

В. А. Галашев

РЕЗАНИЕ МЕТАЛЛОВ

Издательство Удмуртского университета

Министерство общего и профессионального образования
Российской Федерации
Удмуртский государственный университет

В. А. Галашев

РЕЗАНИЕ МЕТАЛЛОВ

Краткий конспект обзорных лекций для студентов специальности
"Технология" технологических факультетов педагогических вузов и универси-
тетов



Ижевск
Издательство Удмуртского университета
1996

ББК

Г
УДК

Печатается по решению ученого совета

Рецензент

Галашев В.А.

Резание металлов. Краткий конспект обзорных лекций. - Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1996 - с.

ISBN

Содержит конспективное изложение основных положений теории резания и характеристик металлорежущих инструментов.

В тексте использован большой иллюстративный материал и общедоступная символика, облегчающий подготовку к лабораторно-практическим занятиям и экзаменам по дисциплине "Резание металлов, металлорежущие станки и инструменты".

Для студентов специальности "Технология и предпринимательство" университетов, педучилищ; может быть полезен студентам СПТУ, изучающих аналогичные дисциплины.

Г ----- Без объявл.

ББК

ISBN

В.А.Галашев, 1996.

Содержание

От автора	9
От Х. Бидструпа	11
Лекция № 1 Точение	12
Геометрические параметры режущей части резца.....	
Изменение величин углов резания в зависимости от установки резца.....	
Изменение углов резания в процессе точения.....	
Элементы режимов резания при точении.....	
Свободное и несвободное резание.....	
Основное технологическое время.....	
Вопросы к разделу.....	
Лекция № 2 Инструментальные материалы	30
Требования, предъявляемые к инструментальным материалам.....	
Углеродистые инструментальные стали.....	
Легированные инструментальные стали.....	
Быстрорежущие инструментальные стали.....	
Твердые сплавы.....	
Минералокерамика.....	

	Сверхтвердые материалы.....	
	Вопросы к разделу.....	
Лекция № 3	Физические основы процесса резания металла. Процесс образования стружки.....	38
	Стружкообразование.....	
	Типы стружек.....	
	Усадка стружки.....	
	Методы определения усадки стружки.....	
	Влияние различных факторов на усадку стружки.....	
	Вопросы по разделу.....	
Лекция № 4	Силы, возникающие при резании.....	59
	Действие составляющих сил резания на станок.....	
	Действие составляющих сил резания на резец.....	
	Действие составляющих сил резания на деталь.....	
	Влияние различных факторов на силы резания.....	
	Эмпирические зависимости составляющих сил резания.....	
	Мощность при резании.....	
	Вопросы по разделу.....	
Лекция № 5	Тепловые явления при резании металлов.....	75

	Уравнение теплового баланса.....	
	Методы измерения температуры.....	
	Смазывающе-охлаждающие технологические средства (СОТС).....	
	Вопросы по разделу.....	
Лекция № 6	Износ резцов. Физические основы износа режущего инструмента...	81
	Схема износа резцов.....	
	Измерение износа резцов.....	
	Критерии износа.....	
Лекция № 7	Скорость резания, допускаемая режущими свойствами резца.....	89
	Зависимость скорости резания от стойкости резца.....	
	Влияние различных факторов на скорость резания.....	
	Вопросы по разделу.....	
Лекция № 8	Вибрации при резании.....	100
	Факторы, влияющие на вибрацию.....	
	Технические мероприятия снижения колебаний при резании.....	
	Вопросы по разделу.....	
Лекция № 9	Сверление.....	119
	Геометрия спирального сверла.....	
	Изменение углов сверла в процессе резания.....	

Элементы режима резания при сверлении.....	
Особенности процесса резания при сверлении.....	
Силы, действующие на сверло.....	
Факторы, влияющие на P_{oc} и M_k	
Износ сверл и их стойкость.....	
Скорость резания при сверлении.....	
Методика назначения режимов резания при сверлении.....	
Вопросы по разделу.....	

Лекция № 10 Фрезерование..... 136

Геометрия цилиндрической фрезы.....	
Геометрические параметры торцевой фрезы.....	
Элементы режима резания при фрезеровании.....	
Условия равномерности фрезерования.....	
Встречное и попутное фрезерование.....	
Силы резания при фрезеровании.....	
Факторы, влияющие на силы резания при фрезеровании.....	
Сила P_z	
Силы P_o , P_x	

Износ и стойкость фрез.....	
Скорость резания, допускаемая режущими свойствами фрез.....	
Порядок назначения режимов резания при фрезеровании.....	
Особенности торцевого фрезерования.....	
Схема торцевого симметричного фрезерования.....	
Схема несимметричного торцевого фрезерования.....	
Вопросы по разделу.....	

Лекция № 11 Резьбонарезание..... 162

Схемы нарезания резьбы стержневыми резцами.....	
Методика назначения режима резания при нарезании резьбы резцом.....	
Нарезание резьбы плашками.....	
Нарезание резьбы винторезными головками.....	
Скоростное нарезание резьбы вращающимися головками (вихревой способ).....	
Нарезание внутренней резьбы метчиками.....	
Вопросы по разделу.....	

Лекция № 12 Шлифование..... 170

Характеристика абразивного инструмента.....	
---	--

Абразивные материалы.....	
Силы резания при шлифовании.....	
Износ и стойкость шлифовального круга.....	
Правка шлифовальных кругов.....	
Виды шлифования.....	
Вопросы по разделу.....	
Список контрольных вопросов по курсу "Резание металлов"	189
Список литературы.....	191



От автора

Настоящее пособие является результатом обобщения опыта преподавания курса "Резание металлов, металлорежущие станки и инструменты", изучаемого студентами специальности "Технология и предпринимательство".

Предлагаемый материал содержит конспективное изложение основных положений теории резания и характеристики металлорежущих инструментов. Знание этого материала необходимо будущему преподавателю технологии.

В учебном пособии учтены особенности восприятия студентами сложной информации, для чего в тексте использован большой иллюстративный материал и общедоступная символика. Краткость, доказательность и наглядность, по мнению автора, способствует не только более глубокому пониманию нового материала, но, что не менее важно, его систематизации.

Особенностью построения пособия является введение в текст специальных мест, обведенных рамками, куда студенты могут вносить свои вопросы, замечания, поправки. Это позволяет использовать его как рабочую тетрадь. В конце каждого раздела предусмотрены контрольные вопросы трех уровней сложности.

Краткий конспект обзорных лекций облегчит студентам подготовку к лабораторно-практическим занятиям и экзаменам по дисциплине "Резание металлов, металлорежущие станки и инструменты", позволит более осознанно управлять процессом обработки деталей на практике в учебных мастерских.

Настоящее пособие - это лишь первая часть изучаемого предмета. В дальнейшем предполагается подготовить еще одно пособие, освещающее вопросы устройства и технологического использования металлорежущего оборудования.

Автор выражает благодарность всем, принявшим участие в подготовке и выпуске данного пособия, Отзывы и замечания читателей будут приняты с благодарностью.

P.S. Студентам, использующим многозаходный способ сдачи экзаменов, при первом заходе на экзамен по "Резанию металлов" материалы лекций с № 1 по № 12 можно опустить.

Существует множество способов формирования поверхностей деталей из металлов и других материалов. Среди них наибольшее применение находят способы обработки без снятия стружки (литье, штамповка, прокат и другие) и с удалением поверхностного слоя путем срезания стружки.

Процесс резания - один из наиболее эффективных методов формирования поверхностей деталей с высокой степенью точности и требуемой шероховатостью.

Главная задача курса “Резание металлов и режущий инструмент” заключается в изучении основных закономерностей процесса резания и активного использования полученных знаний в практике металлообработки.

Освоение курса позволит

- 1) сознательно управлять процессом резания;
- 2) грамотно проектировать режущий инструмент, оснастку и оборудование;
- 3) разрабатывать более эффективные технологические процессы.

В настоящее время известно большое количество способов механической обработки металлов со снятием стружки: точение, сверление, фрезерование, шлифование и др. Ниже рассматриваются наиболее распространенные из них, даются основные сведения о теории процесса резания, геометрических параметрах режущих инструментов и о порядке расчета режимов резания.

Точение

Токарная обработка характеризуется следующими видами движений (Рис.1): n - вращательным движением заготовки (главное движение резания) и S - поступательным движением резца (движение подачи).

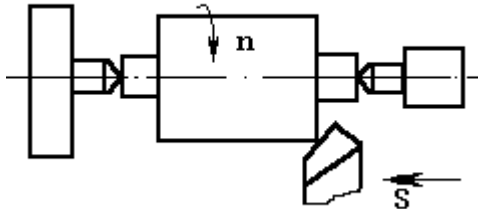


Рис. 1. Виды движений при токарной обработке

Геометрические параметры режущей части резца

Резец - элемент любого режущего инструмента (сверла, фрезы, протяжки, шлифовального круга), поэтому изучению резца уделяется особое внимание.

В процессе обработки резец взаимодействует с заготовкой в определенной системе координат (Рис.2).

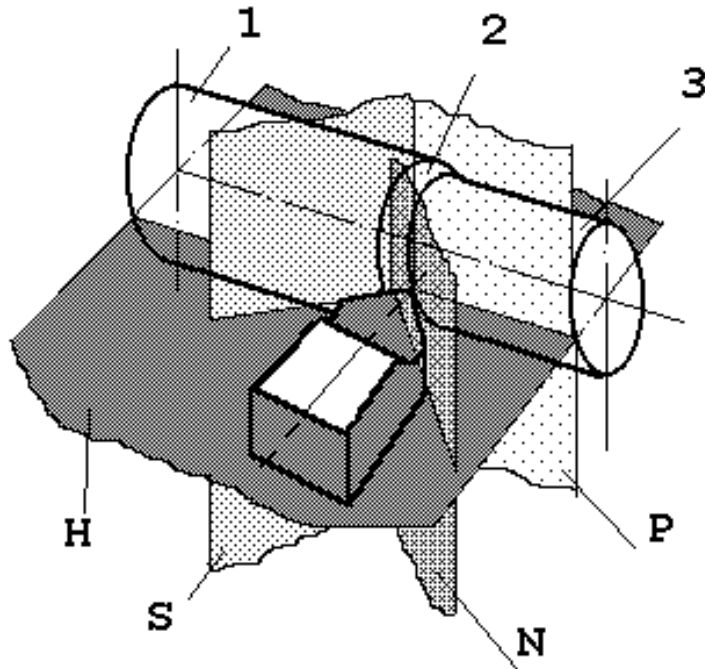


Рис.2. Система координат при точении

- 1 - Обрабатываемая поверхность;
- 2 - Поверхность резания;
- 3 - Обработанная поверхность;
- H - Основная плоскость;
- P - Рабочая плоскость;
- S - Плоскость резания;
- N - Главная секущая плоскость.

Основная плоскость - плоскость, параллельная подаче и перпендикулярная скорости резания

лярная скорости резания

Рабочая плоскость - плоскость, образованная векторами скорости резания и подачи.

Плоскость резания - плоскость, касательная к поверхности резания и проходящая через главное режущее лезвие.

Главная секущая плоскость - плоскость, проходящая перпендикулярно главному режущему лезвию через данную точку лезвия.

Дополнительно может быть задана и *вспомогательная секущая плоскость*, проходящая перпендикулярно вспомогательному режущему лезвию.

Устройство резца целесообразно рассмотреть на примере проходного прямого правого резца (Рис.3).

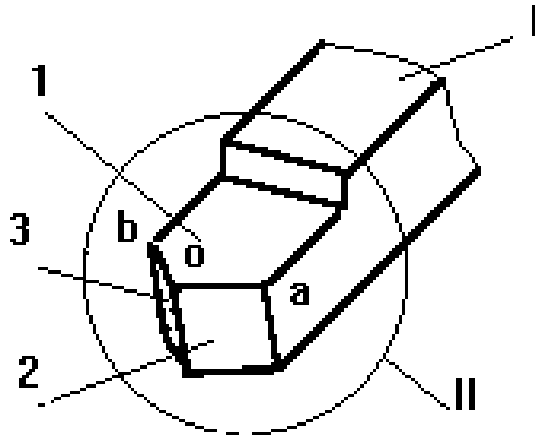


Рис. 3. Устройство резца:

I - Державка. II - Головка.

1 - *передняя поверхность* (по ней сходит стружка);

2 - *главная задняя поверхность* (обращена к поверхности резания);

3 - *вспомогательная задняя поверхность* (обращена к обработанной поверхности);

оа - *главное режущее лезвие* (пересечение 1 и 2);

об - *вспомогательное режущее лезвие*

(пересечение 1 и 3).

Наиболее наглядное представление о геометрических параметрах резца можно получить при рассмотрении зоны обработки на виде в плане (Рис. 4).

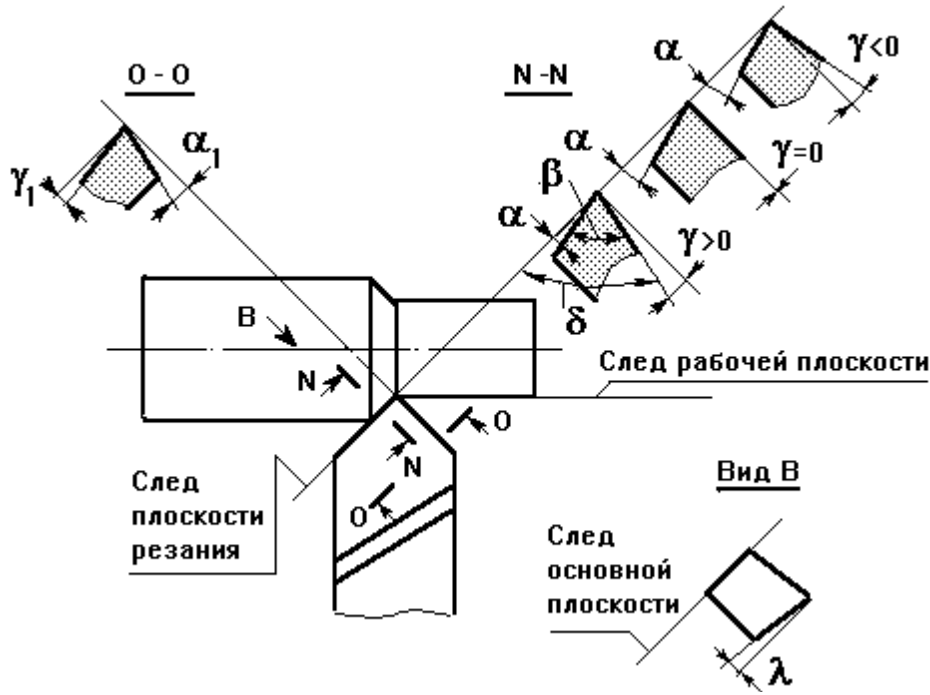


Рис. 4. Углы резца в секущих плоскостях
 α - главный задний угол;
 γ - передний угол;
 β - угол заострения;
 δ - угол резания;
 $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$
 α_1 - вспомогательный задний угол;
 γ_1 - вспомогательный передний угол;
 β_1 - вспомогательный угол заострения.

Углы резца в плане - это углы, рассматриваемые в основной плоскости (Рис.5).

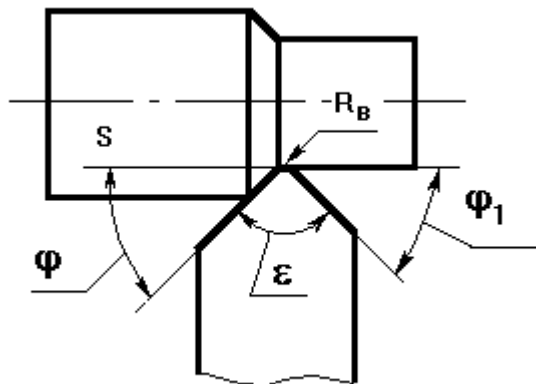


Рис. 5. Углы резца в плане.

- φ - главный угол в плане;
- φ_1 - вспомогательный угол в плане;
- ϵ - угол при вершине;
- R_b - радиус при вершине резца.

Для заметок по делу

Для личных заметок

Угол наклона главного режущего лезвия λ измеряется в плоскости, проходящей через главное режущее лезвие и перпендикулярной основной плоскости (Рис.6).



Рис.6. Угол наклона главного режущего лезвия

Для заметок по делу

Изменение величин углов резания в зависимости от установки резца

Правильной считается такая установка резца, когда углы заточки резца практически совпадают с углами резания. Это имеет место в том случае, если основная плоскость (плоскость, образованная осью детали и вершиной резца) является параллельной основанию резца, а его ось перпендикулярна рабочей плоскости (Рис.7).

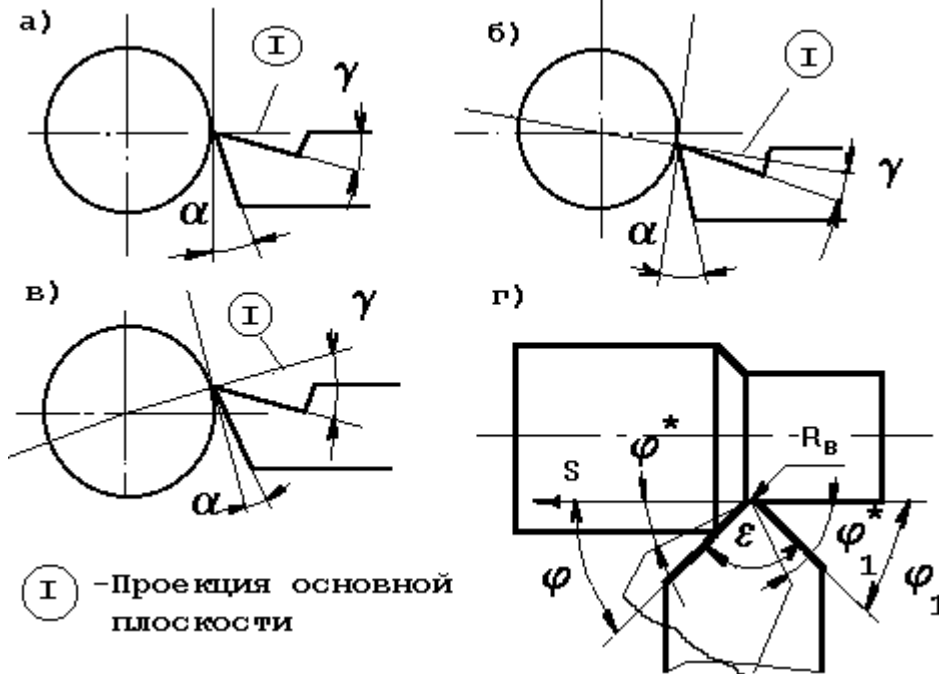


Рис.7. Изменение углов резания в зависимости от установки

При изменении установки резца относительно центров (плоскость резания занимает произвольное положение относительно плоскости основания резца) изменяются и углы резания. Практически уже не приходится рассчитывать на те углы, которые получены при заточке, а значит нельзя рассчитывать на высокое качество обработки и долговечность работы резца (возможна поломка резца при отрезке заготовки, изменение геометрических параметров детали и ухудшение шероховатости обработки).

Изменение углов резания в процессе точения

При поперечном точении траектория движения вершины резца представляет собой спираль Архимеда, поэтому фактическая плоскость резания в динамике изменяет свое положение (Рис.8). Это отражается на углах резания (возрастает передний и уменьшается задний угол).

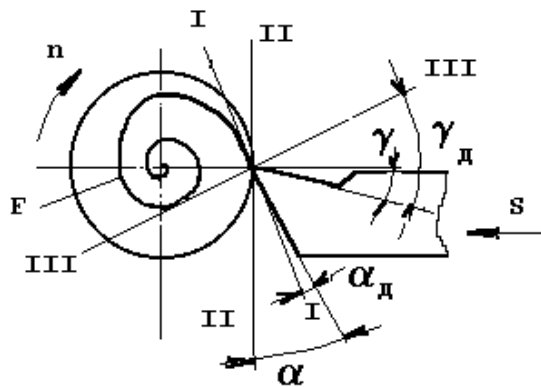


Рис.8. Изменение углов резания при поперечном точении :
 I-I - фактическая проекция плоскости резания;
 II-II - теоретическая проекция плоскости резания;
 III-III - фактическое положение проекции основной плоскости.

При продольном точении траектория движения резца - винтовая линия (следствие продольной подачи). Плоскость резания смещается, главные углы резания также изменяются (Рис.9). Эти изменения необходимо учитывать при нарезании резьбы резцом.

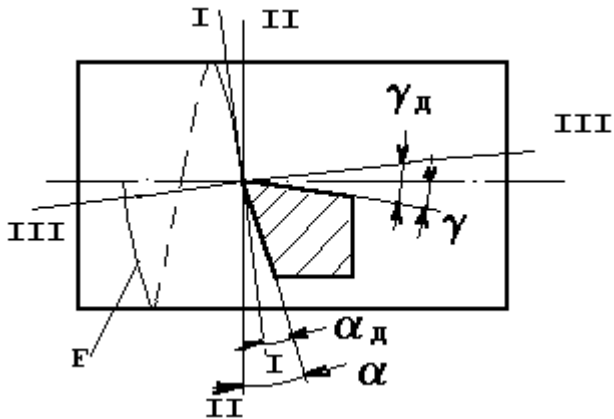


Рис.9. Изменение углов резания при продольном точении

Для заметок по делу

Элементы режимов резания при точении

К элементам режимов резания при точении относят : глубину резания t ; подачу S , скорость резания V , площадь сечения срезаемого слоя f .

1) *Глубина резания* t , мм - кратчайшее расстояние между обработанной и обрабатываемой поверхностями (Рис 10).

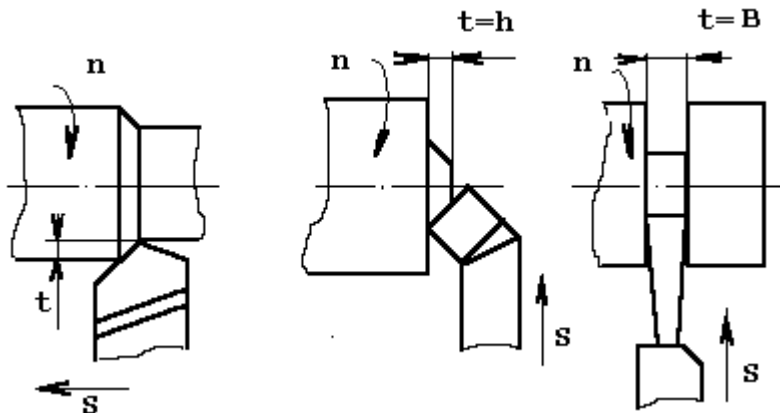


Рис.10. Глубина резания при различных видах точения

2) *Подача S* - величина, определяющая перемещение резца относительно обрабатываемой детали.

Различают подачи: на 1 оборот заготовки - S_o , мм/об;

скорость движения подачи - S_m , мм/мин.

Между S_o и S_m существует математическая связь: $S_m = S_o * n$,

где

n - частота вращения заготовки, мин^{-1} .

Сделай паузу, подумай!

3) *Скорость резания V*, м/мин - относительная скорость взаимного перемещения заготовки и инструмента (Рис.11).

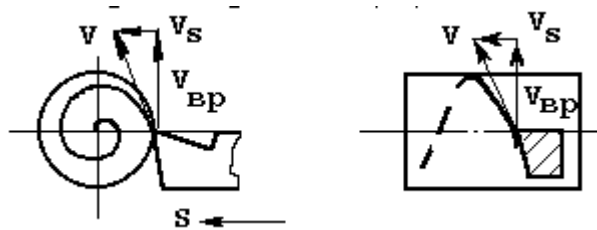


Рис.11.К определению скорости резания при точении

→ → → →

$V = V_{вп} + V_s$; $V_{вп}$ - линейная скорость вращательного движения заготовки

→

(скорость главного движения резания) ; V_s - линейная скорость движения подачи.

→

Скорость резания V направлена по касательной к поверхности резания и приведена к вершине резца.

Так как при точении $|V_{вп}| \gg |V_s|$, то значение $|V_s|$ не учитывают. Тогда скорость резания может подсчитана по формуле:

$V = V_{вп} = \pi * D * n / 1000$ [м/мин]; D - диаметр заготовки, мм ;

n - частота вращения заготовки, мин⁻¹.

4) Геометрия и размеры слоя металла, срезаемого резцом.

Поток стружки, действующий на переднюю поверхность резца в процессе точения определяет интенсивность сил резания и тепловыделения. Характеристикой этого дей-

ствия принято считать площадь f сечения металла, срезаемого резцом за один оборот заготовки (Рис.12).

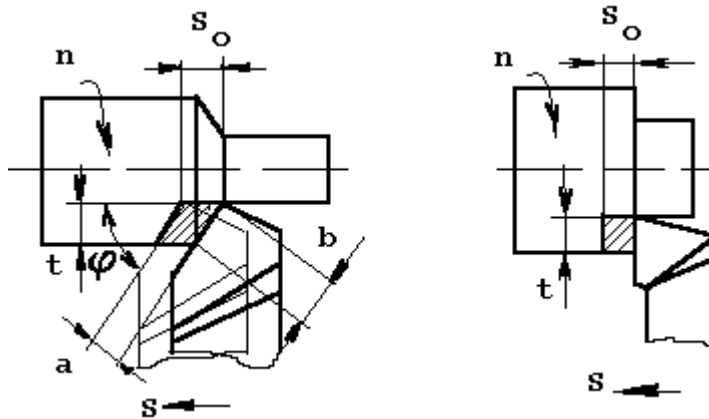


Рис.12. Геометрия и размеры слоя металла, срезаемого резцом:

b - ширина среза - расстояние между обработанной и обрабатываемой поверхностями, измеренное вдоль главного режущего лезвия;

a - толщина среза - кратчайшее расстояние между двумя последовательными положениями резца за один оборот заготовки.

Если $\gamma = 0$, то $a = S_0 \sin \varphi$; $\lambda = 0$, то $b = t / \sin \varphi$.

Тогда $f = a * b = S_0 * t$ (мм²) - номинальная площадь среза.

$f_{\text{факт}} = f - f_{\text{Н}}$; $f_{\text{Н}}$ - площадь ечения остаточного гребешка, высотой H .

Производительность обработки можно оценить объемом металла, срезаемого в минуту : $V_{об} = f * V = S * t * V$ (мм³/мин).

Свободное и несвободное резание

Свободным называется такое резание, при котором в работе участвует только одно (главное) режущее лезвие (Рис.13а,б). При большом числе лезвий - резание считается несвободным (Рис.13в).

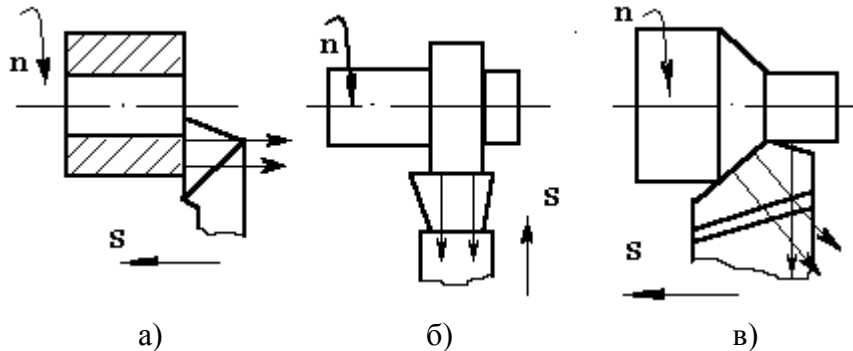


Рис.13. Свободное и несвободное резание

Для заметок по делу

Несвободное резание сопровождается пересечением направлений стекания стружки, что приводит к дополнительному теплообразованию, наклепу, ухудшению качества обработанной поверхности.

Для коварного вопроса преподавателю

Основное технологическое время

Основное технологическое время входит в состав штучного времени $T_{шт}$, которое в первом приближении определяется из соотношения:

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{обсл} ,$$

где

T_o - основное технологическое время, в течение которого происходит непосредственная обработка детали;

T_v - вспомогательное время - время на установку, снятие и закрепление детали, включение станка и другие переходы;

$T_{обсл}$ - время на обслуживание - время на уход за станком, короткий отдых .

Основное технологическое время может быть машинным, машинно-ручным или ручным.

Определение основного (машинного) времени при продольном и поперечном точении основано на определении пути L , пройденном резцом в ходе обработки, и скорости движения подачи S_M :

$$T_o = L / S_M = L / (n * S_0).$$

Для личных заметок

При продольном точении (Рис.14) $L = l + x + y$; $x = t \operatorname{ctg} \varphi$; $y = 1 \dots 2$ мм.

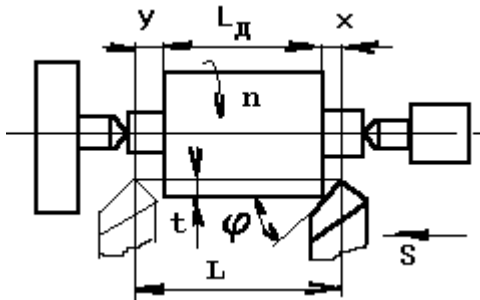


Рис.14. К определению T_0 при продольном точении

Для заметок по делу

При поперечном точении (Рис.15) $L = D/2 + y$; $y = 1 \dots 2$ мм.

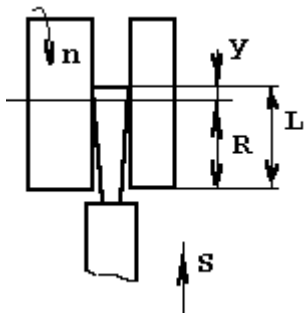


Рис.15. К определению T_0 при поперечном точении

Для личных заметок

Вопросы к разделу		
1 уровень	2 уровень	3 уровень
1. Устройство резца	1. Для чего необходимо знать геометрию резца?	1. Для чего необходимо изучать теорию резания?
2. Назначение углов резания	2. С какой целью производят заточку резца по углам в главной секущей плоскости?	
3. Как правильно установить резец?	3. Для чего необходимо знать параметры сечения среза?	
4. Что относят к элементам режимов резания?		
5. Как определить T_0 при то-		

чений?		
--------	--	--

Это самый сложный раздел, ему необходимо уделить должное внимание.

Лекция 2

Иструментальные материалы

Требования, предъявляемые к инструментальным материалам:

- 1) Твердость .
- 2) Прочность.
- 3) Износостойкость (способность сопротивляться истиранию).
- 4) Теплостойкость (способность сохранять режущие свойства при высокой температуре).
- 5) Теплопроводность (способность материала эффективно отводить тепло из зоны обработки).
- 6) Технологичность (простота получения и обработки).

I. Углеродистые инструментальные стали

Примеры: Сталь У10, У12, У13А.

Достоинства: - высокая твердость при закалке (HRC, 58...64)

Недостатки: - низкая теплостойкость (~ 250° C);

- низкая износостойкость;

- низкое качество при закалке (трещинообразование, деформации).

Область применения: метчики, плашки, ножовочные полотна.

II. Легированные инструментальные стали

Примеры: ХВГ, 9ХС, 95ХГСВФ, Х12М.

Достоинства: - увеличение теплостойкости (~350° C);

- повышенная по сравнению с углеродистыми инструментальными сталями износостойкость (карбиды хрома, вольфрама и других металлов);

- сквозная прокаливаемость и снижение деформирования при термообработке (возможность производить закалку в масле).

Область применения: тонкий длинный инструмент (протяжки), накатники.

III. Быстрорежущие инструментальные стали

Различают быстрорежущие стали нормальной, повышенной и высокой производительности, порошковые быстрорежущие стали и карбидостали.

Примеры: Р9, Р18, Р6М5.

В составе быстрорежущей стали основным легирующим элементом является вольфрам, процентное содержание которого определяется цифрой, следующей за буквой Р. Кроме того, имеется хром - до 4% , углерод - 0,7...1,5% и другие легирующие элементы.

Достоинства: - высокая теплостойкость (~ 600° C);

Р18Ф2) и прочность.

- высокая износостойкость (особенно с добавками ванадия - карбидов вольфрама, хрома).
- длительное сохранение режущих свойств (большое содержание карбидов вольфрама, хрома).

Недостатки: сложность термообработки (закалка + три отпуска).

Область применения: режущее пластинки к резцам, фрезы, сверла, фасонный режущий инструмент.

IV. Твердые сплавы

Твердый сплав получают методом порошковой металлургии, путем спекания смеси порошков карбидов вольфрама, титана и других металлов с порошковым кобальтом при температуре плавления кобальта (1400 - 1500°С). Предварительно в смесь добавляют резиновый клей, тщательно перемешивают и прессуют.

Достоинства: - высокая износостойкость;
- высокая теплостойкость (800 -900° С).

Находят применение следующие разновидности твердых сплавов:

1) Однокарбидные твердые сплавы (вольфрамо-кобальтовые).

Примеры: ВК2, ВК3, ВК4, ВК6, ВК8.

Здесь буквой “В” обозначается карбид вольфрама, буквой “К” - кобальт, цифрой - процентное содержание кобальта в твердом сплаве. Пример расшифровки твердого сплава ВК8: 8 % кобальта, 92 % карбидов вольфрама.

Применение: для обработки хрупких материалов (чугун...).

2) Двухкарбидные твердые сплавы (титано - вольфрамо - кобальтовые).

Примеры: Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10.

Здесь буквой “Т” обозначается карбид титана.

Расшифровка Т15К6: 15% карбидов титана + 6% кобальта + 79% карбидов вольфрама.

Применение: для обработки сталей.

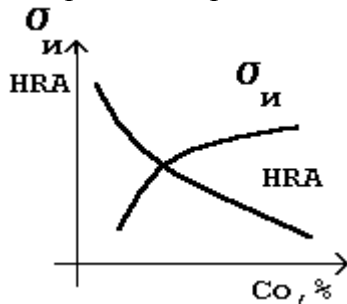
3) Трехкарбидные твердые сплавы (титано - тантало - вольфрамо - кобальтовые).

Примеры: ТТ7К12.

Расшифровка ТТ7К12: 3% карбидов титана + 4% карбидов тантала + 12% кобальта + 81% карбидов вольфрама.

Применение: для обработки высокопрочных сталей, при ударной нагрузке.

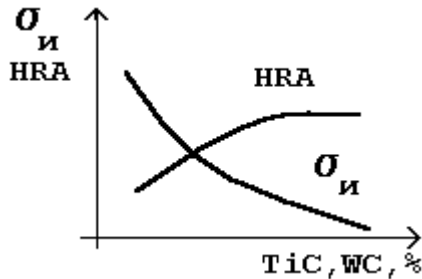
Кобальт в составе твердого сплава выполняет роль связки. Чем больше кобальта, тем прочнее твердый сплав, но его твердость меньше (Рис.16).



Для заметок по делу

Рис.16. Влияние содержания кобальта на твердость (HRA) и прочность на изгиб ($\sigma_{и}$) твердого сплава.

С увеличением же содержания карбидов повышается твердость при одновременном снижении прочности (Рис.17).



Для заметок по делу

Рис.17. Влияние содержания карбидов на твердость (HRA) и прочность на изгиб ($\sigma_{и}$) твердого сплава .

Применение твердых сплавов зависит от соотношения карбидов и связки (менее прочные, но более твердые применяются на чистовых операциях и наоборот):

ВК2 - чистовая обработка;

ВК6 - получистовая, черновая обработка;

ВК8 - черновая обработка.

T30K4 - чистовая обработка;

T15K6, T14K8 - получистовая, черновая обработка;

T5K10 - черновая обработка.

В последнее время при обработке труднообрабатываемых материалов находят применение твердые сплавы, содержащие мелкодисперсные порошки карбидов, имеющие в конце условного обозначения букву “М” или сочетание -“ОМ” (ВК3М, ВК6М, ВК6-ОМ). Од-

нако они плохо работают на удар. Поэтому появились противоположные им сплавы с крупным зерном, в обозначение которых вводится вместо буквы “М” - буква “В” (BK8В).

Для повышения износостойкости на твердосплавной инструмент дополнительно наносят износостойкое покрытие из нитридов титана методом конденсационно-ионной обработки.

В связи с дефицитностью карбидов вольфрама в промышленности нашли применение новые твердые сплавы, не содержащие указанных карбидов. Их заменили карбиды хрома или титана (КХН-20, ТМ1-ТМ3, ТН30).

V. Минералокерамика

Основа - оксид алюминия (Al_2O_3), получаемый при спекании .

Достоинства: - высокая износостойкость;

- высокая теплостойкость (до $1200^\circ C$);

- высокая твердость (HRA 92).

Недостатки: - низкий предел прочности на изгиб (до $\sigma_B = 300MPa$).

Минералокерамика находит применение при чистовой обработке точением, фрезерованием и часто является альтернативой шлифованию.

Различают минералокерамику *белую* (ЦМ332) и *черную* (ВОК- 60, ВШ-75). В отличие от белой в состав черной минералокерамики введена добавка карбидов вольфрама и молибдена. Это повысило предел прочности на изгиб до $600MPa$.

VI. Сверхтвердые материалы

Различают : - естественные (алмаз);

- искусственные (материалы, полученные синтезом, - синтетический алмаз, кубический нитрид бора и другие).

1) Область применения естественного алмаза - инструмент для обработки пластмасс, цветных металлов.

Достоинства: -высокая твердость и износостойкость.

Недостатки: низкая теплостойкость (900°С) и предел прочности на изгиб (300МПа).

2) Область применения искусственных синтетических сверхтвердых материалов менее ограничена и зависят от вида материала и способа его синтеза.

Примеры: - Алмаз синтетический-"С" (баллас АСБ-5, АСБ-6; карбонадо АСПК-1...3; монокристаллы САМ) применяются для изготовления инструментальных вставок к резцам, фрезам и другим инструментам, работающих в условиях пониженных температур на высоких скоростях резания без ударов.

- Кубический нитрид бора-"BN" (эльбор-Р, белбор, ПТНБ) находят применение в качестве вставок для резцов, фрез при окончательной (чистовой) обработке закаленных сталей и является альтернативой шлифованию.

- Нитрид кремния-"SiN" (силинит-Р) применяется в качестве замены кубического нитрида бора.

Вопросы по разделу		
1 уровень	2 уровень	3 уровень
1. Требования к инструмен-	1. Преимущества и недостат-	1. Предложите пути совер-

тальным материалам	ки инструментальных материалов	шенствования инструментальных материалов
2. Виды инструментальных материалов	2. Расшифровать марку инструментального материала	
3. Области применения инструментальных материалов	3. Влияние карбидов и связки на режущие свойства инструментальных материалов	

Для заметок по делу и без

Физические основы процесса резания металла. Процесс образования стружки

При резании возникает ряд физических явлений:

- 1) упругие и пластические деформации;
- 2) трение;

- 3) слипание (адгезия) стружки с инструментом;
- 4) изменение твердости обрабатываемого материала;
- 5) выделение тепла.

Этим обусловлена специфика процесса резания металла.

I. Стружкообразование

Основоположник теории резания металлов - русский академик Тиме (1838-1920 г.). Его теория стружкообразования до сих пор не устарела и основные ее положения используются современными исследователями.

При резании элементы стружки последовательно скалываются (Рис.18).

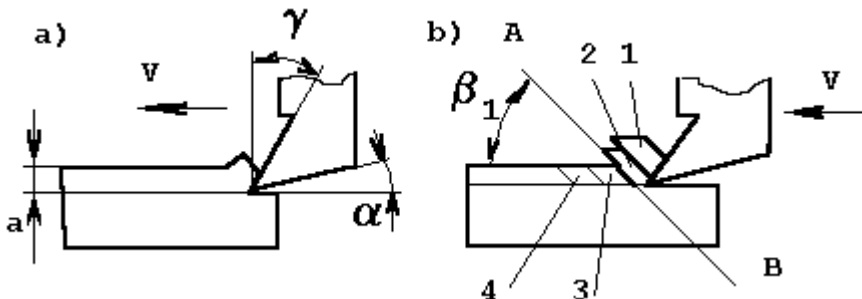


Рис.18. Схема стружкообразования при резании: 1,2...4 - элементы стружки; АВ-плоскость скалывания; β_1 - угол скалывания

По мере продвижения резца в детали возникают напряжения сжатия. Их превышение предела прочности (σ_B) приводит к образованию сначала трещины, а затем - сдвигу элемента стружки в направлении плоскости сдвига, направленной под углом β_1 к направлению вектора скорости резания V . Элементы стружки при своем движении работают на несвободное сжатие.

II. Типы стружек

Тип стружки зависит от обрабатываемого материала, вида и геометрических параметров инструмента, режимов резания :

1) *Стружка скалывания*

Разделяется на : - элементную (образуется при низких скоростях и больших толщинах сечения среза, переднем угле $\gamma = 0^\circ$). Характерна для чернового точения;

- суставчатую (образуется при обработке среднеуглеродистых сталей). Имеет гладкую прирезцовую поверхность. Появляется на средних режимах обработки;

2) *Сливная стружка* . Образуется при обработке пластичных материалов на высоких скоростях резания, малых толщинах срезаемого слоя и больших передних углах ($\gamma > 10^\circ$). Характерна для чистового точения.

3) *Стружка надлома* . Образуется при обработке хрупких материалов. Не имеет плоскости скалывания.

По виду стружки можно судить о протекании процесса резания: форма стружки определяет степень ее деформирования, а значит и напряженность процесса снятия стружки; цвет - характеризует интенсивность тепловыделения при резании.

III. Усадка стружки

Резание сопровождается интенсивными пластическими деформациями, которые вызывают усадку стружки, то есть ее укорачивание по длине и увеличение по толщине в сравнении со срезаемым слоем (Рис.19).

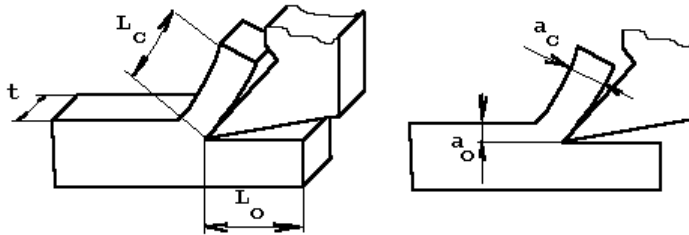


Рис.19. К определению усадки стружки

Усадка оценивается коэффициентом усадки

$$K_L = L_0 / L_c = 1,5...6 .$$

Здесь L_0 - длина срезаемого слоя, L_c - длина стружки. По величине K_L можно судить о средней деформации металла в зоне обработки, то есть о сопротивлении резанию, а значит и об обрабатываемости металла резанием. Иными словами, усадка стружки может являться критерием обрабатываемости металла резанием. Чем меньше K_L , тем меньшее сопротивление она встречает при своем движении по резцу, тем меньше энергии требуется на

ее образование, а значит более рационально подобраны режимы резания и геометрия режущего инструмента.

Помимо продольной, находит применение и поперечная усадка, оцениваемая коэффициентом поперечной усадки $K_a = a_c/a_0$, где a_c - толщина стружки, a_0 - толщина срезаемого слоя.

IV. Методы определения усадки стружки

- 1) Путем измерения длины стружки.
- 2) Путем измерения толщины стружки.
- 3) Весовой метод (самый распространенный)

Из условия равенства объемов срезаемого слоя и стружки $V_0 = V_c$ следует $f_0 * l_0 = f_c * l_c$.

Так как $l_0/l_c = K_L$, то $f_c/f_0 = K_L$.

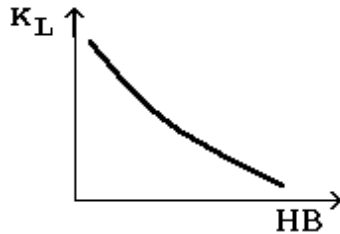
Но $f_0 = S_0 * t$, а $f_c = m/l_c * \rho$.

$$K_L = \frac{m}{l_s * \rho * S_0 * t}$$

V. Влияние различных факторов на усадку стружки

- 1) Влияние обрабатываемого материала (Рис.20)

С увеличением твердости обрабатываемого материала K_L уменьшается.



Это объясняется тем, что в более твердых (термически обработанных) материалах структурные превращения уже произошли. Значит деформационные явления менее вероятны.

Рис.20. Зависимость $K_L = f(HB)$

2) Влияние инструментального материала

Усадка стружки зависит от коэффициента трения по передней поверхности и ей пропорциональна. Поэтому при работе твердосплавным инструментом коэффициент усадки K_L меньше, чем при использовании быстрорежущего инструмента.

3) Влияние режимов резания

а) скорость резания V_p

Характер влияния V_p на K_L аналогичен влиянию скорости на динамический

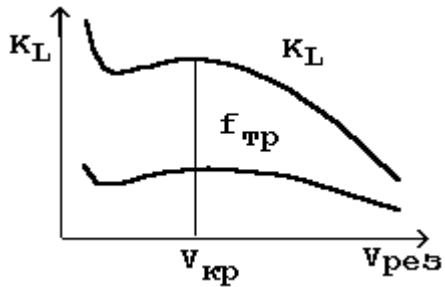


Рис.21 Зависимость $K_L = f(V_{рез})$

коэффициент трения скольжения $f_{тр}$ (Рис.21).

С увеличением V_p стружка, стекая по передней поверхности, не успевает полностью деформироваться. Кроме того, с увеличением V_p увеличивается температура, а оплавление стружки в зоне контакта с передней поверхностью облегчает ее сход (эффект смазки).

Для заметок по делу

б) подача S_0 .

С увеличением подачи S_0 (Рис.22) возрастает толщина срезаемого слоя “а”:

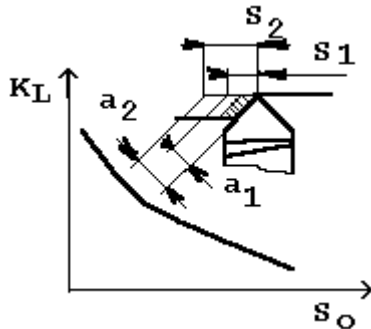


Рис.22. Зависимость

$$K_L = f(S_0)$$

$$a = S_0 * \sin \varphi ,$$

где φ - главный угол в плане резца.

Это приводит к снижению влияния наиболее деформированного (прирезцового) слоя стружки a_d (на рисунке заштрихован) на изменение ее длины. То есть менее деформированные по толщине слои стружки с увеличением ее толщины оказывают большее сопротивление укорачиванию стружки. Следовательно, увеличение S_0 уменьшает K_L .

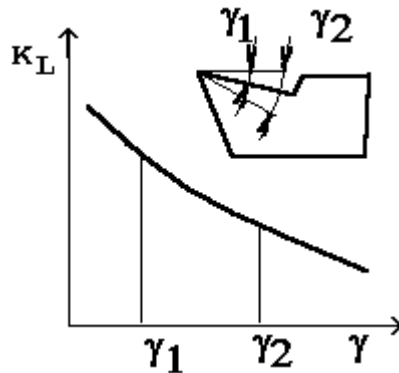
в) глубина резания t

Глубина резания t при прочих равных условиях не влияет на K_L , так как толщина срезаемого слоя “ a ” не изменяется, а значит сопротивление укорачиванию стружки со стороны деформированных слоев не изменяется.

4) Влияние геометрии резца

а) передний угол

С увеличением переднего угла γ (Рис.23) K_L уменьшается. В этом случае стружка легче стекает с передней поверхности, снижается ее деформация.

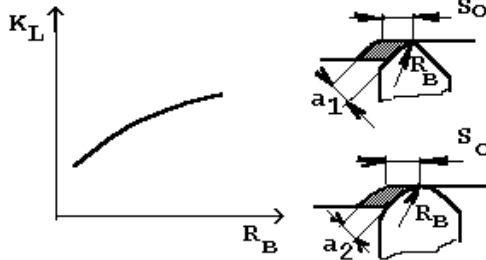


Для заметок по делу

Рис.23. Зависимость $K_L = f(\gamma)$

Для вопроса

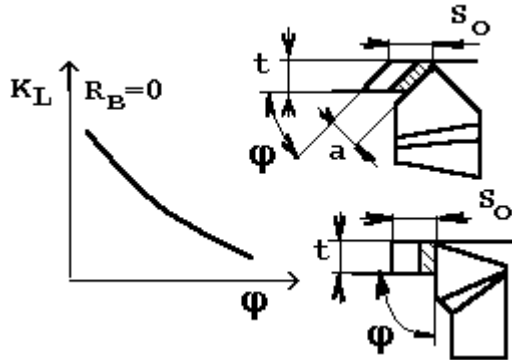
б) Радиус при вершине резца R_B



С увеличением R_B увеличивается коэффициент K_L (Рис.24), так как на криволинейном участке толщина стружки a_k меньше, чем на прямолинейном $a_{пл}$.

Рис.24. Зависимость $K_L = f(R_B)$

в) главный угол в плане



Пусть радиус при вершине $R_B = 0$. При увеличении угла φ при прочих равных условиях увеличивается толщина срезаемого слоя “а” (Рис.25), следовательно, как и в случае увеличении подачи S_0 , коэффициент K_L снижается.

Рис.25. Зависимость $K_L = f(\varphi), R_B = 0$.

Для заметок по делу

Если $R_b > 0$, то на интервале $\varphi = 0 \dots 60^\circ$ коэффициент K_L снижается, а далее на участке $\varphi = 60 \dots 90^\circ$ возрастает (Рис.26). Это объясняется увеличением длины контакта лезвия резца с заготовкой (увеличение влияния криволинейного участка и снижение влияния его прямолинейной части).

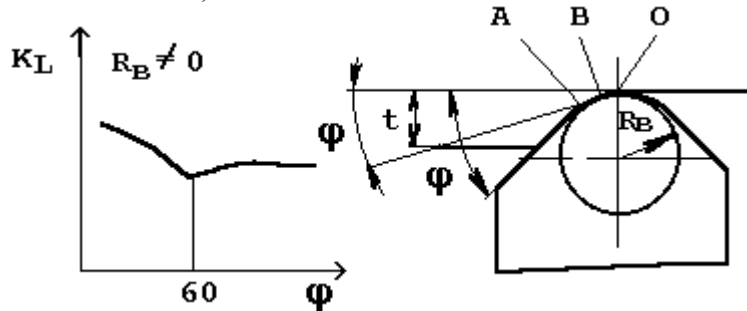


Рис.26. Зависимость $K_L = f(\varphi), R_b > 0$.

г) смазывающе-охлаждающие технологические средства (СОТС) и жидкости (СОЖ)

С применением СОЖ уменьшается трение стружки о резец, уменьшается тепло-выделение. Следствием этого является снижение сильных деформаций стружки в прирезцовой зоне, а следовательно и уменьшение коэффициента линейной усадки.

Для заметок по делу

Вопросы по разделу		
1 уровень	2 уровень	3 уровень
1. Типы стружек, получаемые при резании	1. Можно ли получить стружку надлома при обработке свинца?	1. Почему усадка стружки может служить критерием обрабатываемости материалов резанием?
2. Что такое усадка стружки и чем она оценивается?	2. Для чего определяют усадку стружки?	
3. Как измерить усадку?	3. Объясните зависимость $K_L = f(R_B)$	
4. Какие параметры резца оказывают наибольшее влияние на коэффициент линейной усадки?	4. Почему весовой метод является наиболее распространенным при определении K_L ?	
5. Как влияют технологические факторы на усадку стружки?		

Для вопросов преподавателю

Взаимодействие стружки с передней поверхностью резца

При резании стружка стекает с передней поверхности резца, воздействуя на нее со значительным усилием (Рис.27).

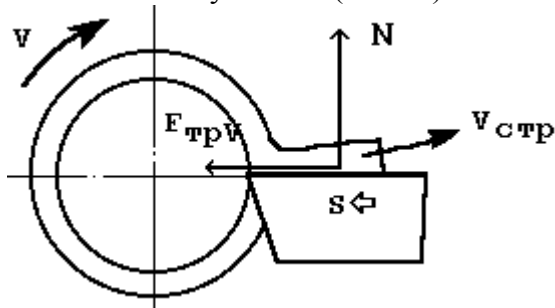


Рис.27.Схема взаимодействия стружки и резца

Особенности взаимодействия:

- 1) высокие удельные нагрузки (100...200Мпа) и силы трения;
- 2) высокие температуры в зоне контакта (до 1200°С);
- 3) стружка действует на переднюю поверхность, постоянно обновляясь, тогда как инструмент остается тем же.

Для заметок по делу

Рассматривая микроструктуру стружки и детали, можно заметить, что зерновой состав материала стружки и детали различны. По мере образования стружки зерна основы постепенно изменяются (вытягиваются, ориентируясь вдоль передней поверхности). Это происходит в угловом промежутке между плоскостью скалывания и передней поверхностью резца (Рис.28).

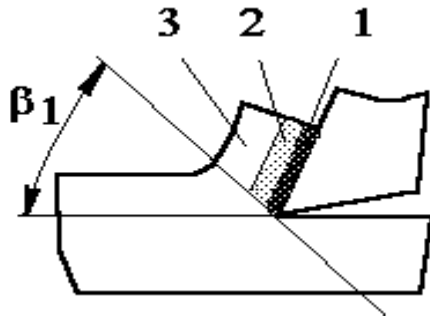


Рис.28. Микроструктура стружки в зоне резания

Следует различать три основных слоя в прирезцовой зоне:

- 1 - заторможенный слой;
- 2 - текстурированный слой с ориентацией зерен параллельно передней поверхности;
- 3 - текстурированный слой с ориентацией зерен параллельно плоскости скольжения (располагается вблизи плоскости скалывания).

В связи с образованием заторможенного слоя, у вершины резца образуется бугорок (*нарост*) из материала обрабатываемой заготовки (Рис.29).

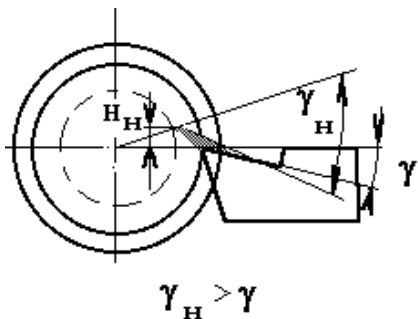


Рис.29. Схема образования нароста

Твердость нароста обычно в 2...3 раза превышает твердость материала заготовки. Это позволяет использовать его для предотвращения износа резца. Кроме того, он увеличивает передний угол резца, что облегчает снятие стружки.

Однако в процессе резания нарост постоянно срывается, вызывая сильные вибрации и ухудшение качества обработки.

Исходя из сказанного, нарост не должен допускаться при чистовой обработке, в то же время при черновой он является вполне приемлемым.

Для заметок по делу , в том числе для коварного вопроса преподавателю

Факторы, влияющие на образование нароста

1. Обрабатываемый материал (Рис.30).

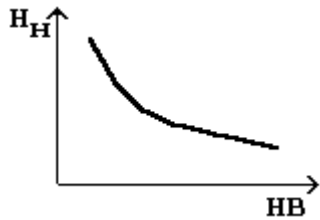
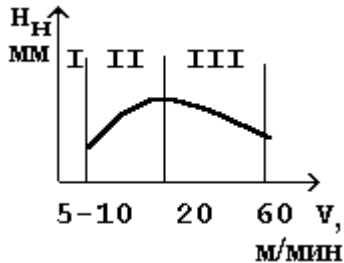


Рис.30. Зависимость $H_H = f(HB)$

С увеличением твердости обрабатываемого материала наростообразование уменьшается. Чем пластичнее материал заготовки, тем зерна металла легче деформируются, заторможенный слой у передней поверхности резца увеличивается, что приводит к увеличению высоты нароста.

2. Режимы резания

2.1. Скорость резания (Рис.31).



Скорость резания - основной фактор, влияющий на нарост.

Рис.31. Зависимость $H_H = f(V)$

В I-й зоне при малых скоростях резания температура в зоне резания незначительна, стружка элементная и не имеет длинного контакта с резцом. В связи с этим нарост практически не образуется.

В зоне II увеличивается температура, стружка - суставчатая и сливная, имеет место увеличение адгезии, а значит и величины нароста.

В III зоне нарост вымывается за счет возрастания сил резания и температуры и не успевает вырасти до больших размеров.

2.2. Подача (Рис.32).

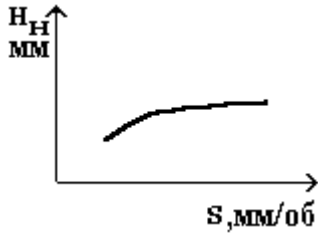


Рис.32. Зависимость $H_n = f(S_0)$

Более толстая стружка увеличивает давление на переднюю поверхность резца, что повышает высоту нароста.

Для заметок по делу

2.3. Глубина рез

Глубина резания практически не влияет на высоту нароста (Рис.33).

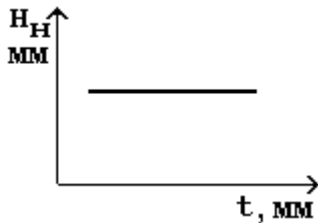


Рис.33. Зависимость $H_n = f(t)$

3. Передний угол (Рис.34).

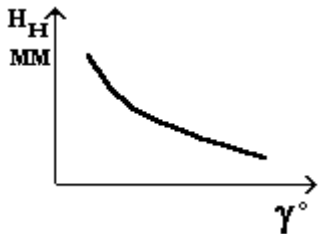


Рис.34. Зависимость $H_H = f(\gamma)$

С увеличением угла γ снижается высота нароста, так как снижается сопротивление стеканию стружки по передней поверхности.

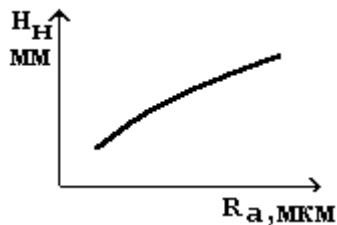
4. СОТС



С увеличением вязкости СОЖ величина нароста снижается (Рис.35). Применение СОТС уменьшает трение, а значит и наростообразование.

Рис.35. Зависимость $H_H = f(\text{Вязкость СОЖ})$

5. Качество отделки резца



Увеличение шероховатости передней поверхности резца приводит к возрастанию величины нароста (Рис.36).

Рис.36. Зависимость $H_H = f(R_a)$

Применение более качественной отделки резца уменьшает трение между стружкой и резцом, а значит и наростообразование.

Отвод и дробление стружки

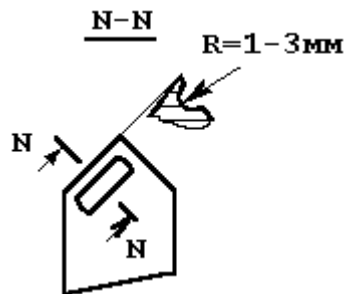
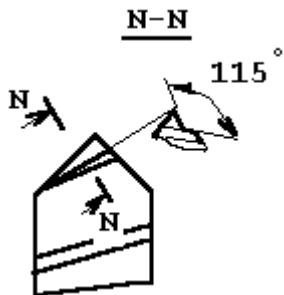
Дробление необходимо для предотвращения травм в случае образования сливной стружки.

Способы дробления стружки:

1. Технологический - уменьшение скорости резания и увеличение подачи (вероятность образования сливной стружки снижается).

2. Изменение геометрии резца - увеличение угла ϕ и уменьшение угла γ (повышается вероятность образования стружки скалывания).

3. Применение стружколомающих уступов	4. Применение стружколомающих канавок
---------------------------------------	---------------------------------------

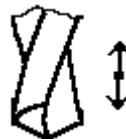


5. Применение стружколомов

Стружколом



6. Использование вибрационного резания



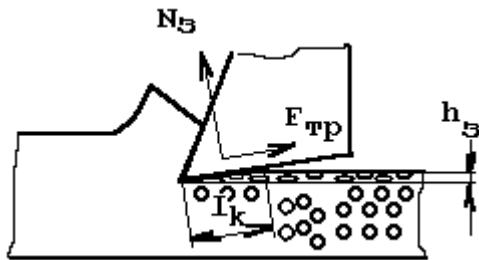
7. Прорезка кольцевых канавок на заготовке



Способы отвода стружки:

1. Изменением угла наклона главной режущей кромки:
 - λ - для чистовой обработки; $+\lambda$ - для черновой обработки.
2. Применение специальных трубчатых стужкоотводов.

Взаимодействие задней поверхности резца с поверхностью резания



Под действием сил нормального давления N_z и трения $F_{тр}$ в поверхностном слое h_z на участке L_k происходит пластическое деформирование зерен основной структуры металла и вытягивание их в направлении движения резца (Рис.37).

Рис.37.Схема взаимодействия резца с поверхностью резания

Это обусловлено наличием радиуса скругления лезвия ρ (Рис.38).

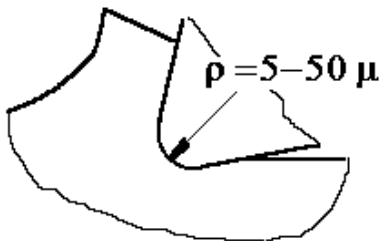


Рис.38.Схема влияния ρ на процесс резания

Если толщина среза меньше ρ , то происходит не срезание металла, а его смятие. Образуется *наклеп*.

Наклеп характеризуется *степенью наклепа*:

$$C_n = HB_h / HB_o,$$

где

HB_h - микротвердость поверхностного (наклепанного) слоя;

HB_o - микротвердость металла основы.

Обычно наклеп повышает износостойкость деталей, работающих в условиях трения. Однако осложняет последующую обработку.

Методы увеличения степени наклепа: увеличение угла резания δ ; обработка потоком шариков; обкатка роликами...

Методы уменьшения степени наклепа: увеличение скорости резания; уменьшение подачи; увеличение переднего угла; уменьшение износа резца по задней главной поверхности.

Вопросы по разделу		
1 уровень	2 уровень	3 уровень
1. Природа образования нароста	1. Микроструктура стружки в прирезцовой зоне	1. Предложите метод использования нароста для улучшения качества обработки
2. Виды нароста и его влияние на процесс обработки	2. Технологические факторы, влияющие на нарост	2. В каких случаях наклеп играет положительную роль при обработке металлов резанием ?
3. Методы борьбы с наростом	3. Методы дробления стружки и борьба с наростом	
4. Наклеп поверхностного	4. Методы изменения на-	

слоя и его оценка	клепа поверхности детали	
-------------------	--------------------------	--

Для вопросов любимому преподавателю

Для заметок по делу

Силы, возникающие при резании

Природа сил, возникающих при резании (силы резания), в основном определяется воздействием стружки и заготовки на инструмент.

В результате сопротивления материала резанию между резцом и заготовкой возникают силы взаимодействия по передней и задней поверхностям. На переднюю поверхность со стороны стружки действуют силы нормального давления F_{Π}^H и силы трения $F_{\text{Тр}}^{\Pi}$ (Рис.39).

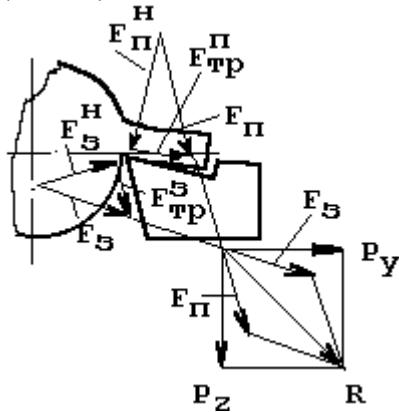


Рис.39. Схема образования сил резания

Геометрическая сумма их дает результирующую силу F_{Π} , действующую на переднюю поверхность резца. Одновременно на заднюю главную поверхность резца действуют также силы нормального давления F_3^H и силы трения $F_{\text{Тр}}^3$. Сумма сил F_3^H и $F_{\text{Тр}}^3$ дает результирующую силу F_3 , действующую на заднюю поверхность резца. Суммарное действие сил F_{Π} и F_3 дает равнодействующую сил сопротивления резанию R . В общем случае величина и направление равнодейст-

вующей силы R зависит от множества факторов: степени деформации металла в зоне резания, формы и размеров поперечного сечения среза, физико-механических свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров режущего инструмента и степени его износа. Поэтому суммарную силу резания R на практике измерить не удастся, а для упрощения производят измерения ее составляющих на оси координат. При токарной обработке фиксируют три составляющие силы резания (Рис.40): P_z - тангенсальная составляющая; P_y - радиальная составляющая; P_x - осевая составляющая.

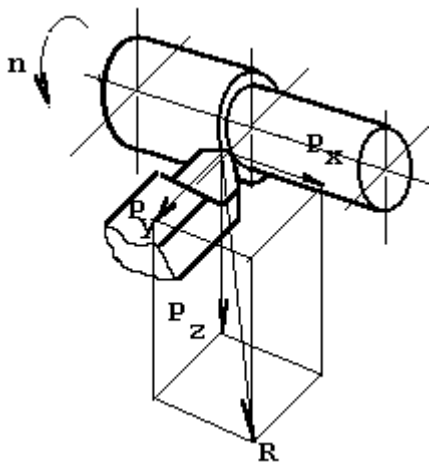


Рис.40. Разложение силы резания при точении

Зная составляющие силы резания, можно определить и суммарную силу R :

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

Для заметок по делу

Для измерения составляющих сил резания разработаны и используются на практике динамометры различных модификаций (Рис.41).

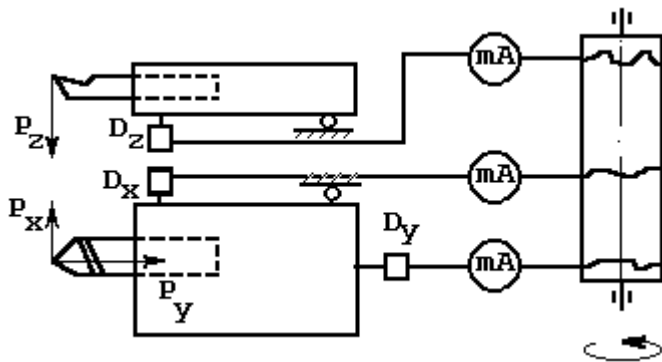


Рис.41.Схема динамометра

Во всех применяемых динамометрах использован принцип упругой деформации какого-либо элемента динамометра. Для измерения деформаций упругого элемента в динамометрах

применяют датчики различных типов: механические, оптические, электрические и другие.

Динамометры не позволяют определить непосредственно силы резания. Их показания дают величины (силы тока, напряжения, перемещения и т.д.), пропорциональные действующим силам. Поэтому перед работой необходимо протарировать динамометр. Тарировка заключается в том, что динамометр нагружают в направлении сил резания сначала возрастающими, а затем убывающими силами, величина которых известна. Показания динамометра, соответствующие определенным величинам сил, регистрируются. На основании этих данных по средней линии нагрузки строится тарировочный график, которым в дальнейшем пользуются для расшифровки показаний динамометра (Рис.42).

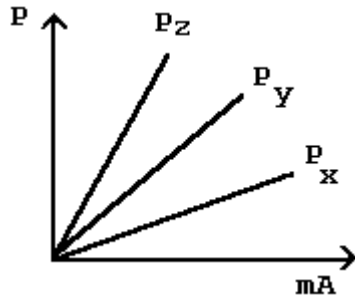


Рис.42.Тарировочный график для определения сил резания

Действие составляющих сил резания на станок

Сила P_z по направлению совпадает с вектором скорости резания и является основным потребителем мощности (главная составляющая силы резания). Она нагружает механизм главного движения станка. По ней производят расчет коробки скоростей.

Для вопроса

Сила P_x действует в направлении продольной подачи станка и создает осевую нагрузку на опоры шпинделя. По ней рассчитывают механизм подачи станка (механизм коробки подач, фартука, винтовую пару).

Сила P_y действует в радиальном направлении. Она определяет макрогеометрию детали вследствие упругих деформаций системы СПИД, по ней рассчитывают механизм поперечных подач станка.

Действие составляющих сил резания на резец

Учитывают при расчете резца на прочность или жесткость. Обычно расчет производят по главной составляющей силе P_z (Рис.43).

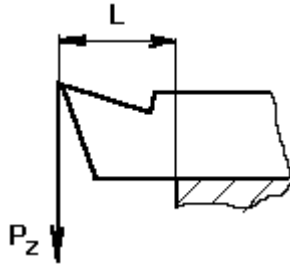


Рис.43. Схема расчета резца на изгиб

Для вопроса

Действие составляющих сил резания на деталь

Учитывают при назначении режимов обработки нежестких деталей. За счет отжима заготовки от резца под действием радиальной составляющей силы резания фактическая глубина резания становится меньше установленного ее значения t на величину Δ (Рис.44).

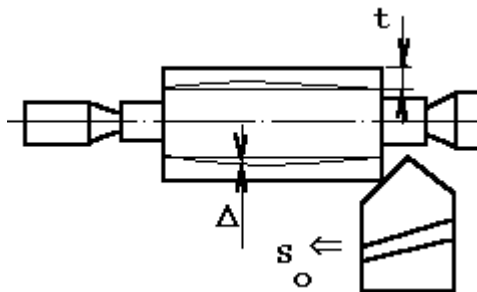


Рис.44. Схема обработки нежестких деталей

Влияние различных факторов на силы резания

1. Обрабатываемый материал

С увеличением предела прочности при растяжении и твердости обрабатываемого материала увеличиваются все составляющие силы резания (Рис.45).

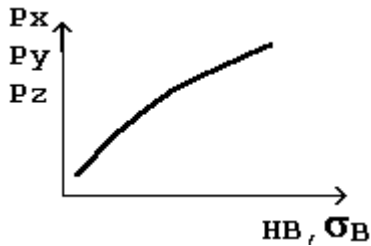


Рис.45. Влияние характеристик обрабатываемого материала на составляющие силы резания

2. Глубина резания и подача

С увеличением глубины резания t увеличивается площадь сечения срезаемого слоя, значит резание будет протекать с большими силами P_x , P_y , P_z (Рис.46).

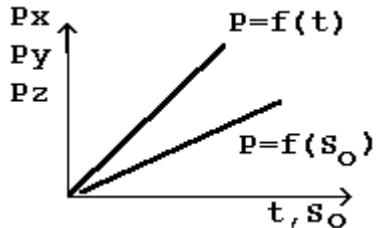


Рис.46. Влияние глубины резания и подачи на составляющие силы резания

При увеличении глубины резания увеличивается ширина среза b (Рис.47,а), а значит пропорционально возрастут площади контакта по передней и задней поверхностям, деформируемый объем стружки и главная составляющая сила резания P_z .



Рис.47.Изменение сечения срезаемого слоя при: а) увеличении глубины резания t ;
 б) - подачи S_o

При увеличении подачи увеличивается толщина среза a (Рис.47,б). Площадь контакта, а значит и силы, действующие по задней главной поверхности, при этом не изменяются. Площадь контакта и силы, действующие на передней поверхности, возрастают в меньшей степени, чем возрасла подача. Поэтому силы резания с увеличением подачи растут в меньшей степени, чем с увеличением глубины резания(Рис.46).

Для заметок по делу

3. Скорость резания

Характер зависимости сил сопротивления резанию определяется наростообразованием на режущей части резца (Рис.48).

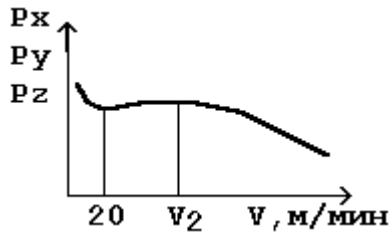
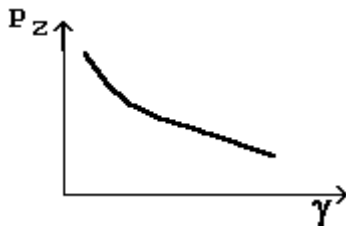


Рис.48. Влияние скорости резания на составляющие силы резания

При скоростях до 20 м/мин нарост увеличивается, что способствует увеличению действительного переднего угла резца, а значит облегчению стружкообразования и снижению главной составляющей силы резания P_z . Дальнейшее увеличение скорости приводит к уменьшению нароста и увеличению силы P_z . При скорости резания более 70 м/мин сила P_z снижается с последующей стабилизацией (при $V > 150$ м/мин). Это объясняется снижением сил трения между резцом и деталью при высоких скоростях (эффект смазки размягченного материала стружки).

4. Передний угол

С увеличением переднего угла γ уменьшается степень деформации срезаемого слоя, снижаются силы трения по передней поверхности и силы нормального давления стружки на резец.



Это приводит к уменьшению силы P_z (Рис.49).

Рис.49. Влияние переднего угла на главную составляющую силы резания

Следует также отметить, что с изменением переднего угла существенно изменяется соотношение сил P_z и P_y . Увеличение переднего угла увеличивает роль главной составляющей силы резания P_z в процессе стружкообразования.

5. Главный задний угол

При увеличении главного заднего угла α силы P_x , P_y , P_z сначала снижаются (от 0° до 10°), а затем стабилизируются (Рис.50).

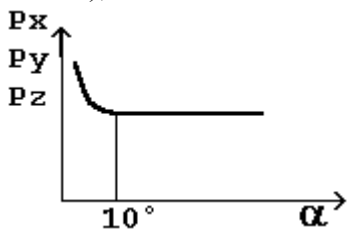


Рис.50. Влияние главного заднего угла на составляющие силы резания

Снижение сил связано с уменьшением площадки контакта реза с поверхностью резания.

Для несанкционированных записей

6. Главный угол в плане

С увеличением главного угла φ в плане (при $R_b = 0$) уменьшается ширина срезаемого слоя. Это приводит к уменьшению сил трения по передней и главной задней поверхностям, а значит к снижению силы P_z .

Так как в реальных условиях $R_b > 0$, то зависимость силы P_z от φ имеет более сложный характер: сначала наблюдается снижение, а затем (при $\varphi > 60^\circ$) возрастание силы P_z (Рис.51).

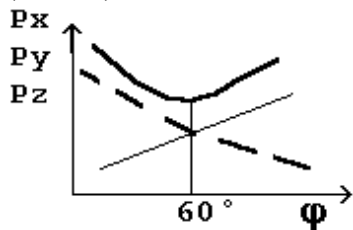


Рис.51. Влияние главного угла в плане на составляющие силы резания

Возрастание силы P_z объясняется влиянием криволинейного участка лезвия резца на общую ширину сечения срезаемого слоя в диапазоне $\varphi = 60 \dots 90^\circ$.

Изменение угла φ изменяет соотношение составляющих сил P_x и P_y . Увеличение угла φ резко уменьшает силу P_y и увеличивает силу P_x (Рис.52).

Для заметок по делу

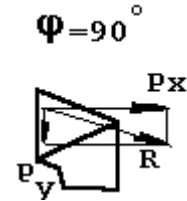
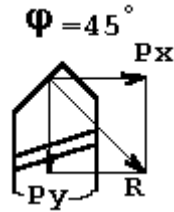


Рис.52. Изменение соотношения между силами P_x и P_y при изменении угла φ

Отсюда следует важный практический вывод: для уменьшения радиальных деформаций нежестких деталей при точении и снижения погрешностей обработки целесообразно работать с главным углом в плане $\varphi = 90^\circ$ и $R_b=0$.

7. Радиус при вершине резца

С увеличением R_b возрастают составляющие P_x , P_y , P_z (Рис.53).

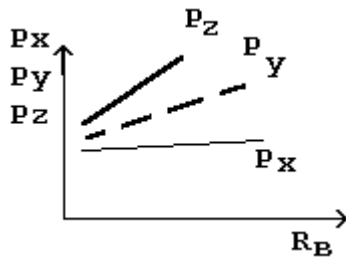


Рис.53. Влияние радиуса скругления вершины на составляющие силы резания

8. Смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС)



Применение СОТС снижает трение резца с заготовкой, что способствует снижению сил резания (Рис.54).

Рис.54. Влияние вязкости СОТС на составляющие силы резания

9. Износ резца



С увеличением износа резца возрастает площадка контакта между ним и заготовкой. Это приводит к увеличению сил трения, а значит и составляющих сил резания (Рис.55).

Рис.55. Влияние износа резца на составляющие силы резания

Эмпирические зависимости составляющих сил резания

С учетом факторов, влияющих на силы резания при точении, составлены математические модели определения их составляющих по осям координат:

$$P_{x,y,z} = 10 C_p * t^{X_p} * S_0^{Y_p} * V^n * K_p.$$

Постоянная C_p и показатели степени x, y, n для конкретных условий обработки приводятся в справочной литературе по расчету режимов резания.

Поправочный коэффициент K_p представляет собой произведение ряда коэффициентов ($K_p = K_m * K_v * K_{h3} * K_\phi * K_\gamma \dots$), учитывающих фактические условия резания.

Мощность при резании

Общая мощность, затрачиваемая на резание при продольном точении, может быть определена из соотношения:

$$N_p = N_{p_z} + N_{p_y} + N_{p_x} = \frac{P_z * V}{60 * 1020} + \frac{P_y * V_y}{60 * 1020} + \frac{P_x * S_o * n}{60 * 1020} .$$

Так как второе слагаемое равно нулю ($V_y = 0$), а третье составляет 1...2% от первого, то ими можно пренебречь.

С учетом этого мощность резания

$$N_p = \frac{P_z * V}{60 * 1020} .$$

Зная N_p , можно определить в первом приближении мощность двигателя станка по формуле : $N = N_p / \text{КПД}_{\text{ст.}}$ ($\text{КПД}_{\text{ст.}} = 0,75$).

Вопросы по разделу		
1 уровень	2 уровень	3 уровень
1. Какие силы действуют на поверхности резца?	1. Для чего необходимо знать силы резания?	1. Как перераспределить нагрузки на станок, деталь, инструмент?
2. На какие составляющие и по каким направлениям разлагают равнодействующую силу резания?	2. Почему нельзя определить непосредственно равнодействующую силу резания?	2. Опишите влияние технологических факторов на составляющие силы резания
3. Чем измеряют составляющие силы резания?	3. На чем основаны методы определения сил резания?	
4. Оцените влияние глубины резания и подачи на силы резания	4. Что такое тарировка динамометра и как она производится?	

Для заметок по делу и вопросов

Тепловые явления при резании металлов

Изучение тепловых явлений связано с необходимостью найти пути снижения напряженности протекания процесса резания, повышения качества обработки (предотвращение отпуска детали в процессе механической обработки и появления прижогов) и стойкости режущего инструмента.

Уравнение теплового баланса

Уравнение теплового баланса “увязывает” в себе тепло, образующее в процессе обработки, и тепло, расходуемое на нагрев участвующих в нем элементов:

$$Q_{\text{деф}} + Q_{\text{пер}} + Q_{\text{зад}} = Q_{\text{стр}} + Q_{\text{заг}} + Q_{\text{ин}} + Q_{\text{ср}},$$

где

$Q_{\text{деф}}$ - тепло, образующееся в зоне сдвиговых деформаций ;

$Q_{\text{пер}}$ - тепло, образующееся в зоне контакта стружки с передней поверхностью резца;

$Q_{\text{зад}}$ - тепло, образующееся в зоне контакта задней поверхности резца с заготовкой;

$Q_{\text{стр}}$ - тепло, уходящее вместе со стружкой ;

$Q_{\text{заг}}$ - тепло, уходящее в заготовку;

$Q_{\text{ин}}$ - тепло, уходящее в инструмент;

$Q_{\text{ср}}$ - тепло, уходящее в окружающую среду.

Для получения наилучшего результата целесообразно первоначально добиться снижения общего тепловыделения (уменьшить левую часть уравнения) путем, например, улучшения геометрических параметров инструмента . А лишь затем осуществлять мероприятия по перераспределению количества тепла, отводимого из зоны резания в заготовку и инструмент, например, за счет использования СОЖ.

Для заметок по делу

Методы измерения температуры

Количество тепла, выделяемого в зоне резания, можно оценить с помощью измерения температуры.

Распространены следующие *методы ее измерения* (Рис.56):

- а) метод искусственной термопары;
- б) метод полуйскусственной термопары;
- в) метод естественной термопары;
- г) двумя резцами.

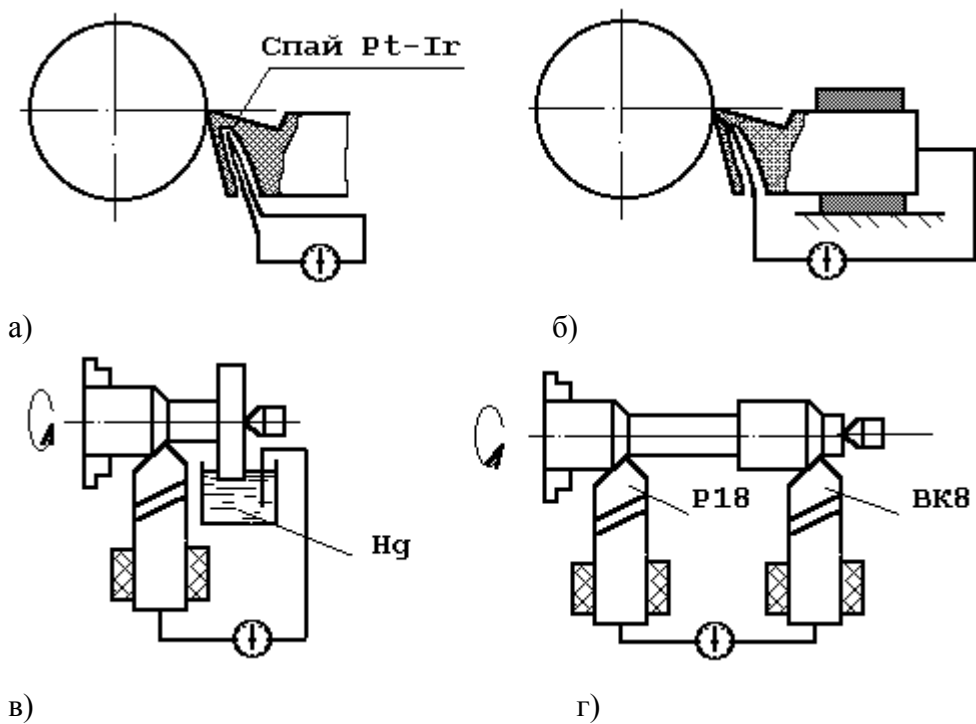


Рис.56. Схемы измерения температуры в зоне резания

При использовании методов термопар необходима их предварительная тарировка (Рис.57).

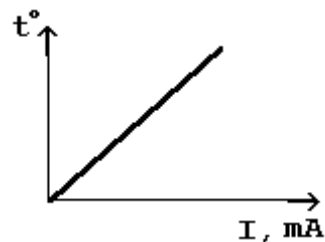
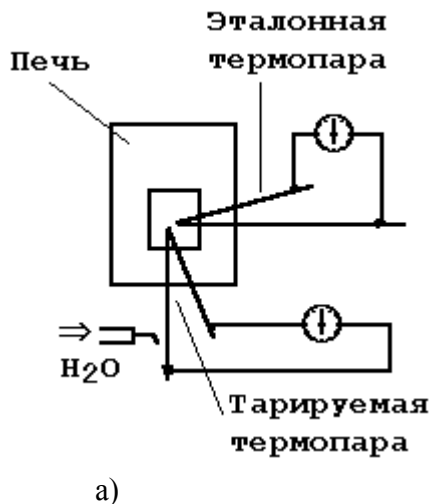


Рис.57. Схема тарировки термопары а) и тарировочный график б)

Как показывают измерения, наибольшая температура развивается на передней поверхности резца вблизи главного режущего лезвия (~800...1200° С).

Смазывающе-охлаждающие технологические средства (СОТС)

Требования к СОТС: 1. Уменьшать температуру в зоне резания.

2. Не вызывать коррозию.
3. Не вредить здоровью человека.
4. Не разлагаться с течением времени.
5. Обладать пожарной безопасностью.

Виды СОТС:

1. Твердые (тальк, графит, дисульфит молибдена ...).
2. Жидкие (СОЖ - водные растворы и эмульсии, масла, керосин ...).
3. Пластичные (консистентные смазки - солидол, ЦИАТИМ-201).
4. Газообразные (инертные газы - He, Ar, CO₂...).
5. Смешанные (жидкость+твердое вещество; жидкость+ газ).

Способы подачи СОТС:

1. Поливом свободной струей.
2. Струйно-напорное охлаждение.
3. Подача охлаждения изнутри (шлифовального круга, резца, сверла).
4. Охлаждение распыленной струей жидкости.

Особенности применения газообразных охлаждающих средств

Газы легче проникают в тепловую область. Находят применение для обработки специальных сталей, содержащих титан и другие легирующие металлы. Инертные газы эффективнее обычных, так как не образуют окисной пленки, ухудшающей поверхностные свойства детали.

Вопросы по разделу		
1 уровень	2 уровень	3 уровень
1. Запишите уравнение теплового баланса	1. Каким образом можно снизить теплообразование в зоне резания?	1. Объясните физический смысл уравнения теплового баланса
2. Перечислите методы измерения температур при резании	2. Что можно предпринять для уменьшения прижогов на детали?	
3. Какие требования предъявляются к СОТС?		
4. Виды СОТС		

Для заметок по делу и вопросов уже не очень любимому преподавателю

Износ резцов. Физические основы износа режущего инструмента

Процесс изнашивания режущего инструмента подтверждается несколькими гипотезами.

1) Абразивно - механический износ.

При контакте резца с заготовкой и стружкой твердые частицы, входящие в состав обрабатываемого материала, истирают рабочие поверхности инструмента. У твердосплавного инструмента эти частицы истирают связку - кобальт (Рис.58). Зерна карбидов вольфрама и других металлов при этом легко выкрашиваются.



Рис.58. Структура твердоко сплава

2) Адгезионный износ.

Адгезия - слипание. При любом качестве заточки резца его поверхность, как и контактирующая с ней поверхность стружки, имеет развитую шероховатость. Стружка с ин-

струментом контактирует по гребешкам неровностей. Контактная поверхность - мала (Рис.59).



Рис.59.Схема контакта стружки с поверхностью резца

При трении на гребешках не успевает образовываться защитная пленка, а химически чистые металлы легко свариваются в отдельных точках. Так как стружка постоянно уносится, то отрываются и уносятся с ней и частицы материала резца.

3) Диффузионный износ.

Диффузия - взаимное проникновение атомов одного контактируемого тела в другое (наиболее интенсивно протекает при повышенных температурах).

При высоких температурах в зоне резания происходит растворение элементов резца (С, W, Со и др.) в стружке, которые уносятся вместе с ней, а привнесенные в инструментальный материал элементы заготовки разупрочняют инструмент.

4) Окислительный (химический) износ.

Окислительный износ наступает в следствие воздействия на поверхность инструмента кислорода, входящего в состав окружающей среды и СОТС.

Доля абразивно-механического износа - наибольшая в общем объеме износа инструмента.

Для твердого сплава характерно также выкрашивание его частиц при вибрациях.

Схема износа резцов

Независимо от режимов резания износ резцов имеет определенную закономерность (Рис.60).

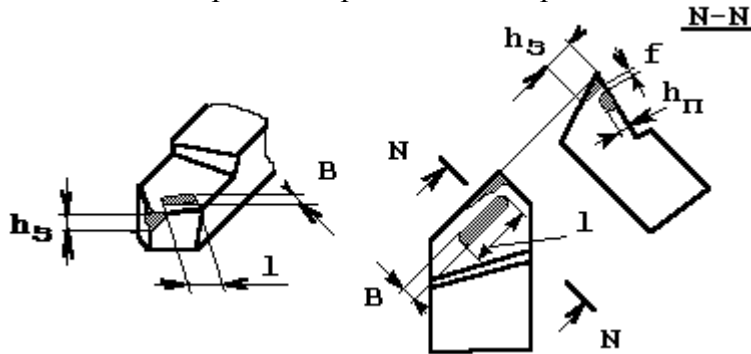


Рис.60. Схема износа резца

Износ по задней поверхности $h_з$ обычно находится в пределах $h_з = 0 \dots 2$ мм. Его величину можно оценить по результатам обработки (увеличивается диаметр детали).

По передней поверхности износ определяется лункой износа,

имеющей размеры: l , B , R , $h_л$ - соответственно длина, ширина, радиус, глубина лунки.

Износ по задней поверхности образуется при обработке хрупких материалов (чугун...) при толщине срезаемого слоя $a < 0,15$ мм и низких скоростях резания.

При обработке стали с большой толщиной "а" износ происходит по передней поверхности. Радиус лунки при этом увеличивается совместно с глубиной $h_л$ в сторону режущего лезвия. Величина фаски износа f уменьшается. При достижении значения $f = 0$ происходит скол резца, если резец - твердосплавной, и стогорание, если последний - из быстрорежущей стали.

При обработке сталей на средних скоростях резания и $a > 0,15$ мм, износ происходит как по передней, так и по задней поверхностям.

Измерение износа резцов

I. Массовый метод

1) Путем непосредственного измерения веса резца

Любой износ сопровождается потерей массы резца, которую можно определить путем точного взвешивания.

Недостатки: неточность метода; при образовании нароста невозможно пользоваться из-за соизмеримости массы нароста с величиной износа; применим только при обработке хрупких материалов.

2) Путем измерения объема (микрометрический обмер площадок износа) и умножения на плотность.

3) Путем использования радиоактивных изотопов. Режущую пластинку активизируют и работают этим радиоактивным резцом. Далее оценивают величину радиоактивности полученной стружки и по ней косвенно определяют величину износа резца. Недостаток этого метода - сложность и потребность в специальном оборудовании.

Массовый метод не дает возможности определить величину износа по каждой поверхности, а позволяет получить только общее представление о его средней величине.

II. Линейный метод

При основном износе по задней поверхности главной мерой является величина h_3 .
Дополнительными мерами - h_d и B .

При основном износе по передней поверхности главная мера - h_d . Дополнительная мера - B .

III. Радиальный (размерный) износ (Рис.61)

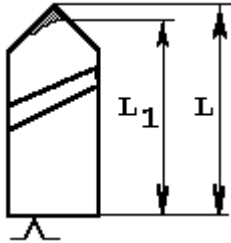


Рис.61. Схема радиального износа

Величина износа определяется из соотношения $L - L_1 = h_p$.

Радиальный износ отражается на диаметре обработки.

Для заметок по делу

Критерии износа

1. Критерий блестящей полосы.

Резец считается изношенным, когда на обработанной поверхности образуется блестящая затертая полоса. Это явление характерно для черновой обработке пластичных ма-

териалов. Данный критерий неприемлем при чистовой обработке, особенно при использовании твердосплавного инструмента (скол).

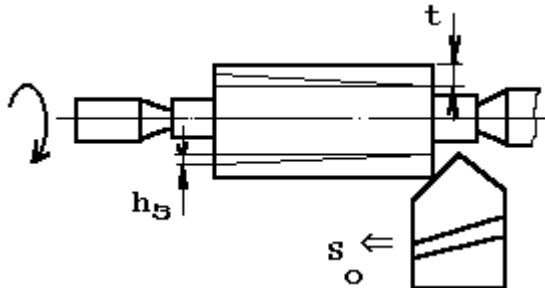
2. *Силовой.*

Резец считается изношенным, когда резко возрастают силы резания.

3. *Технологические критерии.*

Об износе резца судят по качеству обработки.

а) Резец считается изношенным, если размер детали (по диаметру) выходит за пределы допуска. Фактически при радиальном износе резца цилиндрическая деталь (особенно длинная) будет иметь форму конуса (Рис.62).



Для заметок по делу

Рис.62.Изменение размеров детали при износе резца

б) Резец считается изношенным, если шероховатость обработанной поверхности ухудшается и также выходит за пределы допуска.

Кривые износа резцов

Кривой износа называют графическую зависимость между величиной износа h_3 резца и временем его работы τ (Рис.63).

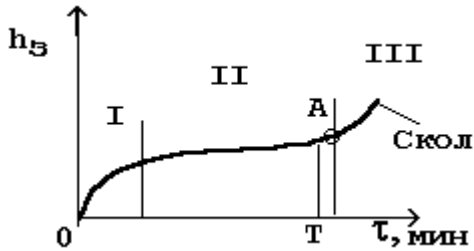


Рис.63. График износа резца от времени его работы

Различают три этапа работы резца: I - период начального износа (приработка) резца; II - период установившегося (нормального) износа; III - катастрофический износ.

Заточку резца целесообразно производить, не допуская перехода износа в зону III.

Оптимальный период времени T между переточками резца принято называть его *стойкостью*.

Для заметок по делу

Для вопросов преподавателю

Скорость резания, допускаемая режущими свойствами резца

Как известно, за скорость резания принимают максимальную линейную скорость движения заготовки относительно резца. В этом разделе рассматривается скорость резания не как кинематический, а как технологический показатель процесса резания, то есть обеспечивающий оптимальную стойкость резца.

Зависимость скорости резания от стойкости резца

В результате анализа графиков износа, построенных для различных скоростей резания (Рис.64), можно прийти к выводу, что с повышением скорости резания износ резца быстрее достигает своего оптимального значения $h_{\text{опт}}$.

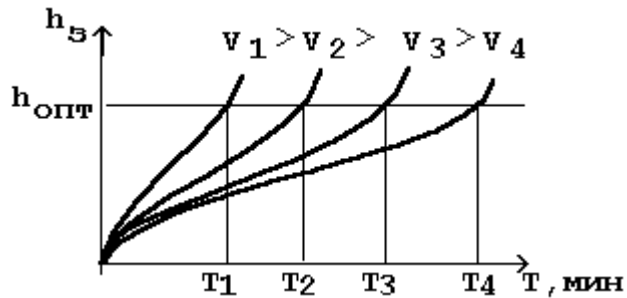


Рис.64. Зависимость износа резца от времени его работы при $V = \text{var}$

По точкам пересечения кривых износа с линией оптимального износа можно построить зависимость скорости резания от стойкости резца $V = f(T)$ (Рис.65).

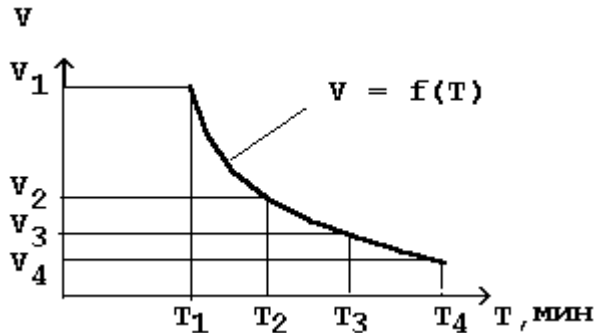


Рис.65. Построение зависимости $V = f(T)$

После обработки данной зависимости в логарифмической системе координат (Рис.66) следует, что $V = C_v / T^m$. Здесь $m = \text{tg } \psi < 1$ ($m = 0,2 \dots 0,3$) - показатель относительной

стойкости; C_v - постоянный коэффициент зависит от обрабатываемого материала, условий обработки.

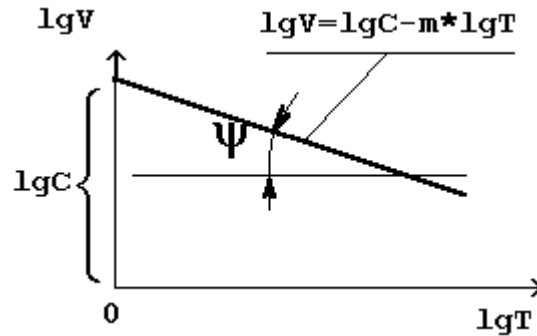


Рис.66. Зависимость $V = f(T)$ в логарифмической системе координат
Влияние различных факторов на скорость резания

1. Подача и глубина резания

С увеличением глубины t и подачи S_0 увеличиваются силы резания, температура в зоне обработки, а значит и износ. Скорость резания необходимо уменьшить. Экспериментальная зависимость выглядит следующим образом:

$$V = \frac{C_v}{T^m * t^{x_v} * S^{y_v}} ; \quad x_v < y_v < 1.$$

Влияние подачи на скорость резания выше, чем влияние глубины, то есть для резца выгоднее работать с большей глубиной резания, чем подачей.

2. Механические свойства обрабатываемого материала

Увеличение твердости НВ и прочности приводит к увеличению сил резания, тепловыделения в зоне резания, износа резца. Скорость резания необходимо уменьшить.

3. Применение СОТС

Использование СОТС позволяет повысить скорость резания.

4. Инструментальный материал

Применение инструмента из твердого сплава и минералокерамики позволяет повысить скорость резания (относительно инструмента из быстрорежущих сталей). По сравнению с инструментом из быстрорежущей стали твердосплавный инструмент значительно эффективнее работает на более высоких скоростях (Рис.67).

Для возможного вопроса

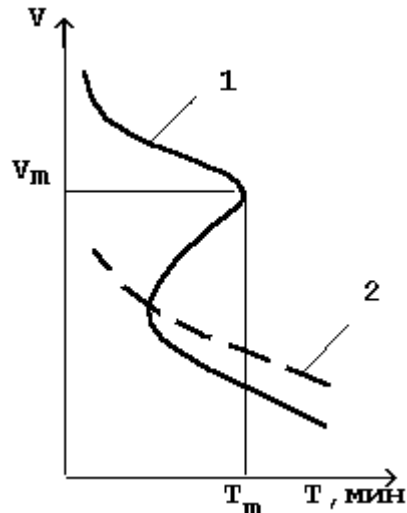


Рис.67.Зависимость $V = f(T)$ для инструмента из:

- 1 - твердого сплава;
- 2 - стали быстрорежущей.

Сложность зависимости $V_T = f(T)$ объясняется тем, что в зоне малых скоростей резания время контакта стружки с твердосплавным инструментом возрастает на каждой элементарной площадке, что увеличивает ее воздействие на связку (кобальт). Возрастает вероятность “вымывания” кобальта твердыми включениями в стружке, детали (абразивно - механической износ) и вероятность адгезии кобальта со стружкой, деталью (адгезионный износ). При повышенных скоростях роль кобальта в трении снижается, динамиче-

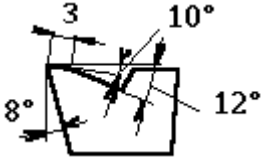
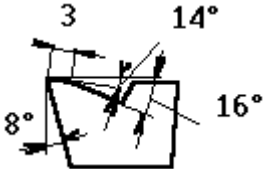
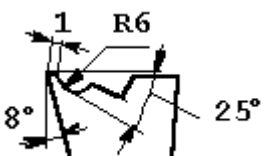
ская твердость твердого сплава возрастает за счет карбидов, входящих в его состав. Преобладает диффузионный износ. Аналогия: шлифовальный круг в статике можно резать, разрушая связку. Вращающийся же круг плохо поддается обработке.

Для заметок по делу

5. Геометрия резца

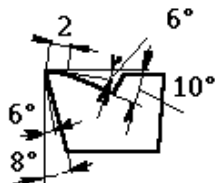
Оптимальная стойкость инструмента и скорость резания зависит от выбора его оптимальной геометрии (формы передней поверхности резца, величины заднего главного и переднего угла, главного угла в плане и других параметров резца).

5.1. Форма заточки режущей части резцов

Форма заточки передней поверхности	Эскиз резца	Обрабатываемый материал
Резцы из быстрорежущей стали		
Плоская с положительным передним углом		Сталь с $\sigma_B > 800\text{МПа}$, серый чугун с $\text{HB} > 220$, бронза и другие хрупкие материалы
		Сталь с $\sigma_B < 800\text{МПа}$, чугун с $\text{HB} > 220$
Криволинейная с фаской		Сталь с $\sigma_B > 800\text{МПа}$, вязкие цветные металлы и легкие сплавы

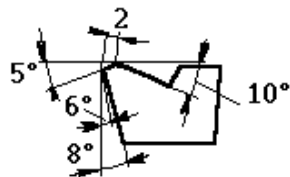
Резцы с пластинами из твердого сплава

Плоская:
с положительным передним углом



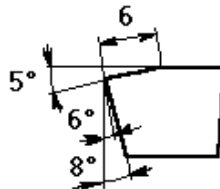
Серый чугун, бронза и другие хрупкие материалы

с отрицательной фаской



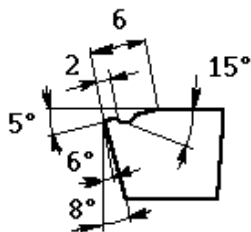
Ковкий чугун, сталь с $\sigma_B < 800\text{МПа}$, а также сталь с $\sigma_B > 800\text{МПа}$ при низкой жесткости системы СПИД

с отрицательным передним углом



Сталь с $\sigma_B > 800\text{МПа}$ (черновая обработка), работа с ударами при жесткой системе СПИД

Криволинейная с отрицательной фаской



Материалы
с $\sigma_B = 700 \dots 1000\text{МПа}$

5.2. Главный задний угол

Увеличение главного заднего угла α неоднозначно влияет на изменение скорости резания (Рис.68) .



Рис.68.График зависимости $V = f(\alpha)$

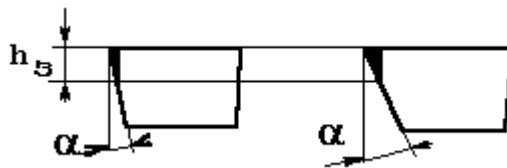


Рис.69. Характер износа резца от угла α

Экстремальный характер кривой $V = f(\alpha)$ определяется увеличением истираемого объема резца (Рис.69) и уменьшением теплоотвода через него по мере возрастания главного заднего угла.

5.3. Передний угол

С увеличением переднего угла γ (от отрицательного его значения) уменьшаются силы резания, коэффициент усадки и величина износа по задней главной поверхности. Скорость резания можно увеличить. Однако, с увеличением угла γ уменьшается теплоотвод через тело резца, а это приводит к необходимости снижать скорость резания (Рис.70).

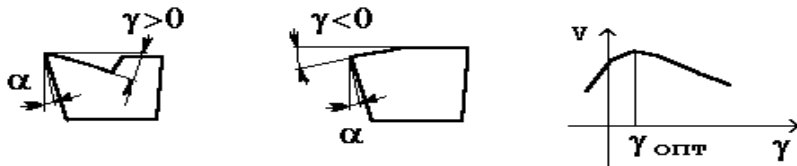


Рис.70. Влияние переднего угла на скорость резания

5.4. Главный угол в плане

Увеличение главного угла в плане ϕ приводит к увеличению толщины срезаемого слоя, силы P_x , концентрации тепловыделения у вершины резца. Скорость резания должна быть снижена (Рис.71).

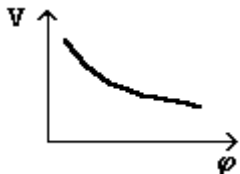


Рис.71. Влияние главного угла в плане на скорость резания

5.5. Радиус при вершине резца

Увеличение радиуса скругления вершины резца R_B приводит к увеличению составляющих сил резания P_x и P_y . Скорость резания должна быть уменьшена (Рис.72).

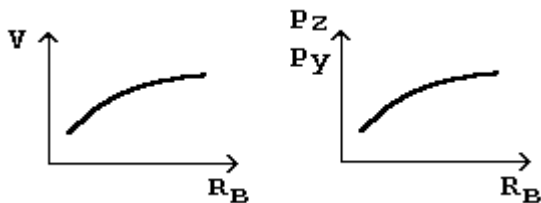


Рис.72. Влияние радиуса скругления вершины резца R_B на скорость резания

5.6. Вспомогательный угол в плане

Увеличение вспомогательного угла в плане уменьшает трение вспомогательного лезвия по обработанной поверхности детали. Однако, скорость резания должна быть снижена (Рис.73), так как нагрузка концентрируется вблизи вершины резца. Оптимальным следует считать угол $\varphi_1 = 5..7^\circ$.

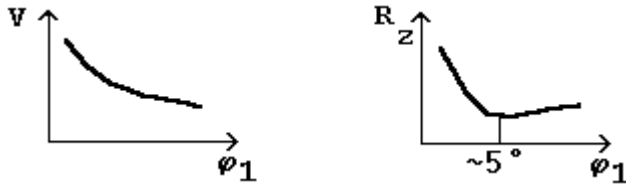


Рис.73. Влияние вспомогательного угла в плане на скорость резания

С учетом множества факторов скорость резания можно рассчитать по эмпирической зависимости

$$V = \frac{C_v}{T^m * t^{xv} * S^{yv}} * K_m * K_{и} * K_{\varphi} * K_{\gamma} * K_R \dots * K_{COЖ} ,$$

где

T - стойкость;

t - глубина резания;

S - подача;

C_v - эмпирический коэффициент;

m, x_v, y_v - показатели степеней;

$K_M, K_n, K_\phi, K_\gamma, K_R, \dots, K_{COЖ}$ - поправочные коэффициенты.

Вопросы по разделу		
1 уровень	2 уровень	3 уровень
1. Основные гипотезы износа резцов	1. Сущность технологического критерия износа	1. Почему стойкость резца можно считать параметром процесса резания?
2. Как изнашивается резец?	2. Кривая износа резца и выбор оптимальной величины его износа	2. Сравните влияние глубины резания и подачи на выбор скорости резания
3. Способы оценки износа резца	3. Зависимость скорости резания от стойкости	3. Предложите наиболее рациональную заточку резца для обтачивания заготовки из стали Ст.3
4. Что называют стойкостью резца?	4. Объясните влияние геометрических параметров резца на выбор скорости резания	
5. От каких факторов зависит выбор скорости резания при точении?		

Для заметок по делу и вопросов

Вибрации при резании

Колебания системы СПИД приводят к преждевременному износу инструмента и оборудования, что ухудшает качество обработанной поверхности. Различают два вида колебаний (вибраций):

- 1) вынужденные (вызываются посторонними или внешними силами);
- 2) автоколебания (возникают в процессе резания).

Вынужденные колебания появляются в результате неуравновешенности обрабатываемой детали, низкого качества шестерен приводов движения, неравномерности припуска заготовки. Часто такие вибрации устранимы.

Автоколебания являются следствием пульсации сил резания в результате наростообразования, износа инструмента, изменения твердости от нагрева, сдвиговых явлений при стружкообразовании и др.

Энергия колебательного движения системы СПИД оценивается *амплитудой и частотой*. При этом для процесса обработки деталей резанием наиболее опасны колебания, имеющие высокую амплитуду и сравнительно низкую частоту.

Для заметок по делу

Факторы, влияющие на вибрацию

1. Обработываемый материал

Твердость НВ \uparrow \rightarrow жесткость СПИД \uparrow \rightarrow нарост \downarrow \rightarrow амплитуда колебаний \downarrow
 \rightarrow частота \uparrow .

2. Скорость резания

Интенсивность колебаний имеет максимум в диапазоне наибольшего образования нароста (Рис.74).

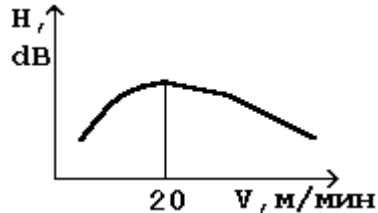


Рис.74 Зависимость интенсивности колебаний от скорости резания

3. Подача

$S \uparrow \rightarrow$ амплитуда колебаний \downarrow . Здесь проявляется влияние толщины стружки - меньше вредное действие радиуса R_v .

4. Глубина резания

Для заметок на полях

$t \uparrow \rightarrow R_{x,y,z} \uparrow \rightarrow$ амплитуда колебаний \uparrow .

5. Углы в плане

$\varphi \uparrow \rightarrow$ амплитуда колебаний \downarrow .

$\varphi \uparrow \rightarrow$ амплитуда колебаний \downarrow .

6. Углы в главной секущей плоскости

Углы α и γ в пределах $3^\circ \dots 20^\circ$ слабо влияют на развитие колебаний.

7. Радиус скругления вершины

$R_v \uparrow \rightarrow R_y \uparrow \rightarrow$ амплитуда колебаний \uparrow .

8. Износ резца


$h_z \uparrow \rightarrow$ амплитуда колебаний \uparrow .

9. Применение СОТС

Использование при обработке СОЖ ведет к снижению вероятности развития колебаний (снижается наростообразование, уменьшается трение...).

10. Жесткость системы СПИД

Жесткость $\uparrow \rightarrow$ амплитуда колебаний \downarrow .

Зри в корень! 

Технические мероприятия снижения колебаний при резании

1) специальная заточка резца с наложением виброгасящей фаски (Рис.75). Фаска изменяет частотную характеристику резца, снижая уровень колебаний, однако такая заточка гасит колебания только в узком диапазоне частот.

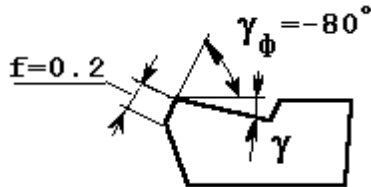


Рис.75. Параметры резца с виброгасящей фаской

2) применение виброгасителей (Рис.76) - используется при невозможности снизить колебания другими методами.

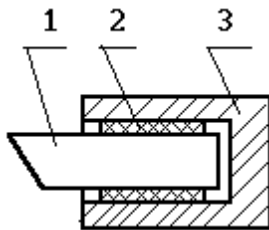


Рис.76. Схема резца с виброгасителем:

1 - резец; 2 - демпфер; 3 - корпус резцедержателя

Для заметок по делу

Вопросы по разделу

1 уровень	2 уровень	3 уровень
1. Виды колебаний при резании	1. Природа автоколебаний при резании	1. Предложите способы повышения эффективности обработки металлов резанием, используя различные виды колебаний
2. Способы борьбы с вредными колебаниями	2. Технологические факторы, влияющие на развитие колебаний	
	3. В каких случаях целесообразно применять виброгасители?	

Для вопросов преподавателю

Микрогеометрия обработанной поверхности при резании

Теоретически микрогеометрия поверхности после точения определяется высотой гребешков, остающихся на обработанной поверхности как след от резца (Рис.77), его геометрических параметров (углов в плане, радиуса при вершине), и подачи S_o :

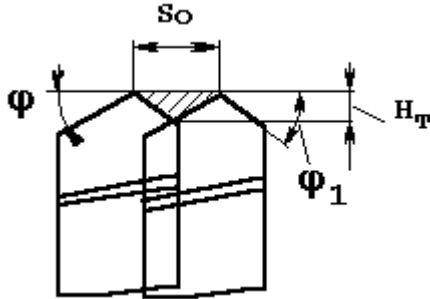


Рис.77.Схема образования микро-
ровностей при точении

$$H_T = \frac{S_o * \sin \varphi * \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)} \quad - \text{при } R_B = 0 ;$$

$$H_T = \frac{S_o^2}{8R_B} \quad - \text{при } R_B > 0.$$

$$H_d = (10 \dots 20) H_T = H_T + H_\phi.$$

H_d - действительное значение высоты гребешков; H_ϕ - фактический прирост высоты гребешков, зависящий от нароста, трения, износа резца и других факторов.

Факторы, влияющие на шероховатость

1. Обрабатываемый материал

$HV \uparrow \rightarrow R_z \downarrow$, так как вязкий материал образует налипы и наросты.

2. Скорость резания (Рис.78)

Параметр R_z при изменении скорости резания определяется величиной образованного нароста нароста.

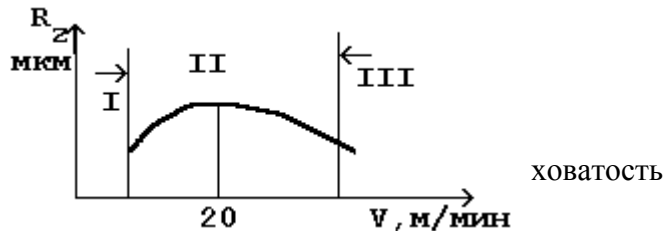


Рис.78. Влияние скорости резания на шероховатость

3. Глубина резания и подача: $t, S_0 \uparrow \rightarrow R_z \uparrow$.

4. Геометрия резца

φ ; $\varphi \uparrow \rightarrow R_z \uparrow$; $R_B \uparrow \rightarrow R_z \downarrow$; γ, α — не влияют.

5. Износ резца: $h_3 \uparrow \rightarrow R_z \uparrow$.

6. Применение СОТС снижает шероховатость обработки.

7. Увеличение жесткости системы СПИД снижает шероховатость.

Имеются нормативные материалы для определения режимов обработки с требуемой шероховатостью поверхности. Шероховатость обработки может быть определена по эмпирической формуле:

$$R_z = C_{Rx} \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_{Rz} \quad ,$$

где

$$K_{Rz} = K_v \cdot K_m \cdot K_{hз} \cdot K_{сож} \cdot K_{\phi} \cdot K_{\phi 1} \dots$$

Для заметок по делу

Методика расчета режимов резания при одноинструментальной токарной обработке

Преставленная методика предусматривает расчет наиболее рациональных с точки зрения производительности или достижения требуемого качества (шероховаости) режимов обработки.

Предварительно необходимо знать: 1) характеристику детали (материал, величину припуска, размеры, качественные показатели); 2) характеристику инструмента (материал, геометрию, размеры державки резца); 3) характеристику станка (мощность, подачи, частоты вращения).

Только после этого приступают непосредственно к расчету по *следующей схеме:* расчет или выбор глубины резания → расчет подачи → назначение стойкости → расчет скорости резания → расчет частоты вращения шпинделя станка → проверка станка по мощности → расчет основного (машинного времени).

Выбор глубины резания t .

1) При черновом точении $t = h$ (припуск).

2) При получистовом точении при $h > 2$ мм : $t = t_1 + t_2 = 0,75h + 0,25h$ (2 прохода).

При $h < 2$ мм - $t = h$ (1 проход).

3) При чистовом точении - $t = h$.

Расчет подачи S_o .

При расчете подачи исходят из прочности или жесткости державки резца, прочности механизмов привода подач, жесткости детали, требуемой шероховатости обработки.

Расчет по прочности механизмов привода подач производят из условия:

$$P_x = C * t^{Xp} * S_o^{Yp} * K_{px} < [P].$$

Здесь $[P]$ - наибольшее тяговое усилие привода подач (определяется по паспорту станка).

Тогда подача : $S_o < f([P]...)$.

Расчет по прочности державки резца (Рис.79) выполняют из условия :

$$P_z = C_{pz} * t^{Xpz} * S_o^{Ypz} * K_{pz} < [P_z].$$

$[P_z]$ - наибольшее допустимое значение изгибающей силы.

Отсюда подача $S_o < f([P_z]...)$.

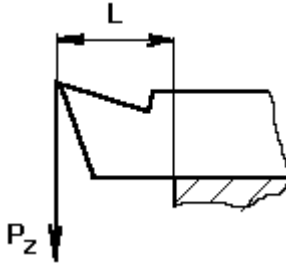


Рис.79.Расчетная схема резца по прочности державки

Расчет по жесткости державки резца (учитывается при расточке) выполняют из условия: $P_z < [P_z]_{д.р.}$. $[P_z]_{д.р.}$ - допустимое значение изгибающей силы по жесткости.

Расчет по жесткости детали (Рис.80) производят при обточке длинных деталей в центрах или в патроне из условия:

$$R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2} < [P]_{дет.} \quad \text{Тогда } S_o = f([P]_{дет...}).$$

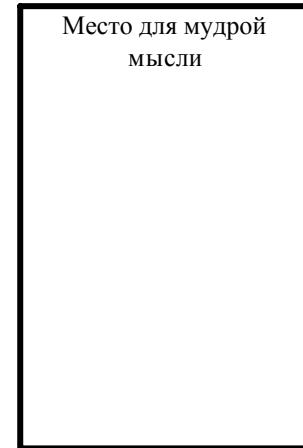
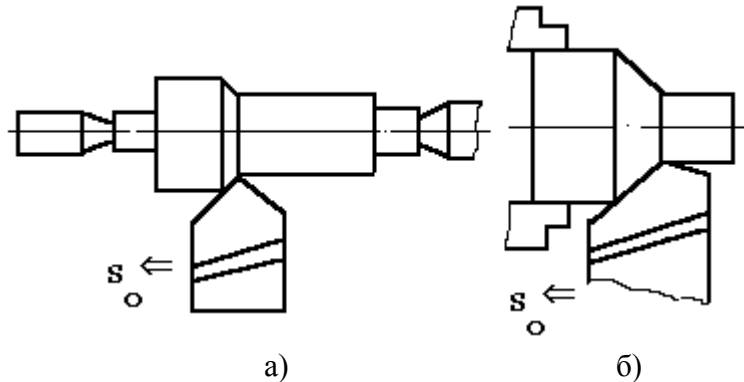


Рис.80. Обработка нежестких деталей: а) в центрах; б) в патроне

Расчет по шероховатости обработанной поверхности выполняют из условия:

$$R_z = C_{Rz} * t^{XRz} * S^{YRz} * K_{Rz} < [R_z].$$

$[R_z]$ - допустимый параметр шероховатости, заданный чертежом.

Отсюда $S_o < f([R_z]...)$.

Назначение экономически целесообразной стойкости T .

Расчет скорости резания V , допускаемой режущими свойствами резца:

$$V = \frac{C_v}{T^m * t^{X_v} * S^{Y_v}} * K_v.$$

Определение частоты вращения шпинделя:

$$n = \frac{1000V}{\pi * D} \rightarrow n_d \text{ округлить до ближайшего меньшего по паспорту станка.}$$

Корректировка действительной скорости резания:

$$V_d = \frac{\pi * D * n_d}{1000} .$$

Проверка режимов резания по мощности станка

Проверку выполняют по мощности привода главного движения из условия:

$$N_p < [N]_{\text{шп.}} \\ P_z * V_d$$

$$N_p = \frac{\dots}{1020 * 60} ; [N]_{\text{шт}} = N_{\text{эд}} * \eta. \text{ Если } N_p > [N]_{\text{шт}}, \text{ то целесообразно снизить } V_d.$$

Расчет основного (машинного) времени

Расчет проводят в зависимости от схемы обработки по общей формуле:

$$T_o = \frac{L * i}{S_o * n_d} .$$

Часто режимы резания, особенно в условиях мелкосерийного и индивидуального производств, назначают по нормативным материалам (требуется проверка при запуске в производство).

Для заметок по делу

Вопросы по разделу		
1 уровень	2 уровень	3 уровень
1. Какими параметрами оценивают шероховатость поверхности?	1. Поясните природу образования микронеровностей при металлообработке	1. Покажите, как учитывают шероховатость при расчете продольной подачи
2. Почему фактическая величина неровностей значительно отличается от расчетного значения?	2. Оцените влияние наростообразования на шероховатость обработанной поверхности	2. Предложите способы корректировки расчетных режимов точения, если мощность станка меньше необходимой
3. Определите порядок расчета режимов резания при точении	3. На каком этапе производят назначение стойкости режущего инструмента?	

Для заметок по делу и вопросов

Строгание и долбление

Данные методы обработки не являются прогрессивными, так как главное движение резания является возвратно-поступательным. Срезание стружки производится только в одном направлении при незначительной скорости резания. Обрато инструмент (резец) возвращается на холостом ходу. Подача резца осуществляется в поперечном к скорости главного движения направлении через каждый двойной ход на небольшую величину. Оба метода находят применение в единичном или мелкосерийном производствах в качестве замены фрезерования и протягивания.

Особенности процессов резания при строгании и долблении

1. Для реализации методов существуют две группы станков: *продольного и поперечного типов*.

При продольном строгании и долблении $V = \text{const}$;

при поперечном строгании $V \neq \text{const}$.

2. Сечение среза (Рис.81)

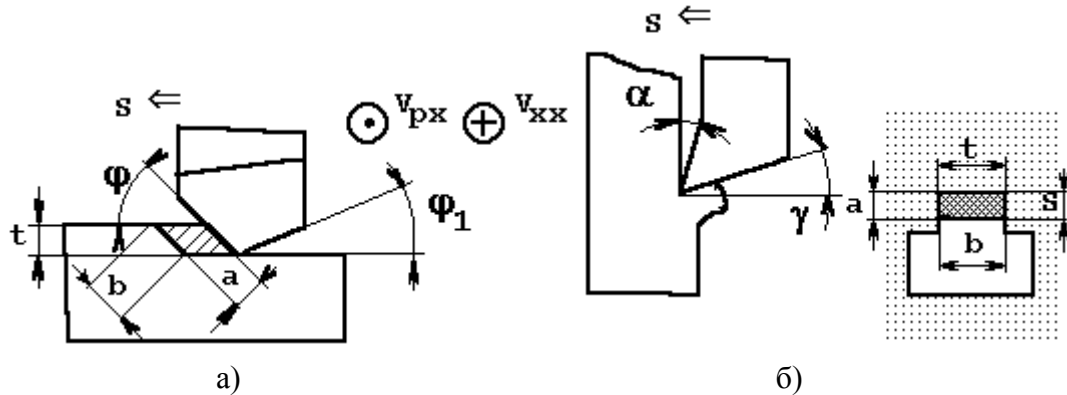


Рис.81. Элементы сечения среза при: а) строгании; б) долбления

Элементы сечения среза:

$a = S / \sin\varphi$; $b = t / \sin\varphi$; $f = a * b = S * t$. Здесь S [мм/дв. ход].

3. Выбор скорости резания при строгании и долблении

а) Скорость как элемент кинематики

$$T = T_{px} + T_{xx} = L/V_{px} + L/V_{xx} = L/V_{px} * (1 + V_{px}/V_{xx});$$

$L = b + y + x$. Здесь b - ширина детали; y - выход резца ; x - врезание .

$$V_{px} = L/T * (1 + V_{px}/V_{xx}).$$

Вводя обозначения $V_{px}/V_{xx} = m$ и $1/T = K$ (число двойных ходов в минуту), полу-

чим

$$V_{px} = \frac{K * L * (1 + m)}{1000}, \text{ м/мин.}$$

У долбежных станков $V_{px} = V_{xx}$ ($m = 1$):

$$V_{px} = \frac{2K * L}{1000}, \text{ м/мин.}$$

б) *Скорость резания, допускаемая режущими свойствами резца*

$$V_{px} = \frac{C_v}{T^{m'} * t^X * S^Y}.$$

Стойкость резца T определяется ударной нагрузкой при врезании, охлаждением его при холостом ходе. Обычно скорость резания при строгании рассчитывают по эмпирической формуле скорости для точения, уменьшенной на 25%.

4. *Особенности геометрии строгальных резцов*

Углы γ, α - как при точении.

Для укрепления державки резца увеличивают по сравнению с токарными резцами угол λ до 10 - 15°. По аналогичной причине уменьшают углы ϕ , ϕ .

5. Силы резания при строгании (Рис.82)

Расклад силы резания на составляющие аналогичен точению.

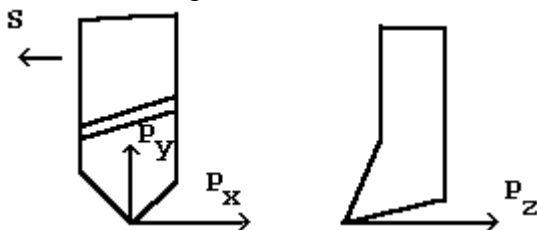


Рис.82.Составляющие силы резания при строгании

Вопросы по разделу		
1 уровень	2 уровень	3 уровень
1. В чем различия процессов строгания и долбления?	1. В чем особенности назначения режимов обработки при строгании и долблении?	

Для вопросов преподавателю

Сверление

Сверление - один из методов получения отверстий. Инструменту - сверлу - относительно заготовки сообщается вращательное движение относительно его оси с одновременной осевой подачей. В результате сочетания этих двух движений образуется цилиндрическое отверстие. Отверстие может быть получено как в цельном куске металла, так и в предварительно полученном меньшего диаметра.

В промышленности применяют сверла: спиральные, перовые, одностороннего резания, эжекторные, кольцевого сверления, а также специальные комбинированные. Сверла изготавливают из сталей 9ХС, Р6М5 и других и оснащают твердым сплавом ВК6, ВК6-М, ВК8, ВК10-М и др.

Наибольшее распространение получили спиральные сверла.

Геометрия спирального сверла

Спиральные сверла состоят из следующих основных частей: режущей, калибрующей, хвостовой и соединительной. Главные режущие кромки сверла (Рис.84) прямолинейны и наклонены к оси сверла под главным углом в плане ϕ .

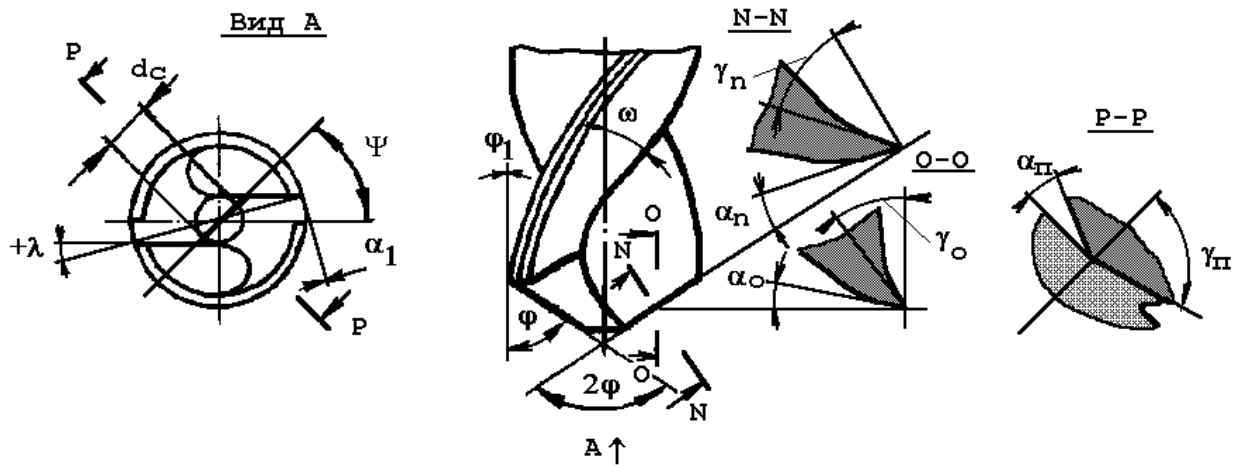


Рис.84. Геометрические параметры режущей части сверла

Режущая и калибрующая части сверла составляют ее рабочую часть, на которой образованы две винтовые канавки, создающие два зуба, обеспечивающие процесс резания. Можно сказать, что сверло образовано двумя расточными резцами, вершины которых расположены диаметрально противоположно. На рабочей части сверла имеется 5 режущих лезвий: два главных, два вспомогательных (ленточки) и перемычка (образована на стыке зубьев по торцу сверла).

Геометрия сверла в статике определяется относительно базовых координатных поверхностей (Рис.85).

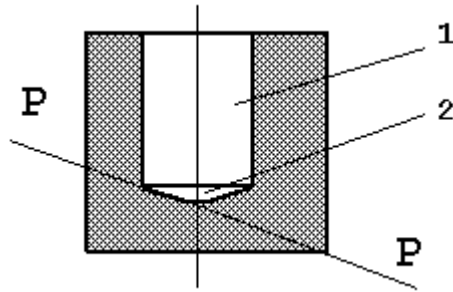


Рис.85. Координатные поверхности при сверлении: 1 - обработанная поверхность ; 2 - поверхность резания ; P-P плоскость резания

Плоскость резания P-P проходит через главное режущее лезвие касательно поверхности резания.

Основная плоскость у сверла проходит через ось сверла и вершины зубьев.

Передний угол γ в данной точке измеряется в плоскости, перпендикулярной главному режущему лезвию, так как в этой плоскости сходится стружка. Однако при сверлении условия отвода стружки вдоль режущего лезвия непостоянны, так как $\gamma \neq \text{const}$.

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{R_x \cdot \operatorname{tg} \omega}{R \cdot \sin \varphi} .$$

$\gamma = \gamma_{\min}$ при $R_x = D_{\text{пер}}/2$. $\gamma = \gamma_{\max}$ при $R_x = D_{\text{св}}/2$.

Главный задний угол α измеряется в плоскости, параллельной оси, так как угол α предназначен для уменьшения трения по главной задней поверхности. Угол α измеряется в конкретной точке лезвия как угол между касательной к главной задней поверхности и плоскостью резания.

У сверла различают также *угол при вершине 2φ* . При обработке стали угол $2\varphi = 116...120^\circ$.

Угол ω - *угол наклона винтовой канавки* - определяет прочность сверла и в обычных условиях находится в пределах $\omega < 35^\circ$. Для сталей $\omega = 25...30^\circ$.

Для заметок по делу

Изменение углов сверла в процессе резания

При сверлении, в связи с осевой подачей, изменяются действительные углы резания сверла (Рис.86).

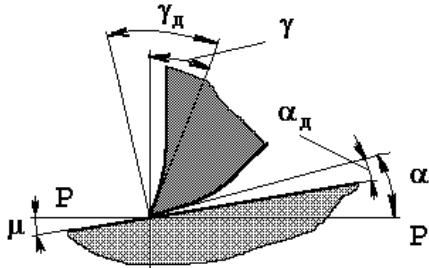


Рис.86. Углы резца в процессе резания

Действительное положение плоскости резания смещается на угол μ :

$$\operatorname{tg} \mu = S_0 / (\pi * D) .$$

На практике при $D = 10$ мм, $S_0 = 0,2$ мм/об $\mu = 0^\circ 22'$.Что можно не учитывать.

Элементы режима резания при сверлении

К элементам режима резания при сверлении относят (Рис.87):

- 1) глубину резания $t = (D - d) / 2$ или $t = D / 2$;
- 2) подачу S_0 [мм/об] ; $S_z = S_0 / 2$ [мм/зуб];
- 3) скорость резания - линейная скорость по вершинам зубьев сверла:
 $V = (\pi * D * n) / 1000$ [м/мин];

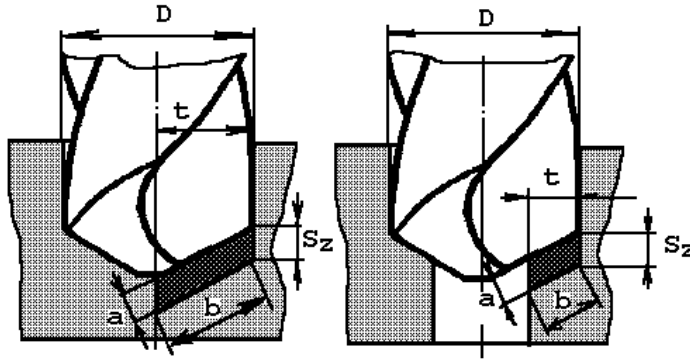


Рис.87. Элементы режима резания при сверлении

4) площадь сечения среза : $f_z = a * b$. $a = S_z * \sin\varphi$ (толщина среза);

$b = t / \sin\varphi = D / 2\sin\varphi$ (ширина среза).

$f_z = a * b = (D * S_z) / 2 = (D * S_0) / 4$; $f = 2 * f_z = (D * S_0) / 2$.

При рассверливании $f = (D - d) * S_0 / 2$.

Особенности процесса резания при сверлении:

1) процесс стружкообразования протекает в сложных условиях (тяжелые условия выхода стружки и охлаждения зоны обработки);

2) скорость резания непостоянна (максимальна у периферии), углы резания - также непостоянны ;

3) усадка стружки изменяется от максимального значения у перемычки до минимального - у вершин зубьев (из-за изменения скорости резания и передних углов).

Силы, действующие на сверло

На сверло в процессе резания действуют осевая сила P_{oc} и крутящий момент M_k (Рис.88), являющиеся результирующими факторами действия сил резания на каждое главное и вспомогательное режущее лезвие, а также перемычку:

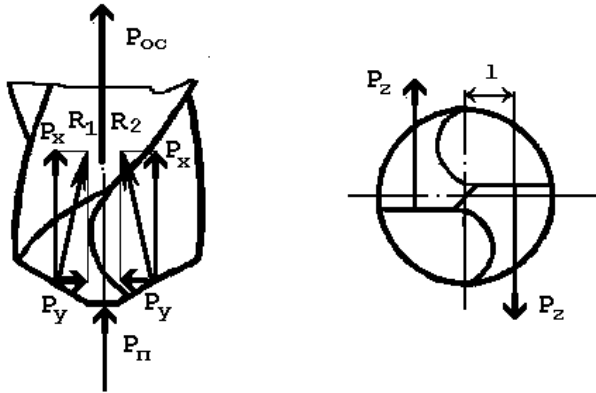


Рис.88. Схема сил, действующих на сверло

$$P_{oc} = 2 * P_x + P_{\text{п}} ;$$

$$M_k = 2 * P_z * l.$$

Факторы, влияющие на P_{oc} и M_k

1) Геометрия сверла

$\uparrow \omega \rightarrow \uparrow \gamma \rightarrow \downarrow M_k, \downarrow P_o$.

$\uparrow \varphi \rightarrow \downarrow M_k \rightarrow \uparrow P_o$.

Следует из формулы $tg\gamma = \frac{R_x * tg\omega}{R * \sin\varphi}$.

Длина перемычки $l_{п} \uparrow \rightarrow \uparrow P_o$.

2) Технологические параметры

t (или D) \uparrow , $S \uparrow$, $HB \uparrow \rightarrow \uparrow P_o, \uparrow M_k$.

Установлены эмпирические зависимости влияния различных факторов на осевую силу и крутящий момент:

$$P_{oc} = C_p * D^{X_p} * S^{Y_p} * K_p;$$

$$M_k = C_m * D^{X_m} * S^{Y_m} * K_m.$$

Для заметок по делу

Износ сверл и их стойкость

Чугун и твердые стали сильно изнашивают сверла по величине $h_y = 0,5...1,2$ мм (Рис.89).

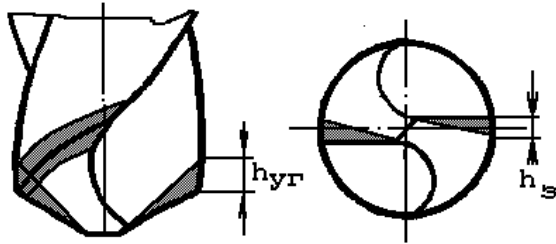


Рис.89. Участки сверла, подвергающиеся износу

При работе по вязким сталям и другим аналогичным материалам основным износом является износ $h_3 = 0,4...1,0$ мм.

Целесообразная стойкость сверла зависит от диаметра и составляет :

$$T = (1,0...2,0) * D, \text{ мин.}$$

Для увеличения стойкости и режущей способности необходима правильная заточка сверл. Сверла обычно затачивают по задней главной поверхности.

Основные *способы заточки*: по плоскости (для диаметров до 3 мм); по конусу; по цилиндру; по винтовой поверхности (Рис.90).

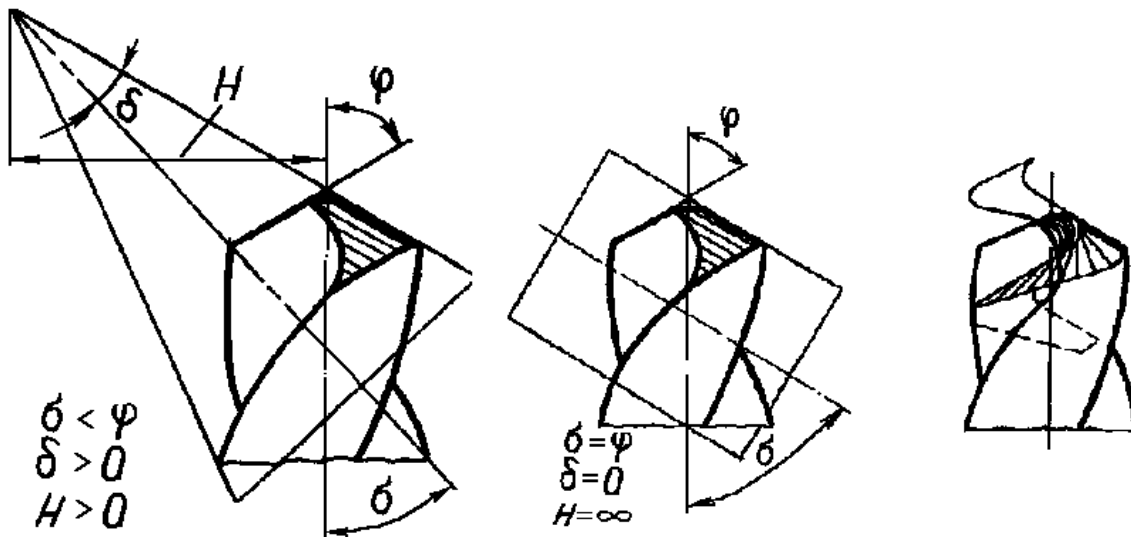


Рис.90. Способы заточки сверл

Для сверл большого диаметра находит применение двойная заточка и даже заточка с круглой режущей кромкой (Рис.91).

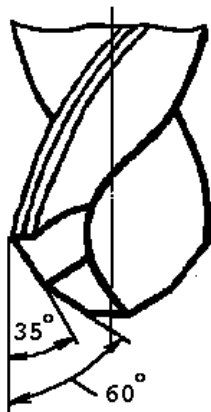


Рис.91. Двойная заточка сверла

Преимущества такой заточки: увеличение угла γ и снижение тепловыделения в зоне обработки и силы P_o .

Недостатки: увеличение M_k и усадки стружки (направления схода стружки пересекаются).

Для заметок по делу

Повышению режущей способности и стойкости сверла способствует подточка ленточки для образования положительного вспомогательного заднего угла α_1 (Рис.92), а также уменьшение размера перемычки (Рис.93).

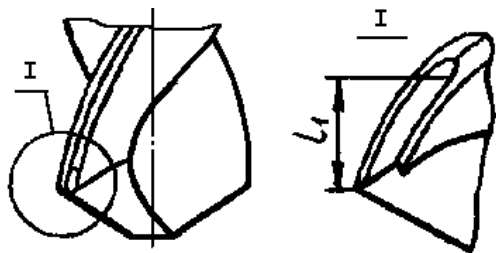


Рис.92. Подточка ленточки спирального сверла

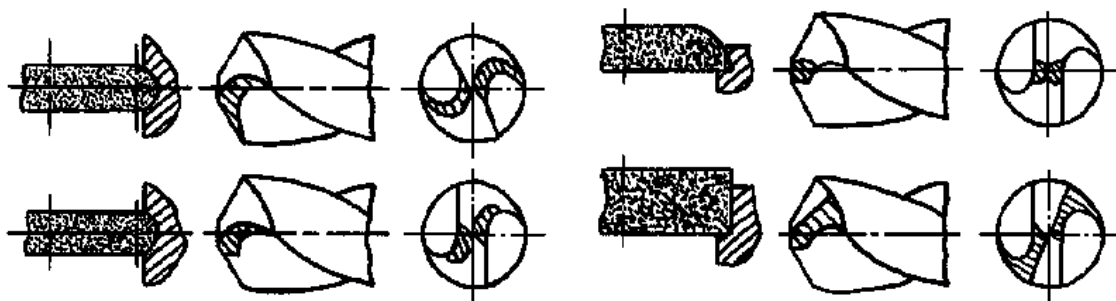


Рис.93. Способы уменьшения перемычки спирального сверла

Скорость резания при сверлении

Эмпирическая зависимость скорости резания, зависящая от режущих свойств сверла, при сверлении отверстия в цельном куске металла имеет вид:

$$V = \frac{C_v * D^{X_v}}{T^m * S^{Y_v}} * K_v ; \quad K_v = K_m * K_{и} * K_{ф} * K_{сож} * K_{изн} \dots$$

В формуле отсутствует значение глубины резания, ее заменяет диаметр D сверления.

Значения показателей степеней и коэффициентов приведены в соответствующей справочной литературе [4] и др.

Методика назначения режимов резания при сверлении

1. Назначение глубины резания : $t = D/2$ или $t = (D-d)/2$.

2. Определение подачи S

Так как сверление является черновым видом обработки, то выбор подачи производят из условия прочности механизма подачи станка:

$$P_o = C_p * D^{X_p} * S^{Y_p} * K_p < [P] \quad S = \dots$$

или

$$M_k = C_M * D^{X_M} * S^{Y_M} * K_M < [M] \quad S = \dots$$

Значения [P], [M] берут из паспорта станка. Из двух вычисленных значений подач выбирают наименьшее и округляют его до ближайшего меньшего значения по паспорту станка.

3. Расчет скорости резания, допускаемой режущими свойствами сверла:

$$V = \frac{C_v * D^{X_v}}{T^m * S^{Y_v}} * K_v ;$$

4. Определение частоты вращения шпинделя станка:

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * D} \Rightarrow n_d \text{ (по паспорту станка выбирают ближайшее меньшее значение).}$$

5. Уточнение скорости резания:

$$V_d = (\pi * D * n_d) / 1000$$

6. Проверка станка по мощности, затрачиваемой на резание:

$$N_p < N_M.$$

$$N_p = \frac{M * n}{9750} \text{ (кВт)} ; N_m = N_p / \eta \text{ (кВт)}.$$

Здесь

N_m - мощность мотора;

η - коэффициент полезного действия.

7. Основное (машинное) время

$$T_o = \frac{L}{n * 2S_z} , \quad L = l_{\text{врез}} + l_{\text{дет}} + l_{\text{вых}} = l_{\text{дет}} + 0,3D.$$

Здесь

L - длина пути, проходимая сверлом;

$l_{\text{врез}}$ - врезание сверла;

$l_{\text{дет}}$ - длина обрабатываемого участка ;

$l_{\text{вых}}$ - выход сверла.

Для заметок по делу

Вопросы по разделу		
1 уровень	2 уровень	3 уровень
1. Сущность процесса сверления	1. Как изменяется передний угол сверла по длине главного режущего лезвия?	1. Как работает кольцевое сверло?
2. Виды сверл	2. Какие силовые факторы и как учитываются при сверлении?	2. Какое значение имеет угол наклона главного режущего лезвия у спирального сверла?
3. Геометрия спирального сверла в статике	3. Износ и стойкость сверл, пути их повышения	3. Какой способ заточки учитывает кинематику процесса сверления?
4. Элементы режимов резания при сверлении	4. От чего зависит выбор скорости резания при сверлении?	4. Обоснуйте эффективность двойной заточки сверла
5. Как затачивают сверло?		
6. Порядок назначения режимов резания при сверлении		

Фрезерование

При фрезеровании главным движением является вращательное движение инструмента - фрезы. Движение подачи сообщается заготовке.

Различают два основных вида фрезерования (Рис.94): а)-цилиндрическое; б)-торцевое.

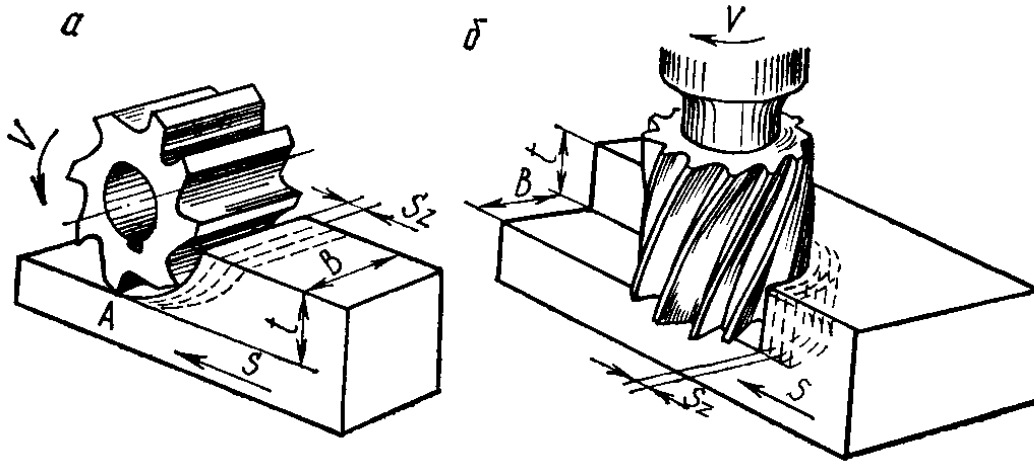


Рис.94. Основные схемы фрезерования

Геометрия цилиндрической фрезы

Цилиндрическая фреза (Рис.95) представляет собой многолезвийный инструмент, на цилиндрической поверхности которого в продольном направлении прорезаны канавки для размещения стружки. Пересечение канавки с цилиндрической поверхностью образует режущие кромки. Для более плавной работы фрезы и для увеличения числа одновременно работающих зубьев стружечные канавки делают винтовыми.

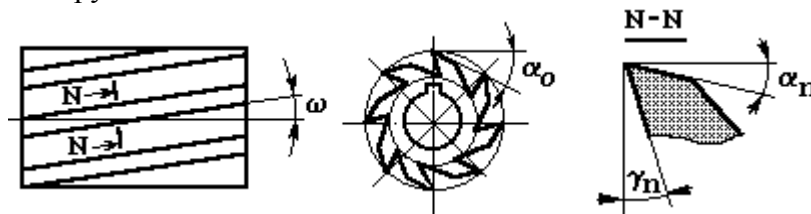


Рис.95. Геометрические параметры режущей части цилиндрической фрезы

Цилиндрическая фреза работает в условиях свободного резания, на каждом ее зубе имеется одна режущая кромка.

Для заметок по делу

Часть стружечной канавки у режущей кромки является передней поверхностью, а поверхность, примыкающая к цилиндру - задней. Зуб фрезы может быть остроконечным или затылованным (Рис.96).

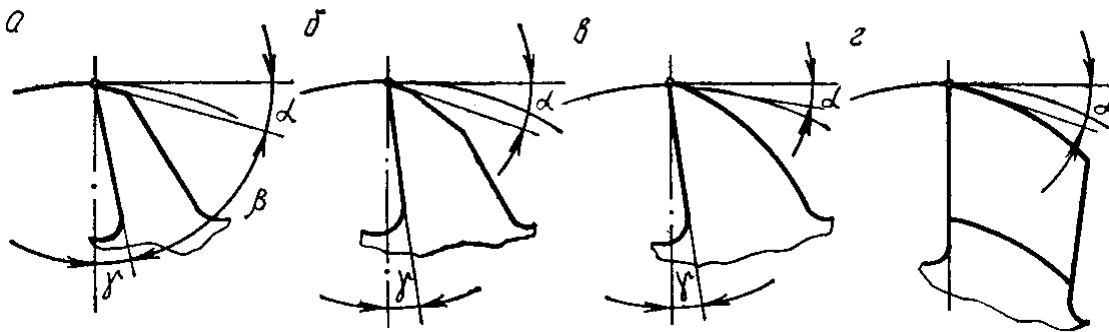


Рис.96. Формы зубьев фрезы: а,б,в - остроконечная; г -затылованная

Острозаточенные зубья перетачивают по задней поверхности (Рис.97,а). Затылованные - по передней (Рис.97,б).

Для вопроса

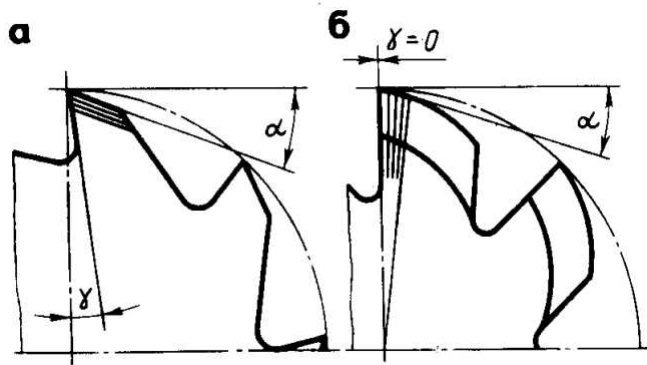


Рис.97. Схемы заточки зубьев фрез

Главный передний угол γ - угол между передней поверхностью и основной плоскостью, проходящей через ось фрезы и рассматриваемую точку режущей кромки. Этот угол обеспечивает сход стружки по передней поверхности и измеряется в плоскости, перпендикулярной режущей кромке.

Главный задний угол α - угол между касательной к задней поверхности фрезы и плоскостью резания.

Если фреза с винтовыми зубьями, то угол их наклона к оси фрезы называют *углом наклона винтовой канавки ω* .

Для заметок по делу

Геометрические параметры торцевой фрезы

У торцевой фрезы зубья подобны проходным резцам. В резании, кроме главной, участвует вспомогательная режущая кромка. Зуб фрезы имеет углы в плане φ , φ_1 , (Рис.98).

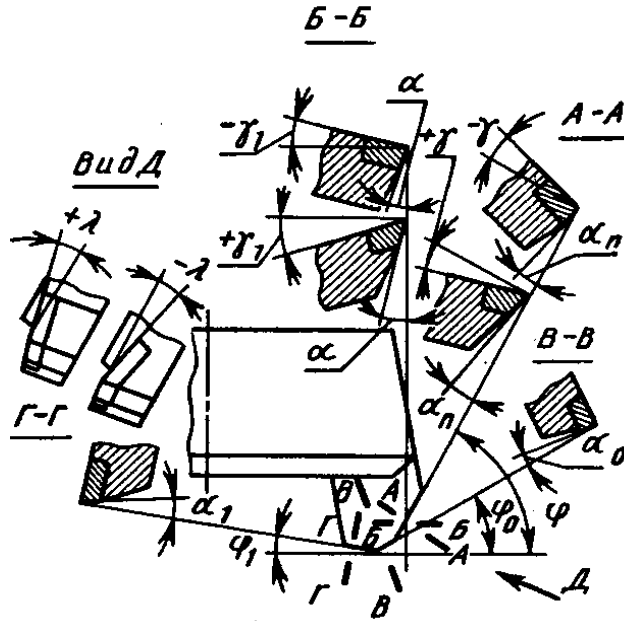


Рис.98. Геометрические параметры торцевой фрезы

Главный угол в плане φ - угол между плоскостью резания и рабочей плоскостью.

Вспомогательный угол в плане φ_1 - угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и рабочей плоскостью. Иногда для упрочнения затачивают переходную режущую кромку под углом $\varphi_0 = \varphi / 2$.

Главный передний угол γ измеряется в плоскости, перпендикулярной главной режущей кромке (сечение А-А). Это угол между касательной к передней поверхности зуба и основной плоскостью.

Угол между касательной к передней поверхности зуба и основной плоскостью.

Главный задний угол α измеряется в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы (сечение Б-Б) и находится между касательной к задней поверхности зуба и плоскостью резания.

Элементы режима резания при фрезеровании

1) *Кинематическая скорость резания* - максимальная линейная скорость рабочей части фрезы.

$$V = \pi * D_{\text{ф}} * n / 1000 \text{ [м /мин]}.$$

2) *Подача* - величина перемещения заготовки относительно фрезы.

По направлению : горизонтальная и вертикальная.

По виду : подача на зуб - S_z [мм/зуб];

подача на оборот - S_o [мм/об];

минутная подача - S_m [мм/мин].

Взаимосвязь различных по виду подач:

$S_o = S_z * Z$; $S_m = S_z * Z * n$. Здесь Z - число зубьев фрезы; n - частота вращения фрезы.

3) *Глубина резания t* - кратчайшее расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями (Рис.99).

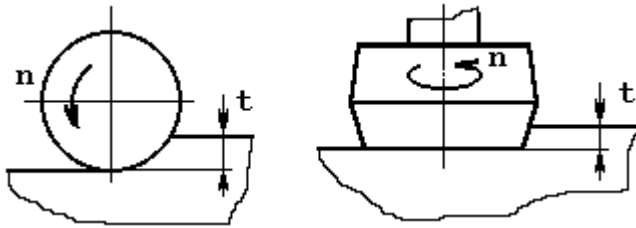


Рис.99. К определению глубины резания

4) *Ширина фрезерования B* - ширина обрабатываемой поверхности в направлении, параллельном оси цилиндрической фрезы и перпендикулярном торцевой фрезы(Рис.100).

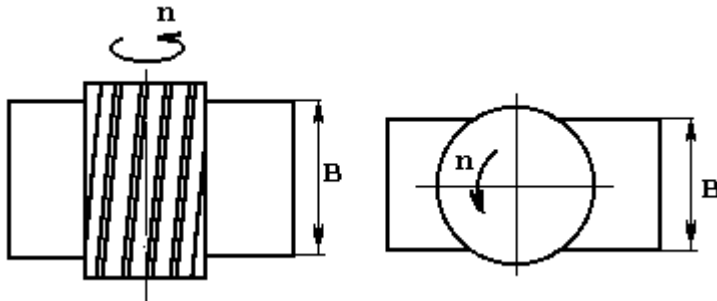
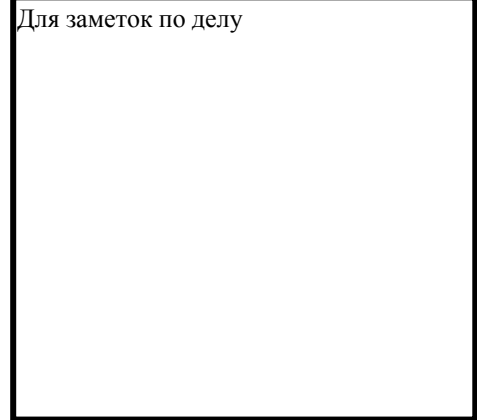


Рис.100. К определению ширины фрезерования



5) Сечение срезаемого слоя

К элементам сечения срезаемого слоя относят: ширину среза - b , толщину среза - a , площадь сечения среза - f .

В каждый момент времени на работающий зуб фрезы действует срезаемый слой металла заготовки, имеющий площадь сечения f .

При фрезеровании цилиндрической прямозубой фрезой ширина среза является постоянной величиной, равной ширине фрезерования ($b=B$). В то же время, толщина среза изменяется в пределах $0 < a < a_{\max}$ (Рис.101) и зависит от величины подачи на зуб S_z и мгновенного угла контакта ψ : $a = S_z \cdot \sin \psi$.

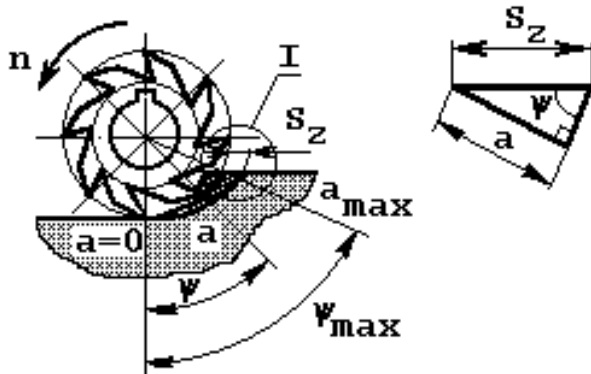


Рис.101.Схема определения толщины срезаемого слоя при фрезеровании

Для заметок по делу

Значит и площадь сечения среза по мере продвижения зуба фрезы по дуге контакта также является переменной величиной : $f = ab = (S_z * \sin\psi) * B$.

$$F = B * S_z * (\sin\psi_1 + \sin\psi_2 + \dots);$$

n

$$F = B * S_z * \sum_{i=1}^n \sin\psi_i ,$$

где

n - число зубьев в зоне контакта.

Отсюда следует, что при фрезеровании всегда должны наблюдаться пульсирующие нагрузки и вибрации, ухудшающие качество обработки.

Условия равномерности фрезерования

Оценка производится по коэффициенту равномерности фрезерования C'' .

а) При фрезеровании прямозубой цилиндрической фрезой пульсации, передаваемые на станок , могут быть существенно снижены, если в зоне контакта фрезы с заготовкой постоянно находится два или более зубьев (Рис.102).

$$\text{Коэффициент равномерности } C'' = \psi_{\max} / \theta > 2 .$$

$$\cos\psi_{\max} = (R - t) / R = 1 - t / R ; \quad \theta = 360 / z .$$

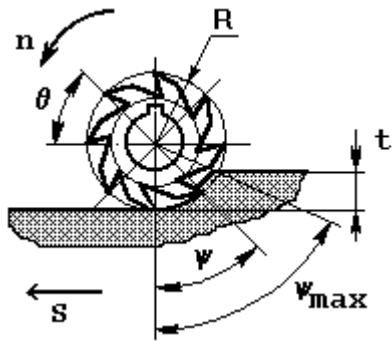


Рис.102. Схема определения условий равномерного фрезерования прямозубой цилиндрической фрезой

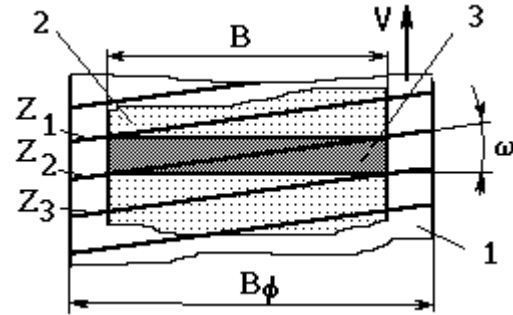


Рис.103. Схема расположения винтового зуба фрезы в зоне контакта

б) При фрезеровании цилиндрической фрезой с винтовым зубом (Рис.103) условием равномерности является постоянство суммарной площади среза всех зубьев, находящихся в зоне контакта. В этом случае коэффициент равномерности :

$$C'' = B / t = \text{Целое число.}$$

Здесь B - ширина фрезерования;

t - осевой шаг фрезы, зависящий от угла подъема винтовой канавки ($t = \pi * D_{фр} / Z \operatorname{tg}\omega$).

$$C'' = B * Z * \operatorname{tg}\omega / D_{фр} .$$

Встречное и попутное фрезерование

Фрезерование считается встречным, когда вращение фрезы в зоне контакта с заготовкой направлено навстречу подаче (Рис.104,а). Если вращение фрезы и подача направлены в одну сторону, то фрезерование считают попутным (Рис.104,б).

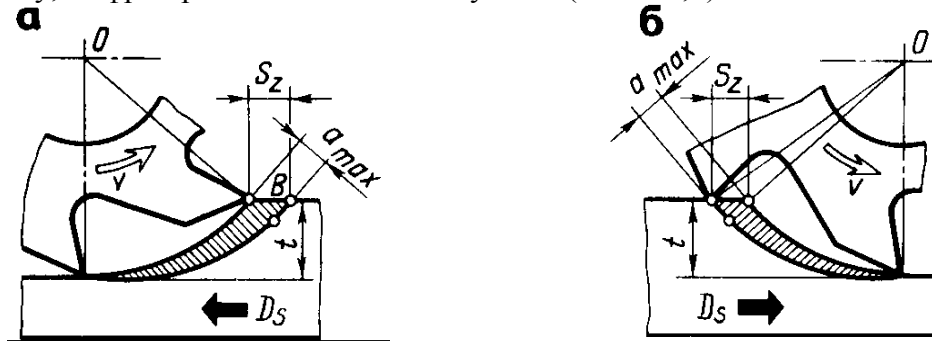


Рис.104. Схемы фрезерования: а) встречное; б) попутное

Встречное фрезерование

Достоинства: - нагрузка на зуб увеличивается постепенно;

- возможность эффективной обработки деталей, содержащих корку;
- отсутствует зазор между винтом и гайкой привода подачи станка.

Недостатки: - возможен отрыв детали от поверхности стола станка ;

- повышенная шероховатость обработки;
- повышенный наклеп обработанной поверхности.

Попутное фрезерование

Достоинства: - заготовка в процессе работы прижимается к поверхности стола станка;

- улучшение шероховатости обработки.

Недостатки: - повышенный износ винтовой пары привода подачи станка из-за возможного разрыва контакта между винтом и гайкой.

Силы резания при фрезеровании

Природа возникновения сил резания при фрезеровании аналогична рассмотренной в разделе точения. Особенностью же является то, что процесс резания протекает с пульсирующими нагрузками, частота которых определяется не только частотой вращения , но и

зависит от числа зубьев фрезы. Силы резания учитывают при выборе или расчете рабочих механизмов станка, приспособлений для зажима заготовок, оправок для крепления фрез.

Как и при точении, суммарную силу резания при фрезеровании не удастся определить из-за того, что неизвестно ее направление. Поэтому находят применение тот же принцип разложения этой силы на составляющие по осям координат (Рис.105). Обычно разложение осуществляют в двух координатных системах : относительно заготовки (ОНУ) и относительно фрезы (XYZ) .

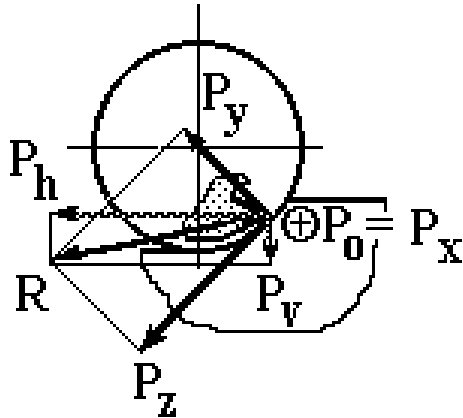


Рис.105. Разложение силы резания при фрезеровании:

- P_z - окружная составляющая;
- P_y - радиальная составляющая;
- P_x - осевая составляющая;
- P_o - поперечная составляющая;
- P_h - горизонтальная составляющая;
- P_v - вертикальная составляющая;
- R - равнодействующая сила.

По силе P_z производят расчет привода главного движения станка. Сила P_h учитывается при расчете механизма подачи и сечения оправки фрезы. Составляющая сила P_y - при расчете оправки на жесткость.

При фрезеровании цилиндрической фрезой обычно

$$P_h = (1 \dots 1,1) P_z ; P_y = (0,6 \dots 0,8) P_z ; P_v = (0,3 \dots 0,4) P_z .$$

Факторы, влияющие на силы резания при фрезеровании

Сила P_z

1. Диаметр фрезы (Рис.106)

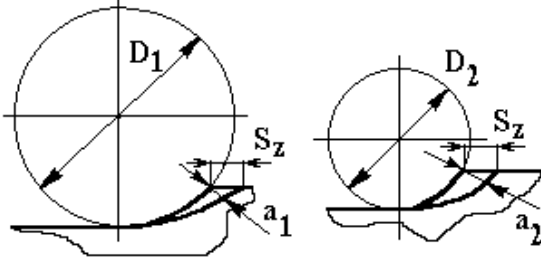


Рис.106. Влияние диаметра фрезы

$$D_{\text{фр}} \uparrow \rightarrow a \downarrow \rightarrow P_z \downarrow \quad (Z = \text{const}).$$

2. Число зубьев фрезы

$$\uparrow Z \rightarrow \uparrow P_z$$

3. Глубина резания, подача, ширина фрезерования

$$\uparrow t, S_z, B \rightarrow \uparrow P_z$$

Эмпирическая зависимость, учитывающая влияние различных факторов:

$$P_z = \frac{C_{Pz} * B * Z * S_z * t}{D_{фр} * n} * K_{Pz} .$$

Силы P_o , P_x

Эти составляющие появляются за счет наклона зуба к оси фрезы. У шевронных фрез осевая составляющая компенсируется , так как наклон левой и правой половин противоположен (Рис.107).

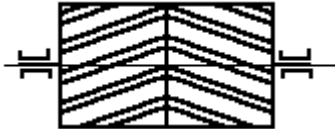


Рис.107. Схема шевронной фрезы

Для заметок по делу

Износ и стойкость фрез

Основным износом фрезы считают износ по главной задней поверхности

(Рис.108).

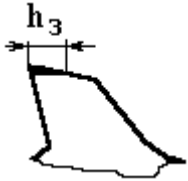


Рис.108. Схема износа зуба фрезы

Критерии износа: при черновой обработке $h_3 = 0,4...0,6$ мм;
при получистовой - $h_3 = 0,15...0,25$ мм;
при чистовой - технологические критерии - соответствие требуемой точности и шероховатости.

В связи с высокой стоимостью переточек экономически целесообразной является стойкость фрез $T = 120...200$ мин. При этом большие значения принимают для фасонных и червячных фрез.

Для заметок по делу

Скорость резания, допускаемая режущими свойствами фрез

По аналогии с точением установлена эмпирическая зависимость скорости резания от стойкости и других конструктивных параметров фрез и режимов обработки:

$$V = \frac{C_v * D^q * \omega^k}{T^m * S^{Y_v} * t^{X_v} * B^n * Z^f} K_v ,$$

где

D, ω, T, S, B, Z - установленные ранее параметры фрезы и элементы режимов резания;

C_v - эмпирический коэффициент;

$k, m, y, x, n, f, ,$ - показатели степеней ;

K_v - коэффициент, учитывающий влияние конкретных условий обработки .

1) $\uparrow D \rightarrow \uparrow V$ (Увеличивается теплоотвод, снижаются силы резания, улучшается самоохладение).

2) $\uparrow \omega \rightarrow \uparrow V$ (Улучшается стружкообразование за счет увеличения переднего угла γ).

3) $\uparrow Z \rightarrow \downarrow V$ (Уменьшается объем стружечной канавки, ухудшается теплоотвод).

Для заметок по делу

Порядок назначения режимов резания при фрезеровании

1. Определение характеристик обрабатываемой детали (материал, величина припуска, размеры, качественные показатели).
2. Определение характеристики фрезы (тип, материал, геометрические параметры).
3. Определение характеристики фрезерного станка (мощность, величины подач, частоты вращения шпинделя).
4. Определение ширины фрезерования В.
5. Определение глубины резания t (в зависимости от жесткости системы СПИД и величины припуска h). В первом приближении принимают: при черновой обработке $t = h$; при получистовой обработке $t_1 = 0,75 h$ и $t_2 = 0,25 h$; при чистовой $t = h$.
6. Расчет подачи на зуб S_z (производят из условий требуемой шероховатости и точности обработки, прочности зуба фрезы, оправки, механизмов коробки подачи, жесткости системы СПИД).
7. Назначение стойкости фрезы Т.
8. Расчет скорости резания, допускаемой режущими свойствами фрезы, V (см. выше).
9. Расчет частоты вращения шпинделя станка

$$n = \frac{1000V}{\pi * D_{\phi}} .$$

10. Округление полученного значения n до ближайшего (меньшего) значения по паспорту станка: $n \rightarrow n_{\phi}^{\text{д}}$.

11. Определение фактической скорости резания

$$V = \frac{\pi * D_{\phi} * n_{\phi}^{\text{д}}}{1000} .$$

12. Расчет минутной подачи

$$S_{\text{м}} = S_{\text{z}} * Z * n_{\phi}^{\text{д}} .$$

13. Округление полученного значения $S_{\text{м}}$ до ближайшего (меньшего) значения по паспорту станка: $S_{\text{м}} \rightarrow S_{\text{м}}^{\text{д}}$.

14. Расчет действительной подачи на зуб

$$S_{\text{z}}^{\text{д}} = \frac{S_{\text{м}}^{\text{д}}}{Z * n_{\phi}^{\text{д}}} .$$

15. Расчет окружной составляющей силы резания P_{z} (см.выше).

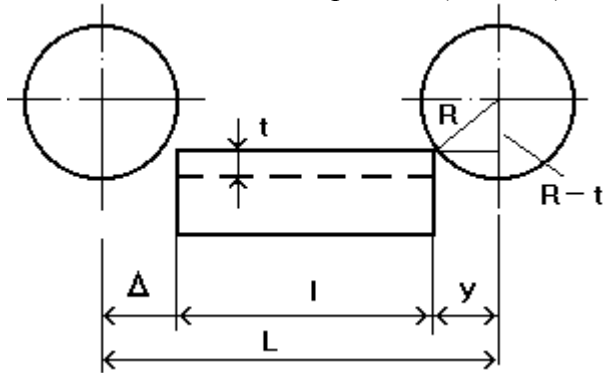
16. Расчет мощности, затрачиваемой на резание, и проверка станка по мощности

$$N_{\text{p}} \leq [N]_{\text{шт}}; \quad \frac{V * P_{\text{z}}}{1020 * 60} \leq N_{\text{д}} * \eta .$$

17. Расчет горизонтальной составляющей силы резания P_h и проверка прочности механизмов коробки продольных подач

$$P_h \leq [P]_{\text{под}}$$

18. Расчет машинного времени (Рис.109)



L

$$T_m = \frac{L}{S_z * Z * n_{\phi}^d},$$

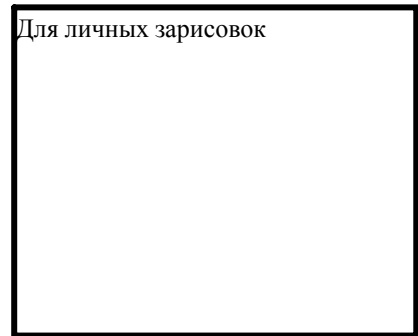
где

$L = l + \Delta + y$ - путь, пройденный фрезой.

Здесь l - длина обрабатываемого участка заготовки,

Рис.109. Расчетная схема для определения машинного времени при цилиндрическом фрезеровании

Для личных зарисовок



$y = \sqrt{R^2 - (R - t)^2}$ - величина врезания,

$\Delta = 1...5$ мм - перебег

Особенности торцевого фрезерования:

- 1) при торцевом фрезеровании плоскость фрезерования перпендикулярна оси фрезы;
- 2) одновременно осуществляется встречное и попутное фрезерование;
- 3) основное резание осуществляют боковые зубья фрезы, торцевые зубья - зачищают оставшиеся неровности;
- 4) угол контакта ψ торцевой фрезы с заготовкой значительно превышает аналогичный угол контакта цилиндрической ($Z \uparrow$, длина контакта \uparrow);
- 5) крепление торцевой фрезы является более жестким, а это улучшает точность и снижает шероховатость обработки.

Для заметок по делу и вопросов

I.Схема торцевого симметричного фрезерования (Рис.110)

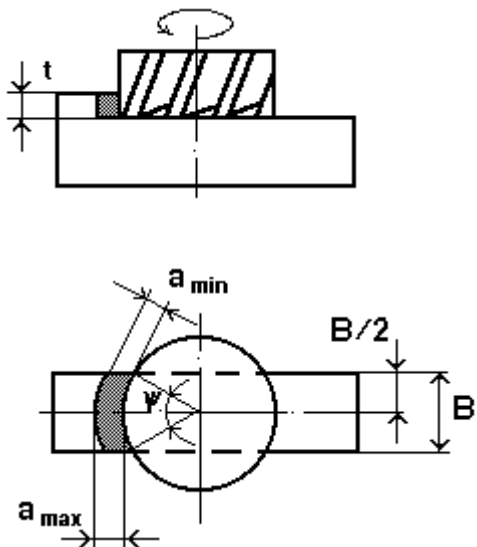


Рис.110. Фрезерование торцевой фрезой

При фрезеровании по этой схеме ось фрезы пересекает ось заготовки. Поэтому путь, пройденный зубом фрезы в попутном направлении, равен его пути в направлении встречного фрезерования.

Зуб торцевой фрезы начинает срезать металл при $a > 0$, что приводит к уменьшению наклепа, повышению стойкости фрезы.

Площадь срезаемого слоя по всей длине дуги контакта изменяется в незначительных пределах ($f \sim \text{const}$), что приводит к более плавной работе, чем при цилиндрическом фрезеровании.

Данная схема применяется довольно редко.

Для коварного вопроса

II. Схема несимметричного торцевого фрезерования (Рис.111)

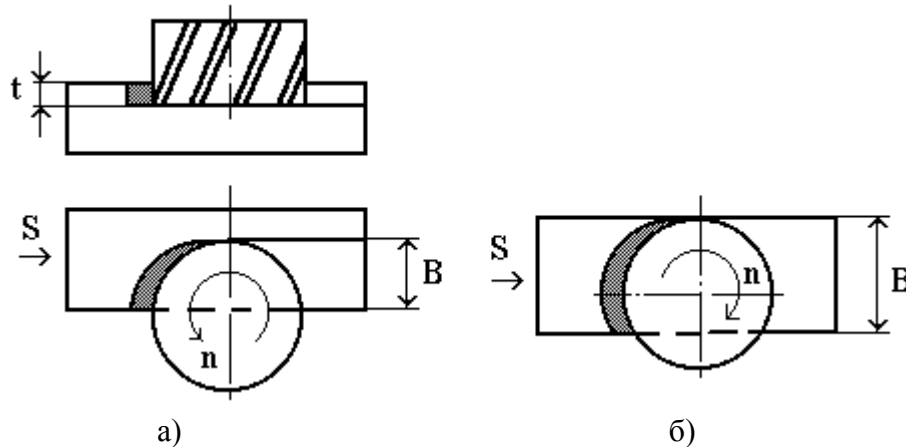


Рис.111. Схема фрезерования торцевой фрезой преимущественно:

а) встречного; б) попутного

При несимметричной схеме фрезерования можно изменять долю встречного или попутного фрезерования на дуге контакта фрезы с заготовкой в широких пределах: от только встречного до попутного. Это позволяет расширить технологические возможности обработки, используя более разнообразный инструмент и оборудование.

При несимметричной схеме толщина стружки не является стабильной, а сечение среза $f \neq \text{const}$. Эта схема - более универсальна и находит широкое применение .

Вопросы по разделу		
1 уровень	2 уровень	3 уровень
1. Сущность процесса фрезерования	1. Что общего и какие различия в определении главных углов резца и фрезы?	1. Обоснуйте преимуществ многозубого инструмента
2. Виды фрез	2. Изобразите схему сечения среза при цилиндрическом фрезеровании	2. Почему в этом случае широко применяют обычные резцы?
3. Особенности геометрии цилиндрической и торцевой фрез	3. Как влияет встречная и попутная схемы фрезерования на станок ?	3. Преимущества и недостатки фрез с остроконечным и затылованным зубом
4. Элементы режимов резания при фрезеровании	4. Как влияют геометрические и технологические факторы на силы резания при фрезеровании?	4. Предложите конструкцию фрезы (не шевронную), в которой компенсирована осевая составляющая силы резания

Вопросы по разделу (продолжение)		
1 уровень	2 уровень	3 уровень
5. В каком случае фрезерование считается равномерным?	5. Какие факторы влияют на выбор скорости резания при фрезеровании?	
6. Встречное и попутное фрезерование	6. Из каких соображений и на каком этапе назначают минутную подачу при расчете режимов фрезерования?	
7. Как изнашиваются и затачиваются фрезы?	7. Преимущества и недостатки несимметричной схемы торцевого фрезерования?	
8. Порядок назначения режимов резания при фрезеровании		
9. Особенности торцевого фрезерования		

Для сложного вопроса соседу по парте

Резьбонарезание

- 1) *Виды резьб*: крепёжные и ходовые;
метрические и дюймовые;
левые и правые;
одно- и многозаходные;
внутренние и наружные.

2) *Способ формирования резьбовой поверхности*

Резьбовая поверхность образуется при согласовании вращательного и поступательного движений инструмента и заготовки. Профиль резьбы обычно обеспечивается профилем инструмента.

3) *Инструменты для нарезания резьбы*

Для наружной резьбы: резцы, гребенки, плашки, винторезные головки, фрезы, скоростные головки...

Для внутренней резьбы: резцы, метчики...

Схемы нарезания резьбы стержневыми резцами

I. Профильная схема (Рис. 112)

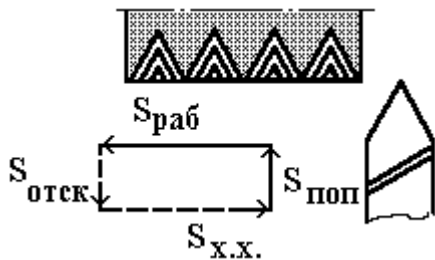


Рис.112. Схема образования профильной резьбы

Преимущества: высокая точность и низкая шероховатость резьбы.

Недостатки: неравномерный износ резца.

II. Генераторная схема (Рис.113)

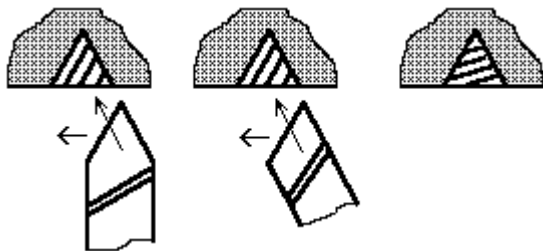


Рис.113.Схема образования генераторной резьбы

Преимущества: высокая производительность получения резьбы, простота заточки резца

Недостатки: пониженная точность и высокая шероховатость резьбы.

III. Смешенная (профильно-генераторная) схема (Рис.114)



Рис.114. Схема образования резьбы по смешенной схеме

Схема получила наибольшее распространение из-за сочетания преимуществ профильной и генераторной схем. Реализуется большинством современного резбонарезного инструмента.

Методика назначения режима резания при нарезании резьбы резцом

Предварительно необходимо знать:

- 1) материал детали и параметры резьбы;
- 2) материал инструмента;
- 3) паспортные данные станка.

Порядок назначения режимов:

1. Выбор числа проходов ($i \rightarrow t$);
2. Выбор экономически целесообразной стойкости и расчет скорости резания :

$$V = \frac{C_v}{T^m * S^{Y_v} * i^n} * K_v, \text{ м/мин},$$

где

S - шаг резьбы;

i - число проходов.

3. Определение частоты вращения шпинделя

$$n = \frac{1000V}{D} \Rightarrow n_d .$$

Для заметок по делу

Износ и стойкость стержневых резцов

Наибольший износ - по задней поверхности у вершины резца.

Величина износа - в пределах $h_z = 0,3...2,0$ мм (в зависимости от марки инструментального материала и точности резьбы).

Основной критерий - технологический - точность и шероховатость обработки.

Преимущества нарезания резьбы стержневыми резцами:

простота изготовления инструмента;

высокая точность и низкая шероховатость ;

широкое распространение токарно-винторезных станков.

Недостатки:

малая производительность;

сложность установки резца.

Нарезание резьбы резьбовыми гребенками

Резьбовая гребенка представляет собой ряд связанных между собой последовательно расположенных стержневых резцов, срезанных в заборной части под углом φ (Рис.115). На заборной и калибрующей частях стараются обеспечить главный задний угол $\alpha > 0$.

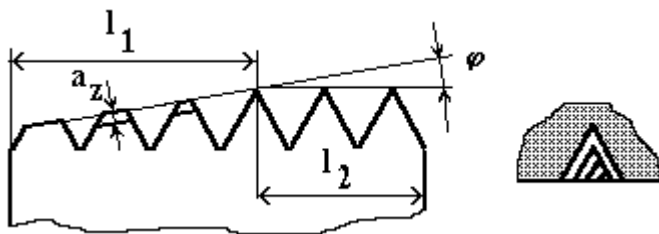


Рис.115.Профиль гребенки и схема образования резьбы

Резьбовые гребенки обеспечивают нарезание резьбы по профильно- генераторной схеме .

Преимущества: повышение производительности обработки.

Недостатки: 1) сложность; 2) низкая точность; 3) необходим выход для гребенки.

Нарезание резьбы плашками

Плашка представляет собой гайку с просверленными отверстиями для выхода стружки (Рис.116).

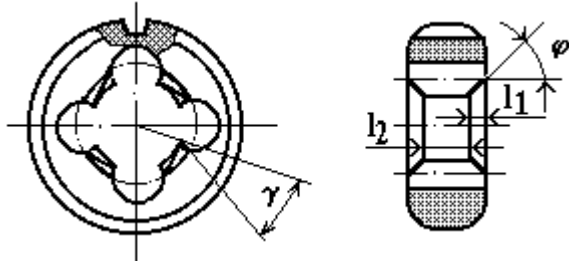


Рис.116. Геометрические параметры плашки

Плашка имеет заборную l_1 и калибрующую l_2 части. На заборной части угол $\alpha > 0$. На калибрующей - $\alpha = 0$.

Преимущества: высокая точность и простота получения резьбы.

Недостатки: 1) невозможность изменить диаметр нарезаемой резьбы; 2) сложность переточки; 3) низкая производительность.

Нарезание резьбы винторезными головками

Винторезные головки представляют собой набор параллельно расположенных резьбовых гребенок, установленных с возможностью одновременного сближения и отвода (Рис.117).

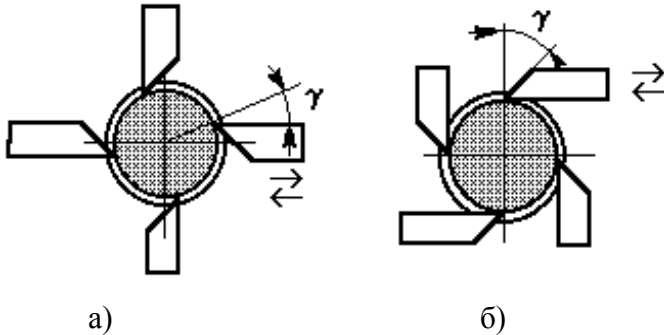


Рис.117.Схемы получения резьбы винторезными головками

Подача резцов может быть: а) радиальной ;
б) тангенсальной.

Преимущества: 1) вставные резцы допускают шлифование по профилю (повышается точность); 2) при обратном ходе головка не соприкасается с резьбой; 3) возможность регулирования диаметрального размера; 4) допускается большое количество переточек; 5) высокая производительность (ускоренный обратный ход).

Скоростное нарезание резьбы вращающимися головками (вихревой способ, Рис.118)

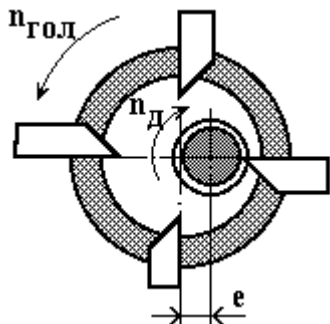


Рис.118. Схема образования резьбы вихревым способом

Нарезание резьбы протекает при согласовании вращательного движения резов головки (главного движения резания) и заготовки с продольным движением подачи ее относительно заготовки.

Обработка по схеме вихревого резбонарезания допускает скорости резания до $V = 500$ м/мин и наиболее эффективна при нарезании

длинных резьб.

Нарезание внутренней резьбы метчиками

Метчик представляет собой резбонарезной инструмент по форме напоминающий винт, вдоль оси которого прорезаны канавки для размещения стружки.

Заборная часть метчика имеет затылование по спирали Архимеда для образования главного заднего угла $\alpha > 0$. Калибрующая часть обычно имеет обратный конус для уменьшения трения и заклинивания метчика при обработке (Рис.119).

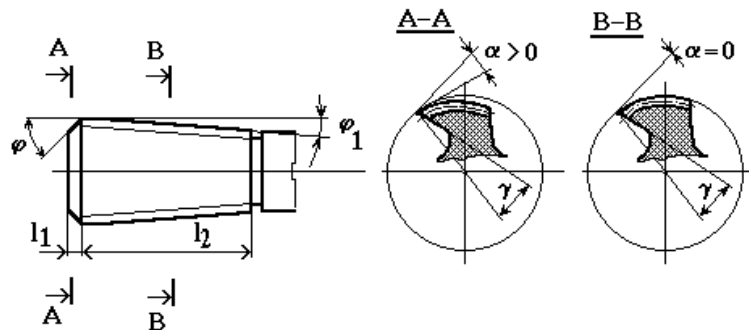
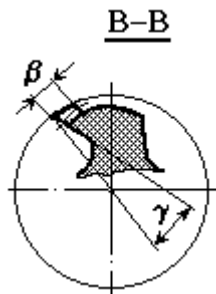


Рис.119. Геометрические параметры режущего метчика



Иногда вместо обратного конуса уменьшают ширину зуба " β " на калибрующей части (Рис.120).

Рис.120. Разновидность зуба калибрующей части режущего метчика

Находят применение метчики, работающие по методу пластического деформирования (выдавливания или накатывания) разьбы.

Для заметок по делу

Вопросы по разделу		
1 уровень	2 уровень	3 уровень
1. Схемы нарезания резьбы резцами	1. Особенности геометрии плашки и метчика	1. В чем достоинства и недостатки получения резьбы методом пластического выдавливания
2. Особенности методики назначения режимов резьбонарезания резцом	2. Преимущества вихревого способа нарезания резьбы	2. Предложите иной способ получения наружной и внутренней резьб
3. Схемы нарезания резьбы гребенками, плашками и винторезными головками		
4. Нарезание резьбы метчиками		

Для интересного вопроса преподавателю

Шлифование

Шлифование - процесс отделочной обработки с применением абразивных инструментов (кругов). При шлифовании кругу сообщается быстрое вращательное движение - главное движение резания. Заготовке - медленное - движение подачи.

Абразивный круг в своем составе (Рис.121) имеет абразивные зерна 1, обладающие высокой твердостью и режущей способностью. Зерна в круге скреплены между собой связкой 2. Кроме связки в состав круга входят поры 3.



Рис.121. Строение шлифовального круга

Для вопроса по делу

Абразивные зерна при воздействии на заготовку удаляют с нее тонкие стружки, напоминающие по форме стружку, полученную после фрезерования (Рис.122,а).

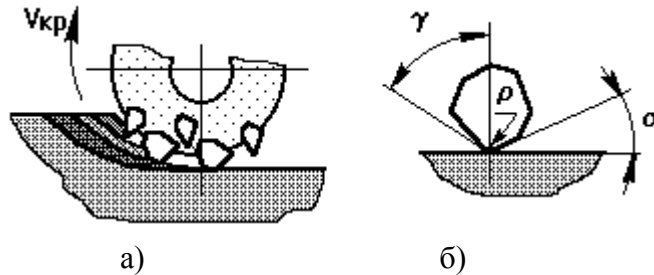


Рис.122. Стружкообразование при шлифовании: а) - схема срезания припуска при шлифовании; б) - особенности геометрии абразивного зерна

Особенность процесса шлифования : отрицательные передние углы абразивных зерен; наличие радиусного участка на рабочей части каждого зерна (Рис. б), что обеспечивает им проскальзывание при контакте с заготовкой и резко повышает температуру в зоне резания ($t = 1000-1500^{\circ}C$).

Для заметки по делу

Шлифование - массовое микроцарапание обрабатываемой заготовки абразивными зернами.

В отличие от лезвийной обработки :

- 1) шлифовальный круг имеет прерывистую режущую кромку;
- 2) зерна имеют произвольное расположение;
- 3) шлифовальный круг самозатачивается (притупленные зерна скалываются, выкрашиваются);
- 4) из-за малой толщины срезаемого слоя и радиуса скругления вершины зерна в начальный момент происходит не резание, а скобление поверхности детали с выделением высокой температуры.
- 5) снятие стружки происходит за короткий промежуток времени.

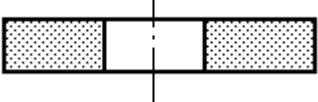
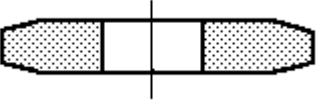
Для заметок по делу

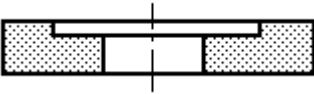


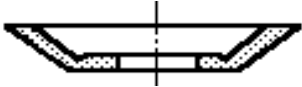
Значение процесса шлифования

Шлифование - отделочная операция. 21% всего парка металлорежущих станков - шлифовальные (60% - в подшипниковой промышленности). Достижимая точность - 4...5 квалитет, шероховатость - $R_a = 0,01$ мкм.

Характеристика абразивного инструмента

1. Форма и назначение шлифовальных кругов (ГОСТ 2424-83)

Форма круга	Внешний вид круга	Назначение круга
Прямого профиля		Для круглого и плоского шлифования периферией круга
С коническим двусторонним профилем		Для шлифования направляющих

Форма круга	Внешний вид круга	Назначение круга
С прямой выточкой		Для круглого шлифования периферией и торцем
Диски (на органической связке)		Для резки заготовок
Чашечные (конические и цилиндрические)		Для торцевого шлифования и заточки
Тарельчатые		Для заточки многолезвийного инструмента

2. Шлифовальные головки (ГОСТ 2247-82)

Предназначены для обработки труднодоступных мест с использованием ручного электрифицированного инструмента (Рис.123).

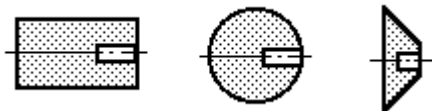


Рис.123.Формы шлифовальных головок

3. Бруски шлифовальные (ГОСТ 2456-82) и сегменты шлифовальные (ГОСТ 2464-82)

Предназначены для оснащения сборных шлифовальных кругов и доводочных (суперфинишных, хонинговальных) головок (Рис.124).

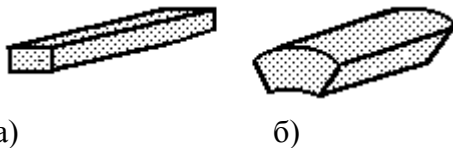


Рис.124. Брусок шлифовальный а) и сегмент б)

Для заметок по делу и без

4. Круги с прерывистой рабочей поверхностью (не стандартизованы)

Предназначены для шлифования деталей торцом и периферией круга. Пазы, выточки и отверстия на рабочей поверхности круга (Рис.125) выполняют с целью удобства подвода СОЖ в зону резания, облегчения отвода отходов шлифования, уменьшения нагрева заготовки в процессе обработки.

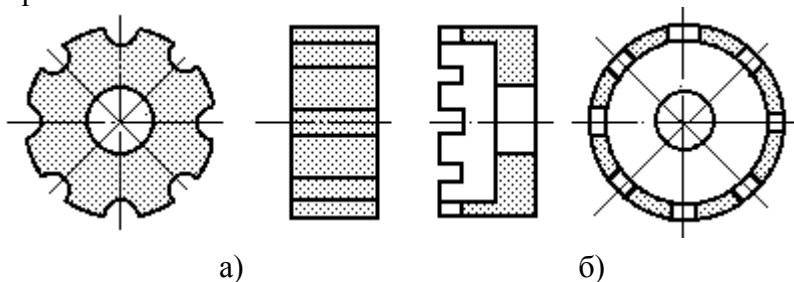


Рис.125. Круги с прерывистой рабочей поверхностью: а) - прямыми пазами; б) - с пазами на торце

5. Круги из сверхтвердых материалов

Круги из сверхтвердых материалов (алмазов, кубического нитрида бора) находят широкое применение на операциях шлифования и доводки высокотвердых и труднообрабатываемых материалов (твердые сплавы...).

Обычно абразивный слой выполняют в виде кольца, который приклеивают к корпусу, изготавливаемого из металла или керамики (Рис.126).



Рис.126. Круги алмазные: а) - прямого профиля; б) - чашечные

Размеры кругов регламентированы ГОСТ 16167-80, ГОСТ 17123 - 79Е и др.

6. Шлифовальные шкурки, ленты, пасты

Шлифовальные шкурки и ленты относятся к абразивным инструментам на гибкой основе. Предназначены для обработки фасонных поверхностей деталей, полирования. Шлифовальные шкурки и ленты имеют основу из бумаги, ткани, нейлона и других материалов. К основе посредством клея, выполняющего роль связки, закрепляются абразивные зерна.

Пасты относятся к инструментам со свободным абразивом. Применяются для доводочных работ, полирования и притирки с использованием притиров. В состав пасты входит абразивный порошок, смешанный с парафином, маслом или другим связующим веществом.

Абразивные материалы

Требования, предъявляемые к абразивным материалам:

- высокая твердость (определяется по шкале Мооса методом царапания одного материала по другому : тальк - 1; ... алмаз - 10);
- износостойкость;
- теплостойкость.

Природные абразивные материалы: алмаз, корунд, кварцевый песок, наждак. Находят ограниченное применение.

Искусственные абразивные материалы

1. Алмаз синтетический. Получают при высоких давлениях и температуре из графита. Зерна синтетических алмазов по сравнению с аналогичными природными алмазными зернами имеют более острые кромки, но являются менее прочными. Находит применение в инструментах для финишной обработки.

2. Кубический нитрид бора. Разновидности - эльбор, борозон, бельбор. Целесообразная область применения - инструмент для тонкого шлифования легированных сталей.

3. Карбид бора. Обладает высокой твердостью, хрупкостью, но низкой теплостойкостью (до 500° С). Находит применение в пастах.

4. Электрокорунд (Al_2O_3). Получают из бокситов плавлением при температуре >2200° С . Разновидности электрокорундов: нормальный, белый , монокорунд. Назначение:

нормальный - получистовое и чистовое шлифование, заточка, доводка стальных (незакаленных) и цветных металлов; белый - шлифование закаленных сталей; монокорунд - шлифование закаленных, цементированных и азотированных сталей.

5. Карбид кремния (SiC). Получают спеканием кварцевого песка с коксом. Обладает высокой твердостью и теплостойкостью (до 1200°C). Разновидности : карбид кремния черный и зеленый (более качественный). Назначение: карбид кремния зеленый - предварительная заточка твердосплавного инструмента, шлифование стекла; карбид кремния черный - черновая абразивная обработка, шлифование чугуна.

Зернистость абразивных материалов

Зернистость характеризует величину (размер) зерна и определяет производительность, точность и шероховатость абразивной обработки. В соответствии с ГОСТ 3647-80 абразивные зерна делят на 4 группы: шлифзерно, шлифпорошки, микропорошки и тонкие микропорошки. Зернистость шлифзерна и шлифпорошков выражают в сотых долях миллиметра, зернистость микропорошков и тонких микропорошков в микронах.

Зернистость сверхтвердых материалов обозначают дробным числом (ГОСТ 9206-80E), у которого числитель соответствует большему, а знаменатель меньшему размеру зерен основной фракции, выраженному в микронах.

Связки шлифовальных кругов

Различают связки: неорганические и органические.

Неорганические - керамические (огнеупорная глина, кварц, жидкое стекло) обладают химической, тепловой и водостойкостью, но невысокой прочностью на разрыв (допускаемая скорость круга $V < 35$ м/с);

магнезиальные и силикатные;

металлические (на медной и алюминиевой основе). Связка М1 содержит 80% Cu + 20% Sn.

Органические - бакелитовые, вулканитовые, поливинилформалиевые.

Твердость кругов

Твердость кругов определяется свойством связки оказывать сопротивление прониканию в круг другого тела. По твердости круги делят на 8 основных групп: ВМ - весьма мягкие; М - мягкие; СМ - среднемягкие; С - средние; СТ - среднетвердые; Т - твердые; ВТ - весьма твердые; ЧТ - чрезвычайно твердые.

Плотность круга (структура)

Под структурой круга понимают соотношение объемов абразивного материала, связки и пор. Структура определяется номером:

№1 - 3 - плотная;

№4 - 6 - полукоткрытая;

№7 - 12 - открытая;

№13 - 18 - высокопористая.

Силы резания при шлифовании

В связи с тем, что абразивные зерна в круге имеют тупые передние углы составляющие силы резания при шлифовании по сравнению с процессом точения имеют иной расклад. Наибольшее значение по модулю имеет радиальная составляющая:

$$P_y = (1,5...3) * P_z ; P_x < P_z .$$

Тангенциальная составляющая силы резания может быть определена по эмпирической формуле:

$$P_z = C_{Pz} * V_{изд} * S * t * K_{pz}.$$

Мощность привода главного движения :

$$N_k = \frac{P_z * V_{кр}}{1020} , \text{ [кВт]}.$$

Для сложного философского вопроса

Мощность привода вращения изделия:

$$N_{\text{изд}} = \frac{P_z * V_{\text{изд}}}{1020 * 60}, \text{ [кВт]}.$$

По радиальной составляющей силе P_y производят расчет станка на жесткость. По силе P_x - расчет привода продольных подач.

Износ и стойкость шлифовального круга

Об износе круга судят по ухудшению обработанной поверхности изделия (выход за пределы допуска на размер или шероховатости), по изменению формы круга, по засаливанию круга (забивка пор круга отходами шлифования).

Для мелкого каверзного вопроса

Правка шлифовальных кругов

Необходимость в правке возникает при износе круга. Процесс правки предусматривает удаление с рабочей поверхности круга его дефектного слоя, препятствующего нормальному протеканию процесса обработки.

Распространены 3 метода правки (Рис.127) :

а) путем обточки; б) шлифованием рабочей поверхности; в) обкаткой.

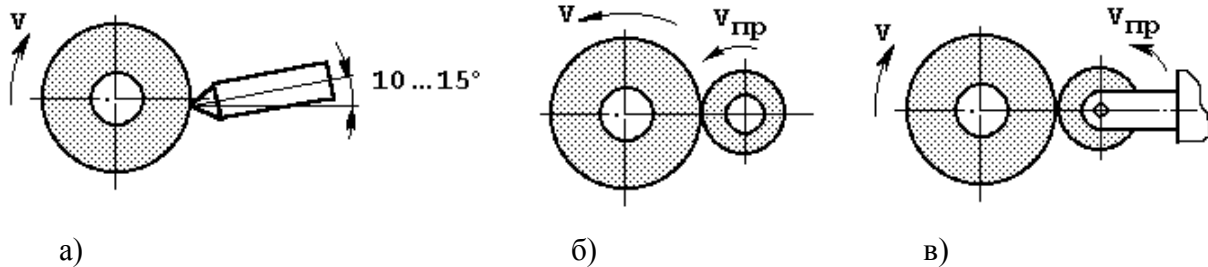


Рис.127. Схемы правки шлифовальных кругов

Обточка осуществляется непосредственно на станке при рабочей скорости круга. В качестве инструмента применяют алмазные карандаши различных модификаций (Рис.128).

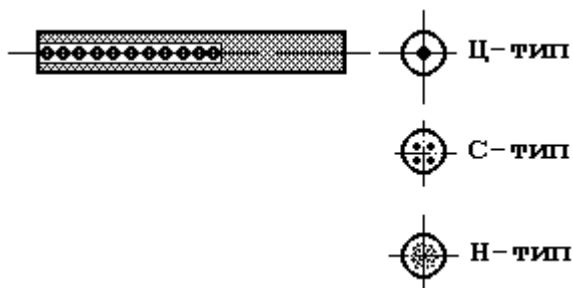


Рис.128. Типы алмазных карандашей

Шлифование применяют для правки алмазных кругов , особенно на металлической связке. Круг при этом снимают со станка и шлифуют его как изделие на другом шлифовальном станке. Недостатком такой схемы правки является появление биения круга из-за его переустановки.

Метод обкатки реализуется с помощью специального обкатного инструмента также при рабочей скорости шлифовального круга.

Современный способ правки кругов - алмазными роликами (разновидность правки методом обкатки). Этот способ эффективен в условиях массового производства для правки фасонных шлифовальных кругов.

Для заметок по делу

Виды шлифования

1) Круглое: центровое и бесцентровое (Рис.129).

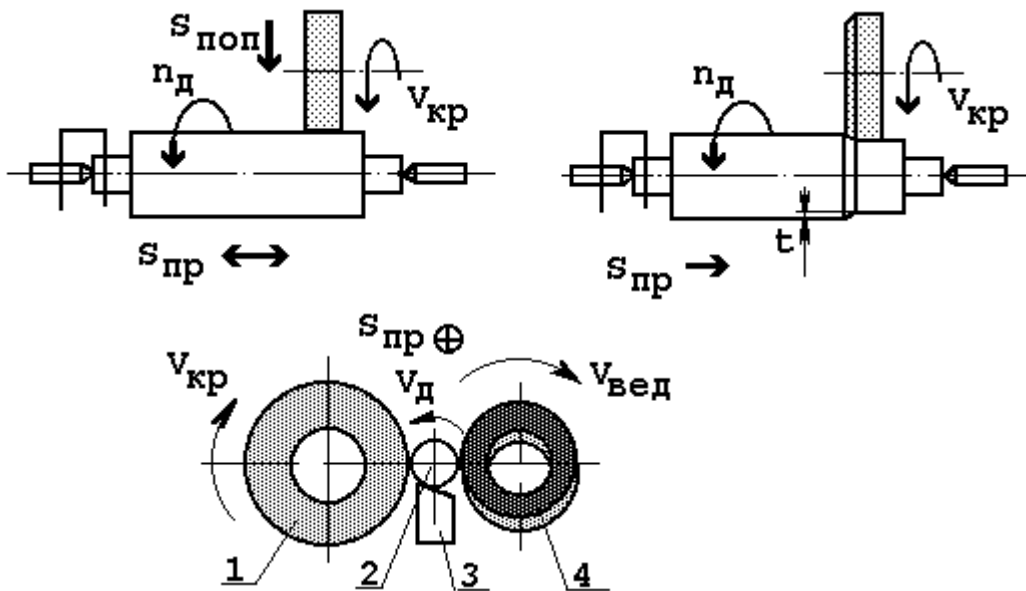


Рис. 129. Схемы центрового и бесцентрового шлифования

2) Плоское: обычное (маятниковое) и с круговой подачей стола (Рис.130)

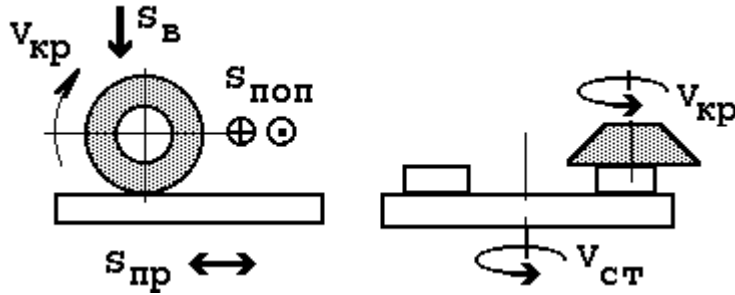


Рис.130. Схемы плоского шлифования

3) Фасонное: врезанием (с поперечной подачей) и с сочетанием всех видов подач.

4)Высокопроизводительные способы шлифования:

скоростное ($V_{кр} = 70...80$ м/с и более) и *глубинное* (глубина резания до 4 мм).

Для заметок по делу

Вопросы по разделу		
1 уровень	2 уровень	3 уровень
1. Сущность процесса шлифования и его особенности	1. Правила выбора характеристики абразивного инструмента для шлифования деталей	1. Обоснуйте рациональность того или иного способа шлифования
2. Виды абразивного инструмента и материалов	2. Особенности назначения режимов шлифования	2. Что называют стойкостью шлифовального круга?
3. Связка, твердость и плотность круга	3. Почему радиальная составляющая силы резания при шлифовании имеет наибольшее значение?	3. Предложите наиболее эффективный способ правки круга на металлической связке
4. Правка кругов		
5. Основные виды шлифования		

Для финального вопроса

Список контрольных вопросов по курсу "Резание металлов"

1. Виды резцов. Геометрические параметры режущей части резца.
2. Элементы режимов резания при точении.
3. Геометрия и размеры слоя металла, срезаемого резцом.
4. Инструментальные материалы.
5. Стружкообразование. Типы стружек.
6. Усадка стружек и методы ее измерения. Факторы, влияющие на усадку.
7. Взаимодействие стружки с передней поверхностью резца. Сопутствующие этому явлению факторы.
8. Взаимодействие задней поверхности резца с поверхностью резания. Сопутствующие этому явлению факторы.
9. Силы, возникающие при резании, и их составляющие. Измерение сил. Влияние различных факторов на силы резания.
10. Тепловые явления при резании. Уравнение теплового баланса. Методы и средства снижения теплообразования в зоне резания.
11. Износ резцов. Физика износа. Схема износа резцов. Критерии износа и методы измерения износа резца.
12. Стойкость резца. Зависимость скорости резания от стойкости. Влияние различных факторов на скорость резания.

13. Вибрации при резании. Факторы, влияющие на вибрацию.
14. Микрогеометрия обработанной поверхности при резании. Факторы, влияющие на шероховатость.
15. Методика расчета режимов резания при токарной обработке.
16. Геометрия спирального сверла. Элементы режимов резания при сверлении. Силы, действующие на сверло.
17. Износ и стойкость сверл. Пути повышения стойкости сверла.
18. Методика назначения режимов резания при сверлении.
19. Виды фрез. Геометрические параметры цилиндрической и торцевой фрезы.
20. Элементы режимов резания при фрезеровании.
21. Условия равномерности фрезерования. Встречное и попутное фрезерование.
22. Силы резания при фрезеровании. Износ и стойкость фрез.
23. Методика назначения режимов резания при фрезеровании.
24. Схемы нарезания резьбы резцами, резьбовыми гребенками, винторезными головками.
25. Нарезание резьбы плашками и метчиками. Особенности геометрии инструментов.
26. Шлифование. Виды абразивного инструмента.
27. Абразивные материалы. Зернистость и связка кругов.
28. Силы резания при шлифовании. Износ и стойкость кругов. Правка кругов.

Список литературы

Основной список

1. Подстольная литература, изъятая автором у студентов за весь постперестроечный период (находится у автора в сейфе).

Вспомогательный список

1. Гапонкин В.А., Лукашев Л.К., Суворова Т.Г. Обработка резанием. Металлорежущий инструмент и станки: Учеб. для средн. спец. учебн. завед. по машиностроит. спец. М.: Машиностроение, 1990. 448 с.: ил.

2. Кожевникова Е.И., Фельдштейн Е.К. Лабораторные работы по резанию металлов: Учеб. пособие по спец. 0501. Минск: Вышэйш. шк., 1985. 176 с.: ил.

3. Аршинов В.А., Алексеев В.Н. Резание металлов и режущий инструмент. 3-е изд. М.: Машиностроение, 1975. 440 с.

4. Баранчиков В.И., Жариков А.В., Юдина Н.Д. и др. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник / Под общ. ред. В.И. Баранчикова. - М.: Машиностроение, 1990. 400 с.: ил.

Виталий Афанасьевич Галашев

Резание металлов. Краткий конспект обзорных лекций

Учебное пособие

Темплан издательства 199 , позиция №

Редактор

Корректор

Компьютерный набор В.А.Галашев

Лицензия

Подписано в печать . Формат

Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж экз.

Заказ №

Издательство Удмуртского университета

426000, Ижевск, ул. Майская, 23.

Типография объединения “Полиграфия”

426034, Ижевск, Удмуртская, 237