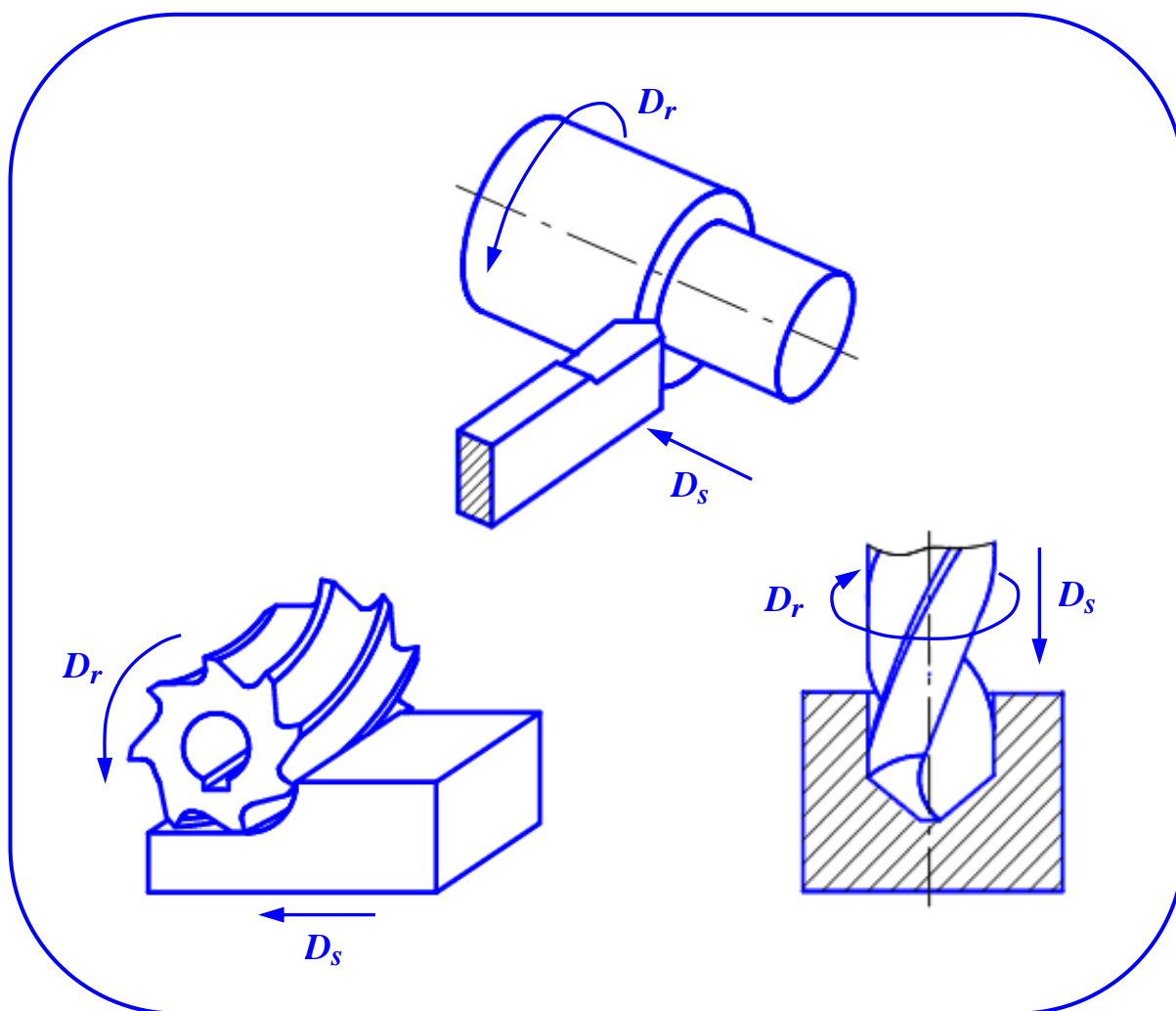


Н.В. Бородина

ТЕОРИЯ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Конспект лекций



Екатеринбург
РГПУ
2010

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГАОУ ВПО «Российский государственный
профессионально-педагогический университет»
Учреждение Российской академии образования «Уральское отделение»

Н. В. Бородина

ТЕОРИЯ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Конспект лекций

Допущено Учебно-методическим объединением по профессионально-педагогическому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специализации «Технология и оборудование машиностроения» специальности 050501.08 – Профессиональное обучение (машиностроение и технологическое оборудование)

Екатеринбург
РГППУ
2010

УДК 621.91.01 (075.8)

ББК К63я73–1

Б 83

Бородина Н.В. Теория резания металлов [Текст]: конспект лекций / Н.В. Бородина. Екатеринбург: Изд-во ФГАОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2010. 131 с.

ISBN 978-5-8050-0400-2

Рассматриваются геометрические параметры режущего клина, элементы режима резания и срезаемого слоя, процесс стружкообразования и сопровождающие его физические явления: наклеп обработанной поверхности, нарост, усадка стружки, тепловые процессы, силы резания, износ и стойкость режущего инструмента. Материал представлен в виде обучающих модулей.

Конспект лекций адресован студентам вузов и колледжей, обучающимся по специальности «Профессиональное обучение (машиностроение и технологическое оборудование)».

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В.В.Каржавин (ФГАОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т»); д-р техн. наук, проф. А.М.Ханов (ГОУ ВПО «Перм. гос. техн. ун-т»); канд. техн. наук, доц. В.И.Вешкурцев (ГОУ ВПО «УГТУ–УПИ им. первого Президента России Б.Н.Ельцина»)

ISBN 978-5-8050-0400-2

© ФГАОУ ВПО « Российский
государственный профессионально-
педагогический университет», 2010
© Бородина Н.В., 2010

Оглавление

Введение.....	5
1. Исходные понятия и определения	6
1.1. Резание металлов, припуск, режущий клин, поверхности заготовки	6
1.2. Движения при резании металлов	8
1.3. Элементы режима резания	11
1.4. Основные виды резания	15
1.5. Контроль усвоения	16
2. Геометрические параметры режущего клина на примере токарного резца	19
2.1. Конструктивные элементы токарного резца	19
2.2. Координатные плоскости	20
2.3. Геометрические параметры токарного резца	21
2.4. Зависимость геометрии токарного резца от его установки на станке	23
2.5. Контроль усвоения	26
3. Параметры срезаемого слоя	28
3.1. Толщина и ширина срезаемого слоя.....	28
3.2. Площадь поперечного сечения срезаемого слоя	32
3.3. Контроль усвоения	33
4. Физические основы процесса резания металла	36
4.1. Виды стружки	36
4.2. Процесс стружкообразования	39
4.3. Явление наклепа обработанной поверхности	44
4.4. Явление наростообразования в процессе резания	48
4.5. Явление усадки стружки	53
4.6. Возникновение шероховатости обработанной поверхности	58
4.7. Контроль усвоения	62

5. Силы и мощность резания	65
5.1. Силы резания при точении	65
5.2. Зависимость сил резания от условий резания	66
5.3. Расчет сил резания, моментов и мощности при точении	70
5.4. Силы резания и мощность при сверлении	73
5.5. Силы резания и мощность при фрезеровании	75
5.6. Контроль усвоения	79
6. Тепловые явления при резании металлов	82
6.1. Источники возникновения тепла. Уравнение теплового баланса	82
6.2. Температура в зоне резания	84
6.3. Зависимость температуры от условий резания	85
6.4. Методы определения температуры	90
6.5. Контроль усвоения	96
7. Износ и стойкость режущего инструмента	98
7.1. Виды и внешние признаки износа режущего инструмента	98
7.2. Критерии износа режущего инструмента	101
7.3. Причины износа режущего инструмента	105
7.4. Стойкость режущего инструмента и ее зависимость от скорости резания.....	109
7.5. Контроль усвоения	114
8. Скорость резания, допускаемая режущими свойствами инструмента	117
8.1. Технологическая скорость резания	117
8.2. Скорость резания, допускаемая резцом при точении	118
8.3. Допускаемая скорость резания при сверлении, зенкерованиях, развертывании	121
8.4. Допускаемая скорость резания при фрезеровании	124
8.5. Контроль усвоения	127
Заключение	129
Библиографический список.....	130

Введение

Обработка металлов резанием играет ведущую роль в современном машиностроении. Используются различные методы обработки резанием (точение, сверление, фрезерование, строгание, зубонарезание, протягивание и т.д.), которые реализуются с помощью режущих инструментов, имеющих различные конструктивные и геометрические параметры. Обработка резанием ведется на разнообразных станках от универсальных до многоцелевых с ЧПУ.

Однако в основе всего многообразия форм и методов обработки лежат единые закономерности, связанные с процессами стружкообразования и износа режущего инструмента. Поэтому материал конспекта лекций отражает две основные части теории резания металлов: теорию стружкообразования и теорию стойкости режущих инструментов. Рассматриваются основные понятия и определения теории резания металлов, раскрывается сущность процесса стружкообразования и явления, его сопровождающие, а также вопросы износа и стойкости режущих инструментов.

Отличительной особенностью конспекта лекций является то, что его содержание структурировано на учебные элементы, в которых учебный материал представлен в виде сочетания текстовой и поясняющей графической информации (схем, рисунков, эскизов), что облегчает восприятие сложных теоретических вопросов. Для самоконтроля усвоения учебного материала предлагаются тесты.

Конспект лекций не заменяет рекомендуемых учебников, а заостряет внимание студентов на основных вопросах, изложенных в соответствии с программой курса «Теория резания металлов».

Знание основ теории резания металлов необходимо для дальнейшего успешного усвоения вопросов технологии машиностроения, принципов работы металлорежущего оборудования, моделирования технологических процессов.

1. Исходные понятия и определения



1.1. Резание металлов, припуск, режущий клин, поверхности заготовки

Понятие «резание металлов» не имеет однозначного определения в технической литературе.



Резание металлов

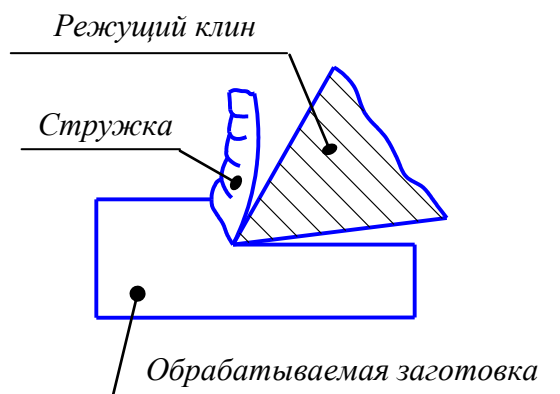
Анализ работ Г.И. Грановского, В.Г. Грановского, В.А. Аршинова, Г.А. Алексева, М.И. Клушина, А.М. Вульфа, В.И. Горбунова, А.А. Рыжкина, П.И. Ящерицина и др. позволяет остановиться на следующем определении резания металлов.



Резание металлов – это операция удаления слоя металла с заготовки с помощью режущего инструмента, в основе режущей части которого лежит режущий клин.



Режущий клин ограничен передней и задней поверхностями.



1. Исходные понятия и определения



1.1. Резание металлов, припуск, режущий клин, поверхности заготовки

Передняя поверхность – это поверхность, по которой сходит стружка.

Задняя поверхность обращена к обработанной поверхности заготовки.

Пересечение передней и задней поверхностей образует *режущую кромку*.

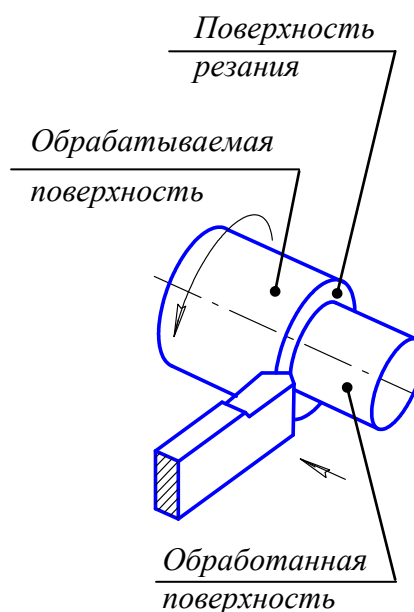
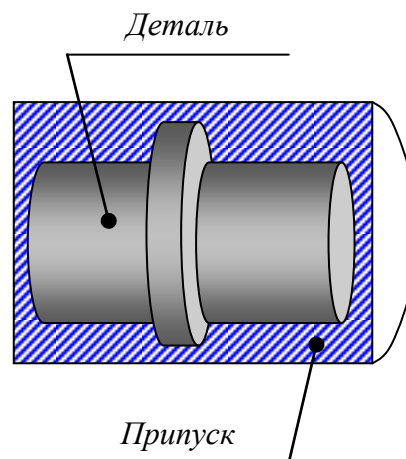
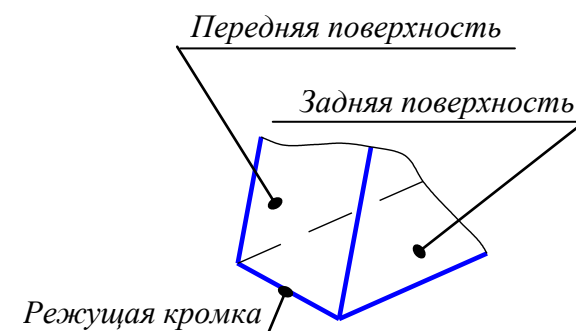
Слой металла, удаляемый с заготовки с целью придания ей формы и размеров готовой детали, называется *припуском*.

В процессе резания припуск превращается в *стружку*.

Припуск может сниматься как за *один*, так и за *несколько проходов* режущего клина.

На обрабатываемой заготовке различают следующие поверхности:

- *обработанную* – поверхность, с которой снята стружка;
- *обрабатываемую* – поверхность, с которой снимается стружка;
- *поверхность резания*, образованную непосредственно режущей кромкой режущего инструмента.



1. Исходные понятия и определения



1.2. Движения при резании металлов

В процессе резания заготовка и режущий инструмент находятся в относительном движении.

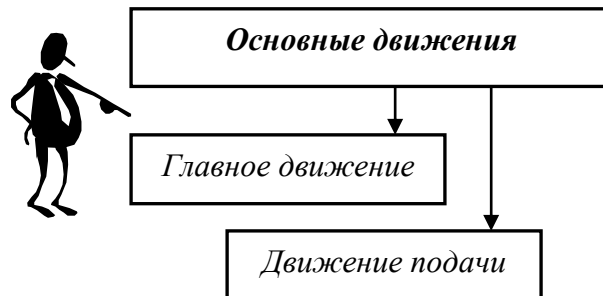
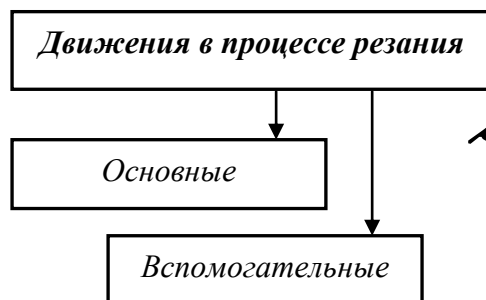
Процесс резания выполняется при наличии *основных* и *вспомогательных* движений.

Основные движения, совершаемые заготовкой и режущим инструментом, делятся на *главное движение* и *движение подачи*.

Главное движение – это движение заготовки или инструмента, совершаемое с наибольшей скоростью. Главное движение обозначается D_r .

Движение подачи имеет меньшую скорость – *скорость подачи* S . Это движение обеспечивает врезание режущего клина инструмента в новые слои металла и обозначается D_S .

По характеру и D_r и D_S могут быть *вращательными* или *прямолинейно-поступательными*.



Главное движение — скорость наибольшая



Движение подачи обеспечивает врезание в новые слои металла

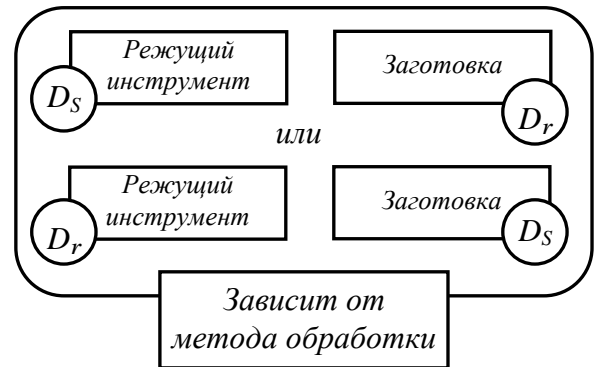


1. Исходные понятия и определения



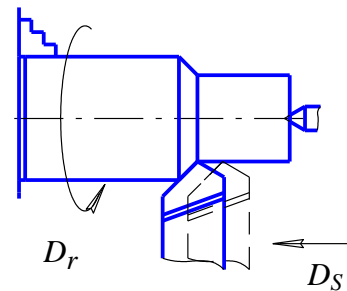
1.2. Движения при резании металлов

При разных методах обработки *главное движение* и *движение подачи* осуществляются или обрабатываемой заготовкой, или режущим инструментом.

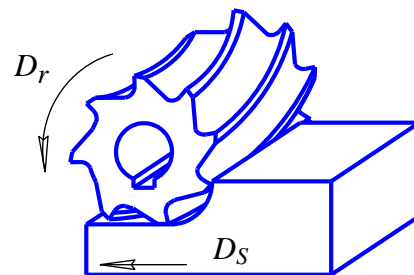


Например:

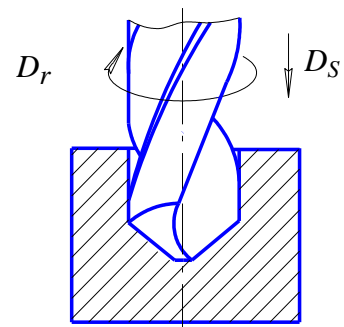
- при точении D_r совершается заготовкой, а D_s – режущим инструментом (резцом);



- при цилиндрическом фрезеровании D_r совершается режущим инструментом (фрезой), а D_s – заготовкой;



- при сверлении возможно, что оба движения совершает режущий инструмент (сверло), а заготовка неподвижна.



1. Исходные понятия и определения



1.2. Движения при резании металлов

Совокупность движений D_r и D_s обеспечивает получение поверхности требуемой формы.

С учетом величины скорости и направлений движений D_r и D_s можно рассматривать *результатирующее движение* D_e .

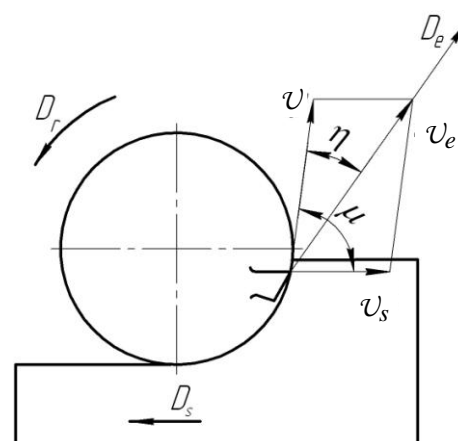
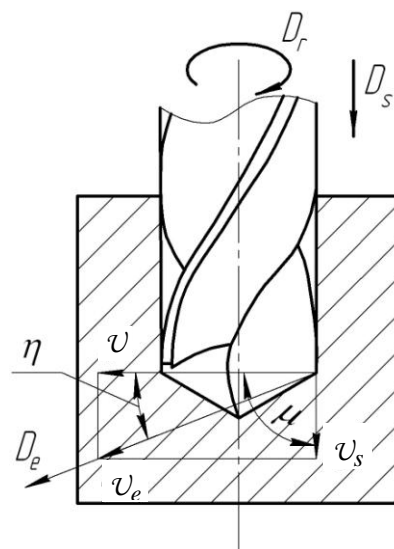
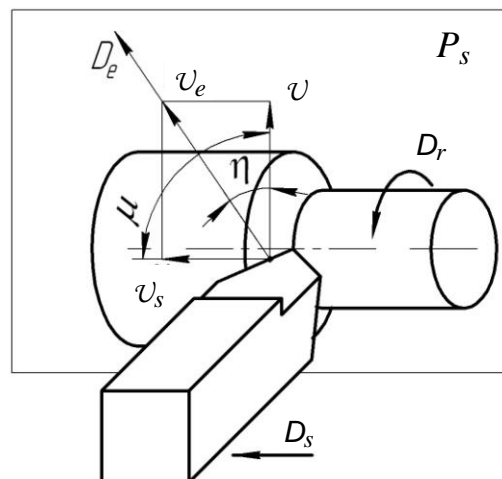
D_e – суммарное движение режущего инструмента относительно движущейся заготовки.

Движение D_e характеризуется скоростью результирующего движения v_e .

v_e – это скорость рассматриваемой точки режущей кромки инструмента в результирующем движении относительно заготовки.

Векторы скоростей v , S , v_e расположены в так называемой *рабочей плоскости* P_s под соответствующими углами:

- скорости v , S расположены между собой под углом подачи μ ;
- скорости v , v_e расположены между собой под углом скорости резания η .



1. Исходные понятия и определения



1.3. Элементы режима резания

Процесс резания ведется в определенном *режиме*, элементами которого являются:

- скорость резания v ;
- подача S ;
- глубина резания t .

Скорость резания является скоростью главного движения.

Скорость резания v – это путь, пройденный точкой обрабатываемой поверхности заготовки или режущей кромки инструмента в направлении главного движения за единицу времени.

*Скорость резания для методов обработки, имеющих **главное движение вращательного характера**, определяется по формуле*

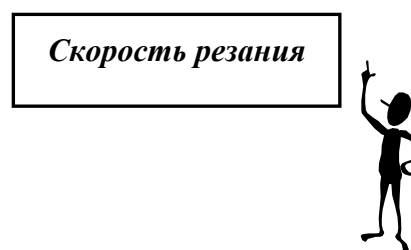
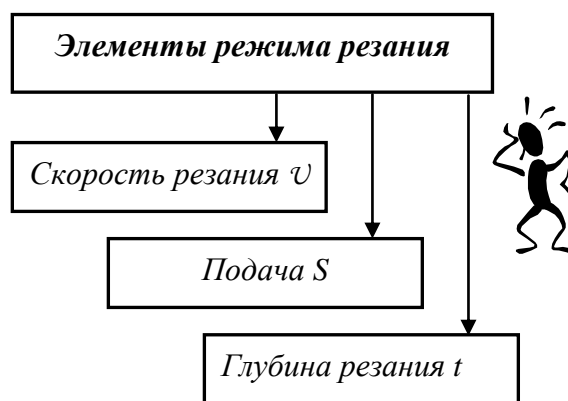
$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000},$$

где π – постоянная Планка (ее можно принять равной 3,14);

D – диаметр заготовки (при точении) или инструмента (при фрезеровании, сверлении, шлифовании и др.), измеряется в *мм*;

n – число оборотов шпинделя станка, измеряется в *об/мин*.

Скорость резания измеряется в *м/мин* или в *м/с*.



$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \text{ м/мин}$$

или

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000}, \text{ м/с}$$

1. Исходные понятия и определения



1.3. Элементы режима резания

Подача – это скорость движения подачи. Обозначается буквой S .

Различают:

- подачу на оборот S_o ;
- минутную подачу S_m ;
- подачу на зуб S_z .

Подача на оборот S_o определяется как путь, пройденный точкой режущей кромки инструмента (или поверхности резания заготовки) в направлении движения подачи за один оборот шпинделя.

Минутная подача S_m определяется как путь, пройденный точкой режущей кромки инструмента (или поверхности резания заготовки) в направлении движения подачи за одну минуту.

Минутная подача S_m измеряется в мм/мин.

Зная подачу на оборот S_o и число оборотов шпинделя n , можно определить минутную подачу S_m .

При работе многолезвийным инструментом (сверло, зенкер, развертка, фреза) пользуются понятием «подача на зуб».

Подача на зуб S_z – это путь, пройденный режущей кромкой одного зуба инструмента в направлении подачи за один оборот шпинделя.

Подача на зуб S_z измеряется в мм/зуб.

Подача – скорость движения подачи



S_o , мм/об



S_m , мм/мин



$S_m = S_o \cdot n$, мм/мин



S_z , мм/зуб



1. Исходные понятия и определения



1.3. Элементы режима резания

Если известна величина подачи на оборот S_o и число зубьев инструмента Z , можно определить подачу на зуб S_z .

Глубина резания t – это расстояние между обработанной и обрабатываемой поверхностями заготовки.

Глубина резания t измеряется в мм.

При различных методах обработки металлов резанием глубину резания рассчитывают исходя из определения и схем резания.

Например:

- при *точении* глубина резания равна половине разницы диаметров обрабатываемой D и обработанной d поверхностей заготовки:

$$t = \frac{D - d}{2};$$

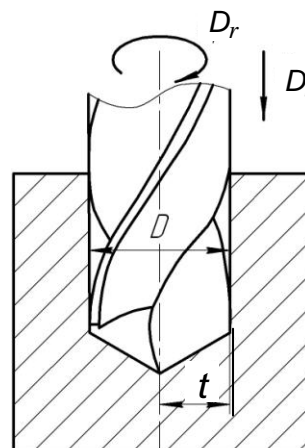
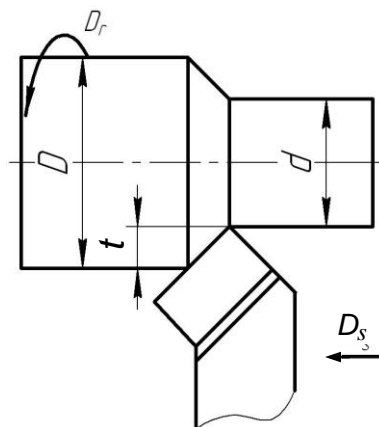
- при *сверлении* глубина резания равна половине диаметра D сверла:

$$t = \frac{D}{2};$$

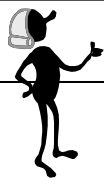


$$S_z = S_o / Z, \text{ мм/зуб}$$

Глубина резания



1. Исходные понятия и определения



1.3. Элементы режима резания

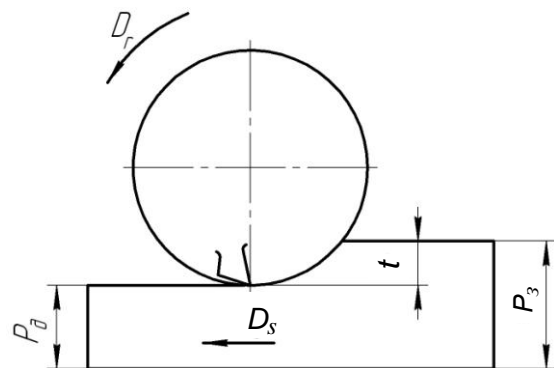
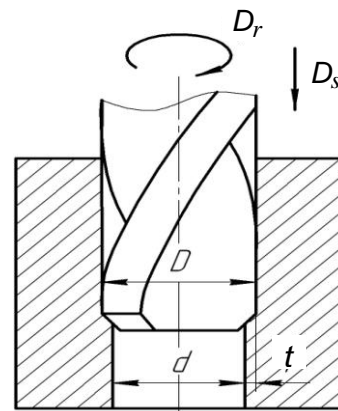
- при *зенкеровании* глубина резания определяется как половина разницы диаметров зенкера D и предварительно подготовленного отверстия d :

$$t = \frac{D - d}{2};$$

- при *цилиндрическом фрезеровании* глубина резания определяется как разность размеров обрабатываемой заготовки P_3 и обработанной поверхности детали P_0 :

$$t = P_3 - P_0.$$

Совокупность значений скорости резания U , подачи S и глубины резания t составляет *режим резания*.



U, S, t
Режим резания

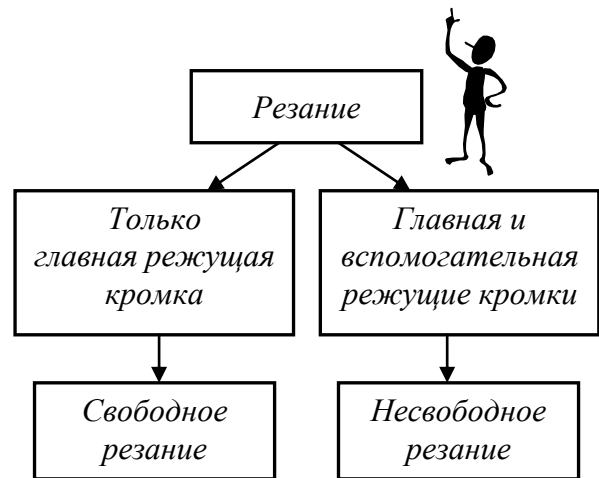


1. Исходные понятия и определения

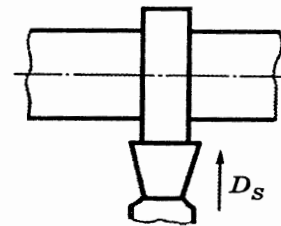


1.4. Основные виды резания

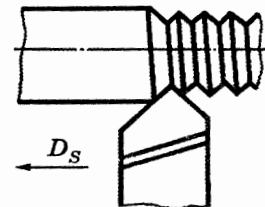
В зависимости от участия в резании главной или главной и вспомогательной режущих кромок различают *свободное* и *несвободное* резание.



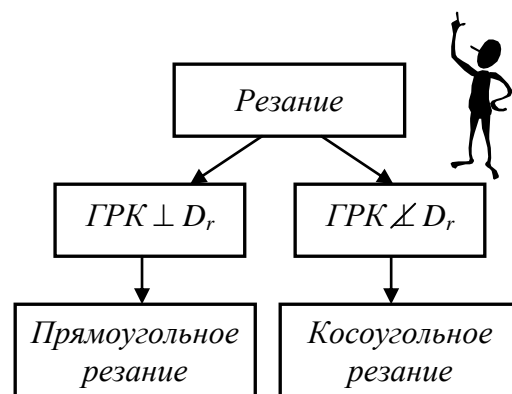
При *свободном* резании в работе принимает участие только главная режущая кромка.



При *несвободном* резании в работе принимают участие главная и вспомогательная режущие кромки. Это наиболее общий случай.



В зависимости от расположения главной режущей кромки (ГРК) относительно направления главного движения (D_r) различают *прямоугольное* и *косоугольное* резание.



1. Исходные понятия и определения



1.5. Контроль усвоения

Инструкция

Возьмите лист бумаги и запишите ответы на задания контрольного теста. Тест состоит из 20 заданий. Выполняйте их последовательно, внимательно читайте указания.

Указание 1. Завершите утверждения с 1-го по 7-е, выбрав один из предлагаемых вариантов окончания.

1. Режущий клин ограничен:
 - а) только передней поверхностью;
 - б) передней и задней поверхностями;
 - в) только задней поверхностью.

2. Передняя поверхность – это поверхность:
 - а) обращенная к обрабатываемой поверхности заготовки;
 - б) по которой сходит стружка.

3. Задняя поверхность – это поверхность:
 - а) обращенная к обрабатываемой поверхности заготовки;
 - б) по которой сходит стружка.

4. Угол подачи μ расположен между векторами:
 - а) v и v_e ;
 - б) S и v_e ;
 - в) v и S .

5. Угол скорости резания η расположен между векторами:
 - а) v и v_e ;
 - б) S и v_e ;
 - в) v и S .

6. Режим резания определяется совокупностью элементов:
 - а) v и S ;
 - б) v, S, t ;
 - в) v, S, t, τ_o ;
 - г) S_o, S_m, t .

1. Исходные понятия и определения



1.5. Контроль усвоения

7. Свободное резание выполняется при участии:

- а) главной и вспомогательной режущих кромок;
- б) только главной режущей кромки;
- в) только вспомогательной режущей кромки.

Указание 2. Завершите утверждения с 8-го по 17-е, вписывая в пропущенные строки недостающую информацию.

8. Режущая кромка образуется пересечением _____ и _____ поверхностей.

9. Основные движения при резании металлов подразделяются на _____ и _____, которые соответственно обозначаются _____, _____.

10. Результирующее движение – это суммарное движение _____ и _____, которое обозначается _____.

11. Скорость резания при известном числе оборотов шпинделя определяется по формуле _____ и измеряется в _____.

12. Глубину резания при точении определяют по формуле _____, при сверлении – _____, при цилиндрическом фрезеровании – _____ и измеряют в _____.

13. С наибольшей скоростью совершается _____ движение.

14. Врезание инструмента в новые слои металла обеспечивает движение _____.

15. Глубина резания – это расстояние между обработанной и обрабатываемой поверхностями заготовки, измеренное _____.

16. Скоростью резания называется путь, пройденный _____ в направлении _____ за единицу времени.

17. Подача на оборот – это путь точки режущей кромки инструмента в направлении движения _____ за один оборот _____.

1. Исходные понятия и определения



1.5. Контроль усвоения

Указание 3. В заданиях 18 и 19 установите соответствие информации левого и правого столбцов и заполните форму ответа.

18. Соотнесите поверхности заготовки при обработке с их определениями.

ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВКИ ПРИ ОБРАБОТКЕ

- 1) Обработанная поверхность
- 2) Обрабатываемая поверхность
- 3) Поверхность резания

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

- А. Поверхность, по которой снята стружка
- Б. Поверхность, образованная непосредственно режущей кромкой инструмента
- В. Поверхность, с которой снимается стружка

Ответ: 1 – ___; 2 – ___; 3 – ___.

19. Определите для каждой разновидности подачи соответствующие единицы измерения

ВИДЫ ПОДАЧИ

- 1) S_o
- 2) S_z
- 3) S_m

ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

- а) мм/зуб
- б) мм/мин
- в) мм/об

Ответ: 1 – ___; 2 – ___; 3 – ___.

Указание 4. В задании 20 составьте определение из приведенных понятий, располагая их в правильной последовательности. Ответ можно записать в виде определения или проставив в пустых прямоугольниках соответствующие цифры.

20. Составьте определение резания металлов.

« Резание металлов – это

- режущего инструмента
- в основе режущей части которого
- операция
- с помощью
- удаления
- режущий клин
- с заготовки
- лежит
- слоя металла

2. Геометрические параметры режущего клина на примере токарного резца



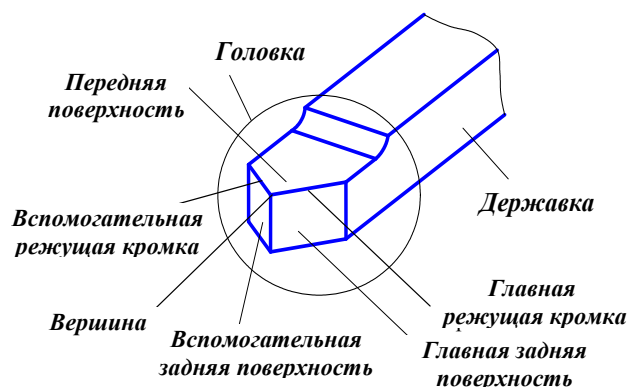
2.1. Конструктивные элементы токарного резца

Токарный резец состоит из двух частей: рабочей (*головки*) и присоединительной (*державки*).

Конструктивными элементами головки резца являются:

- передняя поверхность A_γ – поверхность, по которой сходит стружка;
- главная задняя поверхность A_α – поверхность, обращенная к обрабатываемой поверхности заготовки;
- вспомогательная задняя поверхность A'_α – поверхность, обращенная к обработанной поверхности заготовки;
- главная режущая кромка K – линия пересечения передней поверхности и главной задней поверхности;
- вспомогательная режущая кромка K' – линия пересечения передней поверхности и вспомогательной задней поверхности;
- вершина – точка сопряжения режущих кромок.

Конструктивные элементы токарного резца



Геометрия режущей части резца – это совокупность углов, определяющих положение передней и задней поверхностей головки резца относительно координатных плоскостей.

Геометрия токарного резца



2. Геометрические параметры режущего клина на примере токарного резца

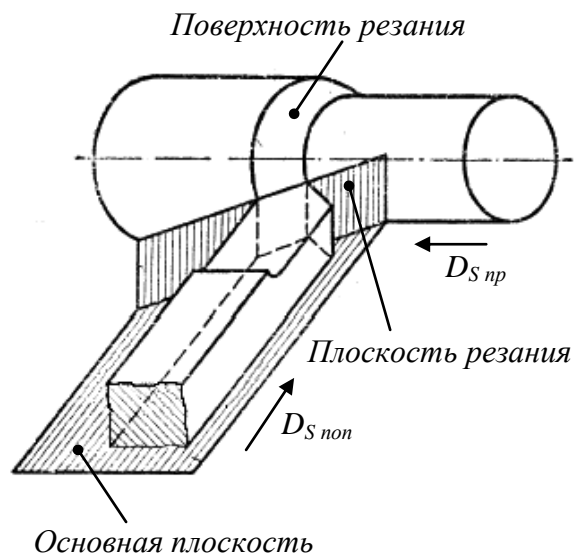


2.2. Координатные плоскости

Для определения геометрии резца рассматривают две координатные и две секущие плоскости.

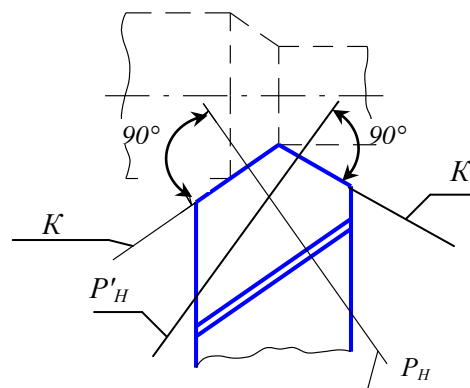
Координатными плоскостями являются:

- основная плоскость P_v – плоскость, параллельная продольной и поперечной подачам и совпадающая с опорной гранью резца;
- плоскость резания P_n – плоскость, касательная к поверхности резания заготовки, перпендикулярная основной плоскости и проходящая через режущую кромку резца.



К секущим плоскостям относятся:

- главная секущая плоскость P_H – плоскость, перпендикулярная главной режущей кромке K резца;
- вспомогательная секущая плоскость P'_H – плоскость, перпендикулярная вспомогательной режущей кромке K' резца.



Геометрию резца рассматривают в главной и вспомогательной секущих плоскостях и в плане.

Геометрия токарного резца в главной и вспомогательной секущих плоскостях и в плане



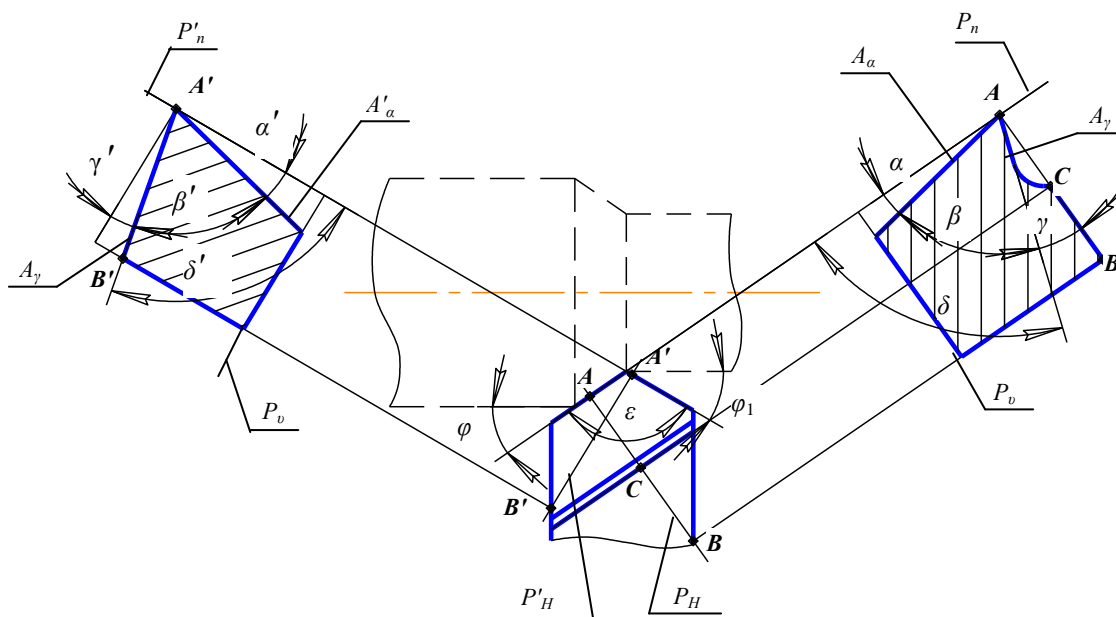
2. Геометрические параметры режущего клина на примере токарного резца



2.3. Геометрические параметры токарного резца

Главные углы резца рассматривают в главной секущей плоскости P_H . К ним относятся:

- главный передний угол γ – угол между передней поверхностью резца A_γ и перпендикуляром к плоскости резания P_n ;
- главный задний угол α – угол между плоскостью резания и главной задней поверхностью A_α резца;
- главный угол заострения β – угол между передней и главной задней поверхностями резца;
- главный угол резания δ – угол между плоскостью резания и передней поверхностью резца.



Вспомогательные углы резца рассматривают во вспомогательной секущей плоскости P'_H . Различают:

- вспомогательный передний угол γ' – угол между передней поверхностью резца и перпендикуляром к вспомогательной плоскости резания P'_n ;
- вспомогательный задний угол α' – угол между вспомогательной плоскостью резания и вспомогательной задней поверхностью A'_α резца;
- вспомогательный угол заострения β' – угол между передней и вспомогательной задней поверхностями резца;
- вспомогательный угол резания δ' – угол между вспомогательной плоскостью резания и передней поверхностью резца.

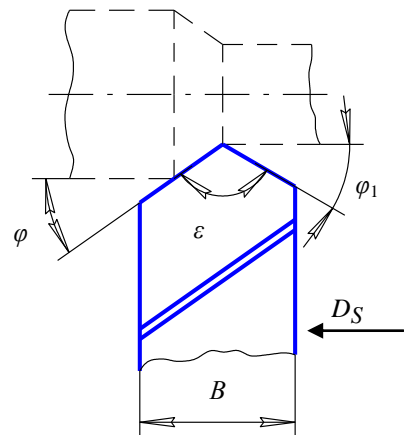
2. Геометрические параметры режущего клина на примере токарного резца



2.3. Геометрические параметры токарного резца

В *плане* различают:

- главный угол в плане φ – угол между направлением подачи D_S и проекцией главной режущей кромки на основную плоскость;
- вспомогательный угол в плане φ_1 – угол между направлением подачи и проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость;
- угол при вершине ε – угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость.



2. Геометрические параметры режущего клина на примере токарного резца



2.4. Зависимость геометрии токарного резца от его установки на станке

Изменение заднего и переднего углов токарного резца

Передний и задний углы сохраняют свои заточенные (статические) значения α_{cm} , γ_{cm} при правильной установке резца на станке, когда его вершина находится на уровне оси центров станка.

Расположение вершины резца не на уровне оси центров станка вызывает изменение статических значений переднего и заднего углов α_{cm} , γ_{cm} .

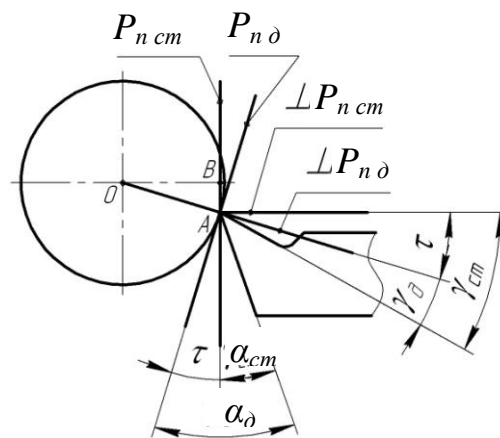
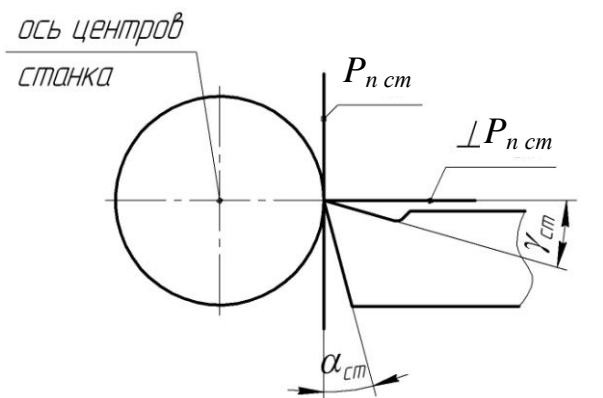
Если вершина резца расположена ниже оси центров, то действительное значение заднего угла α_{δ} увеличивается, а действительное значение заднего угла γ_{δ} уменьшается на величину угла τ :

$$\alpha_{\delta} = \alpha_{cm} + \tau,$$

$$\gamma_{\delta} = \gamma_{cm} - \tau.$$

Угол τ можно определить, рассматривая треугольник AOB , в котором катет AB является величиной смещения h , а гипотенуза OA составляет половину диаметра обработанной поверхности ($d/2$).

$$\sin \tau = \frac{2h}{d}.$$



$$\alpha_{\delta} \uparrow ; \gamma_{\delta} \downarrow$$

$$\tau = \arcsin \frac{2h}{d}$$

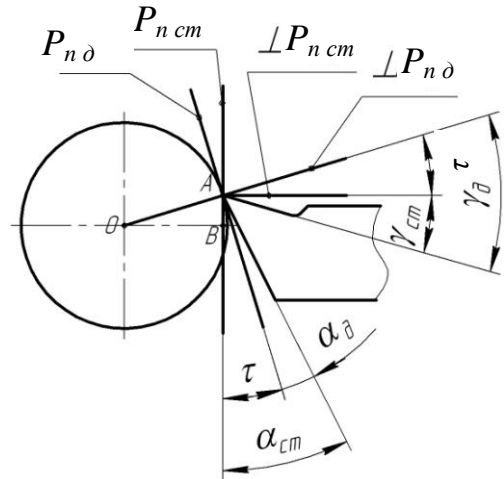
2. Геометрические параметры режущего клина на примере токарного резца



2.4. Зависимость геометрии токарного резца от его установки на станке

Если вершина резца расположена выше оси центров, то действительное значение заднего угла α_∂ уменьшается, а действительное значение переднего угла γ_∂ увеличивается на величину угла τ .

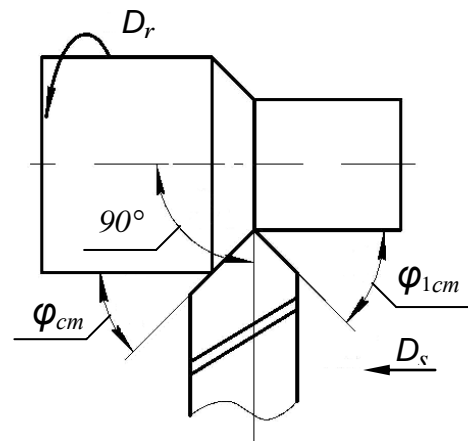
$$\alpha_\partial \downarrow; \gamma_\partial \uparrow$$



$$\begin{aligned} \alpha_\partial &= \alpha_{cm} - \tau \\ \gamma_\partial &= \gamma_{cm} + \tau \end{aligned}$$

Изменение углов в плане токарного резца

Величины заточенных (статических) углов в плане φ_{cm} , φ_{1cm} сохраняются, если резец установлен перпендикулярно оси центров станка.



$$\begin{aligned} \text{Если } \rho \neq 90^\circ, \text{ то:} \\ \varphi_\partial &\neq \varphi_{cm}; \\ \varphi_{1\partial} &\neq \varphi_{1cm} \end{aligned}$$

Величина действительных углов в плане φ_∂ , $\varphi_{1\partial}$ отличается от величины статических углов в плане, когда резец установлен не перпендикулярно оси центров, а под углом ρ .

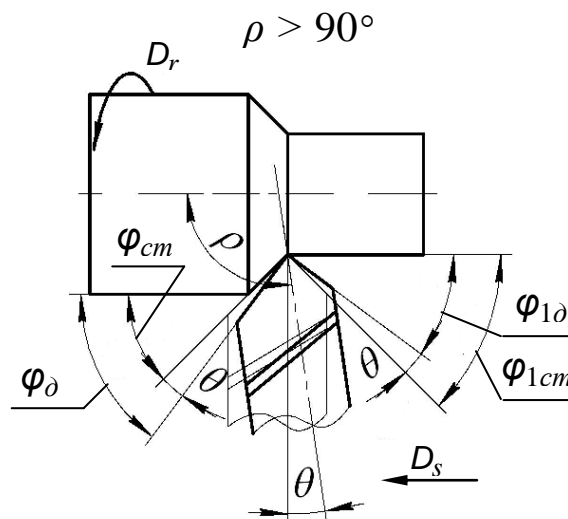
2. Геометрические параметры режущего клина на примере токарного резца



2.4. Зависимость геометрии токарного резца от его установки на станке

Если $\rho > 90^\circ$, то главный действительный угол в плане φ_∂ становится больше, а вспомогательный действительный угол в плане $\varphi_{1\partial}$ становится меньше на величину угла θ .

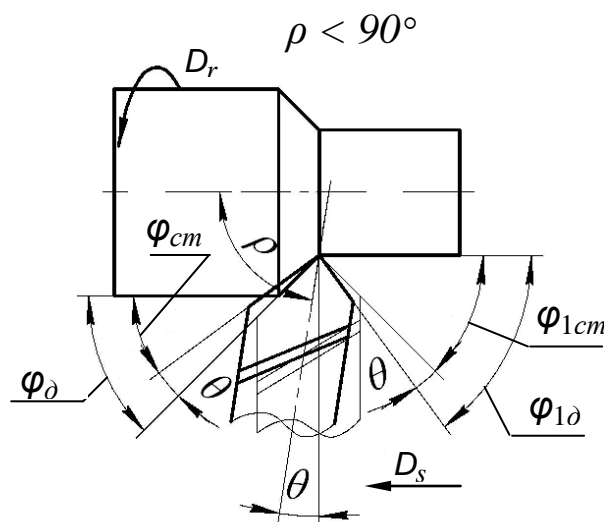
$$\varphi_\partial \uparrow; \varphi_{1\partial} \downarrow$$



$$\begin{aligned} \theta &= \rho - 90^\circ \\ \varphi_\partial &= \varphi_{cm} + \theta \\ \varphi_{1\partial} &= \varphi_{1cm} - \theta \end{aligned}$$

Если $\rho < 90^\circ$, то главный действительный угол в плане φ_∂ становится меньше, а вспомогательный действительный угол в плане $\varphi_{1\partial}$ становится больше на величину угла θ .

$$\varphi_\partial \downarrow; \varphi_{1\partial} \uparrow$$



$$\begin{aligned} \theta &= 90^\circ - \rho \\ \varphi_\partial &= \varphi_{cm} - \theta \\ \varphi_{1\partial} &= \varphi_{1cm} + \theta \end{aligned}$$

2. Геометрические параметры режущего клина на примере токарного резца



2.5. Контроль усвоения

Инструкция

Возьмите лист бумаги и запишите ответы на задания контрольного теста. Тест состоит из 13 заданий. Выполняйте их последовательно, внимательно читайте указания.

Указание 1. Завершите утверждения с 1-го по 3-е, выбрав один из предлагаемых вариантов окончания.

1. Основная плоскость:

- а) параллельна продольной и поперечной подачам и совпадает с опорной поверхностью резца;
- б) параллельна плоскости резания и совпадает с опорной поверхностью резца.

2. Главные углы резца рассматриваются:

- а) в плоскости резания;
- б) в основной плоскости;
- в) в главной секущей плоскости.

3. Плоскость резания расположена по отношению к основной плоскости:

- а) параллельно;
- б) произвольно;
- в) перпендикулярно.

Указание 2. Завершите утверждения с 4-го по 11-е, вписывая в пропущенные строки недостающую информацию.

4. Основные движения при резании металлов подразделяются на _____ и _____, которые соответственно обозначаются _____, _____.

5. Главная секущая плоскость _____ главной режущей кромке резца.

6. Сумма углов в плане ($\varphi + \varphi_1 + \varepsilon$) составляет _____ градусов.

7. Сумма главных углов резца ($\alpha + \beta + \gamma$) составляет _____ градусов.

2. Геометрические параметры режущего клина на примере токарного резца



2.5. Контроль усвоения

8. Между передней поверхностью резца и перпендикуляром к плоскости резания расположен _____ угол.

9. Между главной задней поверхностью и плоскостью резания расположен _____ угол.

10. Между главной задней и передней поверхностями расположен угол _____ .

11. Главный угол в плане находится между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и _____ .

Указание 3. В заданиях 12 и 13 установите соответствие информации левого и правого столбцов и заполните форму ответа.

12. Установите соответствие обозначений и конструктивных элементов головки резца.

ОБОЗНАЧЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГОЛОВКИ РЕЗЦА

- 1) A_α
- 2) A_γ
- 3) A'_α
- 4) K
- 5) B
- 6) K'

КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ГОЛОВКИ РЕЗЦА

- А. Передняя поверхность
- Б. Главная задняя поверхность
- В. Главная режущая кромка
- Г. Вспомогательная задняя поверхность
- Д. Вспомогательная режущая кромка
- Е. Вершина

Ответ: 1 – ___; 2 – ___; 3 – ___; 4 – ___; 5 – ___; 6 – ___ .

13. Установите соответствие обозначений координатным и секущим плоскостям.

ОБОЗНАЧЕНИЯ КООРДИНАТНЫХ И СЕКУЩИХ ПЛОСКОСТЕЙ

- 1) P_n
- 2) P_n
- 3) P'_n
- 4) P_V

КООРДИНАТНЫЕ И СЕКУЩИЕ ПЛОСКОСТИ

- А. Основная плоскость
- Б. Плоскость резания
- В. Главная секущая плоскость
- Г. Вспомогательная секущая плоскость

Ответ: 1 – ___; 2 – ___; 3 – ___; 4 – ___ .

3. Параметры срезаемого слоя



3.1. Толщина и ширина срезаемого слоя

Сечение срезаемого слоя ($ABCD$) образуется при пересечении отделяемой стружки плоскостью, параллельной основной плоскости.

Толщиной срезаемого слоя (ND) называется расстояние между двумя последовательными положениями поверхности резания заготовки, измеренное по перпендикуляру.

Толщина срезаемого слоя обозначается буквой a .

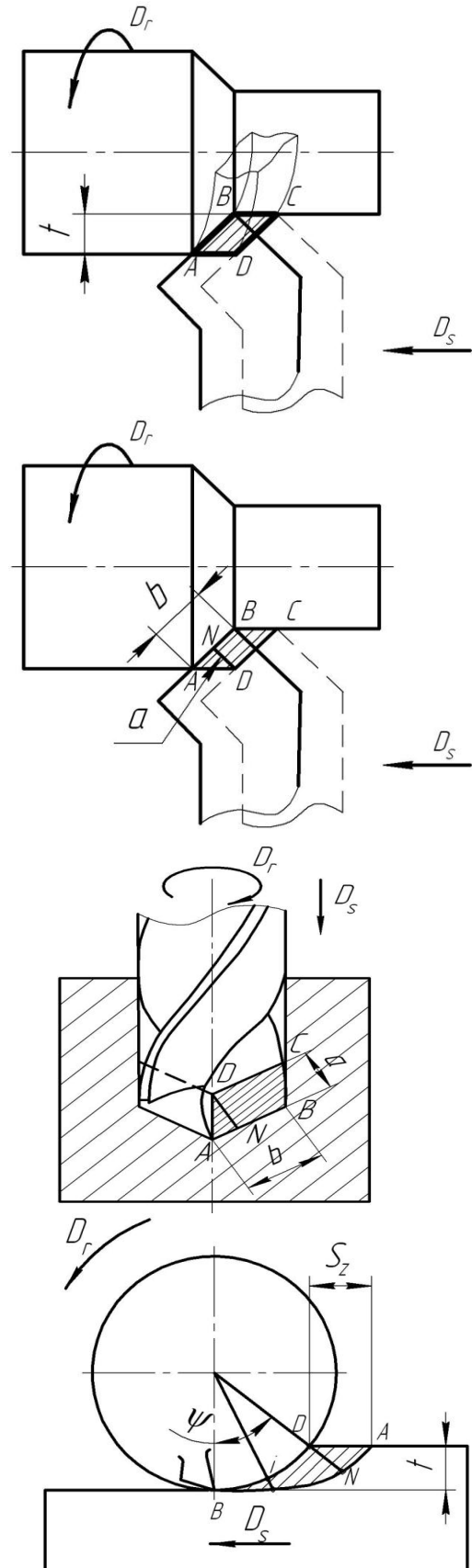
$$ND \rightarrow a.$$

Шириной срезаемого слоя (AB) называется расстояние между обработанной и обрабатываемой поверхностями заготовки, измеренное по поверхности резания.

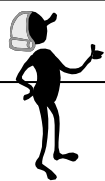
Ширина срезаемого слоя практически равна активной части режущей кромки инструмента.

Ширина срезаемого слоя обозначается буквой b .

$$AB \rightarrow b.$$



3. Параметры срезаемого слоя



3.1. Толщина и ширина срезаемого слоя

Величина a зависит от величины подачи (S_o или S_z) и главного угла в плане φ .

$$a = f(S; \varphi)$$

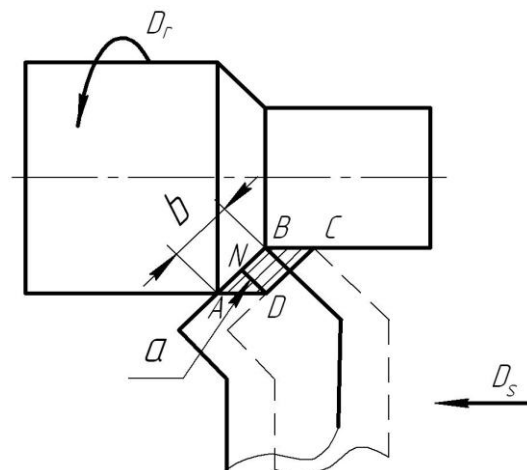


Величина b зависит от глубины резания t и главного угла в плане φ .

$$b = f(t; \varphi)$$



Математическую зависимость a от S_o и φ можно получить, рассмотрев треугольник AND .



Для точения из рассмотрения:

- треугольника AND следует, что

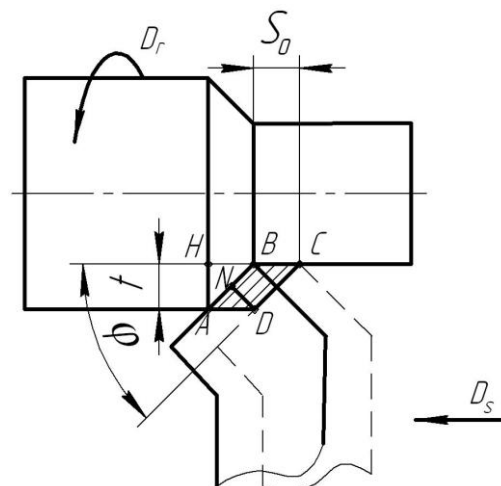
$$\sin \varphi = \frac{ND}{AD} = \frac{a}{S_o},$$

$$a = S_o \cdot \sin \varphi;$$

- треугольника AHB следует, что

$$\sin \varphi = \frac{AH}{AB} = \frac{t}{b},$$

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}.$$



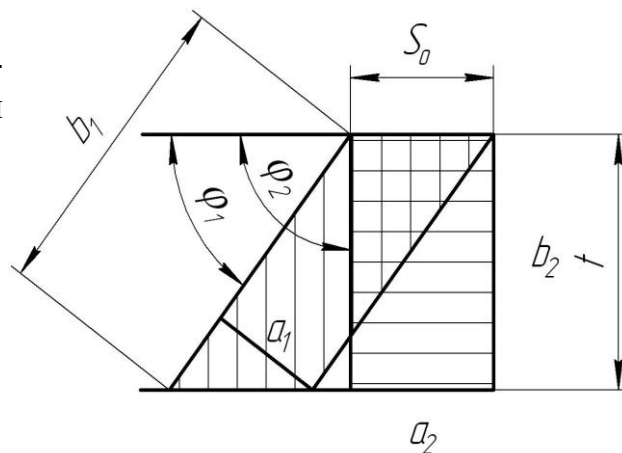
3. Параметры срезаемого слоя



3.1. Толщина и ширина срезаемого слоя

При точении в зависимости от величины угла φ меняется форма сечения срезаемого слоя и величины a и b .

$$\begin{aligned} a_1 < a_2 & \quad \text{при } \varphi_1 < \varphi_2 \\ b_1 > b_2 & \end{aligned}$$



При постоянных значениях подачи S_0 и глубины резания t , чем больше величина угла φ , тем больше толщина среза a и меньше ширина среза b .

Большие значения угла φ используют при черновой обработке, а меньшие – при чистовой обработке.

$\varphi \uparrow$ – черновая обработка
 $\varphi \downarrow$ – чистовая обработка

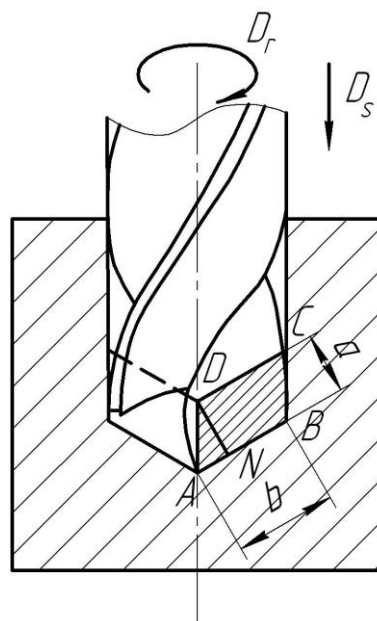
Для сверления из рассмотрения:

- треугольника AND следует, что

$$\begin{aligned} \sin \varphi &= \frac{ND}{AD} = \frac{a}{S_z}, \\ a &= S_z \cdot \sin \varphi; \end{aligned}$$

- треугольника ADB следует, что

$$\begin{aligned} \sin \varphi &= \frac{AD}{AB} = \frac{t}{b}, \\ b &= \frac{t}{\sin \varphi}. \end{aligned}$$



3. Параметры срезаемого слоя



3.1. Толщина и ширина срезаемого слоя

При цилиндрическом фрезеровании толщина среза имеет переменное значение в пределах угла контакта φ : от минимума в точке B до максимума ND .

Угол контакта φ оказывает на процесс резания такое же влияние, как и угол φ при точении и сверлении.

$$\varphi = \arccos\left(1 - \frac{2t}{D}\right).$$

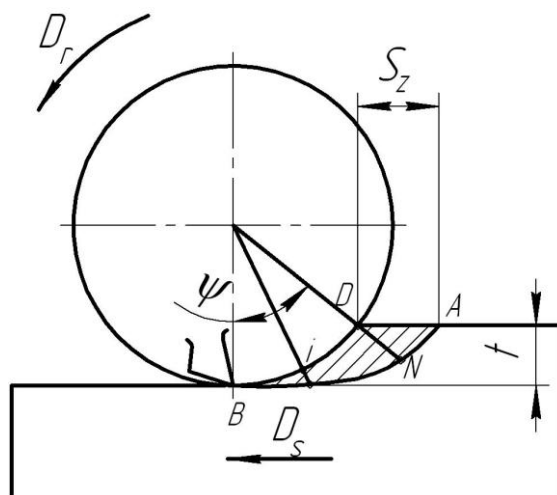
В треугольнике AND угол DAN равен углу φ (углы со взаимно перпендикулярными сторонами).

Из треугольника AND следует, что

$$a_{\max} = S_z \cdot \sin \varphi.$$

Если рассматривать величину a для какой-либо i -й точки дуги контакта BD с соответствующим значением угла контакта φ_i , то

$$a_i = S_z \cdot \sin \varphi_i.$$

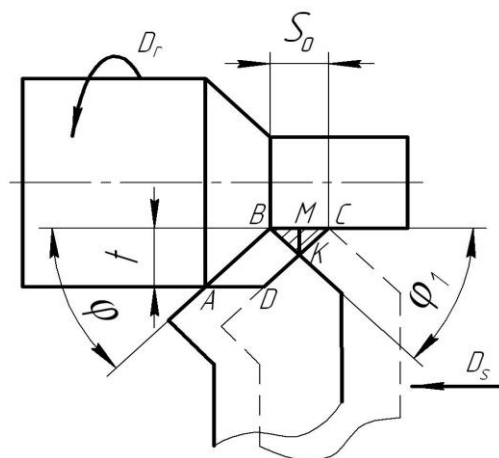


3. Параметры срезаемого слоя



3.2. Площадь поперечного сечения срезаемого слоя

Различают номинальную, действительную и остаточную площади поперечного сечения срезаемого слоя.



Номинальная (теоретическая) площадь среза f_n равна площади параллелограмма $ABCD$, следовательно:

$$f_n = S_o \cdot t = a \cdot b.$$

Действительная площадь среза f_d меньше номинальной, так как гребешок поверхности BCK остается на обработанной поверхности и его площадь (представляет собой площадь остаточного сечения) вычитается из номинальной:

$$f_d = f_n - f_{ocm}.$$

Площадь остаточного сечения равна площади треугольника BCK , высота которого представляет собой теоретическую высоту гребешка шероховатости (h_T). Из рассмотрения треугольников BCK и CMK следует:

$$h_T = \frac{S_o}{\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi_1};$$

$$f_{ocm} = \frac{S_o^2}{2(\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi_1)}.$$

Действительная площадь сечения срезаемого слоя определяется как разность номинальной и остаточной площадей.

$$f_n = S_o \cdot t = a \cdot b$$

$$f_d = f_n - f_{ocm}$$

$$h_T = \frac{S_o}{\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi_1}$$

$$f_{ocm} = \frac{S_o^2}{2(\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi_1)}$$

$$f_d = S_o \cdot t - \frac{S_o^2}{2(\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi_1)}$$

3. Параметры срезаемого слоя



3.3. Контроль усвоения

Инструкция

Возьмите лист бумаги и запишите ответы на задания контрольного теста. Тест состоит из 13 заданий. Выполняйте их последовательно, внимательно читайте указания.

Указание 1. Завершите утверждения с 1-го по 6-е, выбрав один из предлагаемых вариантов окончания.

1. Сечение срезаемого слоя при точении рассматривается в плоскости:
 - а) параллельной оси заготовки;
 - б) перпендикулярной оси заготовки;
 - в) расположенной в пространстве произвольно.

2. Толщина срезаемого слоя – это расстояние между двумя последовательными положениями поверхности резания заготовки, измеренное:
 - а) по поверхности резания;
 - б) по перпендикуляру к поверхности резания.

3. Ширина срезаемого слоя – это расстояние между обработанной и обрабатываемой поверхностями заготовки, измеренное:
 - а) по поверхности резания;
 - б) по перпендикуляру к поверхности резания.

4. С увеличением угла в плане φ :
 - а) толщина среза уменьшается, а ширина среза увеличивается;
 - б) толщина среза увеличивается, а ширина среза уменьшается;
 - в) толщина и ширина среза остаются неизменными.

5. С увеличением угла в плане φ площадь номинального сечения среза:
 - а) увеличивается;
 - б) уменьшается;
 - в) остается неизменной.

6. Площадь действительного сечения срезаемого слоя:
 - а) больше номинальной;
 - б) меньше номинальной;
 - в) равна номинальной.

3. Параметры срезаемого слоя



3.3. Контроль усвоения

Указание 2. Завершите утверждения с 7-го по 10-е, вписывая в пропущенные строки недостающую информацию.

7. Толщину срезаемого слоя при точении и сверлении можно определить по формулам _____, _____, а ширину срезаемого слоя – по формулам _____, _____.

8. Если увеличить подачу, то толщина среза _____, ширина среза _____, площадь номинального сечения среза _____.

9. Для расчета площади номинального сечения среза используют формулы _____ и _____.

10. Теоретическая высота гребешка шероховатости (h_T) может быть рассчитана по формуле _____.

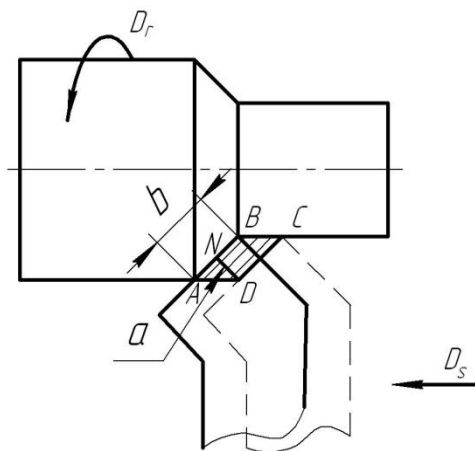
Указание 3. В заданиях с 11-го по 13-е установите соответствие информации левого и правого столбцов и заполните форму ответа.

11. Определите, каким фигурам на эскизе (AND , $ABCD$, $NBCD$) соответствуют номинальное, действительное и остаточное сечения среза.

СЕЧЕНИЯ СРЕЗА

- 1) Номинальное сечение среза
- 2) Остаточное сечение среза
- 3) Действительное сечение среза

ОБОЗНАЧЕНИЯ СЕЧЕНИЙ СРЕЗА



Ответ: 1 – ____; 2 – ____; 3 – ____.

3. Параметры срезаемого слоя



3.3. Контроль усвоения

12. Выберите формулу для расчета соответствующей площади сечения среза.

ПЛОЩАДИ СЕЧЕНИЯ СРЕЗА

ФОРМУЛЫ

1) Номинальная площадь среза

$$A. f = S_o \cdot t - \frac{S_o^2}{2(\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi_1)}$$

2) Остаточная площадь среза

$$B. f = S_o \cdot t$$

3) Действительная площадь среза

$$B. f = \frac{S_o^2}{2(\operatorname{ctg}\varphi + \operatorname{ctg}\varphi_1)}$$

Ответ: 1 — ___; 2 — ___; 3 — ___.

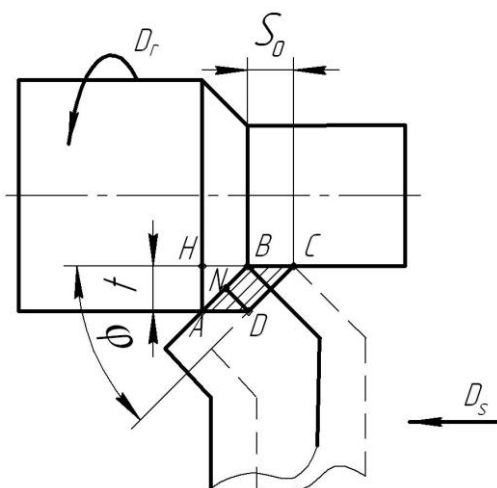
13. Соотнесите толщину и ширину среза с их изображениями на эскизе. В ответе укажите буквенное обозначение соответствующих отрезков.

ПАРАМЕТРЫ СРЕЗА

ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СРЕЗА

1) Толщина среза

2) Ширина среза



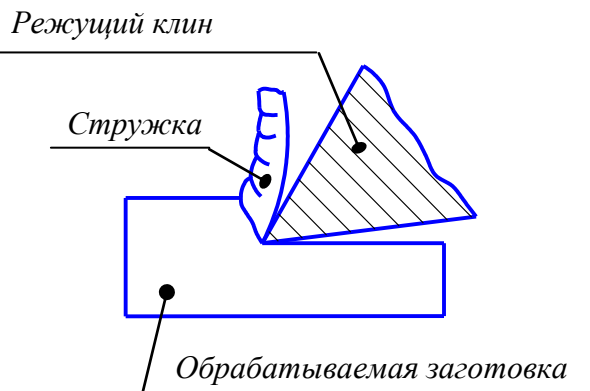
Ответ: 1 — ___; 2 — ___.

4. Физические основы процесса резания металла



4.1. Виды стружки

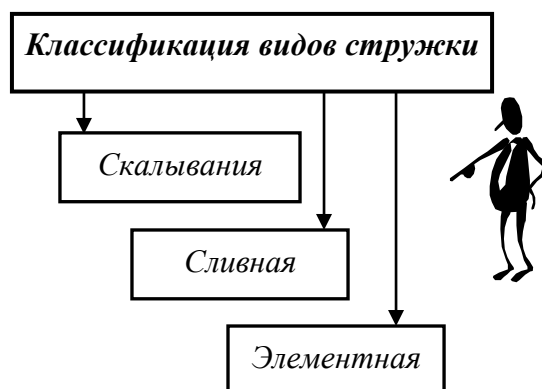
Срезаемый с заготовки в процессе резания слой металла называется *стружкой*.



В зависимости от условий обработки получается тот или иной вид стружки.

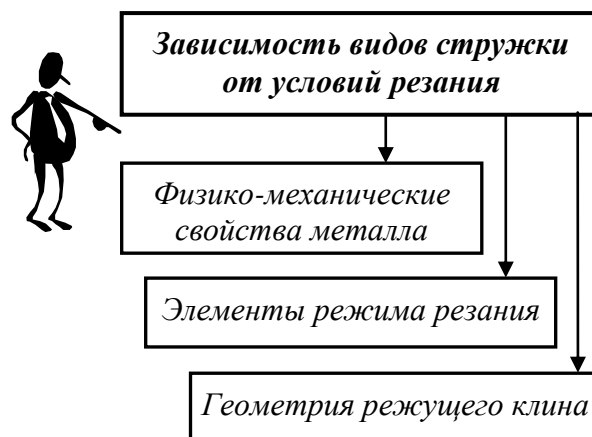
Классификацию видов стружки предложил И.А. Тиме. Согласно ей различают три основных вида стружки:

- скалывания;
- сливную;
- элементную.



Вид стружки зависит от условий резания, которые составляют:

- физико-механические свойства обрабатываемого металла;
- элементы режима резания;
- геометрия режущего клина.



4. Физические основы процесса резания металла

4.1. Виды стружки

Стружка скалывания и сливная стружка образуются при обработке пластичных материалов (стали, алюминиевые сплавы, ковкий чугун).

Стружка скалывания представляет собой ленту с гладкой внутренней (обращенной к передней поверхности клина) стороной и с ярко выраженными зазубринами на внешней стороне.

Стружка скалывания образуется при обработке пластичных материалов при большой толщине среза a , относительно небольшой скорости резания v и небольшом переднем угле γ режущего инструмента.

Сливная стружка представляет собой сплошную ленту с гладкой внутренней (обращенной к передней поверхности клина) стороной и с «бархатистой» внешней стороной.

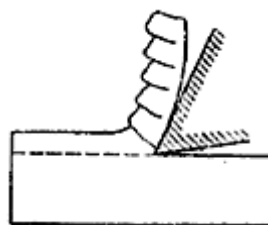
Сливная стружка образуется при обработке пластичных материалов при небольшой толщине среза a , относительно большой скорости резания v и увеличении значений переднего угла γ режущего инструмента.

Пластичные материалы

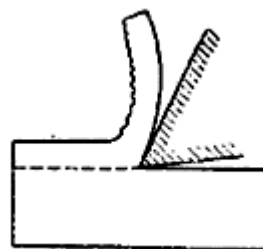
С
т
р
у
ж
к
а

Скалывания

Сливная



$a \uparrow$; $v \downarrow$; $\gamma \downarrow$



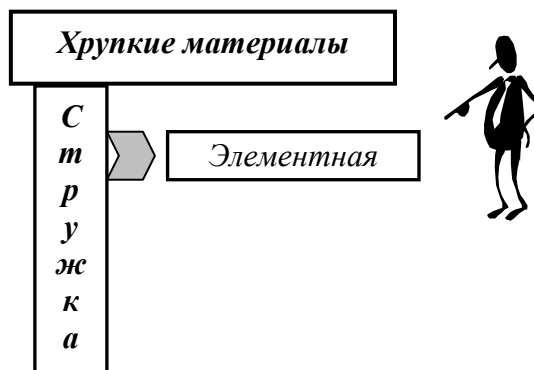
$a \downarrow$; $v \uparrow$; $\gamma \uparrow$

4. Физические основы процесса резания металла

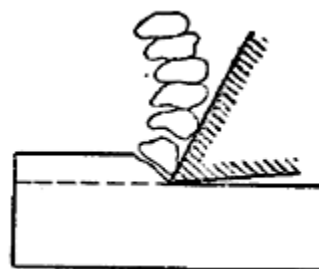


4.1. Виды стружки

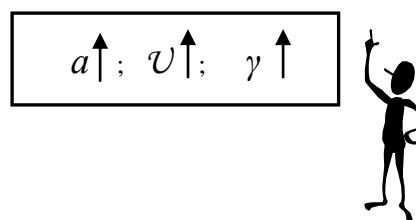
При обработке хрупких материалов (серый чугун, бронза) образуется *элементная стружка*.



Элементная стружка состоит из отдельных, не связанных между собой элементов.



Элементная стружка образуется при обработке хрупких материалов на малых скоростях резания v при значительных толщинах среза a и больших значениях переднего угла γ режущего инструмента.



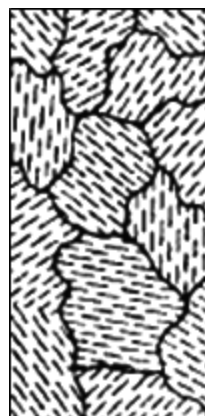
4. Физические основы процесса резания металла



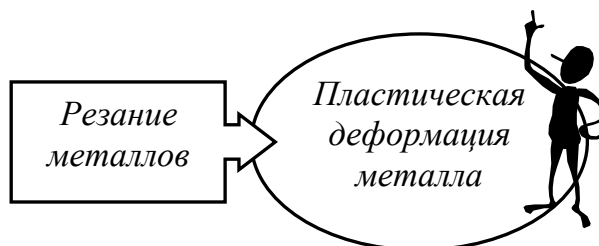
4.2. Процесс стружкообразования

Обработке резанием подвергаются промышленные металлы, которые имеют поликристаллическое строение.

Поликристалл можно представить как совокупность монокристаллов (кристаллитов), имеющих, в свою очередь, гексагональную, тетрагональную и другую структуру.

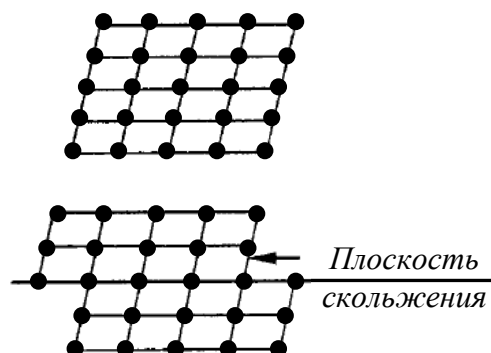


Процесс резания связан с пластической деформацией обрабатываемого металла, в результате которой накапливаются нормальные и касательные напряжения в деформируемом объеме металла.

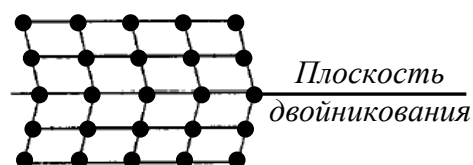


Пластическая деформация монокристалла может произойти по пути:

- *скольжения* – смещения кристаллографических плоскостей относительно друг друга;



- *двойникования* – поворота кристаллографических плоскостей относительно оси.

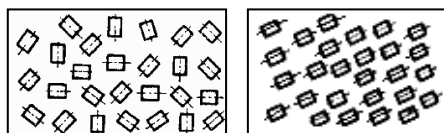


4. Физические основы процесса резания металла



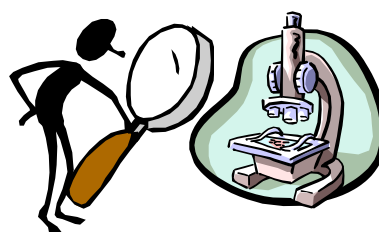
4.2. Процесс стружкообразования

Процесс пластической деформации поликристалла сопровождается изменением структуры и формы кристаллитов, изменением их ориентировки и образованием текстуры, развитием сложного напряженного состояния, тепловыделением.



Текстура

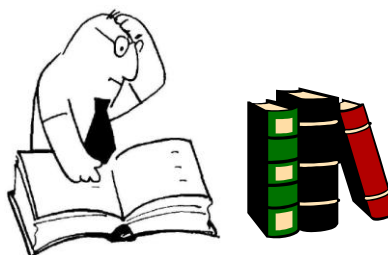
Процесс стружкообразования при резании металлов впервые исследовал И.А. Тиме.



Уточнялась и развивалась модель стружкообразования в исследованиях К.А. Зворыкина, А.Н. Брикса, Я.Г. Усачева, а также М.И. Клушина, Н.Н. Зорева, А.И. Исаева, В.Ф. Боброва, М.Н. Ларина и др.



Анализ литературы, раскрывающей вопросы физических основ процесса резания металлов, позволяет рассмотреть схематизированную модель стружкообразования на примере получения сливной стружки.



4. Физические основы процесса резания металла

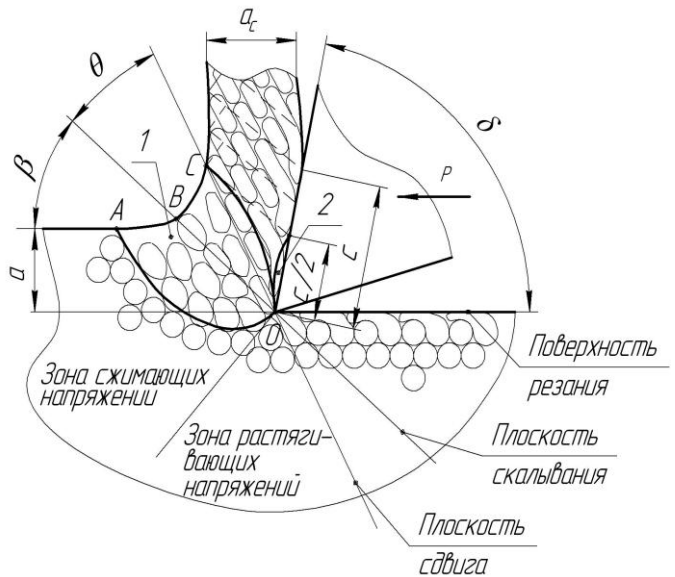


4.2. Процесс стружкообразования

Режущий клин под действием силы стружкообразования P вдавливается в обрабатываемый металл.

Впереди клина образуется зона опережающей деформации $OABC$. Левее дуги OA находятся недеформированные зерна (кристаллиты) обрабатываемого металла.

Каждый кристаллит, попадая в область дуги OA , начинает пластически деформироваться в зоне 1 .

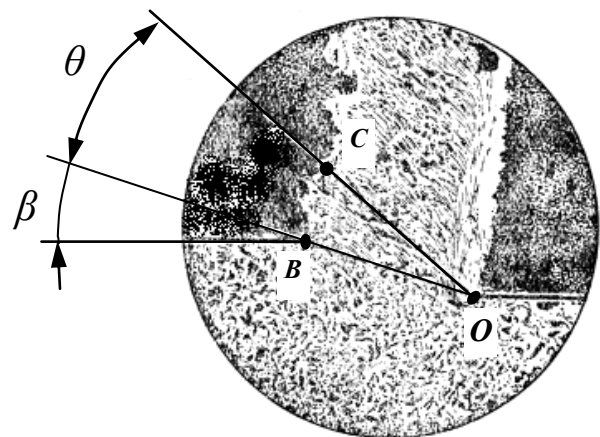


По мере движения от дуги OA к плоскости скалывания OB пластическое деформирование будущего элемента стружки возрастает.

Идет внутрикристаллитная деформация зерен по пути скольжения или двойникования.

Рост пластической деформации приводит к сдвиговым деформациям, которые начинаются на плоскости скалывания OB .

Плоскость скалывания расположена по отношению к направлению движения клина под углом скалывания β .



Угол скалывания β

$$\beta \approx 30 - 35^\circ$$



4. Физические основы процесса резания металла

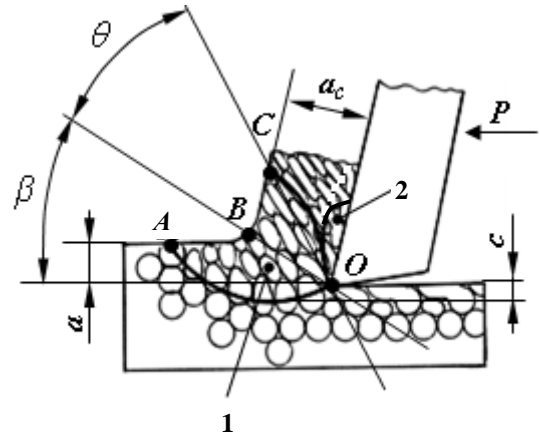


4.2. Процесс стружкообразования

В области OBC продолжается пластическое деформирование сформированного элемента стружки.

Образуется текстура относительно плоскости OC (плоскости сдвига).

Накопленные напряжения превышают предел прочности обрабатываемого материала и происходит разрушение, т.е. отделение элемента стружки от обрабатываемого материала по плоскости сдвига.



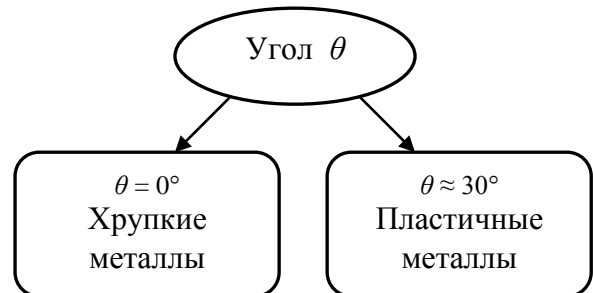
Плоскость сдвига расположена по отношению к плоскости скалывания под углом θ .

Величина угла θ зависит от свойств обрабатываемого материала и других условий обработки и находится в пределах от 0 до 30° .

Угол сдвига θ



При обработке *хрупких металлов* (серый чугун) значение угла θ близко к 0° , а при резании *пластичных металлов* значение угла θ приближается к 30° .



4. Физические основы процесса резания металла



4.2. Процесс стружкообразования

После выхода из зоны первичной деформации (зона 1) перешедший в стружку слой металла дополнительно деформируется в зоне вторичной деформации 2.

Зона вторичной деформации образуется вследствие трения стружки о переднюю поверхность инструмента.

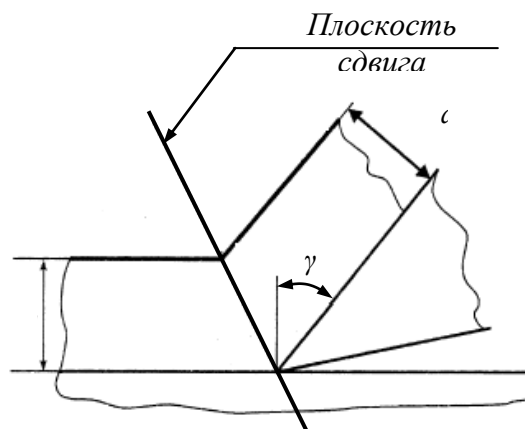
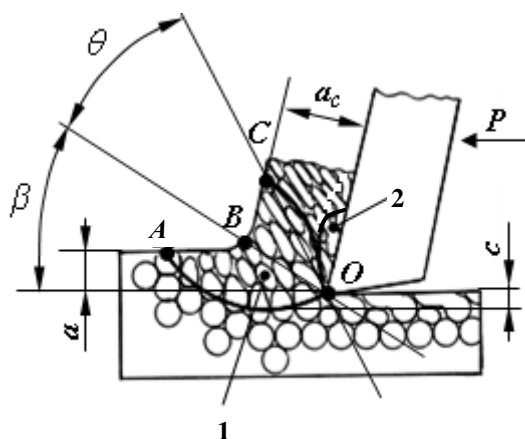
Ширина зоны 2 приблизительно составляет половину ширины площади контакта C , а толщина – одну десятую часть толщины стружки a_c .

Степень деформации «спинки» стружки, прошедшей через зону 2, в 20 раз превышает степень деформации основной части стружки.

В условиях современной металлообработки (высокие скорости резания, оптимальные углы γ и α) границы зоны опережающей деформации сближаются таким образом, что разница между плоскостями скалывания и сдвига небольшая.

Поэтому возможно семейство плоскостей сдвиговых деформаций схематично заменить условной плоскостью сдвига.

Вторичная деформация



4. Физические основы процесса резания металла



4.3. Явление наклепа обработанной поверхности

При резании металлов пластической деформации подвергается как срезаемый слой, так и поверхностный слой обработанной заготовки s .

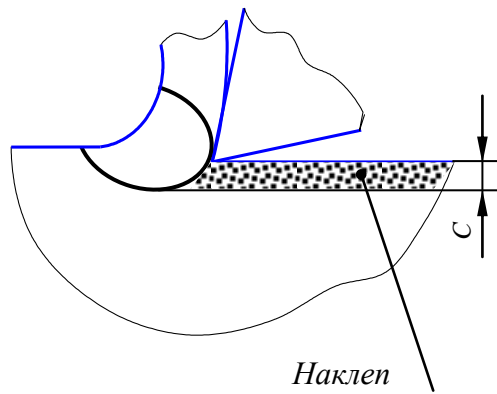
Явление упрочнения поверхностного слоя обработанной заготовки в процессе резания получило название *наклепа обработанной поверхности* и впервые подробно было изучено Я.Г. Усачевым.

Упрочненный слой глубиной s имеет повышенную прочность и твердость, он более хрупкий и хуже сопротивляется знакопеременным нагрузкам, чем исходный обрабатываемый материал, в нем наблюдаются концентрации напряжений.

Поэтому наклеп, получающийся в процессе обработки резанием, оказывает отрицательное влияние на работоспособность детали в соединении.

Восстановить структуру металла, т.е. освободиться от наклепа, можно, используя методы термообработки – отжиг и нормализацию.

Наклеп обработанной поверхности



Восстановление структуры – отжиг, нормализация



4. Физические основы процесса резания металла



4.3. Явление наклепа обработанной поверхности

Глубина наклепа c зависит от условий резания ($УР$).

$$c = f(УР)$$



Чем пластичнее ($Пл$) обрабатываемый материал, тем больше будет объем зоны деформации ($ВПД$), и глубина наклепа увеличится.

$$Пл \uparrow \rightarrow ВПД \uparrow \rightarrow c \uparrow$$



Поэтому при обработке серого чугуна при прочих равных условиях глубина наклепа будет меньше, чем при обработке низкоуглеродистой стали.

Увеличение угла γ приводит к уменьшению объема и степени пластического деформирования при резании, глубина наклепа также будет уменьшаться.

$$\gamma \uparrow \rightarrow ВПД \downarrow \rightarrow c \downarrow$$



С увеличением угла α уменьшается площадь контакта задней поверхности режущего клина с обработанной поверхностью, сила трения $F_{тр}$ поэтому также уменьшается, и глубина наклепа будет меньше.

$$\alpha \uparrow \rightarrow F_{тр} \downarrow \rightarrow c \downarrow$$



4. Физические основы процесса резания металла



4.3. Явление наклепа обработанной поверхности

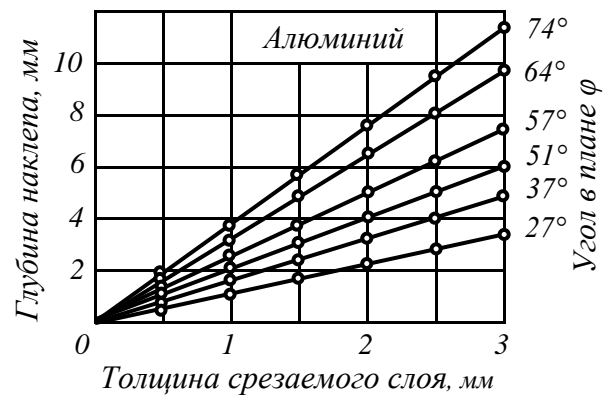
Влияние угла φ на величину наклепа связано с изменением толщины среза a .

$$a = S_o \cdot \sin\varphi$$



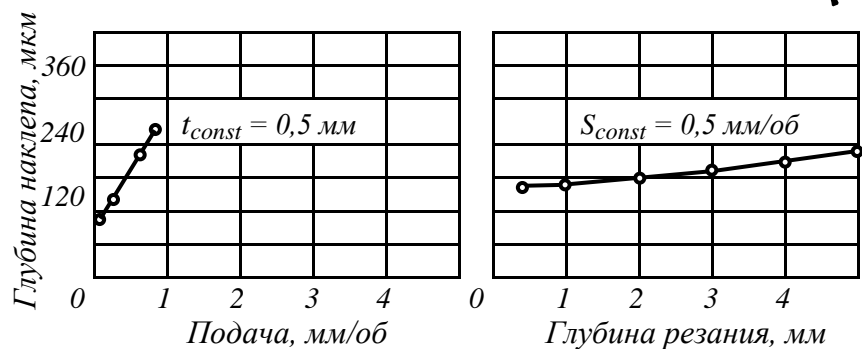
Увеличение угла φ приводит к возрастанию толщины среза a , что, в свою очередь, увеличивает объем пластической деформации и глубину наклепа.

$$\varphi \uparrow \rightarrow a \uparrow \rightarrow \text{ВПД} \uparrow \rightarrow c \uparrow$$



При увеличении глубины резания t и подачи S_o возрастает площадь срезаемого слоя f_n , следовательно, увеличивается объем пластической деформации и глубина наклепа.

$$\left. \begin{array}{l} S_o \uparrow \\ t \uparrow \end{array} \right\} \left[f_n \uparrow \rightarrow \text{ВПД} \uparrow \rightarrow c \uparrow \right]$$



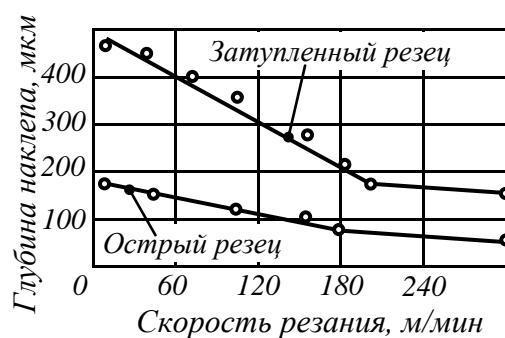
4. Физические основы процесса резания металла



4.3. Явление наклепа обработанной поверхности

С увеличением скорости резания v повышается скорость пластической деформации, объем ее уменьшается и глубина наклепа становится меньше.

$$v \uparrow \rightarrow v_{ПД} \downarrow \rightarrow c \downarrow$$



Смазочно-охлаждающие среды (СОС) затормаживают процесс пластического деформирования и трения и, следовательно, уменьшают глубину наклепа.

$$СОС (+) \rightarrow v_{ПД} \downarrow \rightarrow c \downarrow$$



4. Физические основы процесса резания металла



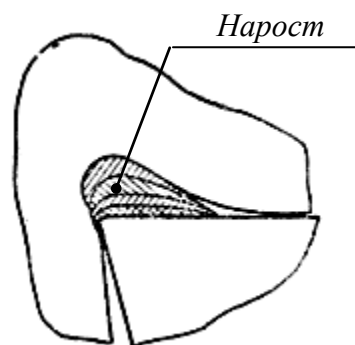
4.4. Явление наростообразования в процессе резания

При обработке пластичных материалов на передней поверхности режущего клина образуется нарост.

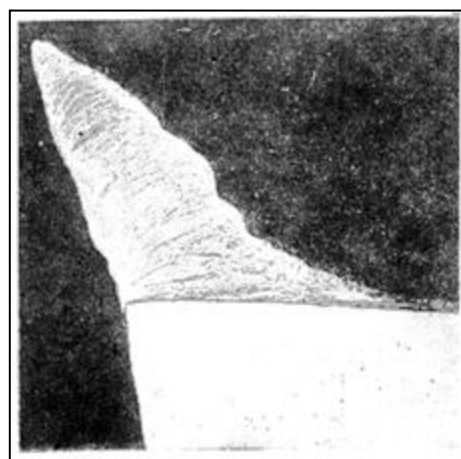
Нарост имеет клиновидную форму и представляет собой заторможенные слои сильно деформированного при резании металла.

Твердость нароста в $1,5 \div 1,7$ раза выше твердости обработанного материала.

Впервые обнаружил явление наростообразования и дал ему объяснение Я.Г. Усачев. Он установил, что нарост – это застой деформированного металла в процессе стружкообразования.



Высокая твердость нароста



*Нарост на резце
(исследования Я.Г. Усачева)*

4. Физические основы процесса резания металла

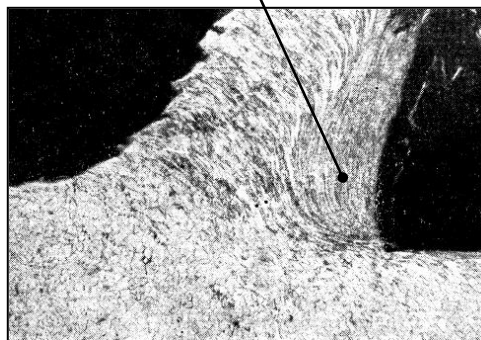


4.4. Явление наростообразования в процессе резания

Различают два вида нароста.

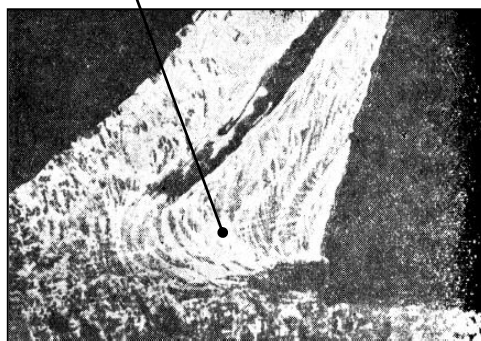
Нарост первого вида имеет значительную протяженность вдоль передней поверхности инструмента, но сравнительно слабо выступает впереди нее.

Нарост 1-го вида



Нарост второго вида имеет незначительную протяженность вдоль передней поверхности инструмента и сильно выступает впереди режущей кромки.

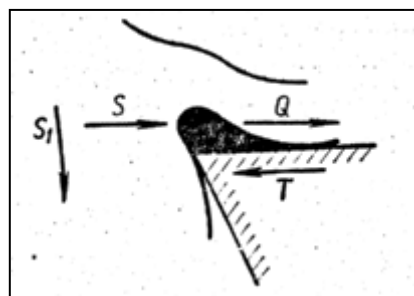
Нарост 2-го вида



Нарост удерживается на передней поверхности инструмента условной силой трения T .

На возникший нарост действуют силы сжатия S и S_1 и сила растяжения Q .

Когда сумма сил S и Q превысит силу T , происходит срыв нароста.



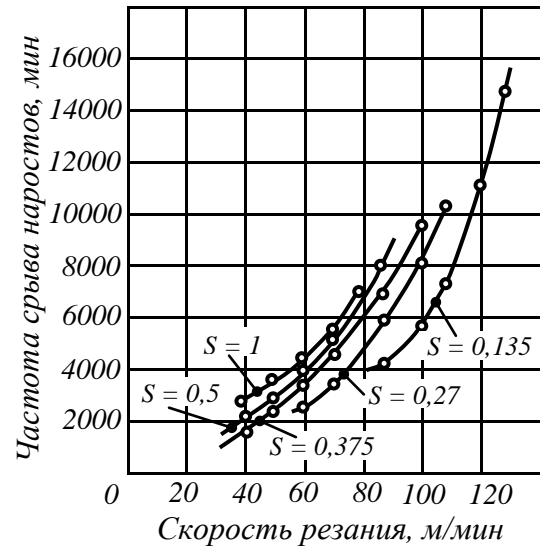
4. Физические основы процесса резания металла



4.4. Явление наростообразования в процессе резания

Следовательно, в какой-то момент нарост срывается и начинает образовываться вновь.

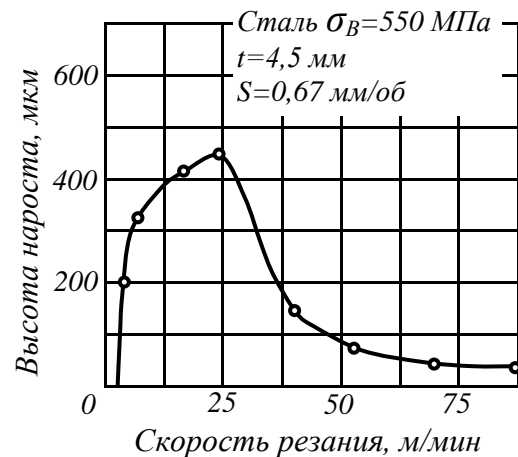
Частота срыва наростов увеличивается с возрастанием скорости резания и подачи.



Величина нароста H зависит в большей степени от скорости резания.

На скоростях от 3 до 5 м/мин нарост практически отсутствует вследствие невысоких температур в зоне резания.

Наибольшие по высоте наросты наблюдаются при скоростях резания от 12 до 25 м/мин (в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого материала, передних углов инструмента, условий охлаждения).



4. Физические основы процесса резания металла

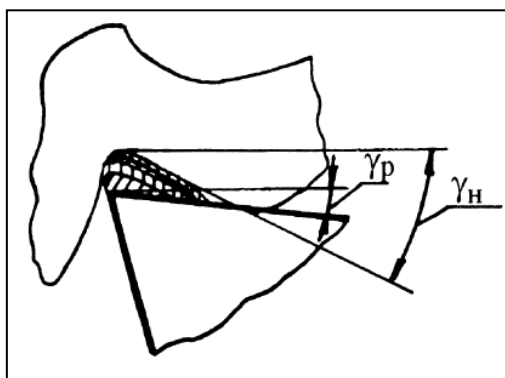


4.4. Явление наростообразования в процессе резания

Нарост оказывает на процесс резания как положительное, так и отрицательное влияние.

Положительное влияние проявляется в следующем:

- увеличивается передний угол по наросту ($\gamma_n > \gamma_p$). Это приводит к уменьшению степени и объема пластической деформации при резании;



$$\gamma_n \uparrow \rightarrow V_{ПД} \downarrow$$



- повышается стойкость инструмента T , поскольку нарост закрывает собой режущую кромку и поверхности режущего клина.

$$T \uparrow$$



Отрицательное влияние выражается в том, что:

- срывы нароста вызывают вибрации в системе «станок – приспособление – инструмент – деталь» (СПИД), что отрицательно сказывается на точности обработки;

$$\text{Вибрации в системе} \\ \text{СПИД} \uparrow$$

$$\text{Качество} \downarrow$$

- нарост ухудшает шероховатость поверхности.

$$H \uparrow \rightarrow \text{Шероховатость} \uparrow$$

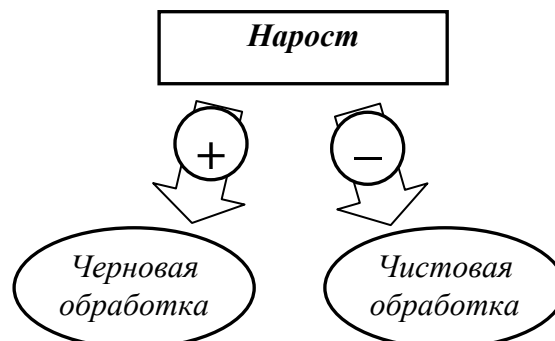


4. Физические основы процесса резания металла

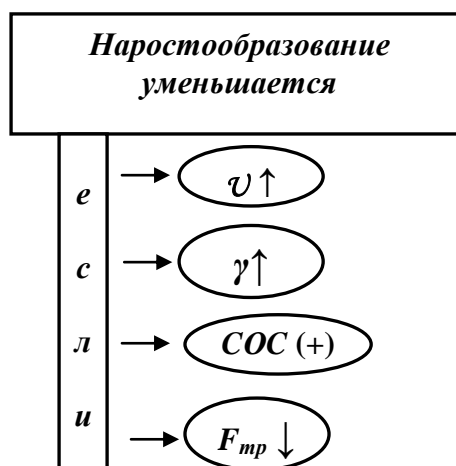


4.4. Явление наростообразования в процессе резания

С учетом влияния нароста на процесс резания можно полагать, что при черновой обработке нарост – явление положительное, а при получистовой и чистовой – отрицательное.



Наростообразование можно уменьшить, повышая скорость резания, увеличивая передний угол, используя систему охлаждения и снижая трение на передней поверхности клина за счет ее тщательной доводки.

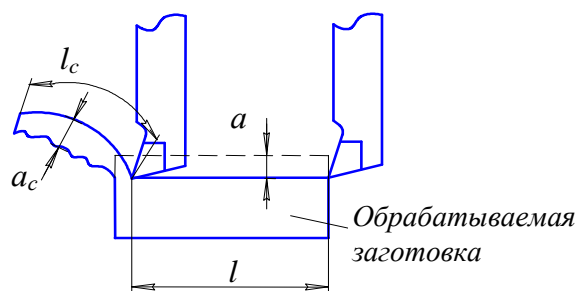


4. Физические основы процесса резания металла



4.5. Явление усадки стружки

Усадка стружки является следствием пластической деформации при резании металлов. Внешне она проявляется в том, что длина стружки l_c оказывается меньше длины поверхности заготовки l , с которой она снята, а толщина стружки a_c – больше толщины среза a .



Укорочение стружки по длине относительно длины обработанной поверхности называется *продольной усадкой стружки*.

Величина продольной усадки стружки характеризуется *коэффициентом продольной усадки стружки* K_l , который представляет собой отношение длины обработанного участка заготовки l к длине стружки l_c , снятой с этого участка.

$$K_l = \frac{l}{l_c}$$

Укорочение стружки по длине сопровождается увеличением ее поперечного сечения, в основном за счет толщины сечения среза. Это явление называется *поперечной усадкой стружки*.

Коэффициент поперечной усадки стружки K_a определяется отношением толщины стружки a_c к толщине среза a .

$$K_a = \frac{a_c}{a}$$

4. Физические основы процесса резания металла



4.5. Явление усадки стружки

Коэффициенты продольной и поперечной усадки стружки приблизительно равны между собой и всегда больше единицы при обычном (не сверхскоростном) резании металлов.

$$K_l \approx K_a > 1$$

На величину K_l влияют следующие условия резания ($УР$): свойства обрабатываемого материала, элементы режима резания, геометрия режущего клина.

$$K_l = f(УР)$$

Чем пластичнее металл, т.е. чем больше его вязкость и меньше твердость, тем больше степень пластической деформации ($СтПД$) при резании и больше величина K . Так, у низко- и среднеуглеродистой стали $K_l = 1,5-3$, у меди – 5–6.

*Свойства
обрабатываемого
материала*



Хрупкие материалы (чугун, бронза и т.п.) характеризуются малыми величинами K_l . Например, у чугуна $K_l = 1,1-1,5$.

Пластичность $\downarrow \rightarrow СтПД \downarrow \rightarrow l_c \uparrow \rightarrow K_l \downarrow$

С увеличением переднего угла γ уменьшается степень пластической деформации срезаемого слоя, а также силы трения между стружкой и передней поверхностью инструмента, что приводит к уменьшению величины K_l .

*Геометрия
режущего клина*



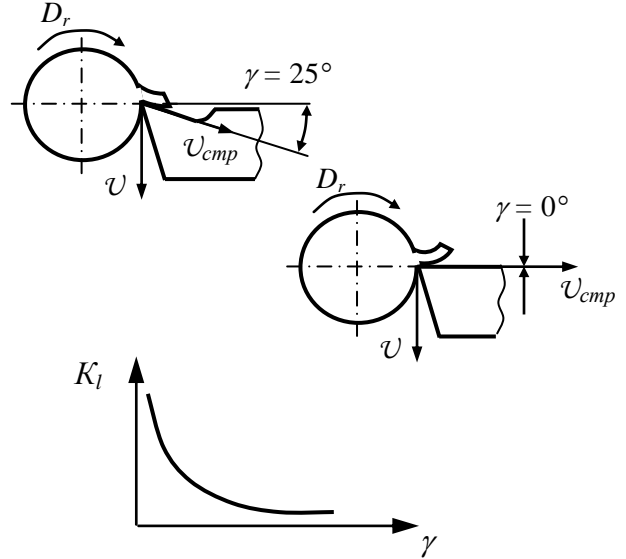
$\gamma \uparrow \rightarrow СтПД \downarrow \rightarrow l_c \uparrow \rightarrow K_l \downarrow$

4. Физические основы процесса резания металла



4.5. Явление усадки стружки

При уменьшении переднего угла γ увеличивается угол между векторами скорости резания U и скорости схода стружки $U_{сmp}$. В этом случае режущий клин сильнее деформирует стружку при отводе ее из зоны резания по передней поверхности.



Увеличение главного угла в плане φ приводит к увеличению толщины срезаемого слоя $a = S_o \cdot \sin \varphi$ и уменьшению степени его пластической деформации, что влечет за собой уменьшение величины K_l .

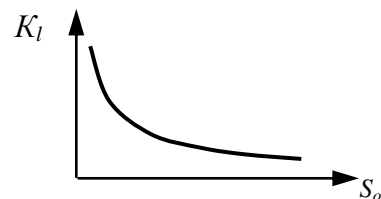
$$\varphi \uparrow \rightarrow a \uparrow \rightarrow CmПД \downarrow \rightarrow l_c \uparrow \rightarrow K_l \downarrow$$

Элементы
режима резания



Увеличение подачи S_o , в свою очередь, связано с увеличением толщины срезаемого слоя $a = S_o \cdot \sin \varphi$, что вызывает уменьшение степени пластической деформации в срезаемом слое и приводит к уменьшению величины K_l .

$$S_o \uparrow \rightarrow a \uparrow \rightarrow CmПД \downarrow \rightarrow l_c \uparrow \rightarrow K_l \downarrow$$



Чем толще стружка, тем меньше она пластически деформируется.

4. Физические основы процесса резания металла



4.5. Явление усадки стружки

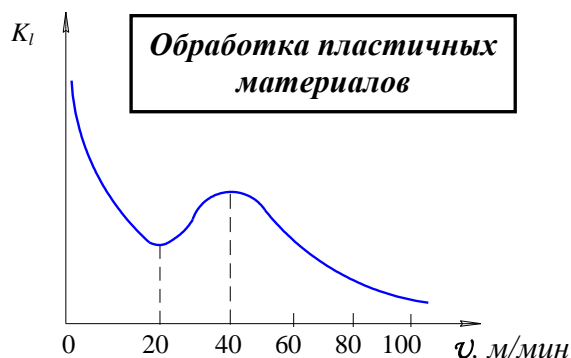
Влияние скорости резания на усадку стружки опосредовано свойствами обрабатываемого материала. Если обрабатывается *пластичный материал* (например, сталь 40), дающий сливную стружку, то зависимость усадки стружки от скорости резания имеет неоднозначный характер в различных интервалах скоростей.

При увеличении скорости резания от 5 до 20–25 м/мин степень пластической деформации и величина K_l уменьшаются, так как растет нарост H_n на передней поверхности инструмента, который увеличивает фактический передний угол γ_n .

Начиная со скорости 20–25 м/мин высота нароста уменьшается, фактический передний угол уменьшается, что увеличивает степень пластической деформации и величину K_l .

При скорости 40–50 м/мин нарост исчезает, передний угол принимает свое номинальное значение, степень пластической деформации и величина K_l достигают максимума.

При дальнейшем увеличении скорости резания степень пластической деформации и величина K_l уменьшаются, так как растет температура резания, подрезцовый слой стружки размягчается и начинает играть роль твердой смазки. Уменьшается коэффициент трения, что облегчает процесс резания.



Если $v = 5 \dots 20$ м/мин

$v \uparrow \rightarrow H_n \uparrow \rightarrow \gamma_n \uparrow \rightarrow C_m ПД \downarrow \rightarrow l_c \uparrow \rightarrow K_l \downarrow$

Если $v = 20 \dots 40$ м/мин

$v \uparrow \rightarrow H_n \downarrow \rightarrow \gamma_n \downarrow \rightarrow C_m ПД \uparrow \rightarrow l_c \downarrow \rightarrow K_l \uparrow$

Если $v > 40$ м/мин

$v \uparrow \rightarrow C_m ПД \downarrow \rightarrow l_c \uparrow \rightarrow K_l \downarrow$

Указанные величины скорости резания, соответствующие максимуму и минимуму величины K_l , могут несколько смещаться в зависимости от условий резания.

4. Физические основы процесса резания металла

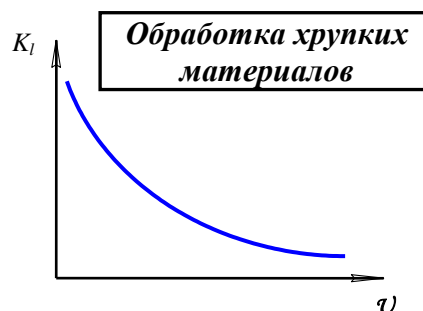


4.5. Явление усадки стружки

При обработке *хрупких материалов* (например, серых чугунов), дающих стружку скалывания, зависимость коэффициента усадки стружки от скорости резания имеет однозначный характер во всех интервалах скоростей. Это объясняется отсутствием нароста при обработке хрупких и твердых материалов.

С увеличением скорости резания при обработке хрупких материалов степень пластической деформации уменьшается, что приводит к уменьшению величины K_l .

Увеличение глубины резания t приводит к увеличению ширины срезаемого слоя $\left(b = \frac{t}{\sin \varphi}\right)$ и снижению степени пластической деформации, что влечет за собой удлинение стружки и уменьшение величины K_l . Отмеченная зависимость характерна для резания с малыми сечениями среза, т.е. для чистовых и получистовых операций.



$$v \uparrow \rightarrow C_{mПД} \downarrow \rightarrow l_c \uparrow \rightarrow K_l \downarrow$$

$$t \uparrow \rightarrow b \uparrow \rightarrow C_{mПД} \downarrow \rightarrow l_c \uparrow \rightarrow K_l \downarrow$$

4. Физические основы процесса резания металла



4.6. Возникновение шероховатости обработанной поверхности

В результате обработки резанием на обработанной поверхности образуются микронеровности в виде выступов и впадин.

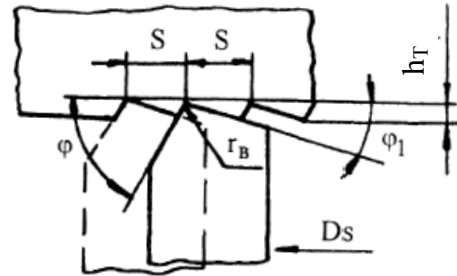
Микронеровности определяют *шероховатость обработанной поверхности*.



Микронеровности
поверхности

Теоретический (регулярный) профиль шероховатости обработанной поверхности можно представить как след движения режущей кромки инструмента в поверхностном слое обрабатываемого материала.

В результате образуется совокупность гребешков одинаковой формы с одинаковой высотой h_T .



На теоретический профиль шероховатости влияет величина подачи, главный и вспомогательный углы в плане, если работать с незакругленной вершиной ($r_B = 0$).

$$r_B = 0$$

$$h_T = \frac{S}{\text{ctg}\varphi + \text{ctg}\varphi_1}$$

Для резца с $r_B \neq 0$, но $r_B < S$ используется эмпирическая зависимость $h_T = f(S; r_B)$.

$$r_B < S$$

$$h_T = \frac{S^2}{8r_B}$$

или

$$h_T \approx \frac{0,0321S^2}{r_B}$$

Чем больше S , φ , φ_1 , r_B , тем больше высота микронеровностей.

$$S \uparrow; \varphi \uparrow; \varphi_1 \uparrow; r_B \uparrow$$

$$h_T \uparrow$$



4. Физические основы процесса резания металла



4.6. Возникновение шероховатости обработанной поверхности

В действительности форма и высота гребешков шероховатости (h_δ) отличается от теоретической на величину Δh . Это прежде всего связано с пластической деформацией при резании металлов (Δh_{nl}), а также с упругим восстановлением обработанной поверхности (Δh_{yn}) и трением между задней поверхностью инструмента и обработанной поверхностью заготовки (Δh_{mp}).

Приращение Δh_{nl} происходит в результате пластического течения металла при резании в направлении остаточного гребешка (процесс бокового смятия) и в значительной степени влияет на действительную высоту микронеровностей.

Чем больше поверхностная пластическая деформация, тем больше будет приращение высоты микронеровностей, и высота действительного гребешка шероховатости увеличится.

Условия резания влияют на шероховатость следующим образом:

1) Свойства обрабатываемого металла

Чем *пластичнее* металл, тем больше объем пластической деформации при резании, и действительная высота микронеровностей будет больше.

С увеличением *твердости* пластическая деформация будет меньше и уменьшится действительная высота микронеровностей.

$$\Delta h = \Delta h_{nl} + \Delta h_{yn} + \Delta h_{mp}$$

$$V_{ПД} \uparrow \rightarrow \Delta h \uparrow \rightarrow h_\delta \uparrow$$



$$h_\delta = f(УР)$$

$$Пл \uparrow \rightarrow V_{ПД} \uparrow \rightarrow h_\delta \uparrow$$



$$НВ \uparrow \rightarrow V_{ПД} \downarrow \rightarrow h_\delta \downarrow$$



4. Физические основы процесса резания металла

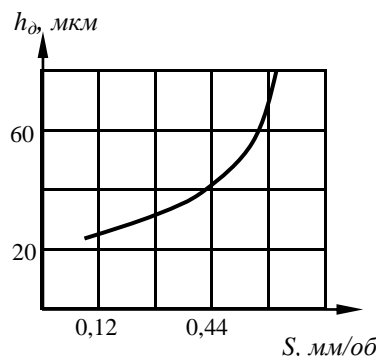


4.6. Возникновение шероховатости обработанной поверхности

2) Элементы режима резания

Глубина резания значительного влияния на шероховатость не оказывает.

С увеличением *подачи* возрастает толщина срезаемого слоя, что увеличивает объем пластической деформации и шаг перемещения инструмента, а это, в свою очередь, приводит к увеличению h_δ .



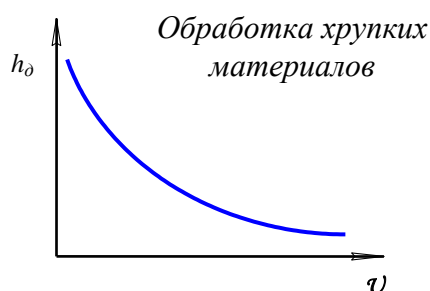
$$S \uparrow \rightarrow a \uparrow \rightarrow \text{ВПД} \uparrow \rightarrow h_\delta \uparrow$$



Скорость резания по-разному влияет на обработку хрупких и пластичных материалов.

При обработке *хрупких материалов* наростов не образуется.

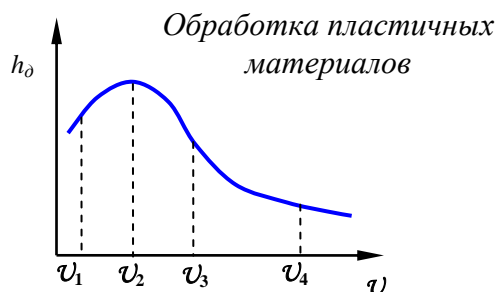
С увеличением скорости резания объем пластической деформации снижается, что приводит к уменьшению высоты микронеровностей.



$$v \uparrow \rightarrow \text{ВПД} \downarrow \rightarrow h_\delta \downarrow$$

При обработке *пластичных материалов* действительная высота микронеровностей зависит от высоты образующегося нароста.

В интервале скоростей $v_1 - v_2$ нарост интенсивно растет и достигает максимума при v_2 (приблизительно 20...25 м/мин). Затем нарост уменьшается и практически перестает образовываться при v_4 . Величина h_δ растет с увеличением нароста и затем снижается при его уменьшении. Со скорости v_4 высота h_δ практически становится близкой к h_T .



$$\begin{aligned} (v_1 - v_2) H_n \uparrow &\rightarrow h_\delta \uparrow \\ (v_2 - v_3) H_n \downarrow &\rightarrow h_\delta \downarrow \\ (v > v_4) H_n \rightarrow 0; &h_\delta \approx h_T \end{aligned}$$

4. Физические основы процесса резания металла



4.6. Возникновение шероховатости обработанной поверхности

3) Геометрия режущего инструмента

При уменьшении углов в плане φ и φ_1 и увеличении радиуса закругления при вершине r_B h_δ уменьшается.

$$\begin{array}{l} \varphi \downarrow \rightarrow a \downarrow \rightarrow \text{VIII} \downarrow \rightarrow h_\delta \downarrow \\ r_B \uparrow \rightarrow F_{mp} \downarrow \rightarrow h_\delta \downarrow \end{array}$$

При увеличении заднего угла α снижаются силы трения между задней поверхностью режущего клина и обработанной поверхностью, что уменьшает прирост Δh_δ , и, следовательно, h_δ снижается.

$$\alpha \uparrow \rightarrow F_{mp} \downarrow \rightarrow \Delta h_{mp} \downarrow \rightarrow h_\delta \downarrow$$

Применение смазочно-охлаждающих сред способствует уменьшению h_δ , так как облегчается процесс образования стружки: снижается объем пластической деформации и уменьшаются силы трения.

$$\text{COC} \oplus \begin{array}{l} \nearrow \text{VPII} \downarrow \\ \searrow F_{mp} \downarrow \end{array} \Rightarrow h_\delta \downarrow$$

4. Физические основы процесса резания металла



4.7. Контроль усвоения

Инструкция

Возьмите лист бумаги и запишите ответы на задания контрольного теста. Тест состоит из 12 заданий. Выполняйте их последовательно, внимательно читайте указания.

Указание 1. Завершите утверждения с 1-го по 6-е, выбрав один из предлагаемых вариантов окончания.

1. При обработке пластичных материалов возможно образование двух видов стружки:
 - а) скалывания и элементной;
 - б) сливной и элементной;
 - в) скалывания и сливной.
2. Стружкообразование при резании металлов является следствием:
 - а) упругой деформации;
 - б) пластической деформации.
3. Явление наклепа при резании металлов представляет собой:
 - а) изменение микрогеометрии поверхностного слоя заготовки;
 - б) разрушение поверхностного слоя заготовки;
 - в) упрочнение поверхностного слоя заготовки.
4. Нарост в процессе резания образуется при обработке:
 - а) хрупких материалов;
 - б) пластичных материалов;
 - в) хрупких и пластичных материалов.
5. Длина стружки, снятой с обработанной поверхности:
 - а) больше длины обработанной поверхности;
 - б) меньше длины обработанной поверхности;
 - в) равна длине обработанной поверхности.
6. Нарост представляет собой уплотненную массу частиц обрабатываемого материала, схватившуюся:
 - а) с задней поверхностью режущего клина;
 - б) с передней поверхностью режущего клина;
 - в) с передней и задней поверхностями режущего клина.

4. Физические основы процесса резания металла



4.7. Контроль усвоения

Указание 2. Завершите утверждения с 7-го по 10-е, выбрав **все** правильные варианты окончания.

7. Влияние нароста на процесс резания выражается в том, что:

- а) улучшается шероховатость обработанной поверхности;
- б) ухудшается шероховатость обработанной поверхности;
- в) уменьшаются силы резания;
- г) увеличиваются силы резания;
- д) увеличивается стойкость инструмента;
- е) уменьшается стойкость инструмента.

8. Коэффициент усадки стружки (K_l) зависит от условий резания следующим образом:

- | | |
|--|---|
| а) $HV \uparrow \rightarrow K_l \downarrow$; | д) $t \uparrow \rightarrow K_l \downarrow$; |
| б) $HV \uparrow \rightarrow K_l \uparrow$; | е) $t \uparrow \rightarrow K_l \uparrow$; |
| в) $S_o \uparrow \rightarrow K_l \uparrow$; | ж) $\gamma \uparrow \rightarrow K_l \downarrow$; |
| г) $S_o \uparrow \rightarrow K_l \downarrow$; | з) $\gamma \uparrow \rightarrow K_l \uparrow$. |

9. Высота микронеровностей обработанной поверхности (h_r) зависит от условий резания следующим образом:

- | | | |
|--|--|--|
| а) $HV \uparrow \rightarrow h_r \downarrow$; | д) $\varphi \uparrow \rightarrow h_r \uparrow$; | и) $t \uparrow \rightarrow h_r \downarrow$; |
| б) $HV \uparrow \rightarrow h_r \uparrow$; | е) $\varphi \uparrow \rightarrow h_r \downarrow$; | к) $t \uparrow \rightarrow h_r \uparrow$. |
| в) $S_o \uparrow \rightarrow h_r \uparrow$; | ж) $\gamma \uparrow \rightarrow h_r \downarrow$; | |
| г) $S_o \uparrow \rightarrow h_r \downarrow$; | з) $\gamma \uparrow \rightarrow h_r \uparrow$; | |

10. Глубина наклепа (c) зависит от условий резания следующим образом:

- | | | |
|--|---|--|
| а) $HV \uparrow \rightarrow c \downarrow$; | д) $\alpha \uparrow \rightarrow c \uparrow$; | и) $t \uparrow \rightarrow c \downarrow$; |
| б) $HV \uparrow \rightarrow c \uparrow$; | е) $\alpha \uparrow \rightarrow c \downarrow$; | к) $t \uparrow \rightarrow c \uparrow$. |
| в) $S_o \uparrow \rightarrow c \uparrow$; | ж) $\gamma \uparrow \rightarrow c \downarrow$; | |
| г) $S_o \uparrow \rightarrow c \downarrow$; | з) $\gamma \uparrow \rightarrow c \uparrow$. | |

4. Физические основы процесса резания металла



4.7. Контроль усвоения

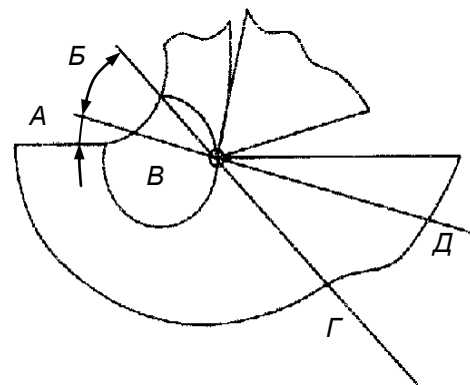
Указание 3. В заданиях 11 и 12 установите соответствие информации левого и правого столбцов и заполните формы ответов.

11. Определите элементы схемы образования стружки при резании металлов.

ЭЛЕМЕНТЫ СХЕМЫ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ

- 1) Зона опережающей деформации
- 2) Угол скалывания
- 3) Угол сдвига
- 4) Плоскость скалывания
- 5) Плоскость сдвига

СХЕМА СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ



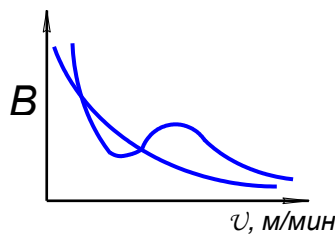
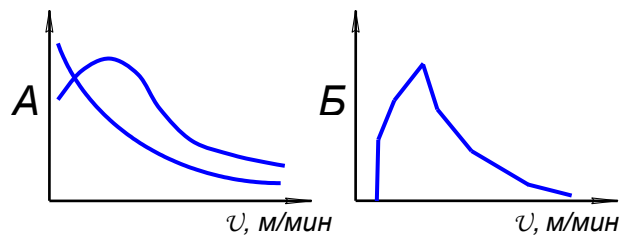
Ответ: 1 — __; 2 — __; 3 — __; 4 — __; 5 — __.

12. Выберите график соответствующей зависимости.

ЗАВИСИМОСТИ

- 1) Коэффициента усадки от скорости резания $K_l = f(v)$
- 2) Высоты микронеровностей от скорости резания $h_r = f(v)$
- 3) Высоты нароста от скорости резания $H = f(v)$

ГРАФИКИ ЗАВИСИМОСТЕЙ



Ответ: 1 — __; 2 — __; 3 — __.

5. Силы и мощность резания



5.1. Силы резания при точении

При резании металлов режущий инструмент воздействует на заготовку с определенной силой R' . Сила R' уравновешивается сопротивлением обрабатываемого материала заготовке режущему клину. Таким образом, со стороны заготовки на инструмент действует сила, равная по величине силе R' и противоположная ей по направлению ($R=R'$).



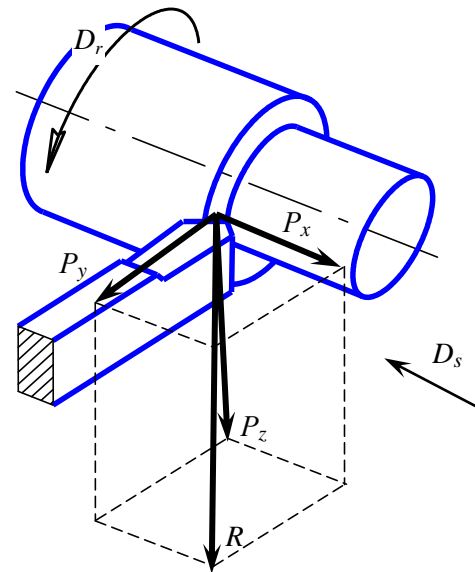
Сила действия равна по величине силе противодействия и противоположна ей по направлению

Для практических целей используется не сама сила R , а ее три составляющие: P_x , P_y , P_z . Они находятся как проекции вектора R на оси координат x , y , z . Выбор осей совпадает с направлением главного движения и движения подачи. При этом каждая составляющая силы R получает определенный технологический смысл:

- P_z – тангенциальная сила. Главная составляющая силы резания, действует при точении на резец в направлении главного движения D_r по касательной к поверхности резания заготовки;
- P_y – радиальная сила. Стремится оттолкнуть резец от заготовки;
- P_x – осевая сила. Действует параллельно оси заготовки и направлена навстречу движению подачи D_s .

Из трех составляющих наибольшая по величине сила P_z , а наименьшая, как правило, сила P_y .

Величина силы R рассчитывается в соответствии со значениями всех трех ее составляющих.



При точении

$$P_y \approx (0,2 - 0,3)P_z$$

$$P_x \approx (0,4 - 0,5)P_z$$

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



5. Силы и мощность резания



5.2. Зависимость сил резания от условий резания

На величину P_z , P_x , P_y влияют следующие условия резания:

- свойства обрабатываемого материала;
- элементы режима резания;
- геометрия режущего клина.

$$P_z, P_x, P_y = f(UP)$$

Чем больше у вязких материалов предел прочности на разрыв σ_B и чем выше твердость ($HВ$) у хрупких материалов, тем больше величина P_z , P_x , P_y .

Свойства обрабатываемого материала

$$\begin{aligned} \sigma_B \uparrow &\rightarrow P_z, P_x, P_y \uparrow \\ HВ \uparrow &\rightarrow P_z, P_x, P_y \uparrow \end{aligned}$$



С увеличением переднего угла γ уменьшается степень пластической деформации срезаемого слоя, что приводит к уменьшению величин P_z , P_x , P_y .

Геометрия режущего клина

$$\gamma \uparrow \rightarrow CтПД \downarrow \rightarrow P_z, P_x, P_y \downarrow$$



5. Силы и мощность резания



5.2. Зависимость сил резания от условий резания

Уменьшение заднего угла α увеличивает контакт задней поверхности (ЗП) режущего клина с обрабатываемой деталью, что приводит к увеличению сил трения и величины P_z, P_x, P_y .

Интенсивность влияния α на силы резания невелика: увеличение α от 2 до 10° ведет к возрастанию величины P_z на 6%, а P_y – на 17%. Дальнейшее увеличение α на силы резания не влияет.

$$\alpha \downarrow \rightarrow \text{контакт ЗП} \uparrow \rightarrow P_z, P_y \downarrow, P_x \uparrow$$

Увеличение главного угла в плане φ приводит к возрастанию толщины срезаемого слоя ($a = S_o \cdot \sin \varphi$) и уменьшению степени его пластической деформации, что влечет за собой уменьшение величины P_z и P_y .

Наряду с этим увеличение φ приводит к уменьшению ширины срезаемого слоя $\left(b = \frac{t}{\sin \varphi} \right)$, что влечет за собой увеличение силы P_x .

$$\varphi \uparrow \rightarrow a \uparrow \rightarrow \text{СмПД} \downarrow \rightarrow P_z, P_y \downarrow$$

$$\varphi \uparrow \rightarrow b \downarrow \rightarrow P_x \uparrow$$

Увеличение глубины резания t и подачи S_o связано с возрастанием площади поперечного сечения среза, что вызывает большее сопротивление обрабатываемого материала резанию и приводит к увеличению P_z, P_x, P_y .

Увеличение t в большей степени влияет на рост сил резания, чем увеличение S_o , так как возрастают активная длина режущей кромки, нормальное давление и силы трения по задней поверхности режущего клина.

Элементы
режима резания



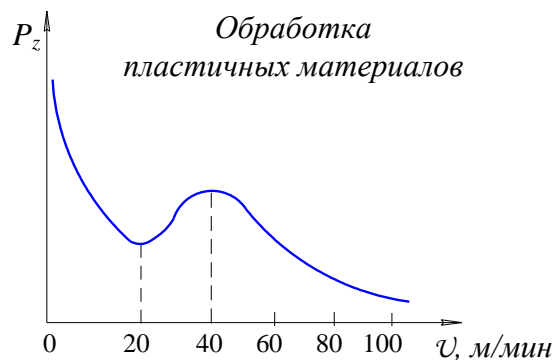
$$S_o, t \uparrow \rightarrow f \uparrow \rightarrow P_z, P_x, P_y \uparrow$$

5. Силы и мощность резания



5.2. Зависимость сил резания от условий резания

Влияние скорости резания на P_z , P_x , P_y опосредовано свойствами обрабатываемого материала. Если обрабатывается *пластичный материал* (например, сталь 40Х), дающий сливную стружку, то зависимость P_z , P_x , P_y от скорости резания имеет сложный неоднозначный характер в различных интервалах скоростей.



При увеличении скорости резания от 5 до 20–25 м/мин степень пластической деформации и величины P_z , P_x , P_y уменьшаются, так как растет нарост H_n на передней поверхности инструмента, который увеличивает фактический передний угол γ_n .

Если $U = 5 \dots 20$ м/мин

$v \uparrow \rightarrow H_n \uparrow \rightarrow \gamma_n \uparrow \rightarrow C_m ПД \downarrow \rightarrow P_z, P_x, P_y \downarrow$

Начиная со скорости 20–25 м/мин, высота нароста уменьшается, фактический передний угол становится меньше, что увеличивает степень пластической деформации и величины P_z , P_x , P_y .

Если $U = 20 \dots 40$ м/мин

$v \uparrow \rightarrow H_n \downarrow \rightarrow \gamma_n \downarrow \rightarrow C_m ПД \uparrow \rightarrow P_z, P_x, P_y \uparrow$

При скоростях резания 40–50 м/мин нарост почти исчезает, передний угол принимает свое номинальное значение, степень пластической деформации и величины P_z , P_x , P_y достигают максимума.

Если $U \geq 40$ м/мин

$v \uparrow \rightarrow C_m ПД \downarrow \rightarrow P_z, P_x, P_y \downarrow$

При дальнейшем увеличении скорости резания степень пластической деформации и величины P_z , P_x , P_y уменьшаются, так как растет температура резания, что уменьшает коэффициент трения между стружкой и режущим клином.

Указанные величины скорости резания, соответствующие максимуму и минимуму величины P_z , могут несколько смещаться в зависимости от величины переднего угла γ .

5. Силы и мощность резания

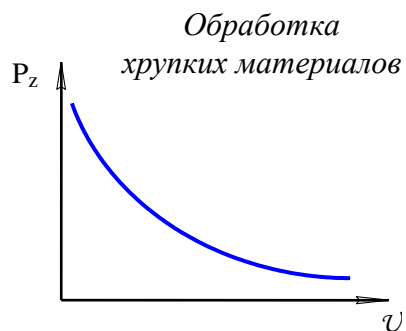


5.2. Зависимость сил резания от условий резания

При обработке *хрупких материалов* (например, серых чугунов), дающих элементную стружку, зависимость коэффициента усадки стружки от скорости резания имеет вид плавной кривой во всех интервалах скоростей. Это объясняется отсутствием нароста при обработке хрупких и твердых материалов.

С увеличением скорости резания степень пластической деформации уменьшается, что приводит к уменьшению величины сил резания.

Аналогично выглядит эта зависимость для материалов, не склонных к наростообразованию: меди, жаропрочных и нержавеющей сталей и сплавов, титановых сплавов.



$$v \uparrow \rightarrow C_m \text{ ПД} \downarrow \rightarrow P_z, P_x, P_y \downarrow$$

5. Силы и мощность резания



5.3. Расчет сил резания, моментов и мощности при точении

Силы резания при работе различными резцами при точении рассчитывают по эмпирическим формулам

$$P_{x,y,z} = 10C_p \cdot t^x \cdot S_o^y \cdot v^n \cdot K_{p, H},$$

где C_p , x , y , n – постоянная и показатели степеней (имеют разные значения для каждой из составляющих силы резания);

K_p – общий поправочный коэффициент.

Общий поправочный коэффициент K_p рассчитывают по эмпирической формуле

$$K_p = K_{m_p} \cdot K_{\varphi_p} \cdot K_{\gamma_p} \cdot K_{\lambda_p} \cdot K_{r_p},$$

где K_{m_p} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силы резания;

K_{φ_p} , K_{γ_p} , K_{λ_p} , K_{r_p} – поправочные коэффициенты, учитывающие геометрию режущего инструмента.

Силы рассчитывают по эмпирическим формулам



$$C_{P_x} \neq C_{P_y} \neq C_{P_z}$$

$$x_x \neq x_y \neq x_z$$

$$y_x \neq y_y \neq y_z$$

$$n_x \neq n_y \neq n_z$$

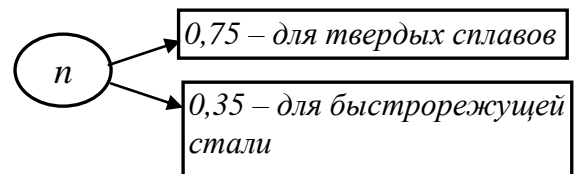


Общий поправочный коэффициент K_p рассчитывают по эмпирической формуле

$$K_p = K_{m_p} \cdot K_{\varphi_p} \cdot K_{\gamma_p} \cdot K_{\lambda_p} \cdot K_{r_p},$$

где K_{m_p} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силы резания;

K_{m_p}	
$K_{m_p} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n$ для стали	$K_{m_p} = \left(\frac{HB}{190}\right)^n$ для серого чугуна



$K_{\varphi_p}, K_{\gamma_p}, K_{\lambda_p}, K_{r_p}$
выбирают по справочнику



5. Силы и мощность резания



5.3. Расчет сил резания, моментов и мощности при точении

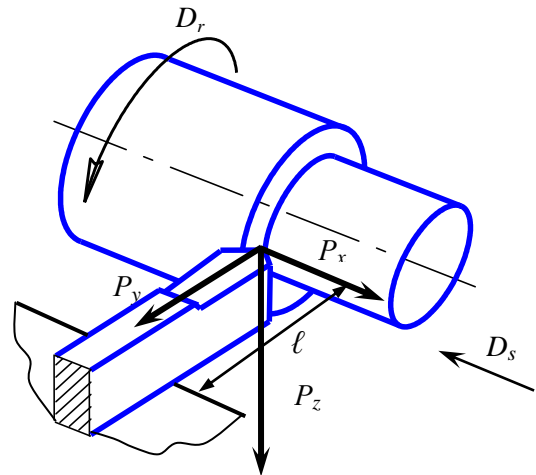
Силы P_z и P_x деформируют резец и заготовку и создают крутящие и изгибающие моменты, а сила P_y работы не совершает, в направлении ее действия нет перемещений.

Сила P_z изгибает резец в вертикальной плоскости $y - z$. Создается изгибающий момент M_{up_z} .

Сила P_x изгибает резец в горизонтальной плоскости $y - x$. Создается изгибающий момент M_{up_x} .

Сила P_z создает крутящий момент на заготовке, так называемый момент сопротивления резанию M .

Действие сил на резец



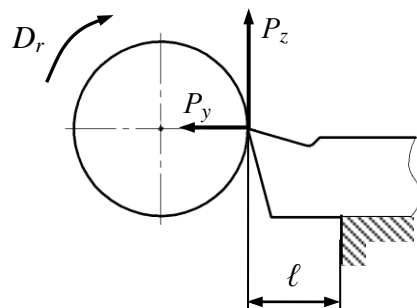
$$M_{up_z} = P_z \cdot l, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{up_x} = P_x \cdot l, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где P_z – сила резания, Н;

P_x – осевая сила, Н;

Действие сил на заготовку



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

5. Силы и мощность резания



5.3. Расчет сил резания, моментов и мощности при точении

Мощность, затрачиваемую на резание (эффективную мощность N_e) рассчитывают по силе P_z с учетом скорости резания:

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}, \text{ кВт},$$

где P_z – сила резания, Н;

v – скорость резания, м/мин.

Расчетная мощность станка N_p определяется по величине мощности электродвигателя $N_{дв}$ с учетом коэффициента полезного действия η :

$$N_p = N_{дв} \cdot \eta, \text{ кВт}.$$

Для осуществления процесса резания расчетная мощность должна быть не меньше мощности эффективной.

$$N_e = f(P_z; v)$$



$$N_p = f(N_{дв}; \eta)$$



$$N_p \geq N_e !$$



5. Силы и мощность резания



5.4. Силы резания и мощность при сверлении

На сверло со стороны обрабатываемой заготовки действуют силы, которые по аналогии с точением раскладывают на три составляющие: P_z , P_x , P_y .

Эти силы действуют на оба режущих клина сверла.

Силы сопротивления подачи P_x действуют параллельно оси сверла навстречу движению D_s .

Радиальные силы P_y стремятся оттолкнуть сверло от заготовки и действуют по радиусу к центру сверла.

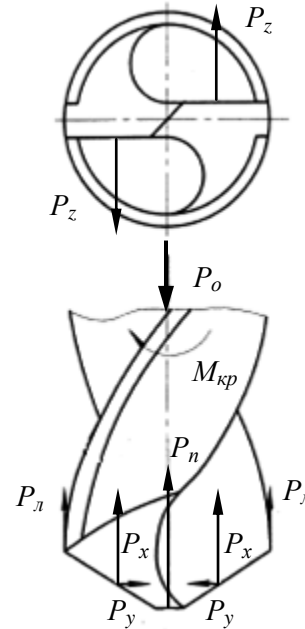
При правильной заточке они уравновешивают друг друга.

Пара сил P_z , сопротивляясь главному движению D_r , создает момент сопротивления M_{cp} .

На поперечную кромку (перемычку) действует сила P_n , направленная вдоль оси сверла, а на ленточки действуют силы P_l , направленные параллельно оси сверла.

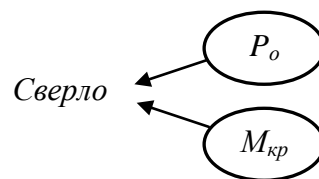
Сумма сил P_x , P_n и P_l определяет осевую силу P_o , которую развивает механизм станка.

В целом действие сил на сверло в процессе обработки можно выразить осевой силой P_o и крутящим моментом $M_{кр}$.



$$M_{cp} = \frac{P_z \cdot D}{2}, \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$P_o = 2 P_x + P_n + 2 P_l$$



5. Силы и мощность резания



5.4. Силы резания и мощность при сверлении

Для расчета осевой силой P_o и крутящего момента $M_{кр}$ пользуются эмпирическими формулами

$$P_o = C_p \cdot D^x \cdot S_o^y \cdot K_p, \text{ Н},$$

$$M_{кр} = 10C_m \cdot D^q \cdot S_o^y \cdot K_p, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

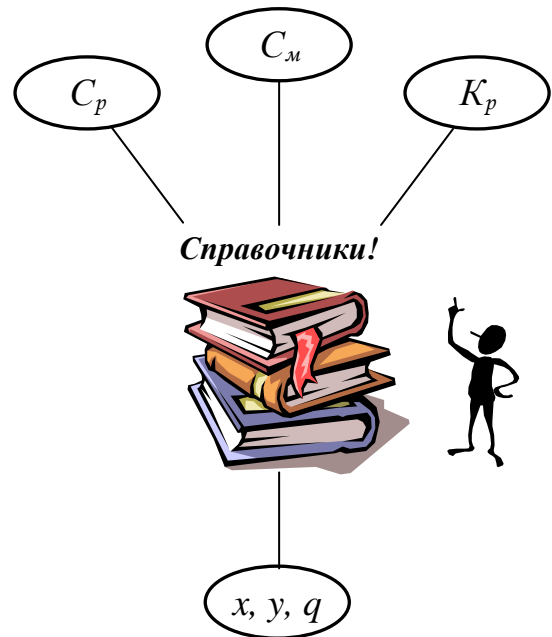
где C_p и C_m – постоянные, зависящие от вида обработки, свойств обрабатываемого и инструментального материалов;

x, y, q – показатели степени, выбираемые по справочнику;

D – диаметр сверла, мм;

S_o – подача, мм/об;

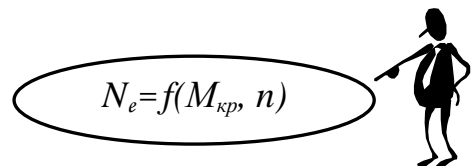
K_p – коэффициент, учитывающий фактические условия резания. В данном случае он зависит только от обрабатываемого материала.



$K_p = K_{M_p}$	
$K_{M_p} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n$ для стали	$K_{M_p} = \left(\frac{HB}{190}\right)^n$ для чугуна

Мощность резания N_e при сверлении определяется в соответствии с крутящим моментом по формуле

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750}, \text{ кВт.}$$



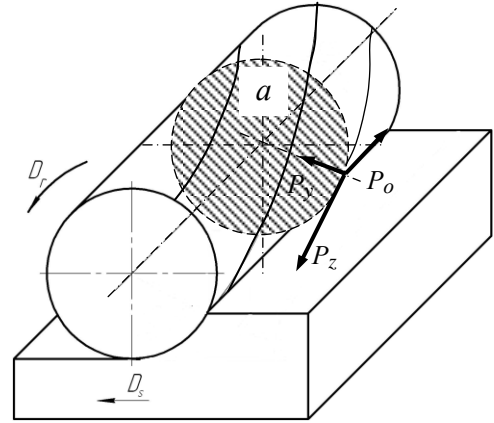
5. Силы и мощность резания



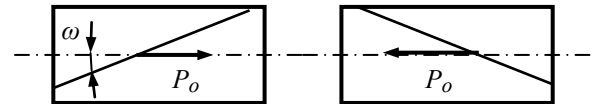
5.5. Силы резания и мощность при фрезеровании

Рассмотрим силы резания на примере цилиндрического фрезерования фрезой с винтовым зубом.

На винтовой зуб фрезы будут действовать сила резания P_z , радиальная сила P_y и осевая сила P_o .



Сила P_o действует вдоль оси фрезы. Направление ее действия зависит от направления спирали зуба.



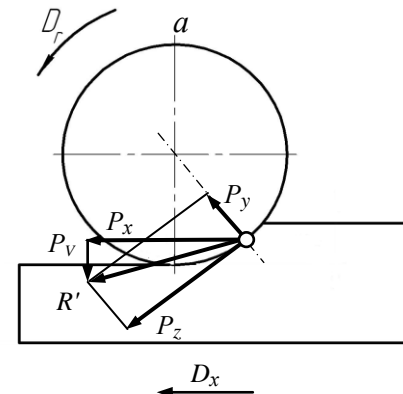
$$P_o = 0,28P_z \cdot \operatorname{tg}\omega$$

В сечении a равнодействующая R' сил P_z и P_y может быть разложена на горизонтальную P_x и вертикальную P_v составляющие.

При *встречном фрезеровании* (D_r и D_s направлены навстречу друг другу) при действии на фрезу сила P_v направлена вниз и прижимает фрезу к заготовке, а сила P_x (сила подачи) совпадает с направлением подачи.

Силу P_x воспринимает механизм подачи станка.

Действие сил на фрезу при встречном фрезеровании



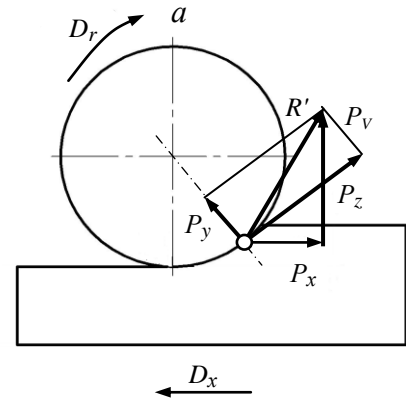
5. Силы и мощность резания



5.5. Силы резания и мощность при фрезеровании

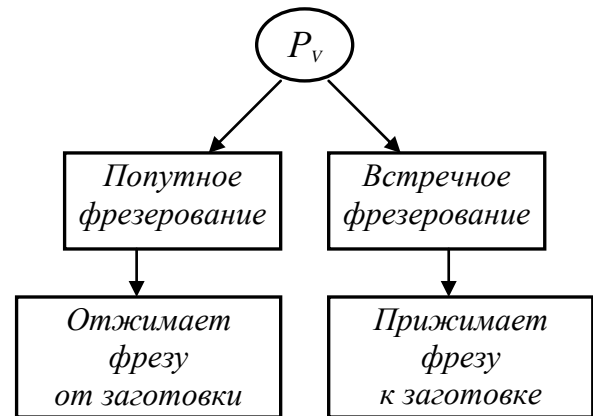
При *попутном фрезеровании* (направления D_r и D_s совпадают) направления действия сил P_V и P_x на фрезу меняются на противоположные.

Действие сил на фрезу при попутном фрезеровании



Действие этих же сил на заготовку происходит в *обратном направлении*.

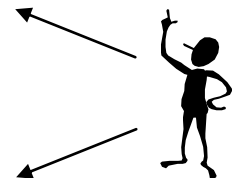
Поэтому при *встречном фрезеровании* сила P_V прижимает фрезу к заготовке и стремится оторвать заготовку от стола станка, а при *попутном фрезеровании* сила P_V отжимает фрезу от заготовки и прижимает заготовку к столу станка.



Силы P_z , P_x , P_V при *встречном* и *попутном фрезеровании* находятся в определенных соотношениях.

Встречное
 $P_x = (1 - 1,2) P_z$
 $P_V = (0,2 - 0,3) P_z$

Попутное
 $P_x = (0,8 - 0,9) P_z$
 $P_V = (0,75 - 0,8) P_z$



5. Силы и мощность резания



5.5. Силы резания и мощность при фрезеровании

Силу P_z рассчитывают с помощью справочников по эмпирической формуле

$$P_z = \frac{10C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w} K_{mp}, \text{ Н,}$$

где C_p – постоянная, зависящая от конструкционного и инструментального материалов;

t – глубина резания, мм;

S_z – подача на зуб, мм/зуб;

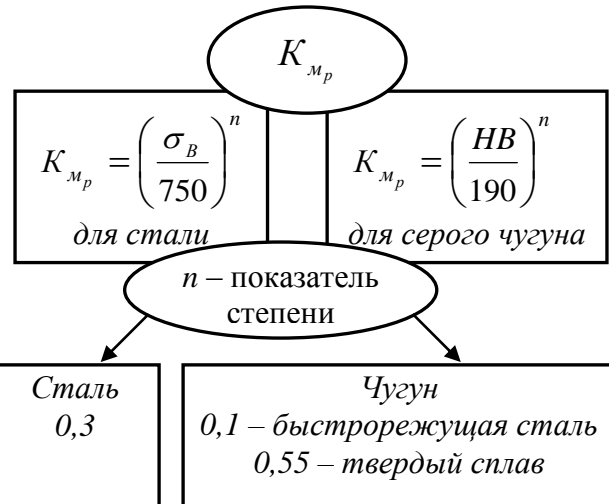
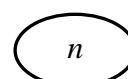
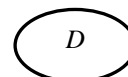
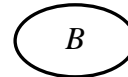
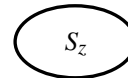
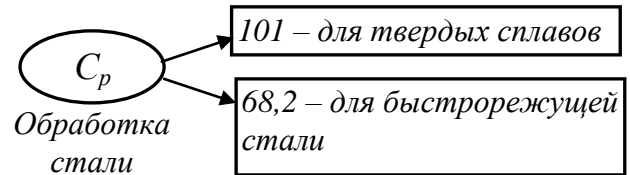
B – ширина фрезерования, мм;

D – диаметр фрезы, мм;

n – число оборотов шпинделя, мм/об;

K_{mp} – поправочный коэффициент на качество обрабатываемого материала.

Силы рассчитывают по эмпирическим формулам



5. Силы и мощность резания



5.5. Силы резания и мощность при фрезеровании

Эффективную мощность при цилиндрическом фрезеровании определяют по величине окружной силы P_z с учетом скорости резания:

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}, \text{ кВт.}$$

$$N_e = f(P_z; v)$$

Расчетную мощность станка при фрезеровании определяют, учитывая расход мощности на подачу и коэффициент полезного действия η :

$$N_p = \frac{N_{cm} \cdot \eta}{1,15}, \text{ кВт.}$$

$$N_p = f(N_{cm}; \eta)$$

Для осуществления процесса фрезерования расчетная мощность должна быть не меньше мощности эффективной.

$$N_p \geq N_e !$$



5. Силы и мощность резания



5.6. Контроль усвоения

Инструкция

Возьмите лист бумаги и запишите ответы на задания контрольного теста. Тест состоит из 11 заданий. Выполняйте их последовательно, внимательно читайте указания.

Указание 1. Завершите утверждения с 1-го по 5-е, выбрав один из предлагаемых вариантов окончания.

1. Равнодействующая сил резания определяется по формуле:

а) $R = \sqrt{P_x + P_y + P_z}$;

б) $R = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}$;

в) $R = P_x + P_y + P_z$.

2. Самая большая из сил резания:

а) P_x ;

б) P_z ;

в) P_y .

3. С увеличением глубины резания и подачи силы резания:

а) уменьшаются;

б) увеличиваются;

в) остаются без изменений.

4. В большей степени на изменение силы P_z при прочих равных условиях влияет:

а) изменение скорости резания;

б) изменение подачи;

в) изменение глубины резания.

5. С увеличением угла в плане φ при точении сила P_x :

а) увеличивается;

б) уменьшается;

в) остается неизменной.

5. Силы и мощность резания



5.6. Контроль усвоения

Указание 2. Завершите утверждения с 6-го по 8-е, вписывая в пропущенные строки недостающую информацию.

6. При точении изгибающий момент на резце создают силы _____ .

7. При сверлении крутящий момент создает сила _____ .

8. При цилиндрическом фрезеровании эффективную мощность резания рассчитывают по величине силы _____ .

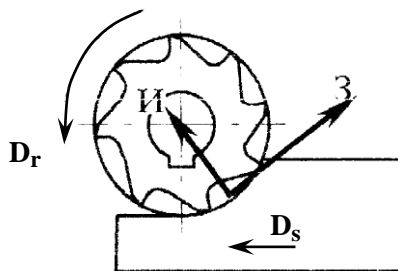
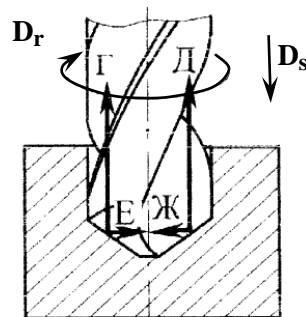
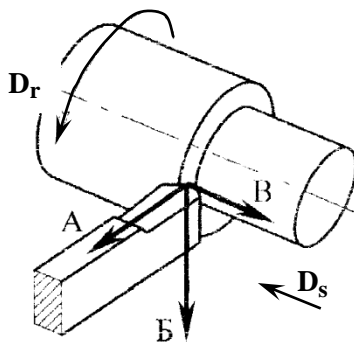
Указание 3. В заданиях с 9-го по 11-е установите соответствие информации левого и правого столбцов и заполните формы ответов.

9. Определите составляющие силы резания, действующие на режущие инструменты, изображенные на схемах.

СОСТАВЛЯЮЩИЕ
СИЛЫ РЕЗАНИЯ

- 1) P_y
- 2) P_z
- 3) P_x

ДЕЙСТВИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ
СИЛ РЕЗАНИЯ НА ИНСТРУМЕНТЫ



Ответ: 1 – _____ ; 2 – _____ ; 3 – _____ .

5. Силы и мощность резания



5.6. Контроль усвоения

10. Выберите обозначение каждой составляющей силы резания.

СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

- 1) Осевая сила
- 2) Радиальная сила
- 3) Тангенциальная сила

ОБОЗНАЧЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

- A. P_y
- Б. P_z
- В. P_x

Ответ: 1 – ____; 2 – ____; 3 – ____.

11. Выберите формулу для расчета эффективной и расчетной мощности.

МОЩНОСТЬ

- 1) Эффективная
- 2) Расчетная

РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

- A. $N = P_z \cdot v$
- Б. $N = N_{cm} \cdot \eta$

Ответ: 1 – ____; 2 – ____.

6. Тепловые явления при резании металлов



6.1. Источники возникновения тепла. Уравнение теплового баланса

При резании металлов выделяется значительное количество теплоты.

Теплота определяет температуру в зоне резания, которая влияет на характер образования и усадку стружки, наростообразование, силы резания, износостойкость инструмента, качество и микроструктуру обработанной поверхности.

Поэтому изучение зависимости теплового баланса в процессе резания от условий резания позволяет устанавливать оптимальные геометрические параметры инструмента и элементы режима резания в конкретных условиях.

Экспериментально установлено, что практически вся работа резания (до 99,5%) переходит в теплоту. Основными составляющими работы резания ($A_{рез}$) являются:

- $A_{деф}$ – работа сил пластического и упругого деформирования;
- $A_{тр_n}$ – работа сил трения по передней поверхности инструмента;
- $A_{тр_з}$ – работа сил трения по задней поверхности инструмента.



$$A_{рез} = A_{деф} + A_{тр_n} + A_{тр_з}$$

6. Тепловые явления при резании металлов



6.1. Источники возникновения тепла. Уравнение теплового баланса

Соответственно составляющим работы резания различают следующие *очаги выделения теплоты*:

- Q_1 – теплота, образующаяся в результате работы сил пластической деформации;
- Q_2 – теплота, образующаяся в результате работы сил трения по передней поверхности инструмента;
- Q_3 – теплота, образующаяся в результате работы сил трения по задней поверхности инструмента.

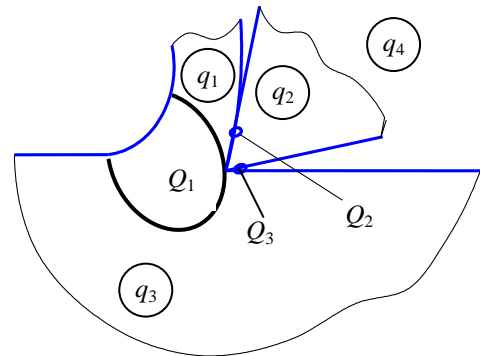
Таким образом, общее количество выделяющейся теплоты (Q) складывается из трех составляющих: Q_1 , Q_2 и Q_3 .

Выделяющаяся теплота отводится стружкой (q_1), резцом (q_2), заготовкой (q_3) и окружающей средой (q_4).

Возникает тепловой баланс между выделяющейся теплотой и отводимой, который описывается *уравнением теплового баланса*.

Температура резания (θ) – результат теплового баланса в зоне резания. Она зависит от количества образующегося и отводимого тепла.

Теплота, возникающая в зоне резания, согласно уравнению теплового баланса нагревает стружку, обрабатываемую заготовку и режущий инструмент.



$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Уравнение теплового баланса



$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4$$

Температура резания



$$\theta = f(Q, q)$$

6. Тепловые явления при резании металлов



6.2. Температура в зоне резания

Температура на контактных площадках распределяется в соответствии с величиной и направлением тепловых потоков.

Различные слои стружки, режущего инструмента и обрабатываемой заготовки нагреваются неравномерно.

В стружке наибольшее количество теплоты концентрируется в тонких слоях, прилегающих к передней поверхности режущего инструмента.

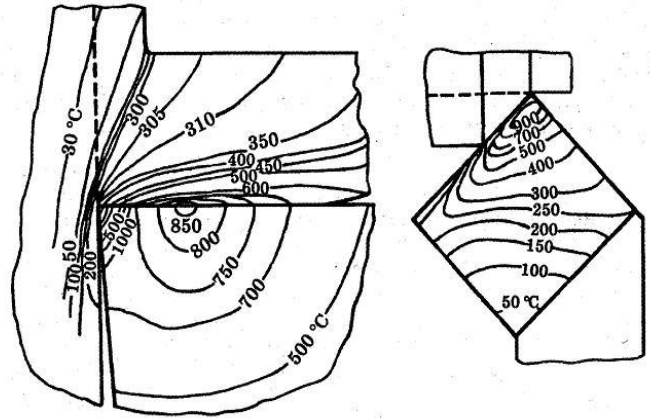
У режущего инструмента больше всего разогрет участок передней поверхности, расположенный в середине длины площади контакта со стружкой.

Температура обрабатываемого материала, лежащего ниже поверхности резания, значительно меньше.

В процессе обработки происходит накопление теплоты в заготовке и резце, приводящее к повышению средней температуры резания.

Количественные оценки тепловых явлений, происходящих в зоне стружкообразования, производят различными методами. Наиболее распространено измерение температуры, а не количества теплоты.

Когда нет необходимости в изучении законов распределения температур на контактных площадках или в теле инструмента и детали, наиболее удобным показателем тепловой напряженности процесса резания является средняя температура резания на поверхности контакта инструмента, стружки и детали.



Средняя температура резания – показатель тепловой напряженности процесса резания



6. Тепловые явления при резании металлов



6.3. Зависимость температуры от условий резания

На величину температуры резания (θ) влияют следующие условия резания: *свойства обрабатываемого материала, элементы режима резания, геометрия режущего клина.*

$$\theta = f(UP)$$

Чем выше предел прочности или твердость материала заготовки, тем большую работу необходимо затратить на срезание стружки и тем больше выделяется теплоты. С другой стороны, при увеличении твердости материала заготовки несколько уменьшается площадь контакта стружки с передней поверхностью резца. В результате температура резания повышается.

Кроме того, чем ниже теплопроводность (ρ) обрабатываемого материала, тем менее интенсивен отвод тепла от зон его выделения в заготовку и стружку и тем выше температура резания.

Увеличение значений *элементов режима резания* приводит к увеличению значения температуры резания. Но интенсивность изменения температуры резания в зависимости от изменения каждого элемента режима резания различна.

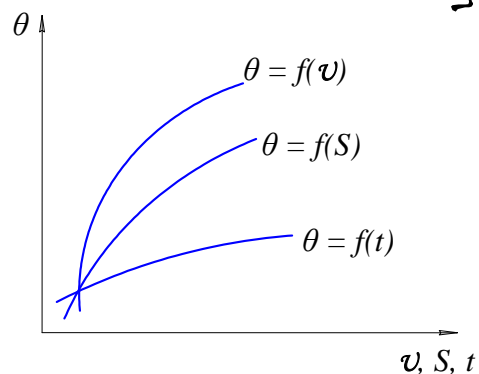
**Свойства
обрабатываемого
материала**

$$\sigma_B \uparrow \rightarrow \theta \uparrow$$
$$HB \uparrow \rightarrow \theta \uparrow$$



$$\rho \downarrow \rightarrow \theta \uparrow$$

**Элементы
режима резания**



6. Тепловые явления при резании металлов

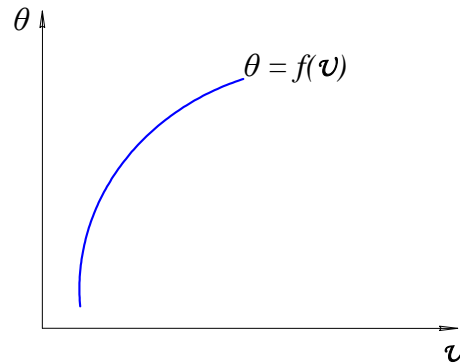


6.3. Зависимость температуры от условий резания

Скорость резания. С ростом скорости резания увеличивается количество выделяющейся теплоты. При этом возрастает и температура резания, так как условия теплоотвода остаются практически неизменными.

$$v \uparrow \rightarrow Q \uparrow \rightarrow \theta \uparrow$$

Однако прирост температуры отстает от увеличения скорости резания. Это объясняется тем, что с увеличением скорости резания несколько снижается величина силы P_z , а также коэффициент трения (в определенном диапазоне скоростей резания), большее количество тепла отводится стружкой.



Частное уравнение зависимости температуры от скорости резания:

$$\theta = C_1 \cdot v^z,$$

где C_1 – коэффициент, учитывающий влияние на температуру резания всех остальных условий, кроме скорости резания; z – показатель степени, характеризующий интенсивность прироста температуры с увеличением скорости резания (в зависимости от конкретных условий обработки обычно $z = 0,26 - 0,72$).

6. Тепловые явления при резании металлов



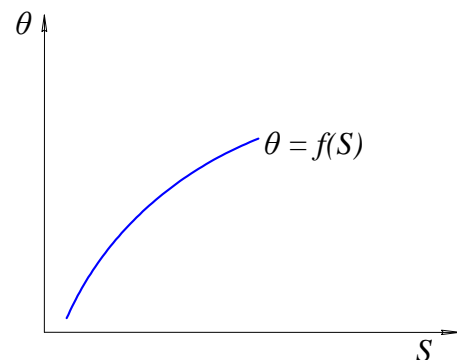
6.3. Зависимость температуры от условий резания

Подача. С увеличением подачи возрастают сила резания и, следовательно, количество выделившейся теплоты.

Сила P_z возрастает в меньшей степени, чем увеличивается подача, поэтому прирост количества теплоты отстает от роста подачи.

$$S \uparrow \rightarrow P_z \uparrow \rightarrow A_{рез} \uparrow \rightarrow Q \uparrow \rightarrow \theta \uparrow$$

Кроме того, с увеличением подачи центр давления стружки на резец отдалеяется от режущего лезвия и увеличивается площадь соприкосновения стружки с резцом, в результате чего улучшаются условия теплоотвода. Температура резания повышается значительно медленнее увеличения подачи.



Частное уравнение зависимости температуры от подачи:

$$\theta = C_2 \cdot S^x,$$

где C_2 – коэффициент, зависящий от прочих условий обработки, кроме подачи; x – показатель степени, характеризующий интенсивность прироста температуры с увеличением подачи. При точении сталей $x = 0,20 - 0,45$ (в зависимости от условий обработки).

6. Тепловые явления при резании металлов

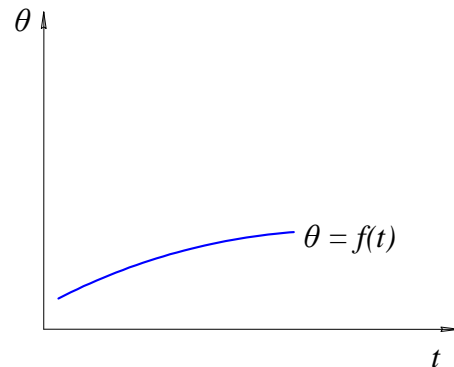


6.3. Зависимость температуры от условий резания

Глубина резания. С увеличением глубины резания возрастает общее количество теплоты, так как увеличиваются сила и работа резания.

Однако при этом возрастает и длина активного участка режущего лезвия, отводящего теплоту в тело резца, поэтому прирост температуры резания становится незначительным.

$$t \uparrow \rightarrow P_z \uparrow \rightarrow A_{рез} \uparrow \rightarrow Q \uparrow \rightarrow \theta \uparrow$$



Частное уравнение зависимости температуры от глубины резания:

$$\theta = C_3 \cdot t^y,$$

где C_3 – коэффициент, зависящий от прочих условий обработки, кроме глубины резания; y – показатель степени, характеризующий интенсивность прироста температуры с увеличением глубины резания. При точении $y = 0,3 - 0,10$ (в зависимости от условий обработки).

Общее уравнение зависимости температуры резания от элементов режима резания:

$$\theta = C_\theta \cdot v^z \cdot S^x \cdot t^y,$$

где C_θ – общий коэффициент, характеризующий условия обработки, не вошедшие в формулу в явном виде; v – скорость резания, м/мин; S – подача, мм/об; t – глубина резания, мм; z, x, y – показатели степеней, характеризующие интенсивность прироста температуры с увеличением скорости, подачи и глубины резания.

6. Тепловые явления при резании металлов



6.3. Зависимость температуры от условий резания

Изменение переднего угла (γ) инструмента изменяет условия подвода и отвода тепла и, следовательно, температуру резания.

Увеличение угла γ до оптимального значения (γ_o) приводит к уменьшению силы P_z и работы резания ($A_{рез}$), поэтому количество выделившейся теплоты (Q) становится меньше. Но при этом ухудшаются условия отвода тепла (OT), так как с увеличением угла (γ_o) больше оптимального значения уменьшается массивность режущего клина (MPK), что приводит к росту температуры резания.

С увеличением главного угла в плане (φ) сила и работа резания, а следовательно, тепловыделение несколько уменьшаются, так как возрастает толщина стружки и сокращается ее ширина. Но при этом уменьшается длина активной части (l_a) режущего лезвия, что ухудшает условия отвода тепла и приводит к возрастанию температуры резания.

Геометрия режущего клина



Если $\gamma < \gamma_o$

$\gamma \uparrow \rightarrow P_z \downarrow \rightarrow A_{рез} \downarrow \rightarrow Q \downarrow \rightarrow \theta \downarrow$

Если $\gamma > \gamma_o$

$\gamma \uparrow \rightarrow MPK \downarrow \rightarrow OT \downarrow \rightarrow \theta \uparrow$

$\varphi \uparrow \rightarrow l_a \downarrow \rightarrow OT \downarrow \rightarrow \theta \uparrow$

6. Тепловые явления при резании металлов

6.4. Методы определения температуры

Для определения температуры резания используются различные методы. На практике применяются калориметрический, термоэлектрические, оптический, микроструктурный и другие методы

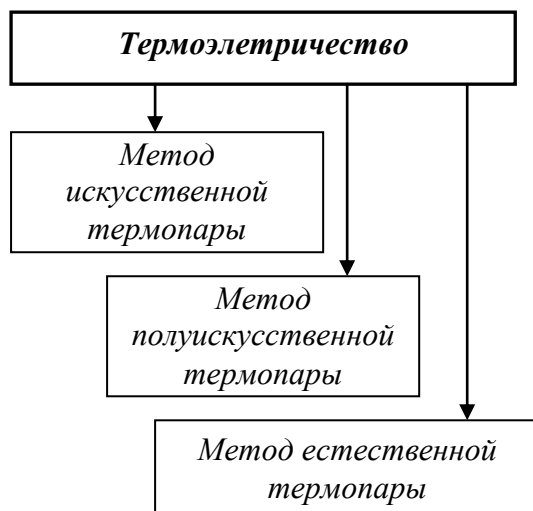
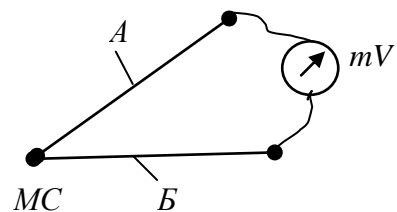
Весьма распространенными являются методы, действие которых основано на термоэлектричестве.

Суть явления *термоэлектричества* заключается в том, что если нагреть место спая (*МС*) двух проводников из разнородных металлов (*А* и *Б*), а свободные концы оставить при более низкой температуре, то на последних возникнет термо-ЭДС.

Термо-ЭДС зависит от разности температур места спая и холодных концов. Возникшую термо-ЭДС можно измерить, замкнув цепь через милливольтметр (*mV*). Такая цепь называется *термоэлектрической*, а возникший в ней ток – *термотоком*.

Явление термоэлектричества лежит в основе методов *искусственной, полусинтетической и естественной термопар*.

Методы определения температуры резания



6. Тепловые явления при резании металлов



6.4. Методы определения температуры

Метод искусственной термопары впервые был применён в 1912 – 1914 гг. Я.Г. Усачевым для измерения температуры рабочей части резца.

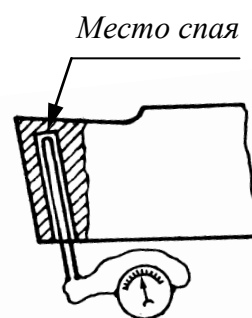
Для измерения температуры в резце просверливается отверстие малого диаметра (1,5 – 2 мм), не достигающее до передней поверхности на 0,5 мм. В отверстие вводится изолированная термопара (например, медь – константан). Тепло, попадающее в резец, нагревает место спая термопары. Возникает термоток, который регистрируется миллиамперметром.

Термопара заранее тарируется. При помощи тарировочного графика показания миллиамперметра переводятся в показания температуры.

К недостаткам метода относятся:

- сложность экспериментального устройства;
- замер не наивысшей температуры на контактных поверхностях резца, а несколько более низкой температуры нижележащих слоев инструмента;
- сложность исследования зависимости температуры от условий резания.

Метод искусственной термопары



Недостатки метода искусственной термопары



6. Тепловые явления при резании металлов

6.4. Методы определения температуры



Метод полуискусственной термопары, предложенный также Я.Г.Усачевым, заключается в том, что одним из элементов термопары служит сам инструмент (резец). В просверленное в резце отверстие вводится второй элемент стандартной термопары (например, константановая проволочка) и расклепывается на передней или задней поверхности. Проволочка в отверстии изолируется.

Измерение температуры происходит так же, как и в предыдущем методе.

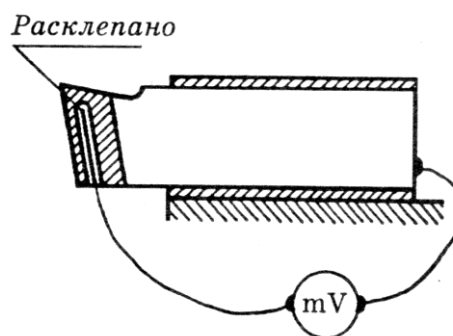
Недостатки метода примерно те же, что и у метода искусственной термопары, а преимуществами можно считать более надежные результаты и менее сложную подготовку экспериментального устройства

Метод естественной термопары отличается тем, что элементами термопары служат деталь и инструмент, материалы которых электрически разнородны.

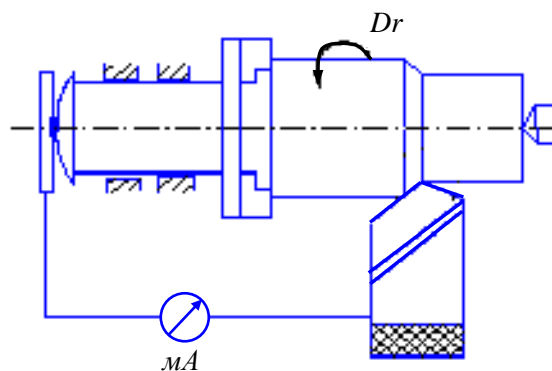
Местом спая является место контакта резца со стружкой и деталью. Температура указанного места спая значительно выше температуры концов детали и резца. Поэтому, если эти «холодные» концы соединить, образовав электрическую цепь, в ней появится термоток.

Включив в созданную электрическую цепь милливольтметр или миллиамперметр, можно замерить напряжение или силу тока, пропорциональные разнице температур.

Метод полуискусственной термопары



Метод естественной термопары



6. Тепловые явления при резании металлов

6.4. Методы определения температуры



Достоинством метода естественной термопары является то, что при определении температуры в зоне резания нет необходимости в применении специального резца с установленной в нем термопарой.

Метод позволяет определять только среднюю температуру на контактных поверхностях резца и обрабатываемой детали, но дает возможность вести эксперименты по установлению зависимости температуры резания от условий резания.

К основным недостаткам метода естественной термопары относятся:

- невозможность исследования температурного поля на режущем инструменте и заготовке;
- сложность тарирования термопары, которое необходимо проводить для каждого сочетания обрабатываемого и инструментального материала.

Одним из методов, позволяющих получить данные о распределении температуры нагрева в различных точках стружки, инструмента, обрабатываемой заготовки, является *оптический метод*.

*Достоинства и возможности
метода естественной
термопары*



*Недостатки метода
естественной термопары*



Оптический метод



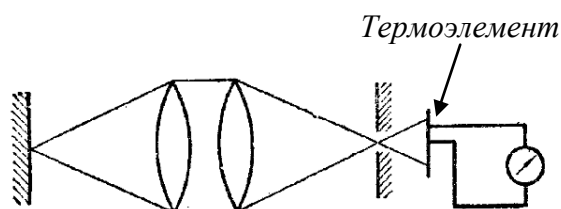
6. Тепловые явления при резании металлов



6.4. Методы определения температуры

Оптический метод основан на фокусировании тепловых лучей, исходящих от нагретых точек стружки, инструмента, обрабатываемой заготовки.

Через систему линз тепловые инфракрасные лучи фокусируются на термоэлементе, включенном в электрическую цепь, который меняет свое сопротивление в зависимости от интенсивности теплового потока. В цепи подключен заранее протарированный миллиамперметр или милливольтметр, показания которого с помощью тарировочного графика переводят в показания температуры.



Недостатками оптического метода являются:

- сложность прибора;
- трудность тарирования прибора;
- неудобство крепления прибора на станке;
- влияние на точность показания прибора внешних факторов (тонкие окислы на исследуемых поверхностях и др.).

Отмеченные недостатки ограничивают применение метода.



*Недостатки
оптического метода*

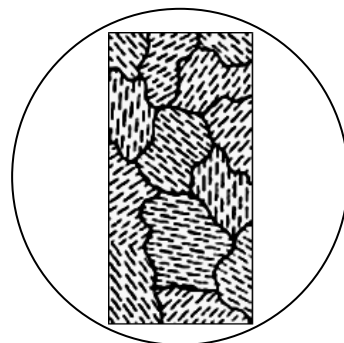
6. Тепловые явления при резании металлов



6.4. Методы определения температуры

Метод микроструктурного анализа основан на исследовании фазовых и микроструктурных изменений, происходящих в поверхностных слоях рабочих поверхностей инструмента под действием температуры резания. Изменения микроструктуры и твердости, определяемые при помощи металлографического микроскопа и твердомера, позволяют судить о температуре в исследуемых точках поверхностных слоев инструмента. Для этого пользуются известными данными о микроструктуре, фазовом состоянии и твердости, соответствующими той или иной температуре нагрева конкретного инструментального материала.

*Метод
микроструктурного
анализа*



Недостатками метода микроструктурного анализа являются:

- сложность оборудования для ведения исследований;
- ограничение исследований тем кругом инструментальных материалов, зависимость свойств которых от температурных воздействий хорошо изучена.

*Недостатки метода
микроструктурного анализа*



6. Тепловые явления при резании металлов



6.5. Контроль усвоения

Инструкция

Возьмите лист бумаги и запишите ответы на задания контрольного теста. Тест состоит из 9 заданий. Выполняйте их последовательно, внимательно читайте указания.

Указание 1. Завершите утверждения с 1-го по 5-е, выбрав один из предлагаемых вариантов окончания.

1. Тепловой баланс при резании металлов между выделяющейся теплотой и отводимой выражается уравнением:

- а) $Q_1 + Q_2 + Q_3 = q_1 + q_2 + q_3$;
- б) $Q_1 + Q_2 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4$;
- в) $Q_1 + Q_2 + Q_3 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4$.

2. На температуру в зоне резания в большей степени влияет:

- а) глубина резания;
- б) скорость резания;
- в) подача.

3. С увеличением глубины резания, подачи и скорости резания температура резания:

- а) уменьшается;
- б) увеличивается;
- в) остается без изменений.

4. При обработке материалов с более высокой теплопроводностью при прочих равных условиях температура резания будет:

- а) увеличиваться;
- б) уменьшаться;
- в) оставаться без изменений.

5. С увеличением угла в плане (φ) у резца температура резания:

- а) увеличится;
- б) уменьшится;
- в) останется без изменений.

6. Тепловые явления при резании металлов



6.5. Контроль усвоения

Указание 2. Завершите утверждения с 6-го по 8-е, вписывая в пропущенные строки недостающую информацию.

6. Источниками возникновения теплоты в процессе резания являются:

- _____ ;
- _____ ;
- _____ .

7. Температуру ограниченных участков зоны резания измеряют следующими методами: _____
_____ .

8. Возникшая в процессе резания теплота распределяется между _____
_____ .

Указание 3. В задании 9 установите соответствие информации левого и правого столбцов и заполните форму ответа.

9. Для каждого метода измерения температуры резания определите элементы соответствующей термопары.

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ

- 1) Метод искусственной термопары
- 2) Метод полуискусственной термопары
- 3) Метод естественной термопары

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕРМОПАРЫ

- А. Режущий инструмент и обрабатываемая деталь
- Б. Два разнородных проводника
- В. Инструмент и проводник

Ответ: 1 – ____; 2 – ____; 3 – ____.

7. Износ и стойкость режущего инструмента



7.1. Виды и внешние признаки износа режущего инструмента

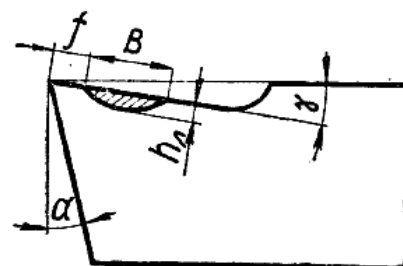
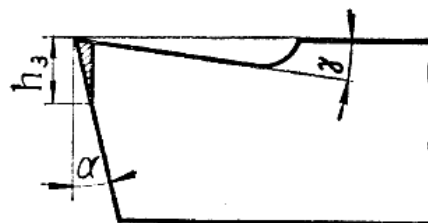
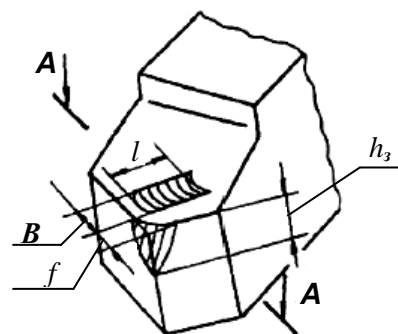
В процессе резания в результате работы сил трения по передней и задней поверхностям режущего клина контактные площадки непрерывно изнашиваются.

В результате в общем случае на передней поверхности образуется лунка шириной B и длиной l , а на задней поверхности – фаска размером h_3 .

В зависимости от условий резания износ может наблюдаться:

- *только по задней поверхности*, если обрабатываются твердые и хрупкие металлы (серый чугун) и пластичные материалы (стали) на низких скоростях резания с малыми толщинами среза ($a < 0,1$ мм). Например, такой вид износа наблюдается при работе метчиков, протяжек, фасонных резцов, цилиндрических фрез;

- *только по передней поверхности*, если обрабатываются пластичные материалы с высокой скоростью резания и с большой толщиной среза ($a > 0,2$ мм), без охлаждения. Например, такой вид износа наблюдается при работе резцов, сверл, торцевых фрез;



7. Износ и стойкость режущего инструмента



7.1. Виды и внешние признаки износа режущего инструмента

- по передней и задней поверхностям одновременно, если обрабатываются пластичные металлы с толщиной среза более 0,1 мм на средних скоростях резания, с охлаждением. Такой вид износа можно наблюдать при работе осевых инструментов, резцов, торцевых фрез и головок.

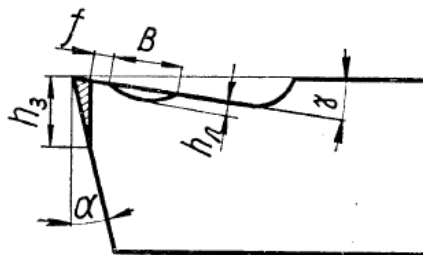
Кроме параметров линейного износа режущих инструментов, мерой затупления может служить износ по массе, равный массе инструментального материала, удаляемого с контактных площадок инструмента (m) за время его работы.

Удельный износ (J) определяется как отношение оптимального износа (h_3) к длине пути резания (L).

Длина пути резания L зависит от метода обработки, определяется в зависимости от диаметра заготовки D , длины обработанной поверхности l и подачи S_o .

Интенсивность износа зависит от времени работы инструмента.

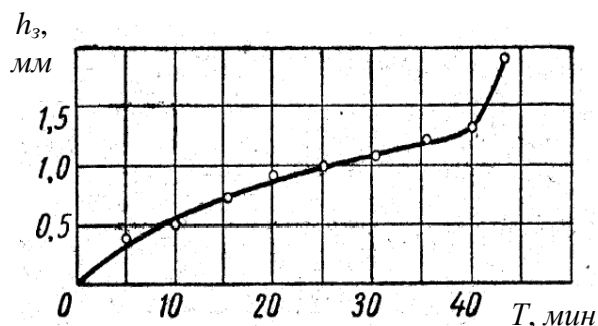
Графическое изображение закономерности нарастания величины износа за время работы инструмента называется *кривой износа*.



$$J = \frac{h_3}{L}, \text{ мм/м}$$

Для точения

$$L = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot S_o}, \text{ м}$$



7. Износ и стойкость режущего инструмента



7.1. Виды и внешние признаки износа режущего инструмента

Характерная кривая износа инструмента по передней и задней поверхностям одновременно может быть поделена на три участка, где наблюдается различная интенсивность прироста износа во времени.

1-й участок – *период приработки*.

Наблюдается в начальный период работы инструмента. За короткое время происходит *быстрое увеличение* размеров износа.

Чем менее шероховата поверхность инструмента, тем менее резко будет возрастать износ.

2-й участок – *период нормального рабочего износа*.

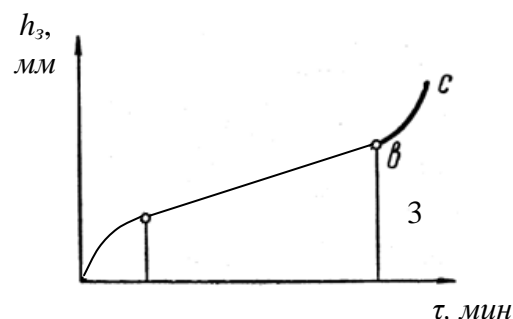
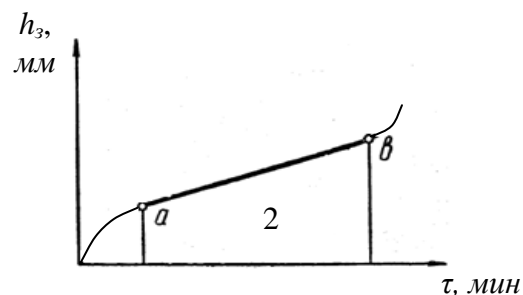
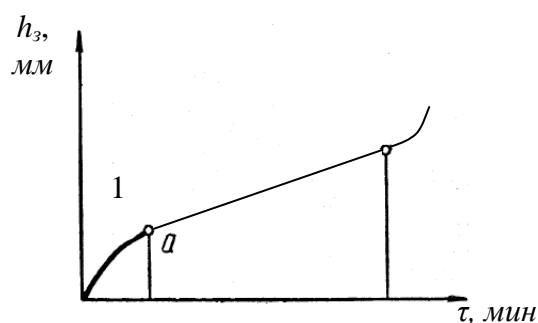
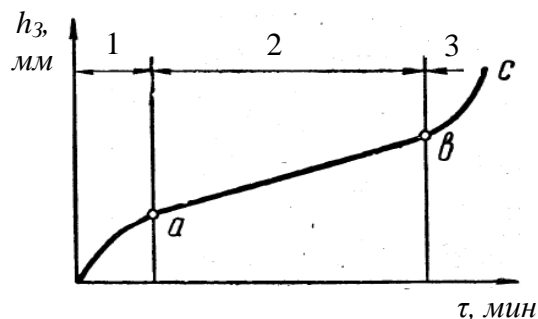
Износ *постепенно возрастает* с течением времени.

3-й участок – *период интенсивного износа*, переходящего в катастрофический.

При достижении определенного износа (в точке β) начинает быстро повышаться температура в зоне резания из-за изменения геометрии изношенного клина.

В связи с этим *резко возрастает* интенсивность износа.

Если не прекратить в этот момент процесс резания, то это приведет к быстрому и непроизводительному истиранию значительной части режущего клина.



7. Износ и стойкость режущего инструмента



7.2. Критерии износа режущего инструмента

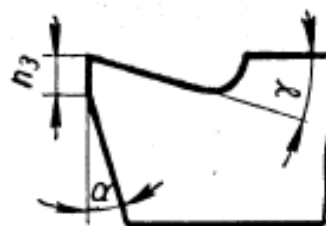
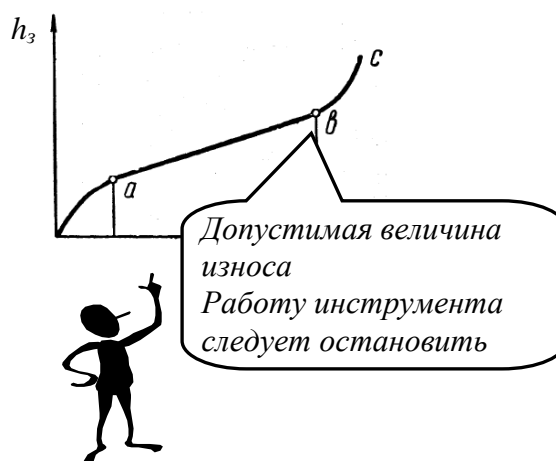
Величина h_3 , при которой дальнейшая работа инструмента должна быть прекращена, называется *допустимой* или *критериальной величиной износа* (точка *b*).

Допустимая величина износа имеет разные значения в зависимости от типа инструмента, обрабатываемого материала, наличия охлаждения.

Приведем для примера средние данные допустимого износа при работе разных инструментов.

Проходные резцы из быстрорежущей стали при обработке стали и ковкого чугуна с охлаждением имеют допустимую величину износа $h_{3\text{дон}}$ от 1,5 до 2,0 мм, а при работе без охлаждения – от 0,3 до 0,5 мм.

Проходные резцы с твердосплавными пластинами имеют $h_{3\text{дон}}$ при обработке стали от 0,8 до 1,0 мм.

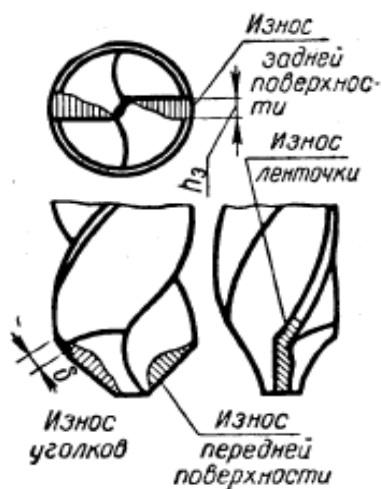


7. Износ и стойкость режущего инструмента

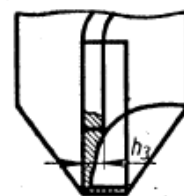


7.2. Критерии износа режущего инструмента

Сверло из быстрорежущей стали при обработке стали имеет $h_{здоп}$ от 1,0 до 1,2 мм.

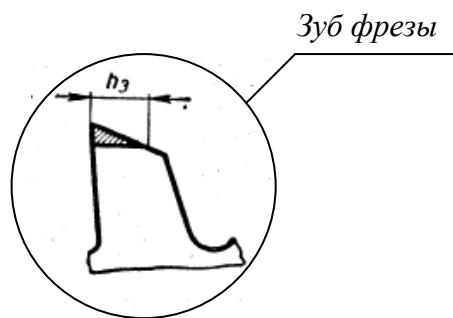


При сверлении сталей сверлами с пластинами из твердого сплава диаметрами от 10 до 12 мм; от 13 до 18 мм; от 19 до 25 мм; от 26 до 30 мм $h_{здоп}$ соответственно составляет 0,4 мм; 0,6 мм; 1,0 мм; 1,3 мм.

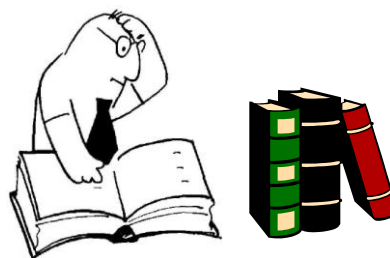


Для цилиндрических фрез:

- при черновой обработке $h_{здоп}$ составляет от 0,4 до 0,6 мм;
- при получистовой обработке $h_{здоп}$ составляет от 0,15 до 0,25 мм.



Допустимые величины износа для инструментов, работающих в разных условиях резания, приводятся в справочниках.



7. Износ и стойкость режущего инструмента



7.2. Критерии износа режущего инструмента

Для того чтобы износ инструмента не превысил допустимого значения, необходимо знать, когда следует остановить работу инструмента.

Для этого используют критерии (признаки) затупления инструмента.

К ним относятся:

- *критерий «блестящей полоски»*. На поверхности резания заготовки при работе изношенным быстрорежущим инструментом при обработке стали появляется блестящая полоска, а при обработке чугуна – темные пятна. Это соответствует началу третьего периода износа. При дальнейшей работе в течение от 1 до 2 мин произойдет полное разрушение режущей кромки.

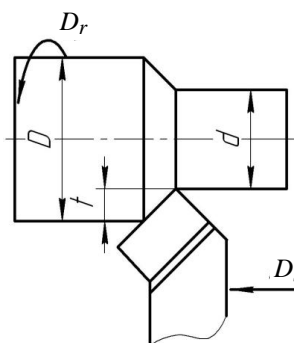
Этот критерий не применяют для чистовых операций и при работе сложным и дорогим инструментом;

- *изменение цвета стружки*. При нормальном износе цвет стружки желтоватый, а при достижении катастрофического износа – сиренево-фиолетовый;

Когда остановить работу инструмента?

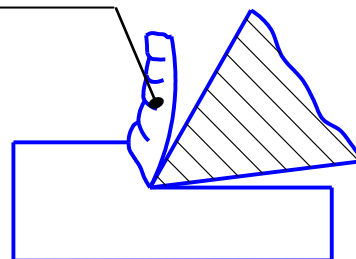


Применять критерии износа



Цвет стружки –

фиолетовый



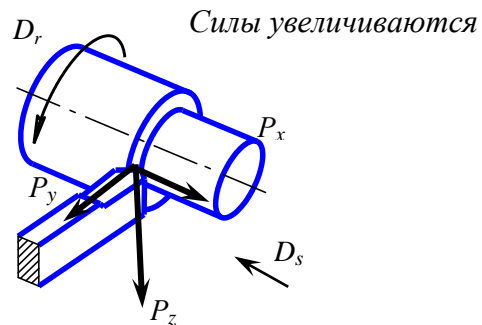
7. Износ и стойкость режущего инструмента



7.2. Критерии износа режущего инструмента

- *силовой критерий*. При работе изношенным инструментом наблюдается увеличение сил P_y и P_x .

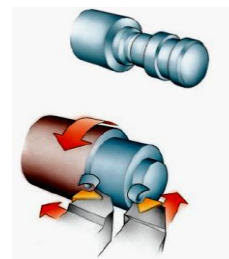
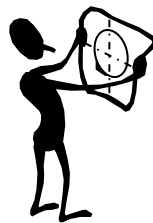
Для регистрации их значений на станках должны присутствовать приборы, что возможно на современных обрабатывающих центрах;



- *технологический критерий*. Признаком износа инструмента служит вдруг наступающее несоответствие точности и шероховатости детали заданным на чертеже.

Этим критерием пользуются на чистовых операциях. Согласно данному критерию работу инструмента останавливают до наступления конца 2-го периода износа.

Несоответствие точности, шероховатости

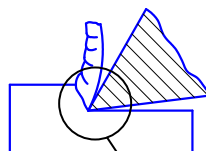


7. Износ и стойкость режущего инструмента



7.3. Причины износа режущего инструмента

На контактных площадках инструмента при резании протекают сложные физико-химические и физико-механические явления.



Зона сложных физико-химических и физико-механических явлений

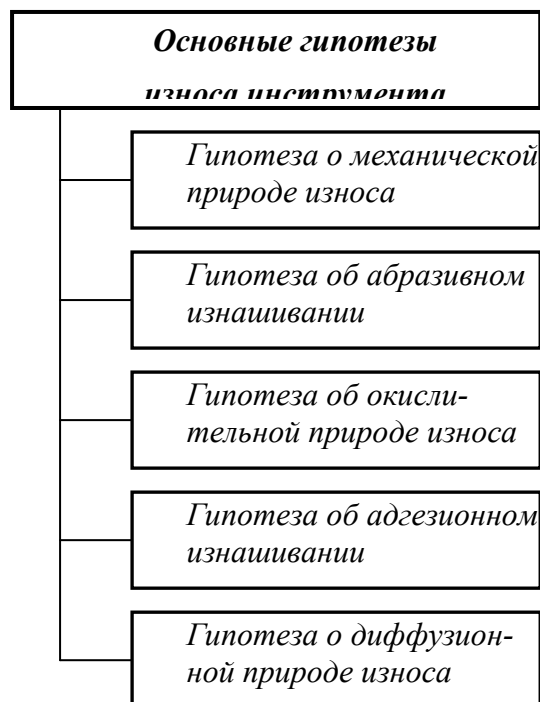
Физическая природа изнашивания поверхностей режущего инструмента до настоящего времени полностью не изучена из-за недоступности непосредственных наблюдений за процессом износа.



Отечественные и зарубежные ученые предложили ряд гипотез, объясняющих природу и причины износа инструмента.

Основными являются гипотезы:

- о механической природе износа;
- об абразивном изнашивании;
- об окислительной природе износа;
- об адгезионном изнашивании;
- о диффузионной природе износа.



7. Износ и стойкость режущего инструмента



7.3. Причины износа режущего инструмента

Гипотеза о механической природе износа

Трущиеся поверхности режущего клина, стружки и обрабатываемой поверхности имеют макро- и микро-неровности. При резании в процессе взаимного скольжения выступы неровностей обрабатываемого металла и стружки, располагаясь во впадинах неровностей поверхностей режущего клина, разрушают последний.

Эта гипотеза не нашла широкого признания, так как недостаточно учитывает различия в твердости и прочих механических свойствах контактирующих поверхностей.

Гипотеза об абразивном изнашивании

Обрабатываемые промышленные материалы имеют в поверхностном слое твердые включения: карбиды и окислы железа и кремния у чугунов; зерна сложных карбидов и цемента у сталей; интерметаллиды у жаропрочных сталей. При контактном взаимодействии эти твердые включения разрушают поверхности режущего клина микроцарапаньем.

Данная гипотеза хорошо согласуется с практикой черновой обработки металлов инструментом из быстрорежущих сталей.

В остальных случаях эта гипотеза не может объяснить природу износа.



Возникает механическое сцепление между микронеровностями трущихся поверхностей режущего клина, стружки и поверхности резания заготовки



Твердые включения в поверхностном слое обрабатываемого материала разрушают поверхности режущего клина

7. Износ и стойкость режущего инструмента



7.3. Причины износа режущего инструмента

Гипотеза об окислительной природе износа

Между контактными поверхностями инструмента со стружкой и с поверхностью резания проникает газовая или жидкая среда, содержащая кислород.

В условиях высокой температуры в зоне резания кислород вступает в окислительную реакцию с поверхностным слоем инструментального материала.

Образуются оксиды, которые менее прочны, чем инструментальный материал. Слой оксидов разрушается силами трения.

Менее интенсивно окисляются быстрорежущие стали.

Окисление твердых сплавов зависит от их химического состава, скорости резания и охлаждающей среды.

Износ инструмента от окисления кислородом до конца не изучен и нуждается в дальнейших исследованиях.



Кислород вступает в реакцию с инструментальным материалом

7. Износ и стойкость режущего инструмента



7.3. Причины износа режущего инструмента

Гипотеза об адгезионном износе

На контактных поверхностях режущего клина наблюдаются высокие температура и давление, ювенильное состояние трущихся поверхностей.

В результате пластичные слои в отдельных точках контакта схватываются (возникают силы сцепления).

Поскольку контакт стружки, поверхностей клина и заготовки подвижен, происходит «вырывание» частиц материала в схватившихся точках.

Если «вырываются» частицы инструментального материала, то они представляют собой продукты износа режущего клина, если «вырываются» частицы обрабатываемого материала, они остаются на режущем клине в виде налипков.

Гипотеза согласуется с результатами микрорентгеноспектрального анализа продуктов износа режущих лезвий инструмента.

Гипотеза о диффузионном износе

Предполагается, что в процессе резания происходит постоянный диффузионный перенос углерода и вольфрама из приграничного слоя инструментального материала лезвия в контактирующий с ним слой обрабатываемого металла.

Поскольку процесс переноса инструментального материала в обрабатываемый и наоборот равновероятен, гипотеза нуждается в дальнейших экспериментальных и теоретических исследованиях и доказательствах.



Возникает точечное схватывание на площадках контакта режущего клина со стружкой и поверхностью резания заготовки



Происходит диффузионный перенос атомов углерода и вольфрама из инструментального материала в обрабатываемый материал на контактных площадках

7. Износ и стойкость режущего инструмента



7.4. Стойкость режущего инструмента и ее зависимость от скорости резания

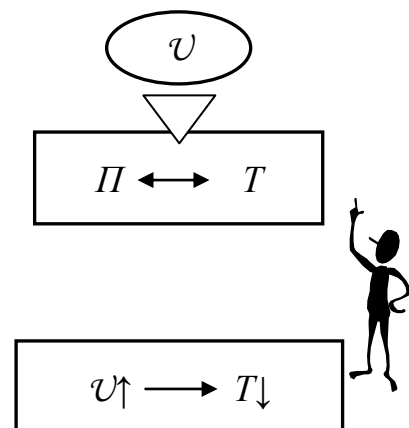
Под *стойкостью* режущего инструмента понимается его способность сохранять режущие свойства до критериального износа.

Время работы режущего инструмента до критериального износа называется *периодом стойкости* (T) и измеряется в минутах.

В современном производстве оптимальная скорость резания предполагает компромисс между производительностью (Π) и периодом стойкости инструмента.

Экспериментально установлено, что повышение скорости резания приводит к снижению периода стойкости и увеличению расходов на режущий инструмент, и наоборот.

Для вывода математической зависимости $T = f(v)$ существует несколько экспериментальных методов.



A stick figure character is shown in a thinking pose, with a question mark above its head. To its right is a rectangular box containing the mathematical expression $T = f(v)$.

7. Износ и стойкость режущего инструмента



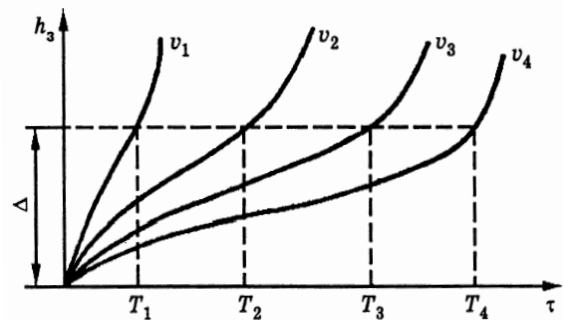
7.4. Стойкость режущего инструмента и ее зависимость от скорости резания

Наиболее широко применяемым является метод графического логарифмирования.

Метод графического логарифмирования

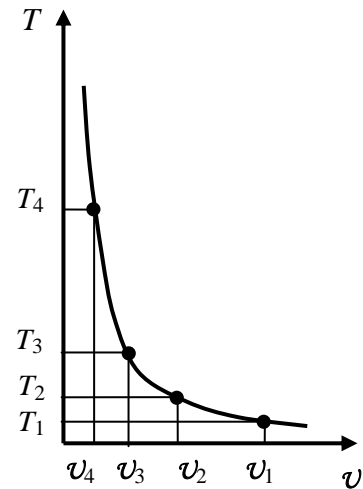
Для построения графической зависимости $T - v$ в простых координатах проводят серии опытов с изменением величины скорости резания, сохраняя постоянными прочие условия резания.

Обработка ведется до затупления инструмента, т.е. до предельного износа, когда $h_3 = \Delta$.

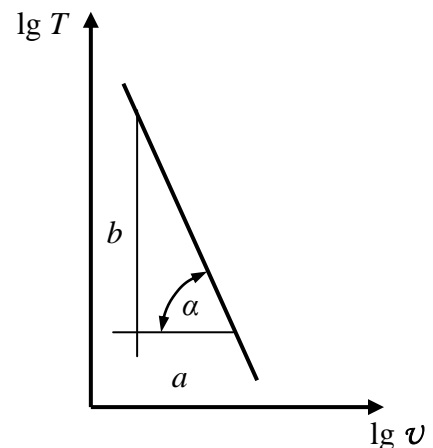


По полученным данным строят графики зависимости $T - v$:

- сначала в простых координатах (график выражается кривой, предполагающей степенную функцию);



- затем в двойных логарифмических координатах (график преобразуется с определенными погрешностями в прямую линию).



7. Износ и стойкость режущего инструмента



7.4. Стойкость режущего инструмента и ее зависимость от скорости резания

В логарифмических координатах зависимость между стойкостью и скоростью резания выражается уравнением прямой с углом наклона α :

$$\lg T = \lg C - \operatorname{tg} \alpha \cdot \lg v,$$

где c – постоянная величина, зависящая от условий резания;

α – угол наклона прямой, который можно определить из формулы

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{b}{a}.$$

$$\lg T = \lg C - \operatorname{tg} \alpha \cdot \lg v$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b}{a}$$

При потенцировании логарифмического уравнения получаем формулу, выражающую степенную зависимость между периодом стойкости инструмента и скоростью резания:

$$T = \frac{C}{v^{\operatorname{tg} \alpha}}.$$

$$T = \frac{C}{v^{\operatorname{tg} \alpha}}$$

Преобразовав эту формулу относительно скорости резания, получаем

$$v = \frac{C}{T^{1/\operatorname{tg} \alpha}},$$

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

где $\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} = m$ (m – показатель относительной стойкости).

$$m = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}$$

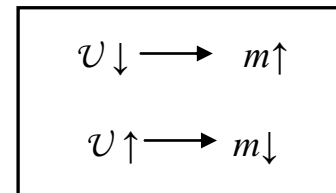
7. Износ и стойкость режущего инструмента



7.4. Стойкость режущего инструмента и ее зависимость от скорости резания

Показатель относительной стойкости m характеризует степень (интенсивность) изменения периода стойкости с изменением скорости резания.

Величина m зависит от типа инструмента, обрабатываемого и инструментального материалов и других условий резания.



Для проходных и расточных резцов из быстрорежущей стали при обработке углеродистой конструкционной стали и ковкого чугуна с охлаждением

$$m = 0,125,$$

а при обработке серого чугуна

$$m = 0,1.$$

Для резцов, оснащенных пластинами из твердых сплавов, при обработке углеродистой конструкционной стали и ковкого чугуна

$$m = 0,2,$$

а при обработке серого чугуна и закаленных сталей

$$m = 0,1.$$

<i>Проходные и расточные резцы</i>		
<i>Инструментальный материал</i>	<i>Обрабатываемый материал</i>	
	<i>Сталь и ковкий чугун</i>	<i>Серый чугун</i>
<i>Быстрорежущая сталь</i>	$m = 0,125$	$m = 0,1$
<i>Твердый сплав</i>	$m = 0,2$	$m = 0,1$

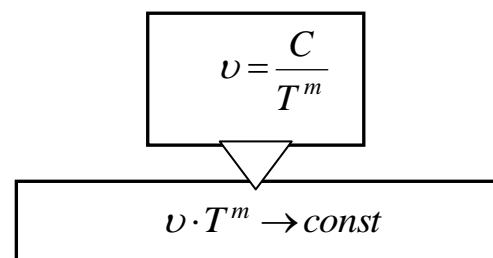
Из формулы

$$v = \frac{C_v}{T^m}$$

следует:

$$v \cdot T^m = C;$$

$$v_1 \cdot T_1^m = v_2 \cdot T_2^m = v_3 \cdot T_3^m = const.$$



7. Износ и стойкость режущего инструмента



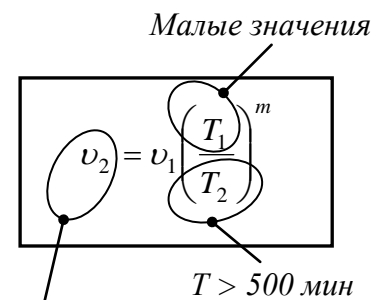
7.4. Стойкость режущего инструмента и ее зависимость от скорости резания

Таким образом, зная стойкость T_1 при скорости v_1 в конкретных условиях обработки, можно определить, как изменится период стойкости T_2 , если скорость резания изменить до v_2 или определить скорость резания v_2 при известном изменении T_2 .

$$T_2 = T_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{\frac{1}{m}}$$

$$v_2 = v_1 \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^m$$

Приведенные эмпирические формулы могут дать неправильные результаты при пересчете скорости резания с малых значений периода стойкости на очень большие ($T > 500$ мин), т.е. при переходе на малые скорости резания.



Внимание!
Может быть неправильный результат!

7. Износ и стойкость режущего инструмента



7.5. Контроль усвоения

Инструкция

Возьмите лист бумаги и запишите ответы на задания контрольного теста. Тест состоит из 10 заданий. Выполняйте их последовательно, внимательно читайте указания.

Указание 1. Завершите утверждения с 1-го по 7-е, вписывая в пропущенные строки недостающую информацию.

1. В процессе резания контактные площадки на передней и задней поверхностях режущего клина непрерывно изнашиваются в результате работы _____ .

2. Износ режущего клина выражается в том, что на передней поверхности образуется _____, а на задней – _____ .

3. Кроме параметров линейного износа режущих инструментов мерой затупления может служить _____ .

4. Время работы инструмента до критериального (допустимого) износа называется _____ и измеряется в _____ .

5. Зависимость скорости резания и периода стойкости выражается формулой _____ .

6. Если известна стойкость T_1 при скорости v_1 в конкретных условиях обработки, то определить период стойкости T_2 при изменении скорости резания до v_2 можно по формуле _____ .

7. Величина h_3 , при которой дальнейшая работа инструмента должна быть прекращена, называется _____ .

7. Износ и стойкость режущего инструмента



7.5. Контроль усвоения

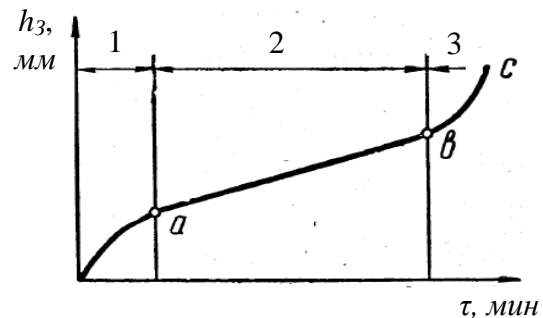
Указание 2. В заданиях с 8-го по 10-е установите соответствие информации левого и правого столбцов и заполните форму ответа.

8. Определите соответствие участков кривой износа и периодов износа.

ПЕРИОДЫ ИЗНОСА

- 1) Период рабочего износа
- 2) Период интенсивного износа
- 3) Период приработки

УЧАСТКИ КРИВОЙ ИЗНОСА



Ответ: 1 — ____; 2 — ____; 3 — ____.

9. Определите условия резания, при которых наблюдается каждый вид износа инструмента

ВИДЫ ИЗНОСА

- 1) Износ только по задней поверхности
- 2) Износ только по передней поверхности
- 3) Износ по передней и задней поверхностям одновременно

УСЛОВИЯ РЕЗАНИЯ

- А. Инструменты работают на большой скорости резания при большой толщине среза ($a > 0,2$ мм) без охлаждения
- Б. Инструменты работают на средних скоростях резания при средней толщине среза ($a > 0,2$ мм) с охлаждением
- В. Инструменты работают на низких скоростях резания с малыми толщинами среза ($a < 0,2$ мм)

Ответ: 1 — ____; 2 — ____; 3 — ____.

7. Износ и стойкость режущего инструмента



7.5. Контроль усвоения

10. Выберите для каждой гипотезы соответствующее объяснение природы износа.

ГИПОТЕЗЫ ИЗНОСА

- 1) О механической природе износа
- 2) Об абразивном изнашивании
- 3) Об окислительной природе износа
- 4) Об адгезионном изнашивании
- 5) О диффузионной природе износа

ОБЪЯСНЕНИЕ ПРИРОДЫ ИЗНОСА

- А. Твердые включения в поверхностном слое обрабатываемого материала разрушают поверхности режущего клина
- Б. Возникает точечное схватывание на площадках контакта режущего клина со стружкой и поверхностью резания заготовки
- В. Происходит диффузионный перенос атомов углерода и вольфрама из инструментального материала в обрабатываемый материал на контактных площадках
- Г. Кислород вступает в реакцию с инструментальным материалом
- Д. Возникает механическое сцепление между микронеровностями трущихся поверхностей режущего клина, стружки и поверхности резания заготовки

Ответ: 1 – ___; 2 – ___; 3 – ___; 4 – ___; 5 – ___.

8. Скорость резания, допускаемая режущими свойствами инструмента



8.1. Технологическая скорость резания

Скорость резания, определяемая по формуле $v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$, является чисто кинематической величиной.

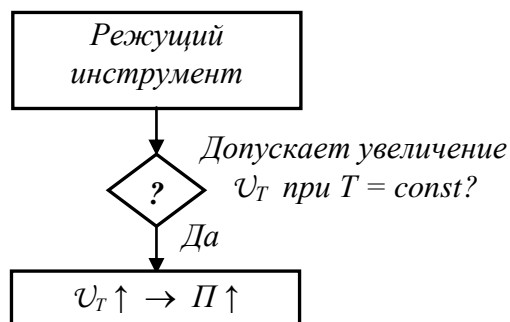
$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

Кинематическая величина

В технологических расчетах используется скорость резания, допускаемая режущими свойствами инструмента, т.е. скорость при заданном периоде стойкости режущего инструмента – v_T .

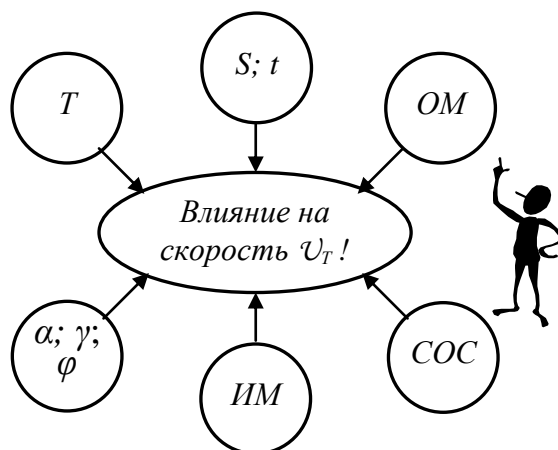
$$v_T$$

Чем большую скорость v_T допускает режущий инструмент при одном и том же периоде стойкости, тем выше его режущие свойства, тем более он производительен.



На скорость v_T оказывают влияние следующие основные факторы:

- 1) период стойкости инструмента;
- 2) глубина резания и подача;
- 3) физико-механические свойства обрабатываемого материала (ОМ);
- 4) материал режущей части инструмента (ИМ);
- 5) конструктивные и геометрические параметры инструмента;
- 6) смазывающе-охлаждающие среды.



С учетом указанных выше факторов эмпирически выведены формулы расчета v_T для различных методов обработки.



8. Скорость резания, допускаемая режущими свойствами инструмента



8.2. Скорость резания, допускаемая резцом при точении

Скорость резания, допускаемая резцом при точении, равна

$$v_T = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S_o^y} \cdot K_v, \text{ м/мин,}$$

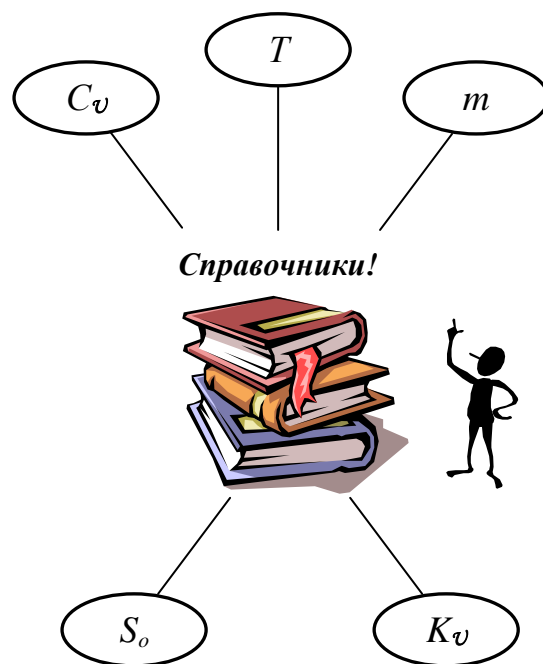
где C_v – постоянная, зависящая от условий обработки;

T – период стойкости резца, мин;

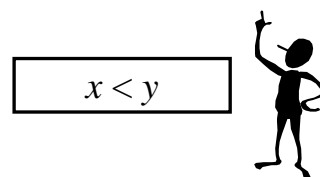
t – глубина резания, мм;

S_o – подача на оборот, мм/об;

K_v – общий поправочный коэффициент, учитывающий условия резания, не вошедшие в формулу в явном виде.



Показатель степени x всегда меньше показателя степени y , что отражает большее влияние подачи на v_T .



8. Скорость резания, допускаемая режущими свойствами инструмента



8.2. Скорость резания, допускаемая резцом при точении

Общий поправочный коэффициент K_v является произведением частных поправочных коэффициентов:

$$K_v = K_{M_v} \cdot K_{n_v} \cdot K_{u_v} \cdot K_{T_u} \cdot K_{T_c} \cdot K_\varphi \cdot K_{\varphi_1} \cdot K_r,$$

где K_{M_v} – коэффициент, учитывающий влияние материала заготовки;

K_{n_v} – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки;

K_{u_v} – коэффициент, учитывающий материал режущей части резца;

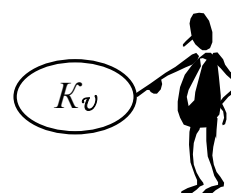
K_{T_u} – коэффициент изменения стойкости в зависимости от числа одновременно работающих инструментов;

K_{T_c} – коэффициент изменения стойкости в зависимости от числа одновременно обслуживаемых станков;

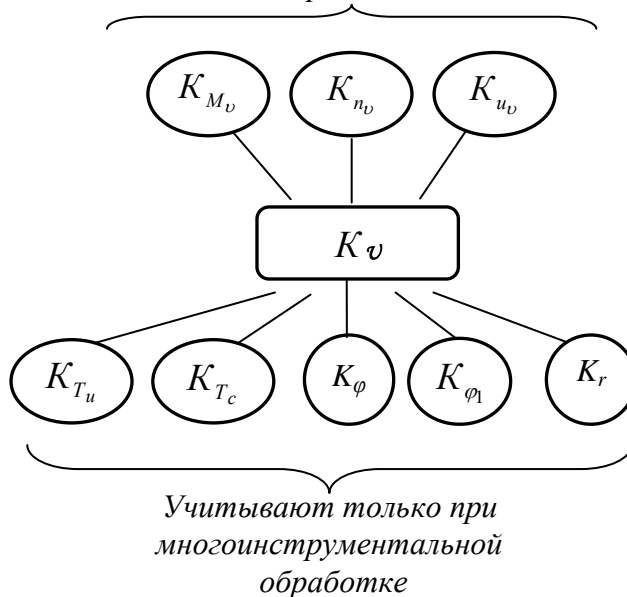
K_φ – коэффициент, учитывающий величину угла φ ;

K_{φ_1} – коэффициент, учитывающий влияние угла φ_1 ;

K_r – коэффициент, учитывающий радиус закругления при вершине резцов.



Учитывают при работе одним резцом и многоинструментальной обработке



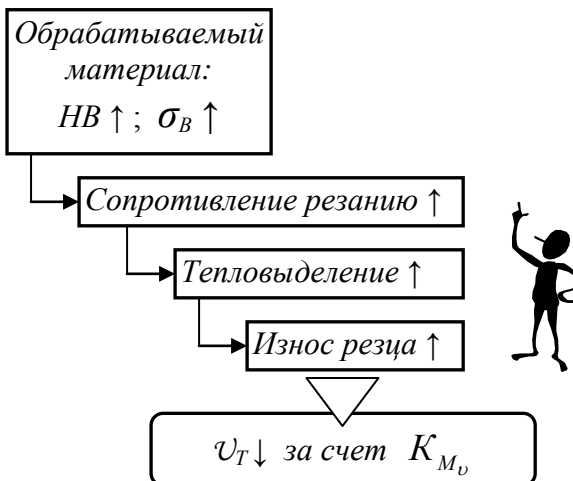
Учитывают только при многоинструментальной обработке

8. Скорость резания, допускаемая режущими свойствами инструмента



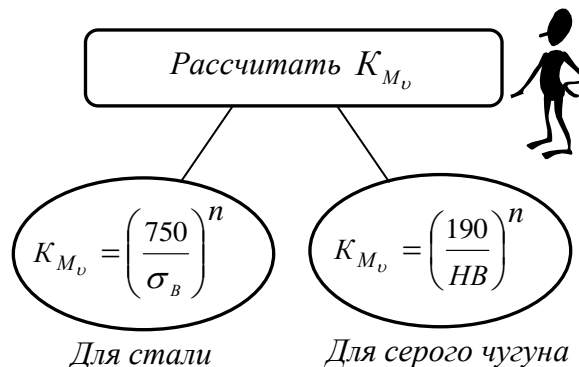
8.2. Скорость резания, допускаемая резцом при точении

С повышением прочности и твердости обрабатываемого материала последний сильнее сопротивляется резанию, больше выделяет теплоты, что приводит к более интенсивному износу резца. Поэтому необходимо снизить v_T . Это выполняет коэффициент K_{M_v} .



Коэффициент K_{M_v} рассчитывается в зависимости от обрабатываемого материала:

- для стали $K_{M_v} = \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^n$;
- для серого чугуна $K_{M_v} = \left(\frac{190}{HB}\right)^n$.

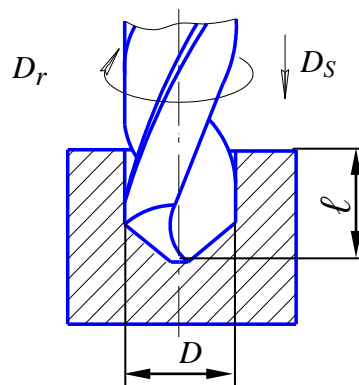


8. Скорость резания, допускаемая режущими свойствами инструмента



8.3. Допускаемая скорость резания при сверлении, зенкеровании, развертывании

Условия резания при сверлении менее благоприятны, чем при точении. Затруднен отвод стружки, так как он ограничен стенками отверстия и винтовыми канавками сверла.



С увеличением глубины отверстия l ухудшаются условия стружкообразования, возрастают силы трения, деформация обрабатываемого металла, температура резания.

Смазочно-охлаждающая среда действует менее эффективно, чем при точении, так как ее подвод в зону резания затруднен.

$$l \uparrow \rightarrow F_{mp} \uparrow; \text{VIIД} \uparrow; \theta \uparrow$$



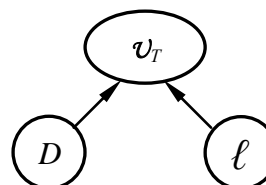
Поэтому v_T при сверлении с одинаковой толщиной и шириной среза меньше, чем при точении.

$$v_{T_{св}} < v_{T_{точ}}$$

Сверление Точение



Кроме общих факторов на v_T при сверлении влияют диаметр сверла и глубина сверления.



8. Скорость резания, допускаемая режущими свойствами инструмента



8.3. Допускаемая скорость резания при сверлении, зенкеровании, развертывании

Допускаемая скорость резания при сверлении рассчитывается по эмпирической формуле

$$v_T = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S_o^y} \cdot K_v, \text{ м/мин,}$$

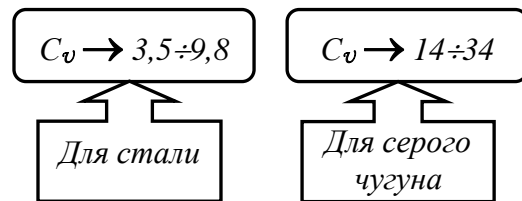
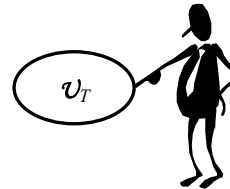
где C_v – постоянный коэффициент, зависящий от обрабатываемого и инструментального материалов и условий сверления;

D – диаметр сверла, мм. Характерной особенностью формулы является наличие в числителе диаметра. С увеличением D повышается прочность и жесткость сверла, улучшается теплоотвод, что позволяет повысить скорость резания;

T – период стойкости сверла, зависящий от его диаметра, обрабатываемого и инструментального материалов, мин;

S_o – подача, выбираемая в зависимости от диаметра сверла и свойств обрабатываемого материала;

K_v – общий поправочный коэффициент, учитывающий фактические условия резания.

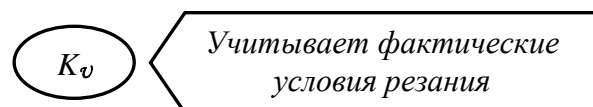
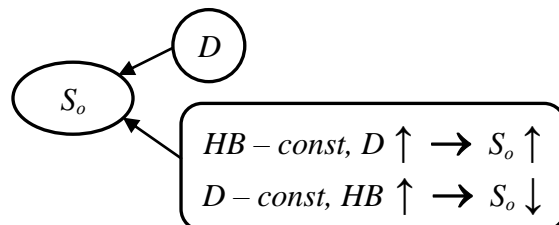


$$D \rightarrow 5,0 \div 60 \text{ мм}$$

$$D \uparrow \rightarrow v_T \uparrow$$



Материал режущей части сверла	T, мин	
	Для стали	Для серого чугуна
Быстрорежущая сталь	15 ÷ 110	20 ÷ 170
Твердый сплав		15 ÷ 90



8. Скорость резания, допускаемая режущими свойствами инструмента



8.3. Допускаемая скорость резания при сверлении, зенкеровании, развертывании

Общий поправочный коэффициент K_v , учитывающий фактические условия резания, можно найти по формуле

$$K_v = K_{M_v} \cdot K_{u_v} \cdot K_{\ell_v},$$

где K_{M_v} – коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала;

K_{u_v} – коэффициент, учитывающий свойства инструментального материала;

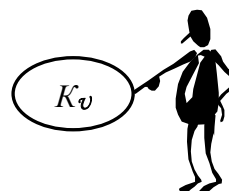
K_{ℓ_v} – коэффициент, учитывающий глубину сверления. Зависит от отношения глубины обрабатываемого отверстия к диаметру сверла.

Допускаемая скорость резания при зенкеровании и развертывании определяется по эмпирической формуле

$$v_T = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_o^y} \cdot K_v, \text{ м/мин.}$$

Эта формула отличается от аналогичной для сверления только наличием в знаменателе глубины резания в степени x .

Показатель степени x при глубине резания меньше показателя степени y при подаче.

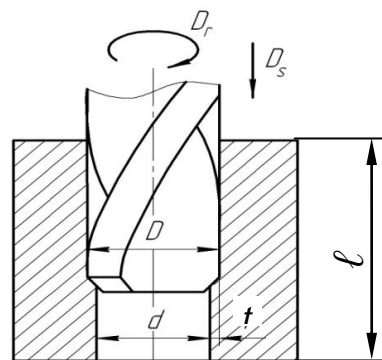


K_{M_v} – обрабатываемый материал

K_{u_v} – инструментальный материал

K_{ℓ_v} – глубина сверления $\rightarrow 1,0 \div 0,6$

$$\left(\frac{\ell}{D}\right) \uparrow \rightarrow K_{\ell_v} \downarrow$$



$$x < y$$



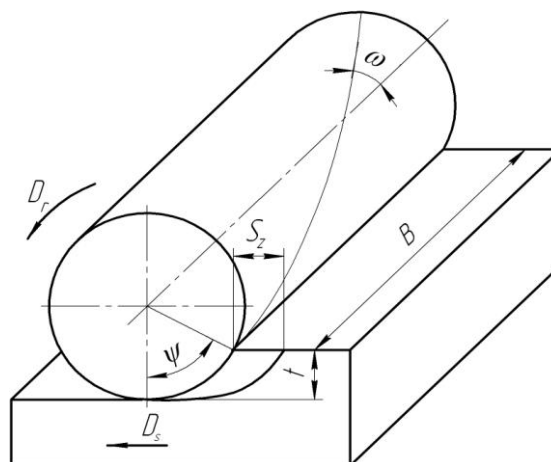
8. Скорость резания, допускаемая режущими свойствами инструмента



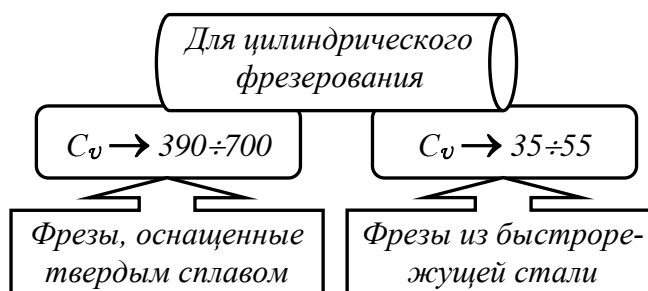
8.4. Допускаемая скорость резания при фрезеровании

Экспериментальные исследования показывают, что в общем случае скорость резания, допускаемую режущими свойствами фрезы, можно рассчитать по формуле

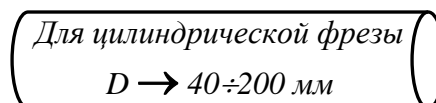
$$v_T = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p \cdot \omega^n} \cdot K_v, \text{ м/мин,}$$



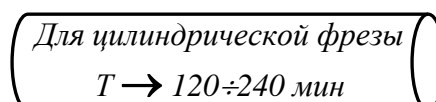
где C_v – постоянный коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого и инструментального материалов и условия фрезерования;



D – диаметр фрезы, мм;



T – период стойкости, мин. Зависит от типа фрезы (цилиндрическая, торцевая, дисковая, концевая), диаметра и конструктивных особенностей фрезы;



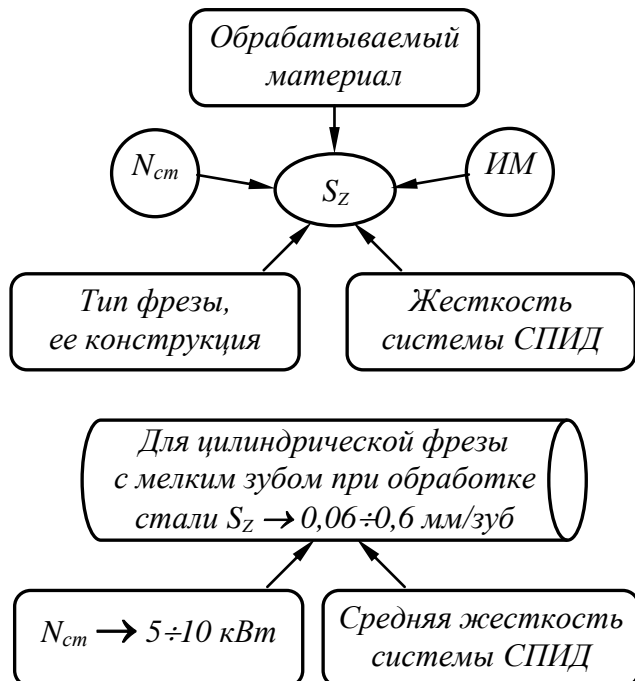
t – глубина резания, мм;

8. Скорость резания, допускаемая режущими свойствами инструмента

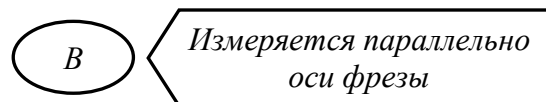


8.4. Допускаемая скорость резания при фрезеровании

S_z – подача на один зуб, мм/зуб.
 S_z выбирается в зависимости от мощности станка, типа и конструкции фрезы, обрабатываемого и инструментального материалов, вида фрезерования, жесткости системы СПИД;



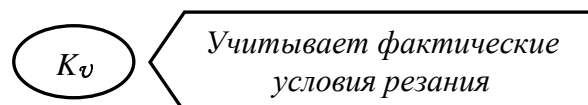
B – ширина фрезерования, мм. Измеряют в направлении, параллельном оси фрезы;



Z – число зубьев фрезы;

ω – угол наклона зуба фрезы (или винтовой канавки для выхода стружки);

K_v – общий поправочный коэффициент, учитывающий условия фрезерования.



8. Скорость резания, допускаемая режущими свойствами инструмента



8.4. Допускаемая скорость резания при фрезеровании

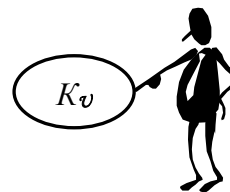
Общий поправочный коэффициент K_v , учитывающий фактические условия фрезерования, вычисляют по формуле

$$K_v = K_{M_v} \cdot K_{n_v} \cdot K_{u_v},$$

где K_{M_v} – коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала;

K_{n_v} – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки;

K_{u_v} – коэффициент, учитывающий свойства инструментального материала.



K_{M_v} – обрабатываемый материал

K_{n_v} – состояние поверхности заготовки

K_{u_v} – инструментальный материал

8. Скорость резания, допускаемая режущими свойствами инструмента



8.5. Контроль усвоения

Инструкция

Возьмите лист бумаги и запишите ответы на задания контрольного теста. Тест состоит из 6 заданий. Выполняйте их последовательно, внимательно читайте указания.

Указание 1. Завершите утверждения с 1-го по 4-е, вписывая в пропущенные строки недостающую информацию.

1. В технологических расчетах используется скорость резания, допускаемая _____, т.е. скорость при заданном периоде стойкости режущего инструмента (U_T).

2. Чем большую скорость U_T допускает режущий инструмент при одном и том же периоде стойкости, тем его производительность _____.

3. На скорость U_T оказывают влияние следующие основные факторы:

- 1) _____;
- 2) _____;
- 3) _____;
- 4) _____;
- 5) _____;
- 6) _____.

4. Общий поправочный коэффициент (K_v) в формулах расчета скорости резания при заданной стойкости для точения и фрезерования включает коэффициенты поправки:

- 1) _____;
- 2) _____;
- 3) _____.

8. Скорость резания, допускаемая режущими свойствами инструмента



8.5. Контроль усвоения

Указание 2. В заданиях 5 и 6 установите соответствие информации левого и правого столбцов и заполните форму ответа.

5. Выберите формулу для расчета коэффициента K_{M_v} в зависимости от обрабатываемого материала.

ОБРАБАТЫВАЕМЫЙ
МАТЕРИАЛ

ФОРМУЛА ДЛЯ РАСЧЕТА K_{M_v}

1) Углеродистая сталь

$$A. K_{M_v} = \left(\frac{190}{HB} \right)^n$$

2) Серый чугун

$$B. K_{M_v} = \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^n$$

Ответ: 1 – ___; 2 – ___.

6. Выберите для каждого метода обработки формулу для расчета скорости резания, допускаемой режущими свойствами инструмента.

МЕТОДЫ
ОБРАБОТКИ

ФОРМУЛЫ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ,
ДОПУСКАЕМОЙ РЕЖУЩИМИ
СВОЙСТВАМИ ИНСТРУМЕНТА

1) Точение

$$A. v_T = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_o^y} \cdot K_v$$

2) Сверление

$$B. v_T = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S_o^y} \cdot K_v$$

3) Зенкерование

$$B. v_T = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p \cdot \omega^n} \cdot K_v$$

4) Фрезерование

$$Г. v_T = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S_o^y} \cdot K_v$$

Ответ: 1 – ___; 2 – ___; 3 – ___; 4 – ___.

Заключение

Содержание конспекта лекций отбиралось в соответствии с программой дисциплины «Теория резания металлов» для подготовки студентов профессионально-педагогического вуза машиностроительных специализаций.

В последние годы появились новые учебники по дисциплине «Теория резания металлов», предназначенные для студентов технических университетов. Специфика подготовки педагогов профессионального обучения требует несколько иного отбора содержания учебного материала, а также изложения его с учетом сочетания принципов научности, доступности и наглядности, что и отражено в данном пособии. Логика формирования прочных знаний предполагает самостоятельную работу студента с изучаемым материалом. Первые действия в этом направлении связаны с этапом самоконтроля, для обеспечения которого в конце каждого раздела конспекта лекций приведены дидактические тесты.

Содержание конспекта лекций поможет студентам при подготовке к практическим и лабораторным занятиям, а также будет полезно при прохождении педагогических практик в процессе подготовки к занятиям по соответствующим учебным дисциплинам, так как представляет собой систематизированную выборку из большого объема материала по вопросам теории резания металлов, содержащегося в различных изданиях технической литературы, и адаптировано к целям и специфике подготовки педагогов профессионального обучения.

Библиографический список

Балашов В.М. Обработка резанием в машиностроении [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов / В.М.Балашов, В.В.Мешков, С.П.Рыков. – Тверь: Изд-во Твер. гос. техн. ун-та, 2004. – 198 с.

Бобров В.Ф. Основы резания металлов [Текст] / В.Ф.Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.

ГОСТ 25762–83. Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 41 с.

Грановский Г.И. Резание металлов [Текст]: учеб. для машиностроит. и приборостроит. вузов / Г.И.Грановский, В.Г.Грановский. – М.: Высш.шк., 1985. – 301 с.

Кишуров В.М. Резание материалов. Режущий инструмент [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов / В.М.Кишуров. – М.: Машиностроение, 2009. – 492 с.

Клушин М.И. Резание металлов [Текст] / М.И.Клушин. – М.: Машгиз, 1953. – 432 с.

Рыжкин А.А. Обработка материалов резанием [Текст]: учеб. пособие / А.А.Рыжкин, К.Г.Шучев, М.М. Климов. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 411 с.

Справочник технолога-машиностроителя [Текст]: в 2 т. Т.2 / под ред. А.Г.Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.

Трент Е.М. Резание металлов [Текст] / Е.М.Трент; пер. с англ. Г.И. Айзенштока. – М.: Машиностроение, 1980. – 263 с.

Ящерицин П.И. Теория резания [Текст]: учебник / П.И. Ящерицин, Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2005. – 512 с.

Учебное издание

Бородина Наталья Витальевна

ТЕОРИЯ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Конспект лекций

Редактор Е.А. Ушакова

Печатается по постановлению
редакционно-издательского совета университета

Подписано в печать 20.05.10. Формат 70x108/16. Бумага для множ. аппаратов.
Усл. печ. л. 8,4. Уч.-изд. л. 8,9. Тираж 200 экз. Заказ № _____.

Издательство ФГАОУ ВПО «Российский государственный профессионально-педагогический университет». Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11.