генераторную и прогрессивную схемы срезания припуска.

При профильной схеме срезания припуска геометрическая форма всех зубьев подобна профилю окончательно обработанной поверхности заготовки. Эта схема резания имеет ограниченное применение вследствие трудности изготовления профильных протяжек. При генераторной схеме срезания припуска первый зуб протяжки имеет круглую форму, все последующие зубья имеют также круглую форму в виде частей окружности - дуг. Они более просты в изготовлении, их проще затачивать повторно и себестоимость их изготовления ниже, чем у протяжек, работающих по профильной схеме. Квадратные, многогранные, координатные протяжки для срезания припуска изготавливают по генераторной схеме.

Прогрессивную схему резания используют, когда профильное и генераторное протягивание невозможно.

В качестве СОТС (СОЖ) при протягивании используют эмульсии, сульфорезол, а так же смесь керосина и масла. Обработка чугунных заготовок производится без охлаждения. Литература [1, с. 392, с. 266-270] Вопросы для самопроверки:

1. Каковы особенности процесса резания при протягивании?
2. Что обеспечивает высокую точность формы и размеров обрабатываемой поверхности при протягивании?
3. Что обеспечивает центрирование заготовки по оси протяжки, если протягивается отверстие в литой или штампованной заготовке без ее предварительной обработки?
4. В каких целях иногда применяют протягивание вместо других методов обработки, например строгания, фрезерования?

## **Раздел Шлифование**

**Тема Абразивные инструменты. Процесс шлифования** Методические указания

Шлифование — процесс обработки заготовок резанием абразивным инструментом (кругами, брусками, абразивным инструментом на гибкой основе, свободным абразивом). Абразивные зерна расположены в кругах беспорядочно и удерживаются связующим материалом. При вращении круга в зоне его контакта с обрабатываемой поверхностью часть зерен срезает материал заготовки. Обработанная поверхность представляет собой совокупность микроследов воздействия абразивных зерен, поэтому иногда шлифование определяют как управляемое изнашивание заготовки. Скорость резания при шлифовании 30 м/с. Шлифованием можно производить чистовую обработку заготовок из различных материалов, имеющих разную твердость (для заготовок из закаленных сталей — это основной способ обработки). [Получить полный текст](#) [Подписаться на рассылку!](#)

Схемы шлифования:

- наружное круглое шлифование в центрах (глубинное, врезное, шлифование двух взаимно перпендикулярных поверхностей); - плоское шлифование периферией и торцом круга;
- внутреннее шлифование;
- внутреннее шлифование с планетарной подачей; - бесцентровое шлифование; - профильное шлифование.

Абразивный инструмент, в отличие от лезвийного инструмента, имеет множество режущих микрорезцов, расположенных хаотично. Единичное зерно шлифовального круга может располагаться на некотором расстоянии от обрабатываемой поверхности, скользить по обработанной поверхности (скользящие зерна), проникать в обработанную поверхность на небольшую глубину и деформировать материал заготовки, только пластически (деформирующие зерна), проникать в обработанную поверхность на глубину, достаточную для снятия стружки (режущие зерна). По сравнению с лезвийной обработкой шлифование характеризуется повышенным сопротивлением резанию, поскольку скользящие зерна создают дополнительное трение, деформирующие зерна — дополнительные упругую и пластическую деформации, а у режущих зубьев углы резания неоптимальные. Кроме того, сила резания на единичном зерне больше, но так как снимаются микростружки, суммарная сила резания невелика. За счет дополнительного трения и деформаций температура в зоне резания значительно выше, чем при лезвийной обработке, поэтому возможны структурные превращения металла в зоне резания (прижоги). Литература [1, с. 392, с. 345-363] Вопросы для самопроверки:

1. Наиболее распространенные схемы шлифования.
2. Главное движение для всех технологических способов шлифования.
3. Основные узлы круглошлифовальных станков

**Тема** Расчет и табличное определение рациональных режимов резания при различных видах шлифования

Методические указания

Главными факторами, влияющими на выбор шлифовального круга, являются свойства обрабатываемого материала, окружная скорость круга, метод шлифования, класс чистоты поверхности.

Окружная скорость шлифовального круга  $v$  зависит от вида связки и профиля круга.

Допустимые максимальные окружные скорости для обычных шлифовальных кругов: на керамической связке  $v = 25+35$  м/с, на бакелитовой связке  $v = 30+50$  м/с.

Для обеспечения наибольшей производительности высокого класса чистоты поверхности при минимальном износе круга следует принимать окружную скорость круга близкой к максимально допустимой.



Окружная скорость детали  $v$  и частота вращения определяются в зависимости от диаметра шлифования группы материалов. На измененные условия обработки вводятся поправочные коэффициенты.

Режимы резания корректируются также на поправочные коэффициенты в зависимости от обрабатываемого материала, точности и шероховатости поверхности, размера и скорости шлифовального круга, способа шлифования и контроля размеров, формы поверхности и жесткости детали, степени заполнения стола, формы шлифовального круга (чашечный, сегментный). Поправочные коэффициенты  $K_{ж}$  на подачу определяются в зависимости от точности и жесткости станка.

Проверочным расчетом определяется мощность шлифования при выбранном режиме обработки  $N_p$ .

При определении подач следует иметь в виду, что шлифование поверхности состоит из трех этапов:

- а) создание начального натяга в системе — подача круга на глубину шлифования вручную или с помощью гидравлического устройства; продолжительность этого этапа не превышает 0,05 мин и удельный вес его в операции незначителен;
- б) установившийся процесс, в течение которого снимается основная часть припуска; поддерживается режим, установленный на первом этапе; при каждом проходе шлифовальный круг подается в направлении глубины шлифования на величину поперечной подачи;
- в) зачистка, при которой достигаются заданные размеры, шероховатость поверхности и качество поверхностного слоя. При зачистке упругая система возвращается в исходное положение.

Для первого и третьего этапов шлифования подача на глубину является величиной переменной.

Для упрощения нормирования в таблицах установлены средние значения подач (радиальных и поперечных) за все время цикла шлифования, т. е. во всех трех этапах шлифования. Соответствующие поправочные коэффициенты на подачу, принятые в зависимости от точности, шероховатости поверхности и других технологических факторов, изменяют время обработки, главным образом за счет времени на выхаживание (до 20% от основного времени).

Продольные минутные подачи  $S_M$  определяются в зависимости от ширины круга и класса чистоты поверхности для наружного шлифования с продольной подачей.

Аналогично определяется поперечная подача  $S$  в мм на ход стола для плоского шлифования периферией круга.

Глубина резания — подача на глубину  $St_x$  или  $St_o$  определяется в зависимости от диаметра шлифования, продольной минутной подачи и припуска. При плоском шлифовании торцом круга подача на глубину  $sto$  зависит от приведенной ширины шлифования  $B_{пр}$ . Литература [1, с. 392, с. 345-363]

Вопросы для самопроверки:

1. Порядок назначения режимов резания при шлифовании [Получить полный текст](#)  
[Подписаться на рассылку!](#)
2. Силы резания при шлифовании
3. Износ и стойкость кругов

**Раздел** Физико-химические методы обработки

**Тема** Электрофизические и электрохимические методы обработки

Методические указания

Электрофизические и электрохимические методы по сравнению с обычной обработкой резанием имеют ряд преимуществ. Они позволяют обрабатывать заготовки из материалов с высокими механическими свойствами (твердые сплавы, алмаз, кварц и др.), которые трудно или практически невозможно обрабатывать другими методами. Кроме этого, указанные методы дают возможность получать самые сложные поверхности, например отверстия с криволинейной осью, глухие отверстия фасонного профиля и т. д. К числу таких методов относят электроэрозионную, электрохимическую и **анодномеханическую обработку металлов**. В основе электроэрозионной обработки металлов лежит процесс электроэрозии, т. е. разрушения поверхностей электродов при электрическом разряде между ними ( 56). Электроэрозионную обработку производят на специальных (электроискровых, электроимпульсных) станках.

Инструментом для обработки служит электрод, изготовленный из меди, латуни, **бронзы, алюминия** или некоторых других материалов. Он имеет форму, соответствующую форме требуемой поверхности обрабатываемой детали.

Заготовку помещают в ванну с жидкостью, не проводящей электрический ток.

Инструмент и заготовку подключают в станке к источнику электрического тока. При сближении инструмента (катода) и заготовки (анода), когда искровой промежуток становится очень малым, между ними происходит электрический разряд. В результате температура на обрабатываемой поверхности заготовки мгновенно достигает 8000—10 000°C, что приводит к местному расплавлению, частичному испарению и взрыво-подобному выбросу микрочастиц с поверхности заготовок. Выброшенные частицы металла в жидкой среде затвердевают и оседают на дно ванны. При подаче электрода-инструмента искровые разряды многократно повторяются и, образуют в заготовке лунку, отображающую форму инструмента.

Электроэрозионную обработку широко применяют для получения различных отверстий, пазов, углублений при изготовлении штампов, пресс-форм, кокилей и т. д.

Электрохимическая обработка заключается в том, что под воздействием электрического тока разрушаются поверхностные слои металла детали, помещенной в электролит.

Частицы металла, лежащие на поверхности детали, растворяются в электролите, и деталь становится блестящей (электролитическое полирование), в том случае, если поверхности должны быть приданы определенные размеры, применяют специальный инструмент для механического удаления разрушенной пленки металла. Анодно-механическая обработка металлов построена на сочетании электроэрозионного и электрохимического процессов. Анодно-механический способ обработки металлов применяют для затачивания пластинок из твердых сплавов и для резки очень твердых и вязких металлов. Литература [1, с. 392, с. 107-118] Вопросы для самопроверки:

1. Что такое электроэрозионная обработка?

Какой ток используется при ЭЭО и его величина? Какие диапазоны напряжения используют при ЭЭО? Какие среды используют при ЭЭО?

**Тема:** Чистовая и упрочняющая обработка поверхностей вращения методами пластического деформирования (ППД)

Методические указания

ППД — это метод обработки деталей без снятия стружки, при котором пластически деформируется только поверхностный слой деталей без нарушения целостности. В результате ППД уменьшается шероховатость поверхности, увеличивается твердость (микротвердость) металла, обеспечивается формообразование определённой микро- или макроформы поверхности, в поверхностном слое детали возникают сжимающие остаточные напряжения.

Это улучшает эксплуатационные показатели детали ППД — повышается выносливость деталей в 1,5—2,3 раза, сопротивление схватыванию, контактная выносливость, и другие эксплуатационные показатели изделия.

Особенно эффективным является упрочнение деталей, имеющих конструктивные или технологические концентраторы напряжений, выточки, галтели и др.

Достоинством ППД является технологическая универсальность и экономичность метода.

По характеру взаимодействия инструмента с деталью методы ППД подразделяются на статические и ударные.

Основным механизмом холодной пластической деформации металлов и сплавов является внутризеренное сдвиговое перемещение одних частей кристалла относительно других, осуществляемое с помощью многочисленных видов движения дислокации по плоскостям скольжения. Литература [6, с. 272, с. 245-264] Вопросы для самопроверки:

1. Классификация методов ППД.
2. Характеристика физико-механических свойств поверхностного слоя.
3. Преимущество методов ППД по сравнению с другими методами.

**Тема:** *Методы повышения износостойкости и надежности режущего инструмента.*

Повышению износостойкости и надежности инструмента способствуют:

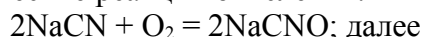
- 1) Создание и применение новых инструментальных материалов режущей части.
- 2) Создание новых типов и конструкций инструментов (прогрессивные конструкции)
- 3) Выбор оптимальных геометрических параметров режущей части (углы, формы  $A_\gamma$ ,  $A_\alpha$ ).
- 4) Выбор оптимальных режимов резания ( $V$ ,  $S$ ,  $t$ ).
- 5) Правильная эксплуатация инструментов (хранение, соблюдение режимов работы, восстановление).
- 6) Проведение термической обработки режущей части, обработки паром, холодом.
- 7) Применение износостойких покрытий рабочей части (нанесение карбидов или нитридов титана, карбидов вольфрама).
- 8) Повышение качества  $A_\gamma$ ;  $A_\alpha$  (доводка поверхностей) инструментов.
- 9) Насыщение поверхностного слоя инструмента серой, бором, термохимическая обработка инструментов (хромирование, цианирование, азотирование, сульфидирование, борирование, фосфатирование).
- 10) Упрочнение поверхностей инструмента ( $A_\gamma$ ;  $A_\alpha$ ) ударными методами (дробеструйное, вибрационное), ударной волной, электромагнитное, лазерное упрочнения (до 68-70 HRC).

Цианирование - химико-термический процесс, который заключается в насыщении поверхностного слоя стали углеродом и азотом путем диффузии при определенной температуре. В зависимости от метода насыщения в промышленности различают цианирование в жидких средах, газовое цианирование и сухое цианирование с твердым карбюризатором. В зависимости от температуры цианирование разделяется на

высокотемпературное (в диапазоне 800-850°C) ^ низкотемпературное (в диапазоне 550-560°C).

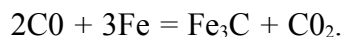
Для инструментов из быстрорежущей стали применяется только низкотемпературное цианирование полностью обработанных инструментов, так как, если термичной обработанный и заточенный инструмент подвергать цианированию при температурах выше обычных температур отпуска, будет понижена твердость, что приведет не к повышению стойкости, а к резкому снижению ее. Широкое применение на заводах имеет жидкое цианирование инструмента из быстрорежущей стали при температуре 550-560 С°. Процесс насыщения стали углеродом и азотом производится в ваннах (тиглях), наполненных расплавленной солью (обычно цианистый натрий NaCN).

В процессе работы идут химические реакции окисления:



образовавшийся цианид NaCNO реагирует с кислородом воздуха:  $2\text{NaCNO} + \text{O}_2 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO} + \text{N}_2$ .

Оксид углерода CO реагирует с железом, входящим в состав быстрорежущей стали, образуя карбид железа:



Выделяющийся атомарный азот также реагирует с железом и легирующими элементами, образуя нитриды. Карбиды железа и нитриды повышают твердость до HRC 68-70 и износостойкость поверхности режущей части инструмента. Время выдержки в цианистых ваннах зависит от размера и конструкции инструмента и колеблется в пределах 5-30 мин.

Цианированный инструмент имеет повышенную стойкость. Повышение стойкости - результат как повышенной твердости поверхностного слоя, так и пониженного коэффициента трения при резании, что уменьшает износ и повышает красностойкость инструмента. Рекомендуется цианирование с глубиной слоя 0,01-0,03 мм, так как при больших слоях режущая кромка инструмента получается хрупкой. Жидкому низкотемпературному цианированию подвергают протяжки, сверла, резьбовой инструмент и некоторые другие виды инструмента из быстрорежущей стали.

**Сульфидирование** - процесс насыщения поверхностных слоев металла серой. Образовавшиеся на поверхности инструмента сернистые соединения снижают коэффициент трения и повышают износостойкость инструмента. Процесс производится при температуре 550 - 560° С в ваннах следующего состава: 39% хлористого кальция; 25% хлористого бария и 17% хлористого натрия с добавлением сернистых соединений: 13,7 сернистого железа (в порошке)ж 3,4% сернокислого калия и 3,4% желтой кровяной соли. Выдерживают от 40 до 90 мин. По данным некоторых исследований стойкость сульфидированного инструмента в 1,5-2 раза выше.

**Хромированию** можно подвергать готовые инструменты из различных сталей - быстрорежущей, легированной или углеродистой. Применяется хромирование долбяков, протяжек и некоторых других инструментов. При изготовлении инструмента применяют главным образом электролитическое хромирование в гальванических ваннах с толщиной слоя до 0,025 мм.

**Процесс обработки паром** инструментов из быстрорежущей стали заключается в предварительной промывке инструмента при температуре около 70° С следующим составом на литр раствора: 20-40 г соды Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 20-40 г каустической соды NaOH и 20-40 г тринатрийфосфата Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>; затем промытый горячей водой инструмент загружается в электропечь с герметическим затвором (можно использовать печи для отпуска

инструмента). При температуре 340-380° С инструмент выдерживается в течение 15-30 мин до полного прогрева; затем печь продувается водяным паром, и при 540-560° С инструмент выдерживается в течение 30-40 мин; затем охлажденный до 50-70° С инструмент опускают в подогретое минеральное масло. После обработки паром и погружения в масло на инструменте образуется тонкая (0,05 мм) пленка окислов, а так как процесс происходит при температуре дополнительного отпуска для быстрорежущей стали, то инструмент получает повышенную среднюю стойкость (если он был правильно закален). В процессе обработки паром не могут быть устранены последствия плохой термической обработки инструмента. Повышение стойкости в 2 раза и некоторая стабилизация показателей стойкости вследствие улучшения условий отвода и уменьшения налипания стружки, например на ленточках сверл, обеспечили внедрение этого процесса в промышленность.

Для повышения стойкости режущие кромки следует доводить. Заточка и доводка режущих кромок, особенно алмазными кругами, позволяет повысить среднюю стойкость ряда инструментов, особенно чистовых, в 2-3 раза более, так как улучшает качество поверхности инструмента, а следовательно, и условия работы режущей части инструмента.

Окончательно изношенный инструмент, например зенкер, развертка, резец и т. д., можно восстановить. Методы восстановления сборного и цельного инструмента различны. Возможность восстановления заложена в конструкциях сборных инструментов. Например, корпуса сборных фрез разверток, зенкеров и т.д. могут служить очень долго и выдерживают многократную смену изношенных ножей. Во многих случаях возможность легкого восстановления и обеспечивает целесообразность выбора сборной конструкции инструмента. Для отдельных конструкций сборного инструмента вопрос замены ножей решается по-разному. В конструкциях резцов и фрез предусматривается применение неперетачиваемых многогранных пластинок. Такой инструмент восстанавливается просто. Когда износились все режущие кромки пластинки, она снимается и заменяется новой. Державка служит до тех пор, пока можно на ней закреплять пластинку.

Восстановление инструмента цельной конструкции, а также инструмента с напаянными пластинками значительно сложнее и не всегда оправдывается экономически. Инструмент можно перешлифовать на ближайший размер с соответствующим углублением стружечных канавок. Подобным путем могут восстанавливаться такие инструменты, как зенкеры, развертки, большинство видов цельных фрез. При восстановлении методом шлифования отверстие насадных инструментов остается в первоначальном виде, но может также хромироваться в размер. Ряд инструментов можно восстановить путем отжига изношенного инструмента с последующей полной механической обработкой на новый размер. Отверстие насадного инструмента после отжига растачивается на другой размер, или в него вставляется втулка. Из поломанных быстрорежущих фрез могут быть изготовлены пластинки для напайки на резцы и т.д. Инструмент следует восстанавливать только тогда, когда это оправдывается экономически.

Упрочнение рабочих поверхностей инструмента ударными методами применяют для увеличения предела выносливости. Методы основаны на ударном действии на поверхности инструмента рабочей среды (твердых тел; жидкостей - гидростатическое упрочнение; газов - аэростатическое упрочнение).

Зоны, воспринимающие удары, малы и близко расположены друг к другу; в результате вся поверхность упрочняется.

Наиболее распространено дробеструйное упрочнение потоком дроби, подающемся на поверхность. Это повышает долговечность, износостойкость, прочность и твердость инструмента.

Для повышения износостойкости инструментов применяют напыление - нанесение на рабочие поверхности износостойких покрытий карбидов или нитридов титана или карбидов вольфрама. Толщина покрытий 5...7 мкм повышает срок службы инструмента в 3... 4 раза. Покрытия наносят на быстрорежущие и твердосплавные инструменты.

Методы нанесения покрытий: КИБ - конденсация вещества из плазменной фазы в условиях ионной бомбардировки; РЭП - реактивное электролучевое плазменное осаждение; Термодиффузионный метод покрытия.

**Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов,  
дополнительной литературы** - Основные источники:

1. Гоцеридзе формообразования и инструменты. Москва. Издательский центр «Академия» . 2007.
  2. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением. Справочник/Под редакцией - Москва «Машиностроение» с..
  3. Рыжкин металлов и режущие инструменты. Москва. «Высшая школа». с..
  4. Гречишников инструменты в машиностроении. Москва. знание» 2007.-548 с.
  5. Справочник технолога-машиностроителя том 2 /Под ред. , , - М.: Машиностроение-1, с.
  6. Технология обработки металлов - М.: Издательский центр «Академия», 200с.
- Интернет-ресурсы:
1. Электронный ресурс «Единое окно доступа к образовательным ресурсам». Форма доступа: <http://window.> \*\*\*\*\*
  2. Электронный ресурс «Федеральный центр информационнообразовательных ресурсов». Форма доступа: <http://fcior.> \*\*\*\*\*
  3. Электронный ресурс «Федеральный портал «Российское образование». Форма доступа: <http://www.> \*\*\*\*\*/
  4. Электронный ресурс «Российский общеобразовательный портал». Форма доступа: <http://www.school.> \*\*\*\*\*/ - Дополнительные источники:
1. Справочник инструментальщика/ под редакцией .-Москва. «Машиностроение» с.
  2. Справочник конструктора - инструментальщика/Под общей ред. . - М.: Машиностроение,