МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В. А. Скрябин, А. Е. Зверовщиков,
Е. В. Зотов, С. А. Нестеров

РЕЗАНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания к лабораторным работам

ПЕНЗА 2026

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет» (ПГУ)

В. А. Скрябин, А. Е. Зверовщиков,
Е. В. Зотов, С. А. Нестеров

РЕЗАНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания
к лабораторным работам

Пенза
Издательство ПГУ
2026

УДК 621.91.014
С45

Рецензент
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры инновационного машиностроения
Рыбинского государственного авиационного
технического университета имени П. А. Соловьёва
Д. И. Волков

Скрябин, Владимир Александрович.
С45 Резание материалов : метод. указания к лаб. работам / В. А. Скрябин, А. Е. Зверовщиков, Е. В. Зотов, С. А. Нестеров. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2026. – 142 с.

Приведено описание восьми лабораторных работ по дисциплине «Резание материалов». Особое внимание обращено на кинематические схемы процесса резания, геометрические и конструктивные элементы резцов, сверл и фрез и их функциональное назначение. Изложена методика расчета режимов резания при точении и растачивании деталей, приведены справочные данные для определения параметров процесса резания. Рассмотрены основные закономерности процесса стружкообразования, методы определения усадки стружки, получены математические зависимости усадки стружки от величины переднего угла инструмента, скорости резания и толщины срезаемого слоя материала. Изложены методы определения обрабатываемости деталей из различных материалов в зависимости от режимов и условий резания. Рассмотрены особенности назначения оптимальных режимов резания для токарной обработки при наложении ряда ограничений.

Издание подготовлено на кафедре «Технологии и оборудование машиностроения» ПГУ и предназначено для обучающихся по направлению подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», выполняющих самостоятельные и выпускные квалификационные работы, связанные с расчетами режимных параметров, по дисциплинам «Резание материалов» и «Технология машиностроения».

УДК 621.91.014

© Пензенский государственный
университет, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4
Лабораторная работа № 1. Кинематические схемы резания и виды обработки 5
Лабораторная работа № 2. Геометрические элементы режущей части резцов 14
Лабораторная работа № 3. Расчет режимов резания при точении и растачивании 32
Приложение А 59
Приложение Б 62
Приложение В 65
Приложение Г 67
Приложение Д 69
Приложение Е 72
Лабораторная работа № 4. Геометрия сверла с винтовыми канавками 74
Лабораторная работа № 5. Геометрические элементы режущей части фрез 91
Лабораторная работа № 6. Пластическая деформация срезаемого слоя 101
Лабораторная работа № 7. Исследование обрабатываемости материалов 117
Лабораторная работа № 8. Определение оптимальных режимов резания 126
Список литературы 141

ВВЕДЕНИЕ

В современном машиностроительном производстве обработка резанием является главным методом, обеспечивающим высокое качество и точность обработки деталей.

Во все формообразующие процессы резания широко внедряется высокопроизводительное автоматизированное оборудование, эффективная эксплуатация которого невозможна без создания новых режущих материалов и конструкций инструментов для оснащения современных высокопроизводительных металлорежущих станков.

Изучение технических дисциплин связано с большими трудностями для обучающихся. В связи с этим для облегчения понимания процессов резания авторами были разработаны методические указания к лабораторным работам, в которых собрана и обобщена информация по основным закономерностям процесса стружкообразования.

В методических указаниях к лабораторным работам особое внимание обращено на кинематические схемы процесса резания, геометрические параметры резцов, сверл и фрез и их функциональное назначение. Приведены методика расчетов режимов резания и справочные данные для определения параметров процесса резания. Рассмотрены основные закономерности процесса стружкообразования, изложены методы определения обрабатываемости деталей из различных материалов в зависимости от режимов и условий процесса резания, а также проанализированы особенности назначения оптимальных режимных параметров при наложении ряда ограничений.

Лабораторная работа № 1

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ РЕЗАНИЯ И ВИДЫ ОБРАБОТКИ

Цель работы – ознакомиться с кинематическими схемами резания, основными видами механической обработки и элементами режима резания и срезаемого слоя.

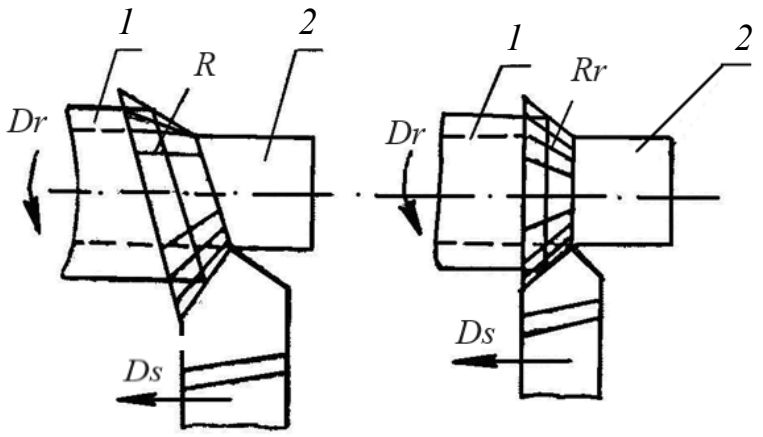
Краткие теоретические сведения

Для проведения процесса резания – удаления припуска с заготовки, режущему инструменту и заготовке необходимо сообщить движения с определенными направлениями и скоростями.

Кинематической схемой обработки называется совокупность относительных движений режущего инструмента и обрабатываемой заготовки.

Практически при всех видах обработки движение резания разделяют на главное движение – D_r и движение подачи – D_s (рис. 1.1,*а*,*б*). Главное движение D_r – прямолинейное поступательное или вращательное движение заготовки или режущего инструмента, происходящее с наибольшей скоростью в процессе резания. Движение подачи D_s – прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания, предназначенное для того, чтобы распространить отделение слоя материала на всю обрабатываемую поверхность. При этом различают различные виды подач: S_0 – подача на оборот; $S_м$ – минутная подача; S_z – подача на зуб; S_x – подача на ход или двойной ход – S_{2x}.

Суммарное движение режущего инструмента относительно заготовки, включающее движение резания и движение подачи, называется *результирующим движением резания* D_e. В результате движения D_s по *обрабатываемой поверхности 1*, т.е. поверхности заготовки, которая частично или полностью удаляется при обработке, образуется *обработанная поверхность 2.* Поверхность, образуемая режущей кромкой в результирующем движении от поверхности *1* до поверхности *2*, называется *поверхностью резания R* и имеет форму конвалютной винтовой поверхности (см. рис. 1,*а*), а при наличии только главного движения – *поверхностью главного движения* R_r и имеет форму усеченного конуса (см. рис. 1.1,*б*).



а) *б*)

Рис. 1.1. Поверхности резания R (*а*) и главного движения R_r (*б*) при продольном точении:
1 – обрабатываемая поверхность; *2* – обработанная поверхность

Кинематика продольного точения

Главным движением резания D_r, при продольном точении (рис. 1.2) является вращательное движение заготовки, а движение подачи D_s – прямолинейное поступательное движение резца вдоль оси заготовки. Результирующее движение D_e представляет собой движение по винтовой спирали.

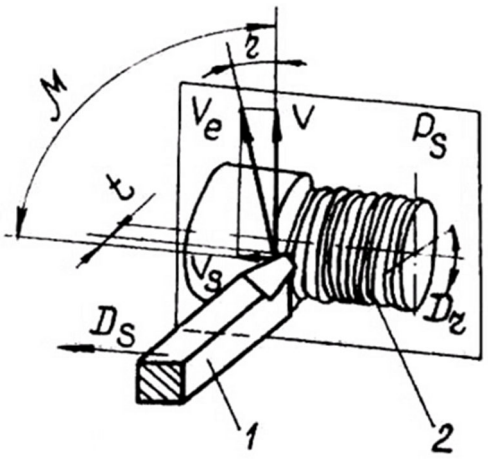


Рис. 1.2. Кинематика продольного точения:
1 – режущий инструмент (резец); *2* – обрабатываемое изделие

Для определения характеристик процесса резания вводят понятия: *скорость главного движения резания V* – скорость рассматриваемой точки режущей кромки или заготовки в главном движении резания; V_s – *скорость движения подачи* – скорость рассматриваемой точки режущей кромки в движении подачи; *скорость ре-*

зультирующего движения V_e – скорость рассматриваемой точки режущей кромки в результирующем движении резания. Векторы трех этих скоростей рассматривают на схеме (см. рис. 1.2) в рабочей плоскости P_s. Кроме того, в рабочей плоскости P_s рассматривают углы: *угол подачи* μ, равный 90º и измеряемый между направлениями скоростей движения подач и главного движения резания; *угол скорости резания* η, измеряемый между направлениями скоростей результирующего движения и главного движения резания.

При точении, как правило, $V > V_s$, поэтому скорость главного движения резания незначительно отличается от скорости результирующего движения, т.е. угол скорости резания η имеет небольшую величину. Уменьшение отношения V / V_s при продольном точении приводит к образованию резьбы на обрабатываемой поверхности, т.е. к изменению кинематики точения на кинематику резьбонарезания.

Изменение направления подачи при точении образует кинематические разновидности этого метода обработки: продольное, поперечное и тангенциальное точение.

Кинематика сверления

Кинематика процесса сверления (рис. 1.3) такая же, как и точения: D_r – главное движение (вращательное); D_s – движение подачи (поступательное).

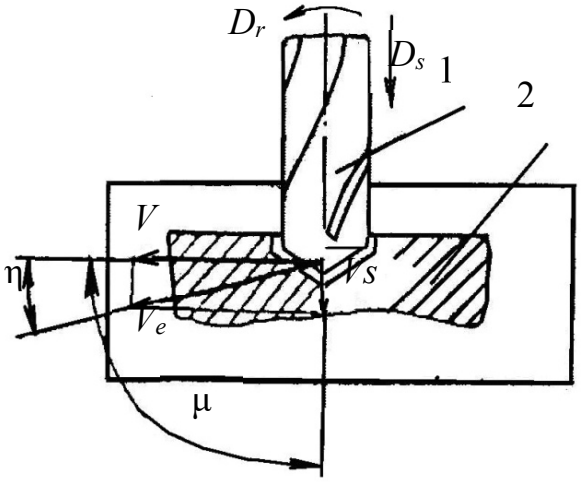


Рис. 1.3. Кинематика сверления:
1 – режущий инструмент (сверло);
2 – обрабатываемое изделие

С точки зрения процесса формообразования поверхности не важно, каким сочетанием движений заготовки и инструмента получено на станке относительное движение. Отверстие может быть

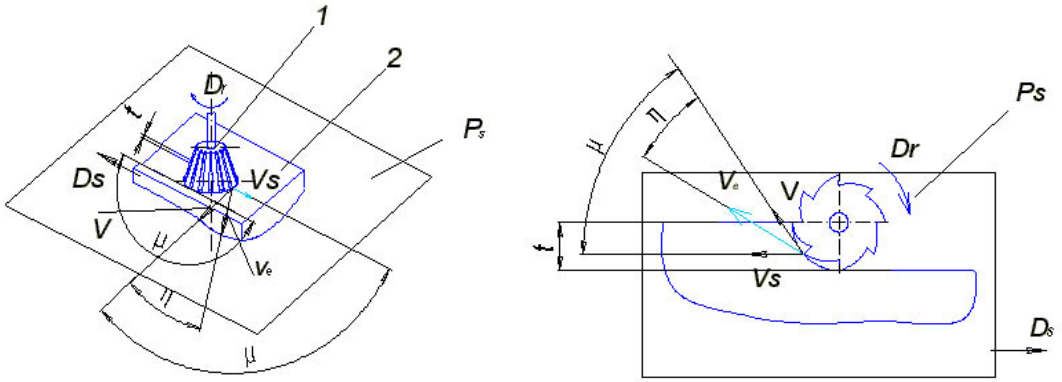
получено независимо от того, чему сообщается движение резания и подачи – инструменту или детали. Однако с технологической точки зрения кинематика сверления имеет существенное значение. Так, при сверлении коротких отверстий кинематическая схема с вращением сверла и его подачей вдоль оси (см. рис. 1.3) обеспечивает простую компоновку сверлильного станка.

С точки зрения кинематики сущность того или иного вида обработки определяется соотношением и направлением скоростей, осуществляемых при движении. При получении отверстий уменьшение отношения V / V_s преобразует кинематику сверления в кинематику зенкерования и развертывания.

Кинематика фрезерования

Для получения плоских поверхностей применяются такие виды обработки, как фрезерование, строгание, протягивание и т.д.

На рис. 1.4 представлены кинематические схемы торцового (см. рис. 1.4,*а*) и периферийного (см. рис. 1.4,*б*) фрезерования.



а) *б*)

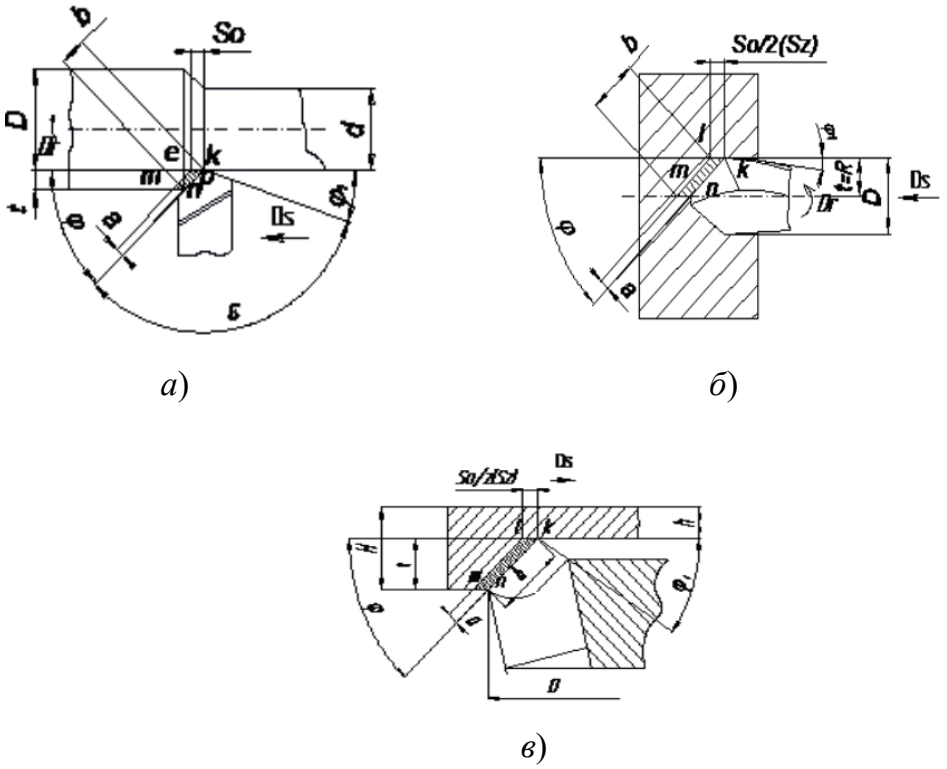
Рис. 1.4. Кинематические схемы торцового (*а*)
и периферийного (*б*) фрезерования:
1 – режущий инструмент (фреза); *2* – обрабатываемое изделие

Особенностью той или иной схемы резания является изменение направления и скорости главного движения в период контакта режущей кромки с заготовкой. Так, при торцовом фрезеровании угол подачи может изменяться от 0 до 180º. При периферийном фрезеровании диапазон изменения угла μ меньше.

Результирующее движение резания D_e представляет собой суммарное относительное движение по траектории циклоиды, расположенной в рабочей плоскости P_s, которая при торцовом фрезеровании совпадает с поверхностью обработки, а при периферийном составляет с ней угол 90º.

Элементы режима резания и срезаемого слоя

Под элементами режима резания понимается совокупность значений скорости резания, подачи или скорости движения подачи и глубины резания. Кинематика трех основных видов обработки (рис. 1.5): точения (*а*), сверления (*б*), фрезерования (*в*) – сходная и определяется сочетанием двух движений: главного – равномерного вращательного движения – и движения подачи – равномерного поступательного.



а) *б*) *в*)

Рис. 1.5. Принципиальные схемы резания:
а – точение; *б* – сверление; *в* – фрезерование

Скорость резания V – это скорость главного движения в рассматриваемой точке главной режущей кромки или заготовки на поверхности резания. Она принимается наибольшей из всех рассматриваемых точек и определяется по формуле

$$V = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ м/мин}, \qquad (1.1)$$

где D – наибольший диаметр заготовки или инструмента, мм; n – частота вращения заготовки или инструмента, мин$^{-1}$.

Движение подачи предназначено для отделения слоя материала по всей длине обрабатываемой поверхности. В рассматриваемых

видах обработки движение подачи совершает инструмент (точение, сверление, зенкерование, развертывание, резьбонарезание метчиком) или заготовка (глубокое сверление, фрезерование).

Скорость движения подачи, или подача V_s (S) – это отношение расстояния, пройденного рассматриваемой точкой главной режущей кромки инструмента или заготовки вдоль траектории этой точки в движении подачи к соответствующему числу циклов (полный оборот, ход или двойной ход режущего инструмента или заготовки и т.д.). Различают следующие виды подач: $S_{\text{о}}$ – подача на оборот, соответствующая одному обороту инструмента или заготовки, мм/об; $S_{\text{м}}$ – минутная подача, соответствующая временному циклу, равному одной минуте, мм/мин; S_z – подача на зуб, соответствующая повороту инструмента или заготовки на один угловой шаг зубьев режущего инструмента, мм/зуб; S_x, S_{2x} – подача на ход или двойной ход, соответствующая одному ходу заготовки или инструмента, мм/ход или мм/дв. ход.

Существует следующая зависимость между подачами:

$$S_{\text{м}} = S_{\text{о}} n = S_z z n, \qquad (1.2)$$

где z – число зубьев инструмента.

Глубина резания t – это слой, удаляемый с обрабатываемой поверхности за один рабочий ход инструмента, измеренный по нормали к направлению движения подачи.

Глубина резания определяется (см. рис. 1.5) следующим образом: при продольном точении $t = (D - d)/2$, мм; сверлении $t = D/2$, мм; фрезеровании $t = H - h$, мм.

К элементам и характеристикам срезаемого слоя относятся сечение, площадь, толщина и ширина. Сечение срезаемого слоя представляет собой фигуру, образованную при рассечении слоя материала заготовки, отделяемого лезвием за один цикл главного движения резания основной плоскости. Форма сечения срезаемого слоя однотипна для рассматриваемых методов обработки и представляет собой параллелограмм с основанием S и высотой t. Параметры S и t называются технологическими размерами срезаемого слоя. К физическим параметрам срезаемого слоя относятся толщина a и ширина b.

Толщина срезаемого слоя a – это длина нормали l_p поверхности резания, проведенной через рассматриваемую точку режущей кромки, ограниченной сечением срезаемого слоя. Ширина срезаемого слоя b – это длина стороны сечения срезаемого слоя, образованной поверхностью резания. Технологические и физические

размеры срезаемого слоя связаны соотношением $a = s\sin\varphi$, мм; $b = t / \sin\varphi$, мм, где φ – угол в плане.

Номинальная площадь сечения срезаемого слоя f определяется по формуле

$$f = ab = ts, \text{ мм}^2. \quad (1.3)$$

Методика выполнения работы

Лабораторное оборудование: токарно-винторезный станок, проходной резец, спиральные сверла различных диаметров, комплект средств измерения (штангенциркуль, микрометр).

При изучении кинематических схем различных видов механической обработки необходимо обратить внимание на усвоение понятий: «движение резания и подачи», «результирующее движение», «скорость главного и результирующего движений», «скорость подачи». Кроме того, необходимо усвоить возможность получения той или иной кинематической схемы обработки при изменении отношения скорости главного движения к скорости движения подачи, т.е. V / V_s. Необходимо знать различие между поверхностями резания и главного движения различных кинематических схем обработки. Для трех кинематических схем обработки (продольное точение, сверление, фрезерование) необходимо сделать эскизы с обозначением движений и режимов резания.

При изучении элементов режимов резания следует обратить внимание на их особенности для различных кинематических схем обработки.

Для усвоения теоретического материала необходимо практически ознакомиться с кинематикой процесса резания при точении, сверлении; выбрать и рассчитать элементы режимов резания.

Для этого необходимо выполнить следующее:

1. Точить цилиндрический валик на токарном станке (диаметры обрабатываемой и обработанной поверхностей, число оборотов заготовки и подача задаются преподавателем). Подсчитать глубину и скорость резания, толщину и ширину срезаемого слоя, площадь сечения срезаемого слоя.

2. Сверлить и рассверлить отверстия заданных диаметров на вертикально-сверлильном или токарно-винторезном станке (подача и число оборотов шпинделя задаются преподавателем). Необходимо подсчитать глубину и скорость резания. Результаты вычислений свести в табл. 1.1.

Характеристика объекта лабораторной работы

Объектом лабораторной работы являются различные кинематические схемы резания.

Порядок выполнения работы

1. Изучить кинематические схемы резания.
2. Подсчитать элементы режима резания для точения и сверления.
3. Обработать заготовки на токарно-винторезном и вертикально-сверлильном станках при заданных режимах резания.

Экспериментальная часть

Таблица 1.1

Результаты вычислений

Вид обработки	Исходные данные					Расчетные данные					
	$S_о$, мм/об	n, мин$^{-1}$	D, мм	d_1, мм	φ, град	a, мм	b, мм	$S_м$, мм/мин	V, м/мин	t, мм	f, мм^2

Выводы по работе

Изучить и проанализировать различные кинематические схемы резания. Рассчитать технологические и определить физические параметры процесса резания и дать заключение о влиянии вышеуказанных параметров на производительность и качество обработки деталей.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Методические указания.
4. Характеристика объекта лабораторной работы.
5. Порядок выполнения работы.
6. Экспериментальная часть.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какие элементы режимов резания существуют?

2. Дать определение элементов срезаемого слоя.

3. Каковы особенности операций точения, сверления, фрезерования?

4. Что называется кинематической схемой резания?

5. Какие движения резания сообщаются инструменту и заготовке в кинематической схеме?

6. Какие поверхности образуются при резании деталей?

7. Какие углы образуются в рабочей плоскости резания при различных схемах обработки деталей?

Лабораторная работа № 2

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ РЕЗЦОВ

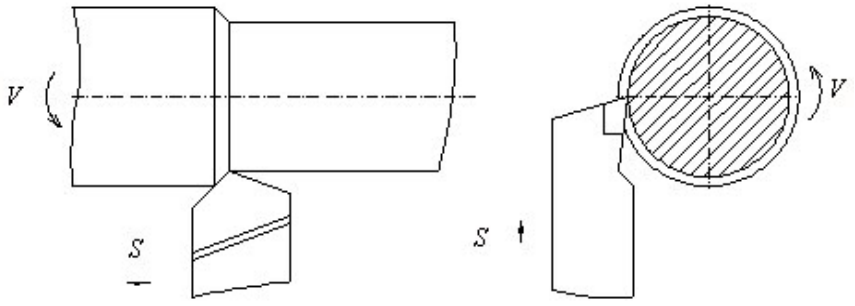
Цель работы – ознакомиться с классификацией резцов и геометрией рабочей части; изучить методику измерения геометрических параметров резцов; определить геометрические и конструктивные параметры двух-четырех резцов; выполнить эскизный чертеж резца.

Краткие теоретические сведения

Классификация резцов

Резцы классифицируются:

1) по характеру установки резца относительно обрабатываемой детали (рис. 2.1): радиальные и тангенциальные;



а) *б*)

Рис. 2.1. Классификация резцов по характеру установки резца относительно обрабатываемой детали:
а – радиальные; *б* – тангенциальные

2) по применяемости на станках (рис. 2.2): токарные, строгальные долбежные, расточные для горизонтально-расточных станков, специальные для специальных станков;

3) по виду обработки (рис. 2.3): проходные, подрезные, отрезные, расточные, резьбонарезные, фасонные, галтельные;

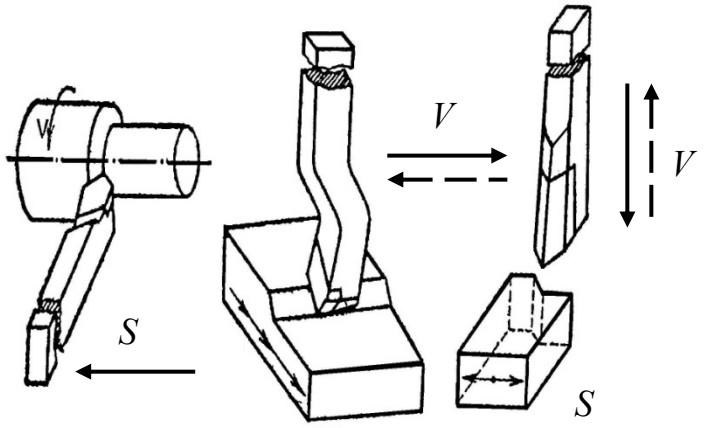
4) по характеру обработки: черновые, чистовые и для тонкого точения, эти резцы могут входить в любой из приведенных типов;

5) по конструкции рабочей части (рис. 2.4): прямые, отогнутые, изогнутые, оттянутые;

6) по направлению подачи (рис. 2.5): правые, левые;

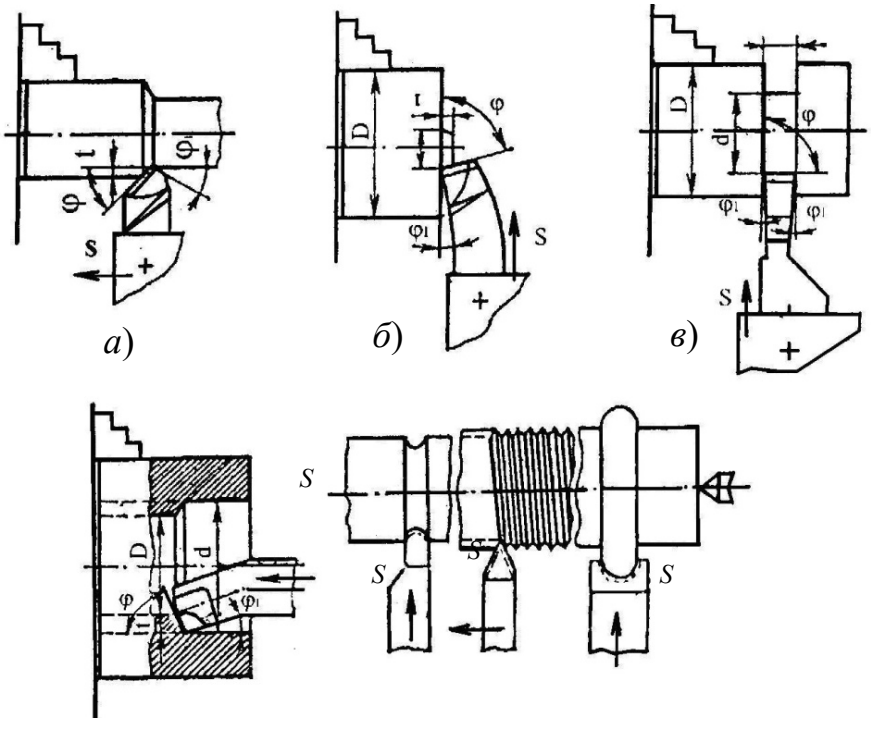
7) по способу изготовления (рис. 2.6): с головкой, сделанной за одно целое со стержнем, с головкой в виде сменной вставки, снабженной пластиной из режущего материала;

8) по роду инструментального материала: из быстрорежущей стали, с пластинками из твердого сплава или минералокерамики, с алмазными вставками.



а) *б*) *в*)

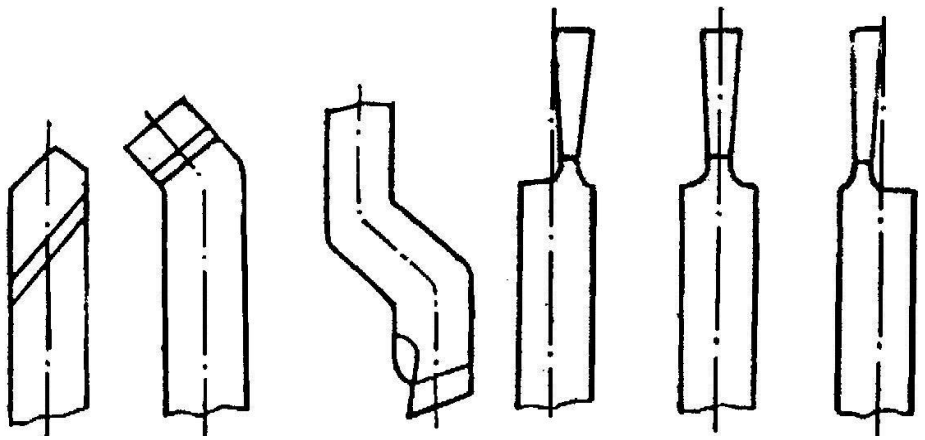
Рис. 2.2. Классификация резцов по виду станков:
а – токарные; *б* – строгальные; *в* – долбежные



а) *б*) *в*)

г) *д*) *е*) *ж*)

Рис. 2.3. Классификация резцов по виду обработки:
а – проходной; *б* – подрезной; *в* – отрезной, прорезной; *г* – расточный; *д* – галтельный; *е* – резьбовой; *ж* – фасонный



а) *б*) *в*) *г*)

Рис. 2.4. Классификация резцов по конструкции рабочей части:
а – прямые; *б* – отогнутые; *в* – изогнутые;
г – с оттянутой головной частью

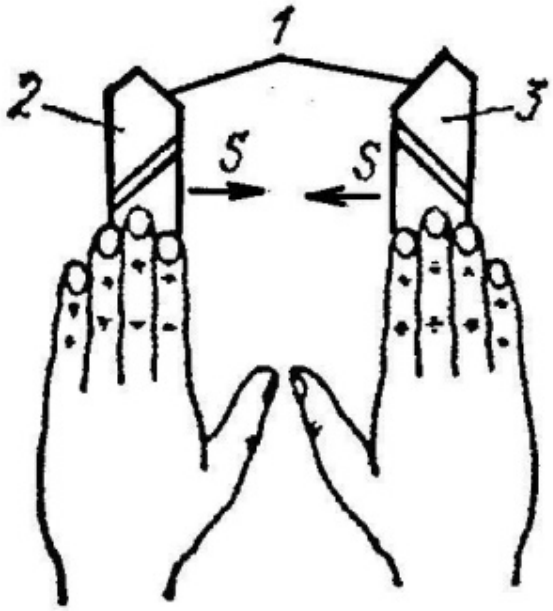


Рис. 2.5. Классификация резцов
по конструкции рабочей части:
1 – режущая кромка; *2* – левый резец; *3* – правый резец

Основные элементы и поверхности резца

В процессе ознакомления с работой следует особое внимание уделять поверхностям, формирующим головку резца, и геометрии рабочей части резца. На рис. 2.6 показаны основные элементы резца: тело резца (державка), головная часть резца (режущая часть) и составляющие ее элементы:

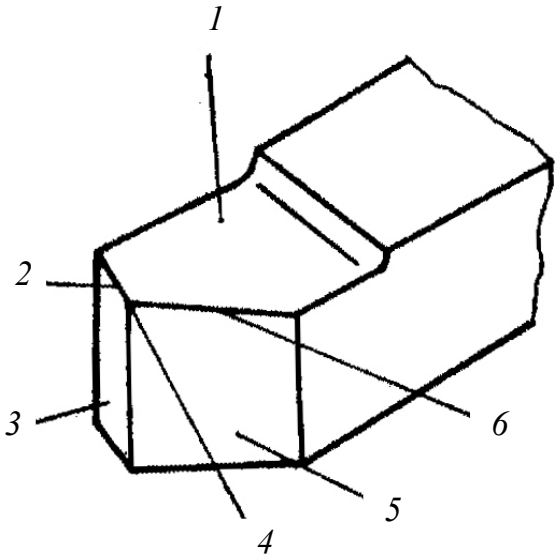


Рис. 2.6. Рабочие поверхности и режущие кромки резца: A_γ(*1*) – передняя поверхность лезвия – поверхность лезвия инструмента, контактирующая в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой; A_α(*5*) – задняя поверхность лезвия – поверхность лезвия инструмента, контактирующая в процессе резания с поверхностями заготовки или главная задняя поверхность – поверхность лезвия инструмента, примыкающая к главной режущей кромке; *K*(*6*) – главная режущая кромка – часть режущей кромки, формирующая большую сторону сечения срезаемого слоя или режущая кромка – кромка лезвия инструмента, образуемая пересечением передней и задней поверхности лезвия; *K*`(*2*) – вспомогательная режущая кромка – часть режущей кромки, формирующая меньшую сторону сечения срезаемого слоя; A_α(*3*) – вспомогательная задняя поверхность лезвия – задняя поверхность лезвия инструмента, примыкающая к вспомогательной режущей кромке. Вершина лезвия (*4*) – участок режущей кромки в месте пересечения двух задних поверхностей

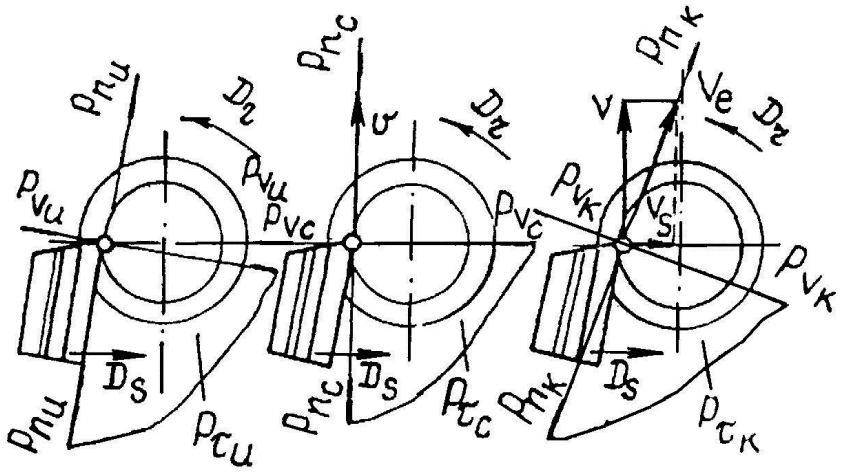
Координатные системы и плоскости резания

Все углы, из которых составлена головка резца, могут быть измерены в различных координатных системах и координатных плоскостях.

Существует три координатные системы (рис. 2.7):

ИСК – инструментальная система координат – прямоугольная система координат с началом в вершине лезвия, ориентированная относительно геометрических элементов режущего инструмента, принятых за базу.

ССК – статическая система координат – прямоугольная система координат с началом в любой рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости главного движения резания.



а) *б*) *в*)

Рис. 2.7. Координатные системы:
а – инструментальная;
б – статическая; *в* – кинематическая

КСК – кинематическая система координат – прямоугольная система координат с началом в любой рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости результирующего движения резания.

ИСК применяется при изготовлении и контроле инструмента, **ССК** – для приближенных расчетов углов резания в процессе резания и для учета изменения этих углов после установки инструмента на станке. Она является в общем случае переходной системой от **ИСК** к **КСК**.

Кроме координатных систем, геометрические параметры измеряют в различных плоскостях (рис. 2.8, 2.9).

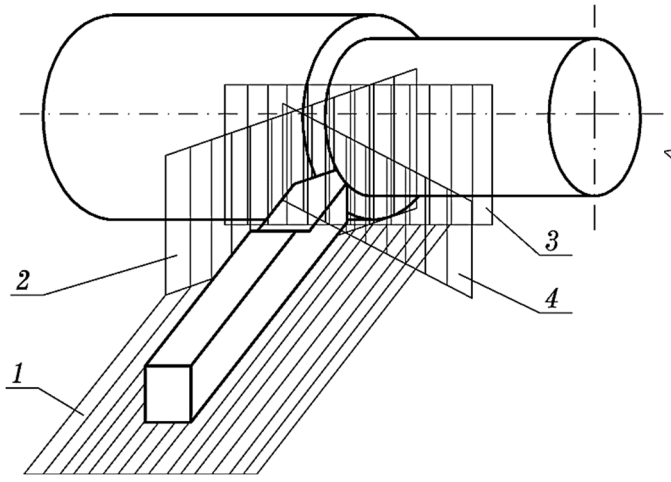


Рис. 2.8. Координатные плоскости резца координат

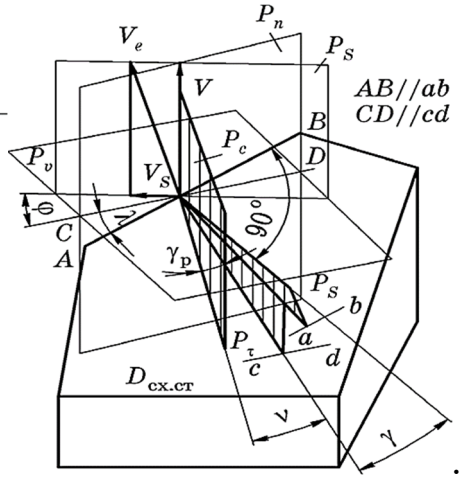


Рис. 2.9. Схема расположения плоскостей в статической системе

***P**V* (*1*) – **основная плоскость** – координатная плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению скорости главного или результирующего движения резания в этой точке. В зависимости от того, в какой координатной системе рассматривается основная плоскость, она соответственно обозначается $P_{V\text{и}}$, $P_{V\text{с}}$, $P_{V\text{к}}$ и считается основной плоскостью инструментальной, статической или кинематической систем координат (см. рис. 2.8).

Pn(*2*) – **главная плоскость резания** – координатная плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная основной плоскости (см. рис. 2.8).

Плоскость резания *Pn* аналогична P_V и может, соответственно, обозначаться как $Pn_{\text{и}}$, $Pn_{\text{с}}$, $Pn_{\text{к}}$.

Ps(*3*) – **рабочая плоскость** – плоскость, в которой расположены направления скоростей главного движения и движения подачи (см. рис. 2.8).

Поскольку у резца, как правило, имеются две режущих кромки: ***K*** – **главная** и ***K`*** – **вспомогательная**, то, кроме главной плоскости резания *Pn*, существует **вспомогательная плоскость резания *Pn`***. Ее определение будет таким: координатная плоскость, касательная к вспомогательной режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная основной плоскости.

***P*τ**(*4*) – **главная секущая плоскость** – координатная плоскость, перпендикулярная линии пересечения основной плоскости и плоскости резания (см. рис. 2.8).

Плоскость *P*τ аналогично P_V и *Pn* может обозначаться как $P\tau_{\text{и}}$, $P\tau_{\text{с}}$, $P\tau_{\text{к}}$, а с учетом вспомогательной режущей кромки – *P*τ`.

***P*н – нормальная секущая плоскость** – плоскость, перпендикулярная режущей кромке в рассматриваемой точке (см. рис. 2.9). По аналогии возможны ее обозначения: $P_{\text{Ни}}$, $P_{\text{Нс}}$, $P_{\text{Нк}}$, а также $P_{\text{Ни}}$`, $P_{\text{Нс}}$`, $P_{\text{Нк}}$`, т.е. **вспомогательная секущая плоскость**.

***P*с – секущая плоскость схода стружки** – плоскость, проходящая через направление схода стружки и скорости резания в рассматриваемой точке режущей кромки (см. рис. 2.9).

Определение углов (ГОСТ 25762–83)

γ – передний угол – угол в секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и основной плоскостью.

В зависимости от системы координат и плоскости, в которой задается угол, возможны следующие определения:

γ – главный передний угол;

γ_1 – нормальный передний угол;

$\gamma_и$ – инструментальный передний угол;

$\gamma_с$ – статический передний угол;

$\gamma_к$ – кинематический передний угол;

$\gamma_р$ – рабочий кинематический передний угол;

α – главный задний угол: угол между главной задней поверхностью резца (или касательной к ней) и плоскостью резания.

По аналогии с передним углом γ задний угол α может обозначаться как α_1, $\alpha_и$, $\alpha_с$, $\alpha_к$, $\alpha_р$.

β – угол заострения – угол в секущей плоскости между передней и задней поверхностями лезвия.

По аналогии с передним углом угол может обозначаться как β, β_1, $\beta_и$, $\beta_с$, $\beta_к$.

λ – угол наклона режущей кромки: угол в плоскости резания между режущей кромкой и основной плоскостью.

По аналогии может обозначаться как $\lambda_и$, $\lambda_с$, $\lambda_к$.

φ – угол в плане: угол в основной плоскости между плоскостью резания и рабочей плоскостью.

По аналогии может обозначаться как φ_1, $\varphi_и$, $\varphi_с$, $\varphi_к$, $\varphi_р$.

ε – угол при вершине – угол в основной плоскости между главной и вспомогательной режущей кромками.

***Углом резания* δ** называется угол между передней поверхностью резца и плоскостью резания.

При положительном значении угла γ между углами существуют следующие зависимости:

$\alpha + \beta + \gamma = 90°$; $\alpha + \beta = \delta$;

$\delta + \gamma = 90°$; $\delta = 90° - \gamma$.

При отрицательном значении угла γ угол $\delta > 90°$.

Рассмотрим геометрические элементы в следующих плоскостях:

P_V (рис. 2.10, 2.11) – в ней определяют φ – главный угол в плане; φ_1 – вспомогательный угол в плане; ε – угол при вершине резца.

***Главным углом в плане* φ** называется угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи. Угол φ делается для того, чтобы главная режущая кромка могла воздействовать на глубину срезаемого слоя; он влияет на износостойкость резца.

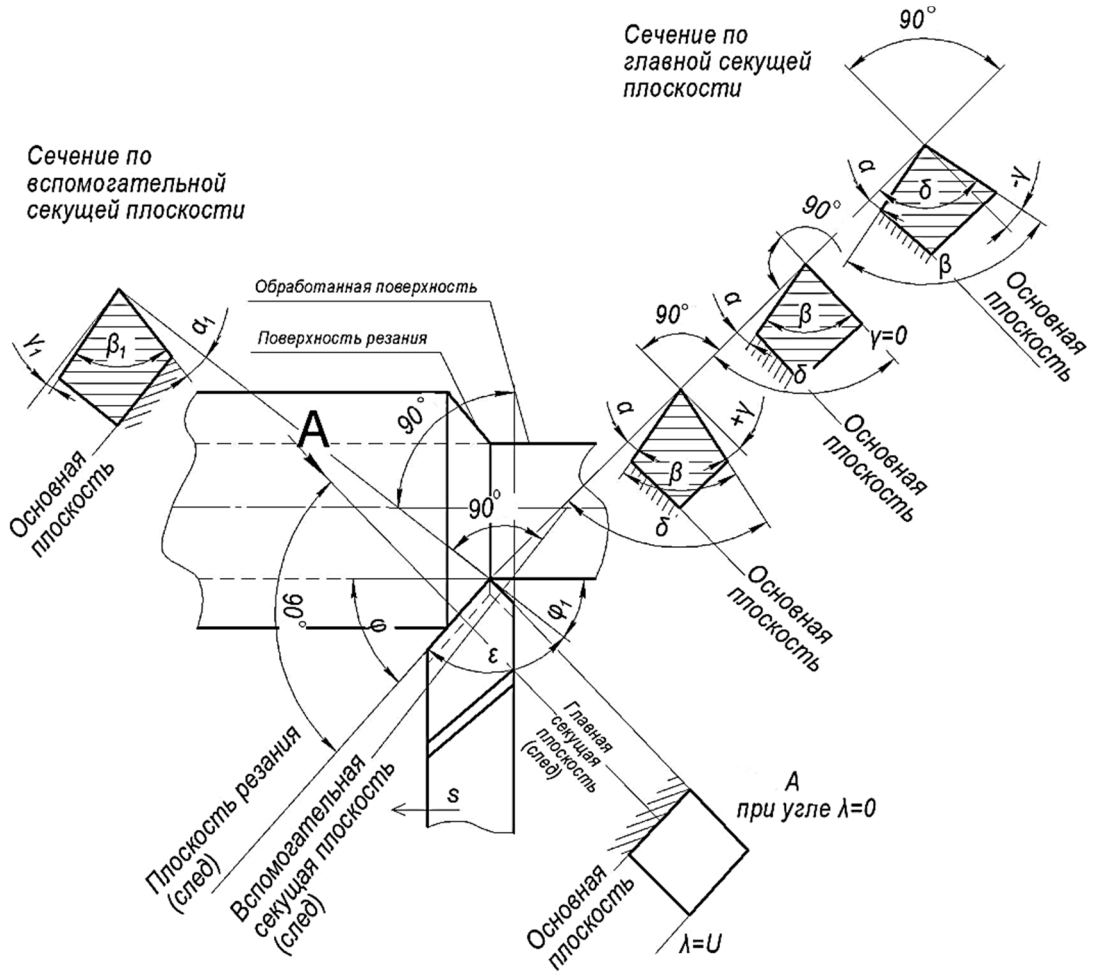


Рис. 2.10. Поверхности заготовки и углы резца

Вспомогательным углом в плане **φ1** называется угол между проекцией и направлением подачи; он делается для исключения трения на большей части вспомогательной режущей кромки.

Углом при вершине в плане **ε** называется угол между проекциями режущих кромок на основную плоскость; в сумме $\varphi + \varepsilon + \varphi_1 = 180°$.

Задний угол **α** служит для уменьшения трения между задней поверхностью резца и поверхностью резания. С уменьшением трения уменьшается нагрев резца, а следовательно, и его износ со стороны задней поверхности. Однако, если задний угол значительно увеличен, резец получается менее прочным.

При выборе заднего угла приходится считаться со свойствами обрабатываемого материала и материала инструмента, а также с условиями резания. При обработке мягких и вязких металлов задний угол резца берут обычно большим, для твердых и хрупких металлов – меньшим.

На практике величину заднего угла выбирают в пределах 6–12 (см. рис. 2.11).

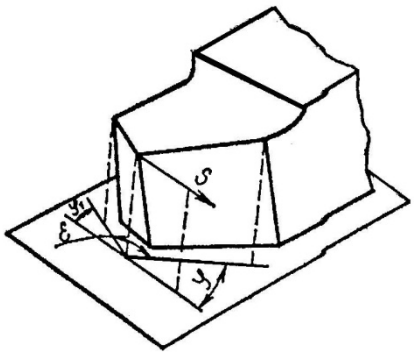


Рис. 2.11. Углы резца в плане

Передний угол γ имеет большое значение в процессе образования стружки. С увеличением переднего угла облегчается врезание резца в металл, уменьшается деформация срезаемого слоя, облегчается сход стружки, уменьшаются сила резания и расход мощности. Вместе с тем увеличение переднего угла приводит к уменьшению угла β, т.е. к ослаблению режущего клина и снижению его прочности, что вызывает увеличение износа резца как вследствие выкрашивания режущей кромки, так и вследствие менее интенсивного отвода тепла от поверхностей нагрева резца. Поэтому при обработке твердых и хрупких металлов с целью повышения прочности и стойкости инструмента следует применять меньшие передние углы; при обработке мягких и вязких металлов передние углы имеют большие значения.

Вследствие повышенной хрупкости твердых сплавов и минералокерамики для инструмента, оснащенного такими материалами, величину переднего угла необходимо назначать меньшей, чем для инструмента с режущей частью из инструментальных сталей. При обработке закаленных сталей инструментами, оснащенными пластинкой из твердого сплава, а также при ударной нагрузке (прерывистое резание) следует для увеличения прочности режущей кромки применять даже отрицательные передние углы.

Величину переднего угла выбирают в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала, материала резца и формы передней поверхности.

*P*τ (рис. 2.12) – в ней определяют α – задний угол, γ – передний угол, β – угол заострения или угол режущего клина.

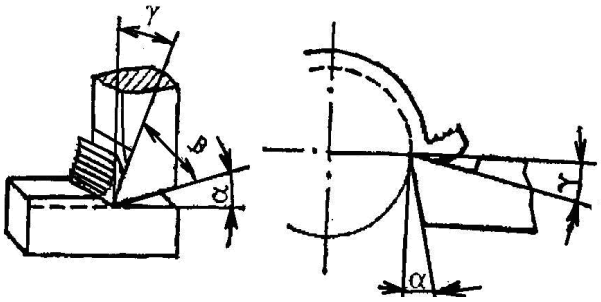
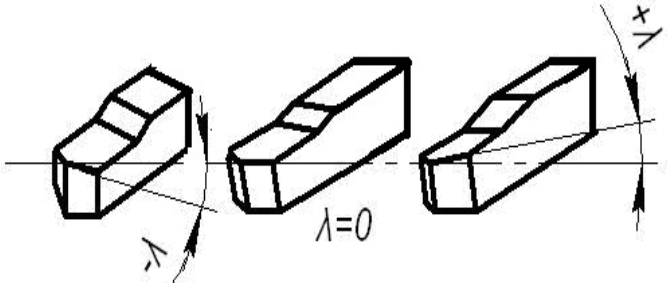


Рис. 2.12. Геометрические параметры резцов:
а – при строгании; *б* – при точении

Рτ` (см. рис. 2.9, 2.10) – в ней определяют α_1 – вспомогательный задний угол, γ_1 – вспомогательный передний угол, β_1 – вспомогательный угол заострения.

Рn (рис. 2.13) – в ней определяют λ – угол наклона главной режущей кромки.

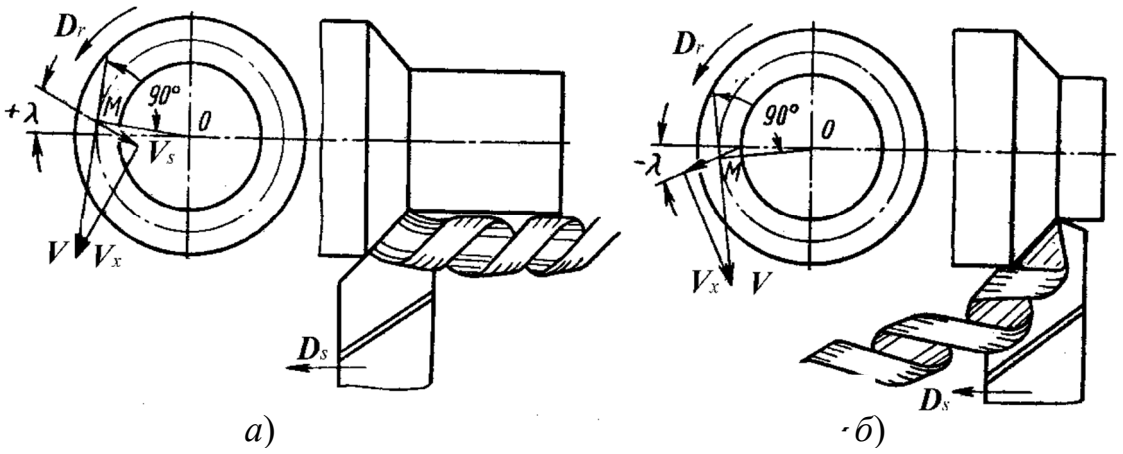
Угол наклона главной режущей кромки λ служит для отвода стружки.



а) *б*) *в*)

Рис. 2.13. Углы наклона главной режущей кромки резца:
а – отрицательный угол; *б* – угол наклона, равный нулю;
в – положительный угол

Угол наклона главной режущей кромки λ служит для отвода стружки в определенном направлении: при (+λ) – к обработанной поверхности; при (–λ) – к обрабатываемой поверхности (рис. 2.14). При положительном угле наклона режущей кромки +λ (рис. 2.14,*а*) для любой ее точки *M* вектор скорости срезания стружки *V*, нормальный к радиусу *OM*, может быть разложен на вектор V_x, нормальный к режущей кромке, и вектор V_s, направленный вдоль режущей кромки к вершине резца. Под действием вектора V_s стружка отклоняется в сторону обработанной поверхности. При отрицательном угле наклона режущей кромки –λ (рис. 2.14,*б*) вектор V_S направлен вдоль режущей кромки к обрабатываемой поверхности и отклоняет стружку в ту же сторону.

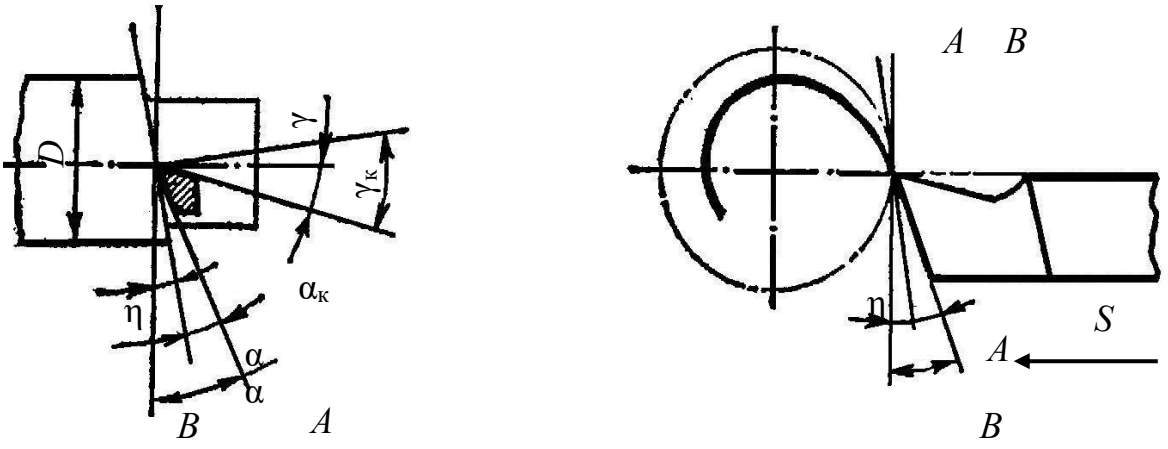


а) *б*)

Рис. 2.14. Влияние угла λ на направление схода стружки

Положительный угол +λ служит также для упрочнения режущей кромки, поэтому при ударных работах (прерывистом резании) резцами с твердосплавными пластинками, а также при обработке закаленных материалов необходимо угол λ делать положительным в пределах 5–20°. При положительном значении угла λ ударная сила в момент врезания резца приходится не на вершину резца, а на более прочное место режущей кромки, удаленное от вершины.

При вращении заготовки и при включении подачи кинематические углы отличаются от статических. На рис. 2.15 упрощенно представлена работа при продольном точении с углом φ = 90º и λ = 0°. А–А – плоскость резания в **ССК**; В–В – плоскость резания в **КСК**; η – угол рабочей плоскости между направлениями скоростей результирующего движения и главного движения (угол наклона винтовой траектории).



а) *б*)

Рис. 2.15. Изменение углов резца в процессе работы:
а – продольное точение; *б* – поперечное точение

В результате изменения положения плоскости резания задний угол уменьшится, а передний угол увеличится на величину η.

Если развернуть на плоскость окружность вращения и винтовую траекторию точки режущей кромки, то получим треугольник, в котором катетами будут подача и окружность вращения, а гипотенузой – винтовая траектория. Отсюда определяется угол η (рис. 2.16):

$$\eta = \operatorname{arctg}\frac{S}{\pi D}. \qquad (2.1)$$

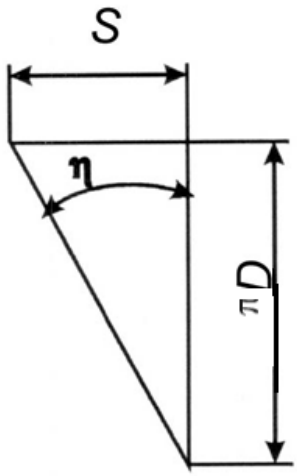


Рис. 2.16. Развертка траектории точки режущей кромки резца

При величине угла φ, отличной от 90º, угол наклона винтовой траектории η меняется и его можно определить по формуле

$$\operatorname{tg}\eta_\varphi = \operatorname{tg}\eta\sin\varphi. \qquad (2.2)$$

Бывают случаи, когда необходимо установить режущую кромку ниже или выше оси заготовки. При этом будет меняться положение касательной к поверхности резания. Величины переднего и заднего углов будут равны (рис. 2.17):

$$\gamma_y = \gamma \pm \tau_\phi;\ \alpha_y = \alpha \pm \tau_\phi. \qquad (2.3)$$

Если угол φ = 90º, то τ = arcsin(*h*/*R*). Если угол φ ≠ 90º, то τ = tgτcosφ.

Таким образом, с учетом выражений (2.2), (2.3) во время работы резец в главной секущей плоскости будет иметь кинематические углы:

$$\gamma_к = \gamma + \eta_\phi \pm \tau_\phi;\ \alpha_y = \alpha - \eta_\phi \pm \tau_\phi. \qquad (2.4)$$

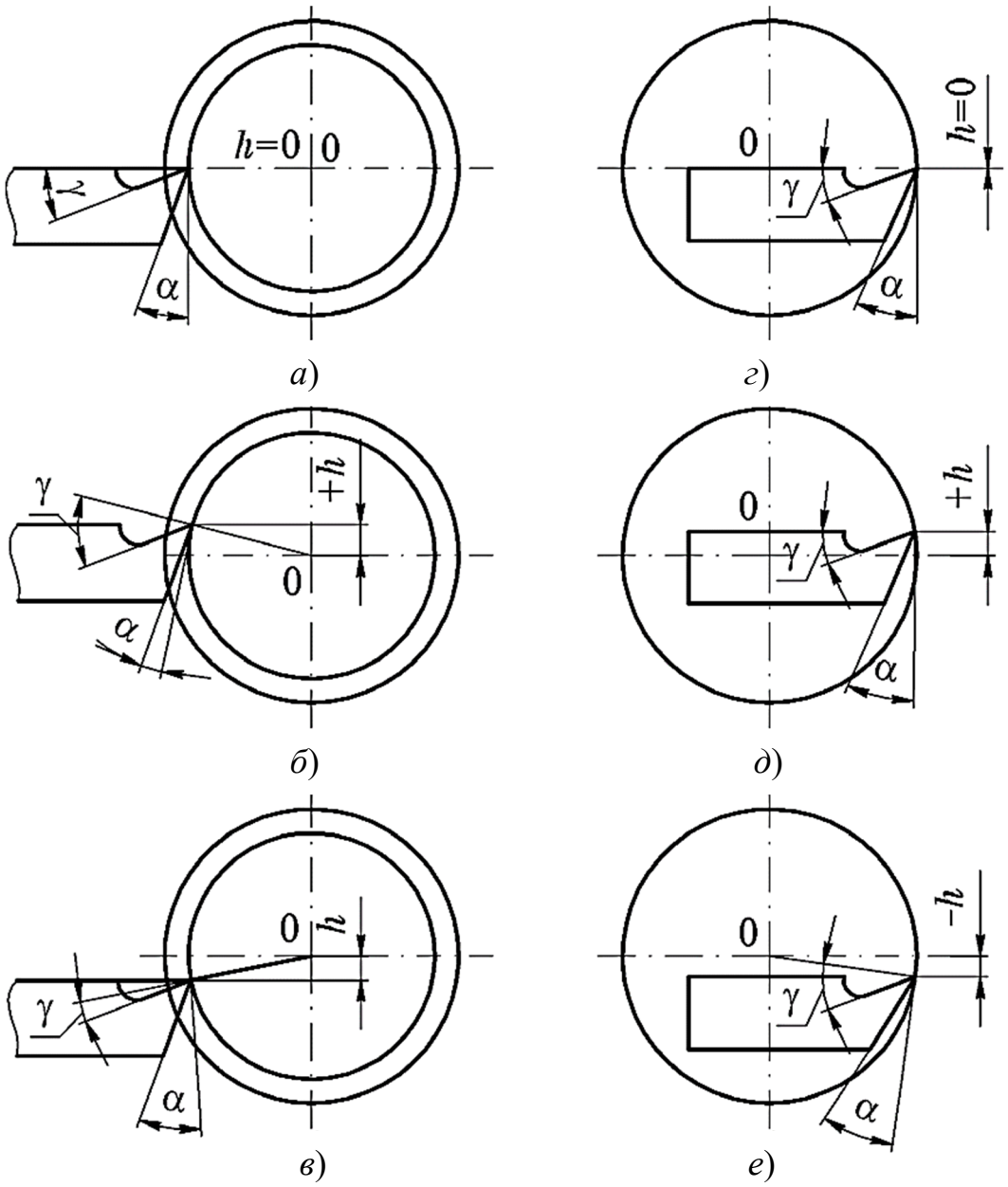


Рис. 2.17. Изменение углов резца в зависимости
от положения его вершины относительно оси центров:
а, *б*, *в* – при наружном точении; *г*, *д*, *е* – при растачивании

Резец вершиной чаще всего устанавливают по оси заготовки. Установка выше оси заготовки при наружном точении на величину $h = (0{,}01–0{,}02)D$ допускается лишь при предварительной обработке. При чистовой обработке резец должен быть установлен по оси заготовки или ниже ее на величину h, так как в противном случае, при недостаточной жесткости резца, он может изогнуться, врезаться в заготовку и начать срезать слой большей глубины. Это приведет к изменению диаметра обработанной поверхности и будет служить причиной брака.

Методика выполнения работы

Лабораторное оборудование: токарно-винторезный станок, резцы, комплект средств измерений для измерения геометрических параметров резцов.

Характеристики средств измерений оформляются в виде табл. 2.1.

Таблица 2.1

Характеристики средств измерения

Наименование средств измерения	Цена деления	Пределы измерений
1. Штангенциркули ШЦ-I и ШЦ-II	0,05 мм, 0,1 мм	0–125 мм
2. Микрометры гладкие	0,01 мм	0–25 мм, 25–50 мм
3. Масштабная линейка	1 мм	0–125 мм
4. Универсальный угломер УН	1° – основная шкала, 2′ –дополнительная шкала	0–320°

Измерение конструктивных размеров резца производится масштабной линейкой и штангенциркулем, а геометрических параметров – настольными и универсальными угломерами (рис. 2.18–2.20). Результаты измерений сводятся в табл. 2.1.

Рассмотрим устройство универсального угломера УН. Он работает контактным методом с отсчетом результатов измерений по градусной шкале и нониусу (см. рис. 2.18–2.20).

На дуге нанесена основная градусная шкала *2*, которая градуирована от 0 до 130º. По дуге *1* перемещается пластина – сектор *3* с нониусом, на котором с помощью державки *4* закреплен угольник *5*, связанный со съемной локальной линейкой *6*.

Путем различных перестановок деталей средств измерения достигается измерение углов в диапазоне 0–320º.

Измеряемая поверхность устанавливается между подвижной линейкой дуги *1* и подвижной лекальной линейкой *6* таким образом, чтобы образовался необходимый контакт, т.е. невидимый или видимый равномерный просвет (см. рис. 2.18–2.20).

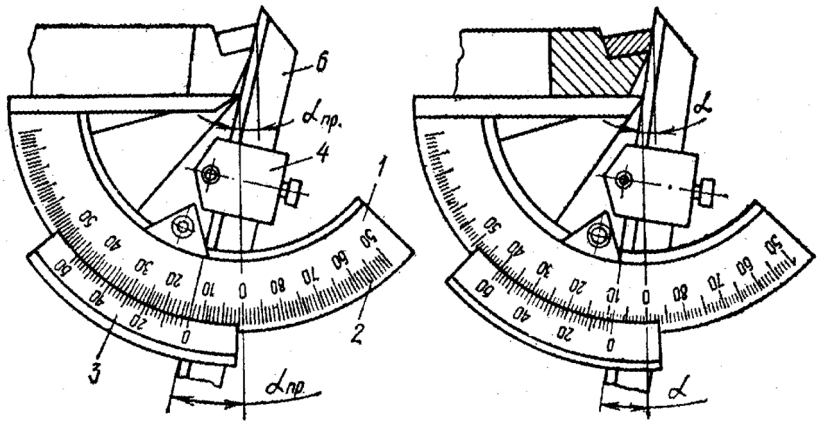


Рис. 2.18. Измерение угла α универсальным угломером УН

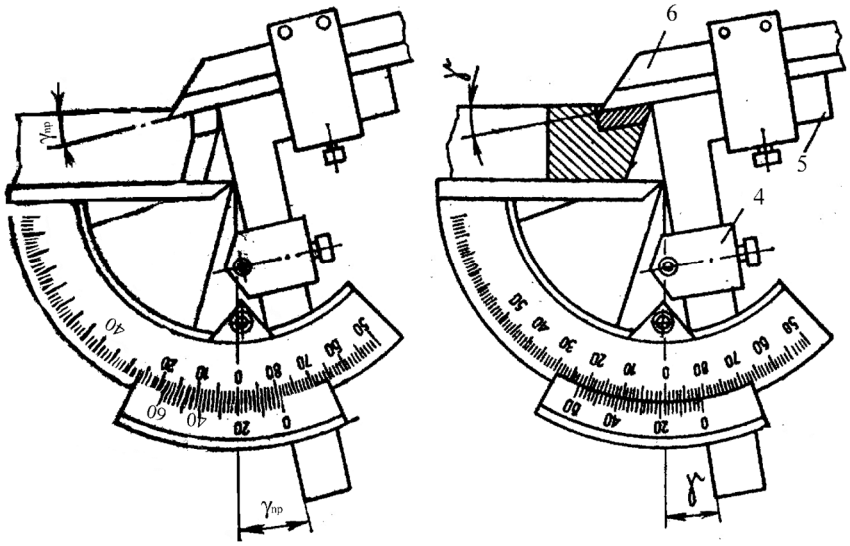


Рис. 2.19. Измерение угла γ универсальным угломером УН

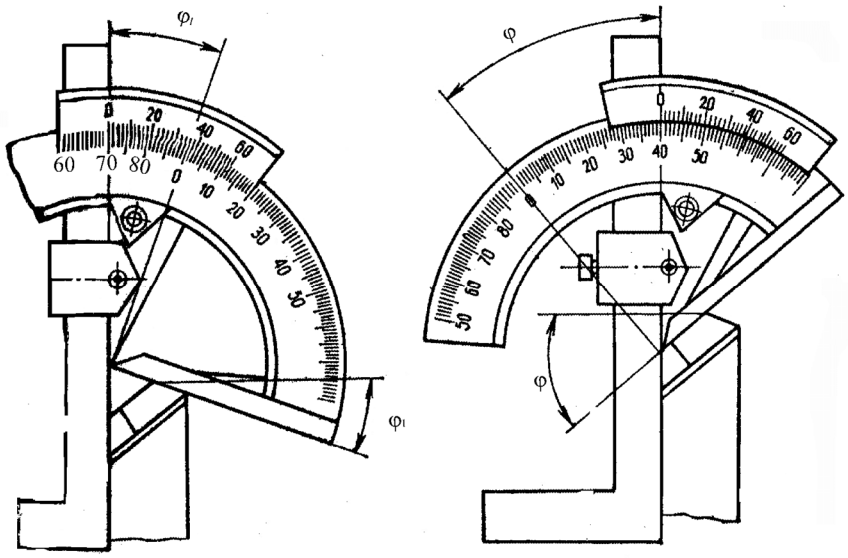


Рис. 2.20. Измерение углов в плане универсальным угломером УН

Характеристика объекта лабораторной работы

Объектами лабораторной работы являются различные типы токарных резцов (токарный правый проходной отогнутый, токарный правый проходной упорный, токарный отрезной резец).

Порядок выполнения работы

1. Изучить кинематику токарной обработки.
2. Изучить схемы измерения углов резцов.
3. Измерить углы и размеры резцов, а результаты занести в табл. 2.2.

Экспериментальная часть

Таблица 2.2

Параметры резца

Тип резца	Размеры резца, мм				Углы резца, град									
	L	*B*	*H*	*r*	φ	φ_1	ε	λ	α	α_1	γ	γ_1	β	β_1
Примечание. В графе «Тип резца» дать полное название резца в соответствии с классификацией.														

По результатам измерений, сведенных в таблицу, выполняют эскизы резцов (рис. 2.21–2.23).

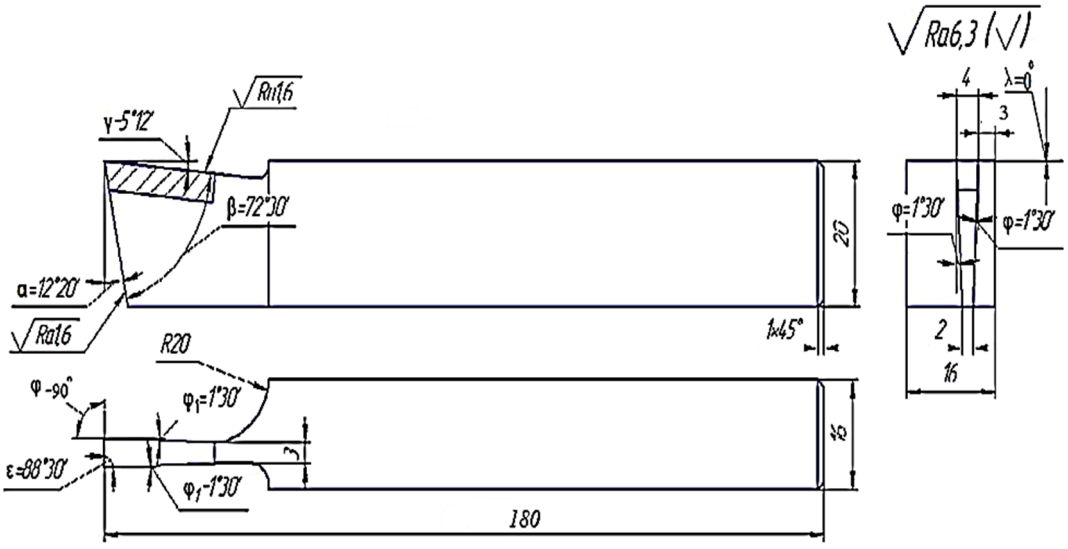


Рис. 2.21. Эскиз токарного левого отрезного резца

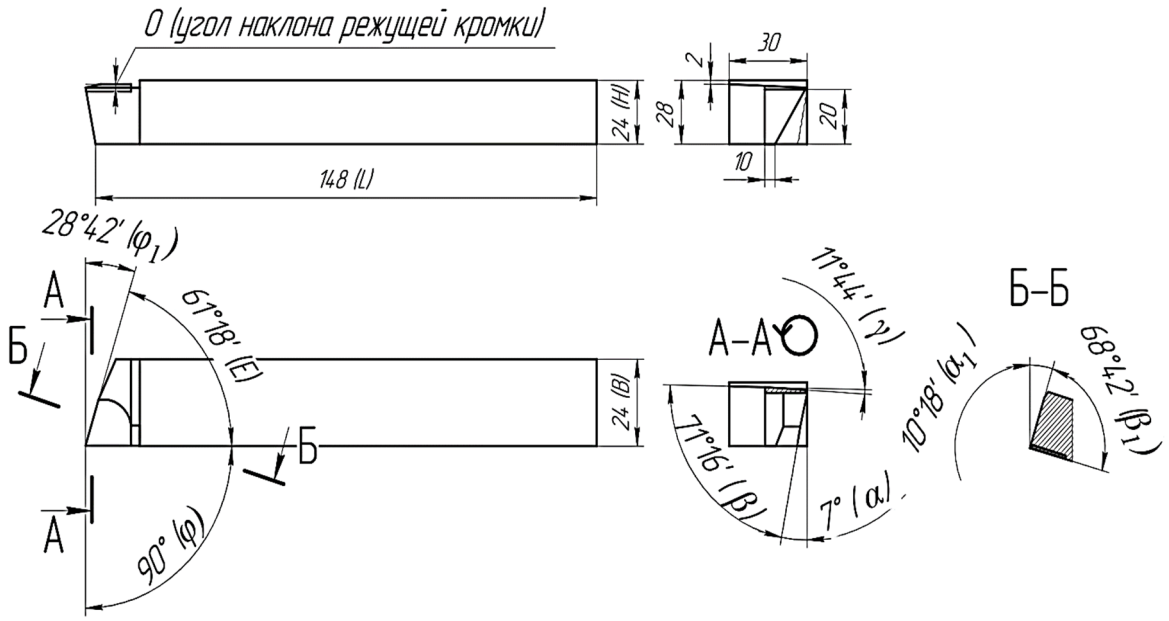


Рис. 2.22. Эскиз токарного правого упорного резца

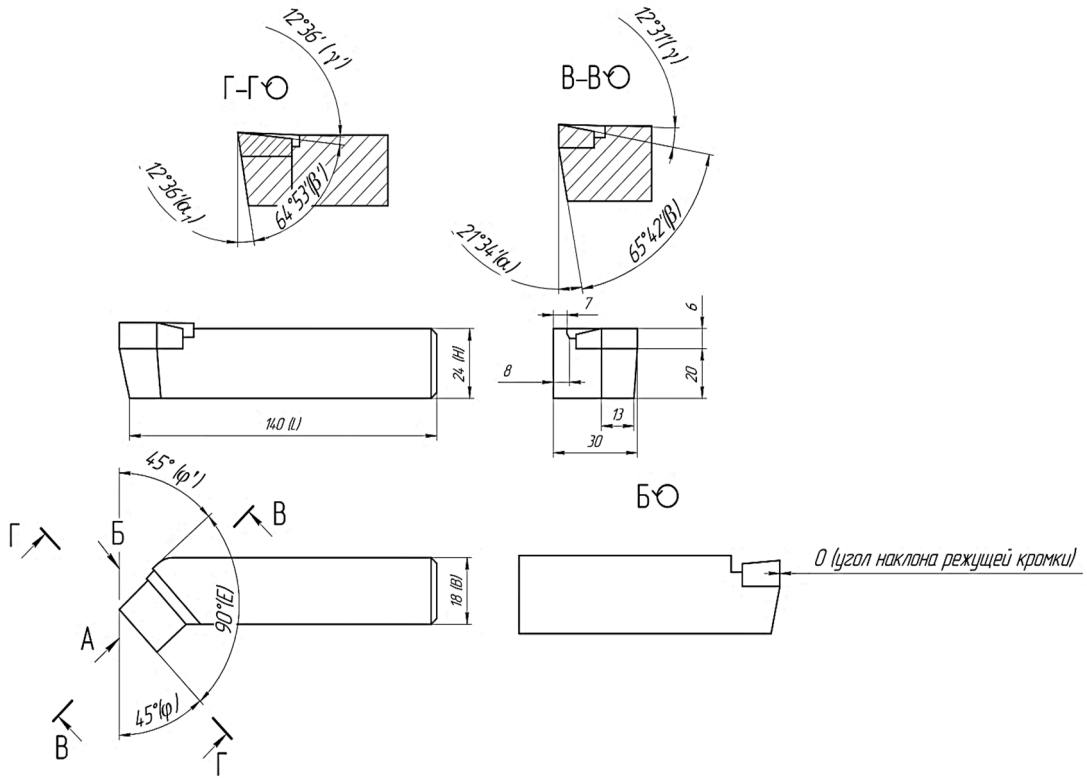


Рис. 2.23. Эскиз токарного проходного правого отогнутого резца

Выводы по работе

Проанализировать влияние измеренных конструктивных и геометрических параметров инструмента на производительность и качество процесса резания деталей.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Методика выполнения работы.
4. Характеристика объекта лабораторной работы.
5. Порядок выполнения работы.
6. Экспериментальная часть.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируют резцы?
2. Назовите координатные системы и плоскости, в которых измеряются геометрические параметры резца, и дайте их определение.
3. Назовите группы углов, измеряемых в соответствующих плоскостях, и дайте их определение.
4. Какие части и элементы имеет резец?
5. Как влияет на углы резца положение его относительно оси детали?

Лабораторная работа № 3

РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ И РАСТАЧИВАНИИ

Цель работы – ознакомиться с расчетом рациональных режимов резания по эмпирическим формулам при токарной обработке.

Краткие теоретические сведения

В зависимости от квалитета заготовки и детали определяют число стадий обработки (число рабочих ходов) (прил. А).

В зависимости от решаемых технологических задач выбирают вид резца, форму пластины, геометрические элементы резца по нормативам и справочникам. Если целесообразно использование одного и того же инструмента на нескольких переходах, то его выбирают по наиболее трудоемкому переходу, но следят, чтобы он был допустимым по остальным переходам.

Выбор инструмента и режимов резания выполняется в соответствии с основным параметром станка – наибольшим диаметром обрабатываемой заготовки, который является усредненным показателем жесткости и виброустойчивости технологической системы.

Размеры державки резца выбирают максимально допустимыми согласно паспорту станка.

Резцы с механическим креплением пластин имеют большую (в среднем на 15 %) производительность, чем резцы с напаянными пластинами. Такие резцы могут быть применены при меньшей подаче, но при большей скорости резания, что обеспечивает рост производительности обработки.

Выбор материала инструмента осуществляют с учетом обрабатываемого материала, характера припуска и поверхности заготовки, глубины резания (прил. Б).

1. Глубина резания *t*, мм: при черновом точении и отсутствии ограничений по мощности оборудования и жесткости системы СПИД принимается равной припуску на обработку; при чистовом точении припуск срезается за два рабочих хода и более. На каждом последующем переходе следует назначить меньшую глубину резания, чем на предшествующем. При параметре шероховатости обработанной поверхности $Ra \leq 3{,}2$ мкм включительно $t = 0{,}5–2{,}0$ мм; $Ra \geq 0{,}8$ мкм, $t = 0{,}1–0{,}4$ мм.

Глубина резания равна $t = 0,5(D - d)$, где D – начальный диаметр обработки, d – получаемый размер. Глубина резания для всех видов обработки выбирается из таблиц справочников в зависимости от диаметров детали и заготовки, их квалитетов, стадий (переходов) обработки – черновая, получистовая, чистовая и отделочная.

2. Подача *s*, мм/об: при черновом точении принимается максимально допустимой по мощности оборудования, жесткости технологической системы, прочности режущей пластины и прочности державки инструмента. Рекомендуемые подачи при черновом наружном точении приведены в табл. 3.1, а при черновом растачивании – в табл. 3.2.

Таблица 3.1

Подачи при черновом наружном точении резцами с пластинами из твердого сплава и быстрорежущей стали

Диаметр детали, мм	Размер державки резца, мм	Обрабатываемый материал									
		Сталь конструкционная углеродистая, легированная и жаропрочная					Чугун и медные сплавы				
		Подача *s*, мм/об, при глубине резания *t*, мм									
		до 3	св. 3 до 5	св. 5 до 8	св. 8 до 12	св. 12	до 3	св. 3 до 5	св. 5 до 8	св. 8 до 12	св. 12
До 20	От 16 × 25	0,3–0,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	до 25 × 25				–	–	0,4–0,5	–	–	–	–
Св. 20	От 16 × 25	0,4–0,5	0,3–0,4	–	–	–		0,5–0,8	0,4–0,7	–	–
до 40	до 25 × 25			0,3–0,7	0,4–0,8	–	0,6–0,9			0,5–0,9	–
Св. 40	От 16 × 25	0,5–0,9	0,4–0,8			–		0,7–1,2	0,6–1,0		
до 60	до 25 × 40									0,6–0,9	–
Св. 60	От 16 × 25	0,6-1,2	0,5–1,1	0,5–0,9	0,5–0,9	0,4–1,1	0,8–1,4	0,8–1,9	0,8–1,1		
до 100	до 25 × 40									0,7–0,9	–
Св. 100	От 16 ×25	0,8–1,3	0,7–1,2	0,6–1,0	0,6–1,2	0,1–1,2	1,0–1,5	1,2–1,5	1,0–1,2		
до 400	до 25 × 40									0,9–1,2	0,8–1,0
Св. 400	От 20 × 30	1,1–1,4	1,0–1,3	0,7–1,2	0,6–1,3	0,7–1,3	1,3–1,6	1,2–1,6	1,0–1,4		
до 500	до 40 × 60									1,0–1,3	0,9–1,2
Св. 500	От 20 × 30	1,2–1,5	1,0–1,4	0,8–1,3	0,8–1,4	1,0–1,5	1,5–1,8	1,3–1,8	1,0–1,4		
до 600	до 40 × 60									1,3–1,7	1,2–1,7
Св. 600	От 25 × 40	1,2–1,8	1,1–1,5	0,9–1,4	1,1–1,5		1,5–2,0	1,6–2,0	1,4–1,8		
до 1000	до 40 × 60										
Св. 1000	От 30 × 45	1,3–2,0	1,3–1,8	1,2–1,6			1,6–2,4				
до 2500	до 40 × 60										

Примечания:1. При обработке жаропрочных сталей и сплавов подачи свыше 1 мм/об не применять.
2. При обработке прерывистых поверхностей и при работах с ударами табличные значения подач следует уменьшать на коэффициент 0,75–0,85.
3. При обработке закаленных сталей табличные значения подачи уменьшать, умножая на коэффициент 0,8 для стали 44–56 HRC и на 0,5 – для стали с 57–62 HRC

Таблица 3.2

Подачи при черновом растачивании на токарных и токарно-револьверных станках резцами с пластинами из твердого сплава и быстрорежущей стали

Резец или оправка		Обрабатываемый материал							
Диаметр круглого сечения резца или размеры прямоугольного сечения оправки, мм	Вылет резца или оправки, мм	Сталь конструкционная углеродистая, легированная и жаропрочная				Чугун и медные сплавы			
		Подача *s*, мм/об, при глубине резания *t*, мм							
		2	3	5	8	2	3	5	8
10	50	0,08	–	–	–	0,12–0,16	–	–	–
12	60	0,10	0,08	0,1	–	0,12–0,20	0,12–0,18	–	–
16	80	0,1–0,2	0,15	0,12	–	0,20–0,30	0,15–0,25	0,1–0,18	–
20	100	0,5–0,3	0,15–0,25	0,12–0,2	–	0,3–0,4	0,25–0,35	0,12–0,25	–
25	125	0,25–0,5	0,15–0,4	0,12–0,3	–	0,4–0,6	0,3–0,5	0,25–0,35	–
30	150	0,4	0,2–0,5	0,15–0,4	–	0,5–0,8	0,4–0,6	0,25–0,45	–
40	200	–	0,25–0,6	0,5–0,7	–	–	0,6–0,8	0,3–0,8	–
40 × 40	150	–	0,6–1,0	0,3–0,6	–	–	0,7–1,2	0,5–0,9	0,4–0,5
	300	–	0,4–0,7	0,8–1,0	–	–	0,6–0,9	0,4–0,7	0,3–0,4
60 × 60	150	–	0,9–1,2	0,5–0,8	0,6–0,8	–	1,0–1,5	0,8–1,2	0,6–0,9
	300	–	0,7–1,0	0,8–1,1	0,4–0,7	–	0,9–1,2	0,7–0,9	0,5–0,7
75 × 75	300	–	0,9–1,3	0,6–0,9	0,7–0,9	–	1,1–1,6	0,9–1,3	0,7–1,0
	500	–	0,7–1,0	0,4–0,7	0,5–0,7	–	–	0,7–1,1	0,6–0,8
	800	–	–		–	–		0,6–0,8	–

Примечание. Верхние пределы подач рекомендуются для меньшей глубины резания при обработке менее прочных материалов, нижние – для большей глубины и более прочных материалов.

При черновом точении подача выбирается в зависимости:

1) от шероховатости обработанной поверхности S_1;
2) допустимой прочности пластины твердого сплава S_2;
3) жесткости крепления детали S_3;
4) жесткости державки резца S_4;
5) прочности державки резца S_5;
6) прочности механизма подачи S_6.

Значение подачи S_1 выбирают согласно общепринятым рекомендациям. Подача S_2, допустимая прочностью пластины твердого сплава, также выбирается по справочной литературе в зависимости от толщины пластины C и главного угла в плане φ.

Выбранную пластину проверяют по максимальной нагрузке:

$$P_{\max} = 34t^{0,77}C^{1,35}\left(\frac{\sin 60^\circ}{\sin\varphi}\right)^{0,8} > P_z,$$

где P_z – главная составляющая силы резания.

Расчет подачи S_3 производится по следующим формулам:

1) при обработке в патроне с поджатием задним центром:

$$s_3 = \sqrt{\frac{140EJf}{1{,}1C_{pz}t^{X_{Pz}}L^3}},\ \text{мм/об};$$

2) при обработке в центрах:

$$S_3 = \sqrt{\frac{70EJf}{1{,}1C_{P_z}t^{X_{Pz}}L^3}},\ \text{мм/об};$$

3) при обработке в патроне:

$$S_3 = y_{PZ}\sqrt{\frac{3EJf}{1{,}1Ct^{X_{PZ}}L^3}},\ \text{мм/об},$$

где L – длина детали (расстояние между опорами балки), мм; E – модуль упругости материала детали, Па (для стали $E = 2\cdot10^{11}$ Па или $E = 2\cdot10^5$ МПа); J – момент инерции для вала, мм^4; $J = 0{,}05\,d^4$ мм^4; f – допустимая величина прогиба, мм (при черновом точении $|f| \le 0{,}2 - 0{,}4$ (мм)).

Допустимая подача S_4 зависит от поперечного сечения державки резца. Для прямоугольного сечения принято соотношение H = 1,6 В для получистовой и чистовой обработки и H = 1,25 В – для черновой обработки, где B – ширина и H – высота державки (рис. 3.1):

$$B = \sqrt[3]{\frac{6P_z\ell}{2{,}56\sigma_{из}}},$$

где ℓ – вылет резца, мм; $\sigma_{из}$ – предел прочности на изгиб материала державки резца, МПа.

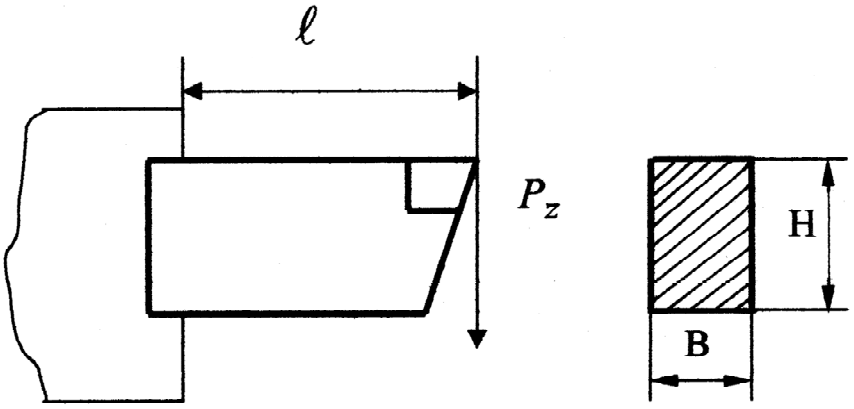


Рис. 3.1. Схема закрепления резца

Расчетные размеры сечения державки H и B следует

согласовать со стандартными. При выборе сечения державки следует учитывать высоту центров и размеры резцедержателя станка. Расчет подачи S_4, исходя из жесткости прямоугольного сечения резца, производят по формуле

$$S_4 = y_{p_z}\sqrt{\frac{BH^3\sigma_в f}{4Ct^{x_{p_z}}\ell}},\ \text{мм/об},$$

где E – модуль упругости материала державки резца, Па; f – допустимая величина прогиба державки резца, мм. При черновом точении $f = 0{,}1$ мм.

Расчет подачи S_5 по прочности державки резца производят из условия плоского изгиба с учетом действия силы P_z по формуле

$$S_5 = y_{P_Z}\sqrt{\frac{BH^2\sigma_в}{6\,C_{p_z}t^{X_{p_z}}\ell}},\ \text{мм/об};$$

$$P_x = C_{p_x}t^{x_{px}}S^{y_{px}};$$

$$S_6 = y_{P_X}\sqrt{\frac{P_{x_{ct}}}{C_{px}t^{P_x}}},\ \text{мм/об},$$

где параметры y_{px}, x_{px}, C_{px} определяются по справочной литературе; $P_x = 0{,}25P_z$ – при резании конструкционных сталей; $P_x = 0{,}72P_z$ – при резании жаропрочных сплавов; $P_x = 0{,}6P_z$ – при резании закаленных сталей.

Из шести расчетных подач S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 и S_6 выбирают наименьшую, корректируют по паспорту станка и в дальнейшем обозначают S_0 (максимально-технологически допустимая подача).

Максимальные величины подач при точении стали 45, допустимые прочностью пластины из твердого сплава, приведены в табл. 3.3.

Подачи при чистовом точении выбирают в зависимости от требуемых параметров шероховатости обработанной поверхности и радиуса при вершине резца из табл. 3.4.

Таблица 3.3

Подачи, допустимые прочностью пластины из твердого сплава (мм/об), при точении конструкционной стали резцами с главным углом в плане φ = 45°

Толщина пластины, мм	Глубина резания *t*, мм			
	4	7	13	22
4	1,3	1,1	0,9	0,8
6	2,6	2,2	1,8	1,5
8	4,2	3,6	3,6	2,5
10	6,1	5,1	4,2	3,6

Примечания:
1. В зависимости от механических свойств стали на табличные значения подачи вводить поправочный коэффициент 1,2 при $\sigma_в$ = 480–640 МПа;
1,0 при $\sigma_в$ = 650–870 МПа и 0,85 при $\sigma_в$ = 870–1170 МПа.
2. При обработке чугуна табличное значение подачи умножать на коэффициент 1,6.
3. Табличное значение подачи умножать на поправочный коэффициент 1,4 при φ = 30°; 1,0 при φ = 45°; 0,6 при φ = 60° и 0,4 при φ = 90°.
4. При обработке с ударами подачу уменьшать на 20 %

Таблица 3.4

Подачи при чистовом точении (мм/об)

Параметр шероховатости поверхности, мкм		Радиус при вершине резца *r*, мм					
Ra	*Rz*	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
0,63		0,07	0,10	0,12	0,14	0,15	0,17
1,25	–	0,10	0,13	0,165	0,19	0,21	0,23
2,50		0,144	0,20	0,246	0,29	0,32	0,35
	20	0,25	0,33	0,42	0,49	0,55	0,60
–	40	0,35	0,51	0,63	0,72	0,80	0,87
	80	0,47	0,66	0,81	0,94	1,04	1,14

Примечание. Подачи даны для обработки сталей с $\sigma_в$ = 700–900 МПа и чугунов; для сталей с $\sigma_в$ = 500–700 МПа значения подач умножать на коэффициент K_s = 0,45; для сталей с $\sigma_в$ = 900–1100 МПа значения подач умножать на коэффициент K_s = 1,25.

При прорезании пазов и отрезании величина поперечной подачи зависит от свойств обрабатываемого материала, размеров паза и диаметра обработки (табл. 3.5).

Соответствие отечественных марок твердых сплавов ISO, а также марки быстрорежущей стали США и сравнение их с российскими марками определяются по прил. В, Г.

Таблица 3.5

Подачи при прорезании пазов и отрезании (мм/об)

Диаметр обработки, мм	Ширина резца, мм	Обрабатываемый материал	
		сталь конструкционная углеродистая и легированная, стальное литье	чугун, медные и алюминиевые сплавы
Токарно-револьверные станки			
До 20	3	0,06–0,08	0,11–0,14
Св. 20 до 40	3–4	0,1–0,12	0,16–0,19
Св. 40 до 60	4–5	0,13–0,16	0,20–0,24
Св. 60 до 100	5–8	0,16–0,23	0,24–0,32
Св. 100 до 150	6–10	0,18–0,26	0,3–0,4
» 150	10–15	0,28–0,36	0,4–0,55
Карусельные станки			
До 2500	10–15	0,3–0,45	0,55–0,60
Св. 2500	16–20	0,45–0,60	0,60–0,70

Примечания: 1. При отрезании сплошного материала диаметром более 60 мм при приближении резца к оси детали до 0,5 радиуса табличные значения подачи следует уменьшить на 40–50 %.
2. Для закаленной конструкционной стали табличные значения подачи уменьшать на 30 % при HRC < 50 и на 50 % – при HRC > 50.
3. При работе резцами, установленными в револьверной головке, табличные значения умножать на коэффициент 0,8.

Рекомендуемые подачи при фасонном точении приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Подачи при фасонном точении (мм/об)

Ширина резца	Диаметр обработки, мм			
	20	25	40	60 и более
8	0,03–0,09	0,04–0,09	0,04–0,09	0,04–0,09
10	0,03–0,07	0,04–0,085	0,04–0,085	0,04–0,085
15	0,02–0,05	0,035–0,075	0,04–0,08	0,04–0,08
20	–	0,03–0,06	0,04–0,08	0,04–0,08
30	–	–	0,035–0,07	0,035–0,07
40	–	–	0,03–0,06	0,03–0,06
50 и более	–	–	–	0,025–0,055

Примечание. Меньшие подачи брать для более сложных и глубоких профилей и твердых металлов, большие – для простых профилей и мягких металлов.

Выбранные значения подачи корректируют по паспорту станка. Паспортные данные некоторых станков приведены в прил. Д.

3. Скорость резания $V_р$, м/мин: при наружном продольном и поперечном точении и растачивании рассчитывают по эмпирической формуле

$$V_р = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_V, \qquad (3.1)$$

а при отрезании, прорезании и фасонном точении – по формуле

$$V_р = \frac{C_v}{T^m s^y} K_V.$$

Среднее значение стойкости T при одноинструментной обработке – 60 мин, при точении резцами с дополнительным лезвием – 30–45 мин. При обработке деталей из высоколегированных, жаропрочных и жаростойких сплавов T = 90 мин. Значения коэффициента C_v, показателей степени x, y, и m приведены в табл. 3.7. C_v − коэффициент, зависящий от физико-механических свойств и структуры обрабатываемого материала детали и материала режущей части инструмента.

Таблица 3.7

Значения коэффициента C_v и показателей степени в формулах скорости резания при обработке резцами

Вид обработки	Материал режущей части резца	Характеристика подачи	Коэффициент и показатели степени			
			C_v	x	y	m
1	2	3	4	5	6	7
Обработка конструкционной углеродистой стали $\sigma_в$ = 750 МПа						
Наружное продольное точение проходными резцами	Т15К6*	s до 0,3 s св. 0,3 до 0,7 $s > 0,7$	420 350 340	0,15	0,20 0,35 0,45	0,20
То же резцами с дополнительным лезвием	Т15К6*	$s \le t$ $s > t$	292	0,30 0,15	0,15 0,30	0,18
Отрезание	Т5К10* Р18**	– –	47 23,7	– –	0,80 0,66	0,20 0,25
Фасонное точение	Р18**	–	22,7	–	0,50	0,30

Продолжение табл. 3.7

1	2	3	4	5	6	7
Нарезание крепежной резьбы	Т15К6*	–	244	0,23	0,30	0,20
	Р6М5	Черновые ходы: $P \le 2$ мм $P > 2$ мм	 14,8 30	 0,70 0,60	 0,30 0,25	 0,11 0,08
		Чистовые ходы	41,8	0,45	0,30	0,13
Вихревое нарезание резьбы	Т15К6*	–	2330	0,50	0,50	0,50
Обработка серого чугуна, 190 НВ						
Наружное продольное точение проходными резцами	ВК6*	$s \le 0{,}40$ $s > 0{,}40$	292 243	0,15	0,20 0,40	0,20
Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	ВК6**	$s \ge t$ $s < t$	324 324	0,40 0,20	0,20 0,40	0,28 0,28
Отрезание	ВК6*	–	68,5	–	0,40	0,20
Нарезание крепежной резьбы		–	83	0,45	–	0,33
Обработка ковкого чугуна, 150 НВ						
Наружное продольное точение проходными резцами	ВК8*	$s \le 0{,}40$ $s > 0{,}40$	317 215	0,15 0,15	0,20 0,45	0,20 0,20
Отрезание	ВК6*	–	86	–	0,4	0,20
Обработка медных гетерогенных сплавов средней твердости, 100–140 НВ						
Наружное продольное точение проходными резцами	Р18*	$s \le 0{,}20$ $s > 0{,}20$	270 182	0,12	0,25 0,30	0,23

Окончание табл. 3.7

1	2	3	4	5	6	7
Обработка силумина и литейных алюминиевых сплавов, $\sigma_в$ = 100–200 МПа, НВ ≤ 65; дюралюминия, $\sigma_в$ = 300–400 МПа, НВ ≤ 100						
Наружное продольное точение проходными резцами	Р18*	$s \le 0{,}20$ $s > 0{,}20$	485 328	0,12	0,25 0,50	0,28

* Без охлаждения.

** С охлаждением (укринол, аквол, минеральное масло).

Примечания: 1. При внутренней обработке (растачивание, прорезании канавок в отверстиях, внутреннем фасонном точении) принимать скорость резания, равную скорости резания для наружной обработки с введением поправочного коэффициента 0,9.

2. При обработке без охлаждения конструкционных и жаропрочных сталей и стальных отливок резцами из быстрорежущей стали вводить поправочный коэффициент на скорость резания 0,8.

3. При отрезании и прорезании с охлаждением резцами из твердого сплава Т15К6 конструкционных сталей и стальных отливок вводить на скорость резания поправочный коэффициент 1,4.

4. При фасонном точении глубокого и сложного профиля на скорость резания вводить поправочный коэффициент 0,85.

5. При обработке резцами из быстрорежущей стали термообработанных сталей скорость резания для соответствующей стали уменьшать, вводя поправочный коэффициент 0,95 – при нормализации, 0,9 – при отжиге, 0,8 – при улучшении.

6. Подача s, мм/об.

Условия работы могут отличаться от принятых или рассчитанных величин, поэтому для уточнения полученной скорости используются поправочные коэффициенты, учитывающие качество обрабатываемого материала, состояние поверхности заготовки, качество материала инструмента (см. прил. А).

Коэффициент K_V является произведением коэффициентов, учитывающих влияние материала заготовки $K_{мV}$ (табл. 3.8–3.12), состояния поверхности $K_{пV}$ (табл. 3.13), материала инструмента $K_{иv}$ (табл. 3.11), вида обработки $K_{оV}$ (табл. 3.14), углов в плане резцов $K_{φV}$ и радиуса при вершине резца $K_{rр}$ (табл. 3.15). При многоинструментной обработке и многостаночном обслуживании период стойкости увеличивают, вводя соответственно коэффициенты $K_{Tи}$ (табл. 3.16) и $K_{Tс}$ (табл. 3.17):

$$K_V = K_{мV}K_{пV}K_{иV}K_{Tи}K_{Tс}K_{φV}K_{rр}\,K_{оV}. \qquad (3.2)$$

Таблица 3.8

Поправочный коэффициент K_{MV}, учитывающий влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Расчетная формула
Сталь	$K_{MV} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_в} \right)^{nV}$
Серый чугун	$K_{MV} = \left(\frac{190}{НВ} \right)^{nV}$
Ковкий чугун	$K_{MV} = \left(\frac{150}{НВ} \right)^{nV}$
Примечания: 1. $\sigma_в$ и НВ – фактические параметры, характеризующие обрабатываемый материал, для которого рассчитывается скорость резания. 2. Коэффициент K_r, характеризующий группу стали по обрабатываемости, и показатель степени n_V (см. в табл. 3.10)	

Таблица 3.9

Значения коэффициента K_r и показатели степени n_V в формуле для расчета коэффициента обрабатываемости стали K_{MV}, приведенные в табл. 3.8

Обрабатываемый материал	Коэффициент K_r для материала инструмента		Показатели степени n_V при обработке					
			резцами		сверлами, зенкерами, развертками		фрезами	
	из быстрорежущей стали	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	из твердого сплава
Сталь: Углеродистая ($C \le 0{,}6$ %), $\sigma_в$, МПа: <450	1,0	1,0	–1,0	1,0	–0,9	1,0	–0,9	1,0
450–550	1,0	1,0	1,75		–0,9		–0,9	
>550	1,0	1,0	1,75		0,9		0,9	
повышенной и высокой обрабатываемости резанием хромистая	1,2	1,1	1,75		1,05		–	

Окончание табл. 3.9

Обрабатываемый материал	Коэффициент K_r для материала инструмента		Показатели степени n_V при обработке					
			резцами		сверлами, зенкерами, развертками		фрезами	
	из быстрорежущей стали	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	из твердого сплава
углеродистая ($C > 0{,}6$ %)	0,85	0,95	1,75				1,45	
хромоникелевая, хромомолибденованадиевая	0,8	0,9	1,5				1,35	
хромомарганцовистая, хромокремнистая, хромокремнемарганцовистая, хромоникельмолибденовая, хромомолибденоалюминиевая	0,7	0,8	1,25		0,9		1,0	
хромованадиевая	0,85	0,8	1,25					
марганцовистая	0,75	0,9	1,5					
хромоникельвольфрамовая, хромомолибденовая	0,8	0,85	1,25					
хромоалюминиевая	0,75	0,8	1,25					
хромоникельванадиевая	0,75	0,85	1,25					
быстрорежущие	0,6	0,7	1,25					
Чугун:								
серый	–	–	1,7	1,25	1,3	1,3	0,95	1,25
ковкий	–	–	1,7	1,25	1,3	1,3	0,85	1,25

Таблица 3.10

Поправочный коэффициент K_{MV}, учитывающий влияние физико-механических свойств медных и алюминиевых сплавов на скорость резания

Медные сплавы	K_{MV}	Алюминиевые сплавы	K_{MV}
Гетерогенные: НВ > 140 100–140 НВ Свинцовистые при основной гетерогенной структуре Гомогенные Сплавы с содержанием свинца <10 % при основной гомогенной структуре Медь Сплавы с содержанием свинца >15 %	 0,7 1,0 1,7 2,0 4,0 8 12,0	Силумин и литейные сплавы (закаленные), $\sigma_в$ = 200–300 МПа, НВ > 60 Дюралюминий (закаленный), $\sigma_в$ = 400–500 МПа, НВ > 100	0,8
		Силумин и литейные сплавы, $\sigma_в$ = 100–200 МПа, НВ ≤ 65. Дюралюминий, $\sigma_в$ = 300–400 МПа, НВ ≤ 100	1,0
		Дюралюминий, $\sigma_в$ = 200–300 МПа	1,2

Таблица 3.11

Поправочный коэффициент $K_{иV}$, учитывающий влияние инструментального материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Значения коэффициента $K_{иV}$ в зависимости от марки инструментального материала						
Сталь конструкционная	Т5К12В 0,35	Т5К10 0,65	Т14К8 0,8	Т15К6 1,00	Т15К6 1,15	Т30К4 1,4	ВК8 0,4
Коррозионно-стойкие и жаропрочные стали	ВК8 1,0	Т5К10 1,4	Т15К6 1,9	Р18 0,3	–		
Сталь закаленная	35–50 HRC				51–62 HRC		
	Т15К6 1,0	Т30К4 1,25	ВК6 0,85	ВК8 0,83	ВК4 1,0	ВК6 0,92	ВК8 0,74
Серый и ковкий чугун	КВ8	ВК6	ВК4	ВК3	ВК3	–	
	0,83	1,0	1,1	1,15	1,25		
Сталь, чугун, медные и алюминиевые сплавы	Р6М5	ВК4	ВК6	9ХС	ХВГ	У12А	–
	1,0	2,5	2,7	0,6	0,6	0,5	

Таблица 3.12

Поправочный коэффициент K_{MV}, учитывающий влияние физико-механических свойств жаропрочных и коррозионно-стойких сталей и сплавов на скорость резания

Марка стали или сплава	$\sigma_в$, МПа	Усредненное значение коэффициента K_{MV}
12Х18Н9Т	550	1,0
13Х11Н2В2МФ	1100–1460	0,8–0,3
14Х17Н2	800–1300	1,0–0,75
13Х14Н3В2ФР	700–1200	0,5–0,4
37Х12Н8Г8МФБ	–	0,95–0,72
45Х14Н14В2М	700	1,06
10Х11Н20Т3Р	720–800	0,85
12Х21Н5Т	820–10 000	0,65
20Х23Н18	600–620	0,80
31Х19Н9МВБТ	600–620	0,40
15Х18Н12С4ТЮ	730	0,50
ХН78Т	780	0,75
ХН75МБТЮ	–	0,53
ХН60ВТ	750	0,48
ХН77ТЮ	850–1000	0,40
ХН77ТЮР	850–1000	0,26
ХН35ВТ	950	0,50
ХН70ВМТЮ	1000–1250	0,25
ХН55ВМТКЮ	1000–1250	0,25
ХН65ВМТЮ	900–1000	0,20
ХН35ВТЮ	900–950	0,22
ВТ3-1; ВТ3	950–1200	0,40
ВТ5; ВТ4	750–950	0,70
ВТ6; ВТ8	900–1200	0,35
ВТ14	900–1400	0,53–0,43
12Х13	600–1100	1,5–1,2
30Х13; 40Х13	850–1100	1,3–0,9

Таблица 3.13

Поправочный коэффициент K_{nV}, учитывающий влияние состояния поверхности заготовки на скорость резания

Без корки	Состояние поверхности заготовки				
	Прокат	Поковка	Стальные и чугунные отливки при корке		Медные и алюминие-вые сплавы
			Нормаль-ной	Сильно загрязнен-ной	
1,0	0,9	0,8	0,8–0,85	0,5–0,6	0,9

Таблица 3.14

Поправочный коэффициент K_{0V}, учитывающий влияние вида обработки на скорость резания

Вид обработки	Отношение диаметров $\frac{d}{D}$	Коэффициент K_{0V}
Наружное продольное точение	–	1,0
Подрезание	0,0–0,4 0,5–0,7 0,8–1,0	1,24 1,18 1,04
Отрезание	0	1,0
Прорезание	0,5–0,7 0,8–0,95	0,96 0,84

Таблица 3.15

Поправочные коэффициенты, учитывающие влияние параметров резца на скорость резания

Главный угол в плане φ°	Коэффициент $K_{\varphi V}$	Вспомогательный угол в плане φ°$_1$	Коэффициент $K_{\varphi 1 V}$	Радиус при вершине резца r*, мм	Коэффициент K_{rV}
20	1,4	10	1,0	1	0,94
30	1,2	15	0,97	2	1,0
45	1,0	20	0,94	3	1,03
60	0,9	30	0,91	–	–
75	0,8	45	0,87	5	1,13
90	0,7	–	–	–	–

Примечание. * Учитывают только для резцов из быстрорежущей стали.

Таблица 3.16

Коэффициент изменения стойкости $K_{Tи}$ в зависимости от числа одновременно работающих инструментов при средней по равномерности их загрузки

Число работающих инструментов	1	3	5	8	10	15
$K_{Tи}$	1	1,7	2	2,5	3	4

Таблица 3.17

Коэффициент изменения периода стойкости $K_{Tс}$ в зависимости от числа одновременно обслуживаемых станков

Число обслуживаемых станков	1	2	3	4	5	6	7 и более
$K_{Tс}$	1,0	1,4	1,9	2,2	2,6	2,8	3,1

С большой скоростью резания обрабатываются автоматные стали, цветные и легкие сплавы. Сплавы алюминия обрабатываются со скоростью, в 5–6 раз большей по сравнению со скоростью обработки углеродистой конструкционной стали (углерода менее 0,6 %, $\sigma_в$ = 750 МПа); для силумина и литейных алюминиевых сплавов эта скорость выше в 4–5 раз. Чугун вследствие меньшей теплопроводности, большего истирающего действия и сосредоточения давления от стружки на материал вблизи режущей кромки допускает меньшую скорость резания по сравнению с углеродистой конструкционной сталью.

Отделочная токарная обработка имеет ряд особенностей, отличающих ее от чернового и межоперационного точения. Поэтому рекомендуемые режимы резания при тонком (алмазном) точении на быстроходных токарных станках повышенной точности и расточных станках приведены отдельно в табл. 3.18.

Таблица 3.18

Режимы резания при тонком точении и растачивании

Обрабатываемый материал	Материал рабочей части режущего инструмента	Параметр шероховатости поверхности *Ra*, мкм	Подача, мм/об	Скорость резания, м/мин
Сталь: $\sigma_в$ < 650 МПа $\sigma_в$ = 650–800 МПа $\sigma_в$ > 800 МПа	Т30К4	1,25–0,63	0,06–0,12	250–300 150–200 120–170
Чугун: 149–163 НВ 156–229 НВ 170–241 НВ	ВК3	2,5–1,25		150–200 120–150 100–120
Алюминиевые сплавы и баббит		1,25–0,32	0,04–0,1	300–600
Бронза и латунь			0,04–0,08	180–500

Примечания: 1. Глубина резания – 0,1–0,15 мм.
2. Предварительный проход с глубиной резания 0,4 мм улучшает геометрическую форму обработанной поверхности.
3. Меньшие значения параметра шероховатости поверхности соответствуют меньшим подачам.

Режимы резания при точении закаленной стали резцами с пластинами из твердого сплава приведены в табл. 3.19.

Таблица 3.19

Режимы резания при точении закаленной стали резцами с пластинами из твердого сплава

По-дача *s*, мм/об	Ширина прореза-ния, мм	Твердость обрабатываемого материала HRC									
		35	39	43	46	49	51	53	56	59	62
		Скорость резания *V*, м/мин									
Наружное продольное точение											
0,2	–	157	135	116	107	83	76	66	48	32	26
0,3	–	140	118	100	92	70	66	54	39	25	20
0,4	–	125	104	88	78	60	66	45	33	–	–
0,5	–	116	95	79	71	53	–	–	–	–	–
0,6	–	108	88	73	64	48	–	–	–	–	–
Прорезание паза											
0,05	3	131	110	95	83	70	61	54	46	38	29
0,08	4	89	75	65	56	47	41	37	31	25	19
0,12	6	65	55	47	41	35	30	27	23	18	14
0,16	8	51	43	37	32	27	23	–	–	–	–
0,20	12	43	36	31	27	23	20	–	–	–	–

Примечания: 1. В зависимости от глубины резания на табличное значение скорости резания вводить поправочный коэффициент: 1,15 при t = 0,4–0,9 мм; 1,0 при t = 1–2 мм и 0,91 при t = 2–3 мм.

2. В зависимости от параметра шероховатости на табличное значение скорости резания вводить поправочный коэффициент: 1,0 Rа = 10 мкм; 0,9 для Ra = 2,5 мкм и 0,7 для Ra = 1,25 мкм.

3. В зависимости от марки твердого сплава на скорость резания вводить поправочный коэффициент $K_{иυ}$:

Твердость обрабатываемого материала	35–49 HRC			50–62 HRC			
Марка твердого сплава коэффициент K_{uv}	Т30К4 1,25	Т15К6 1,0	ВК6 0,85	ВК8 0,83	ВК4 1,0	ВК6 0,92	ВК8 0,74

4. В зависимости от главного угла в плане вводить поправочные коэффициенты: 1,2 при φ = 30°; 1,0 при φ = 45°; 0,9 при φ = 60°; 0,8 при φ = 75°; 0,7 при φ = 90°.

5. При работе без охлаждения вводить на скорость резания поправочный коэффициент 0,9.

4. Частоту вращения n, мин$^{-1}$, рассчитывают по формуле

$$n = \frac{1000V_{\text{р}}}{\pi D},\ \text{мин}^{-1}, \qquad (3.3)$$

где $V_{\text{р}}$ – скорость резания, м/мин; D – диаметр заготовки, мм.

После расчета частоты вращения принимают ее ближайшее меньшее значение по паспорту станка или большее, если отно-

сительная погрешность не превышает 5 % (см. прил. Д). Затем уточняют скорость резания по принятому значению $n_{пр}$:

$$V_{пр} = \frac{\pi D n_{пр}}{1000}, \text{ м / мин.}$$

5. Сила резания *P*, Н. Силу резания P принято раскладывать на составляющие силы, направленные по осям координат станка (тангенциальную P_z, радиальную P_y и осевую P_x). При наружном продольном и поперечном точении, растачивании, отрезании, прорезании пазов и фасонном точении эти составляющие рассчитывают по формуле

$$P_{z,y,x} = 10 C_p t^x s^y V^n K_p.$$

При отрезании, прорезании и фасонном точении t – длина лезвия резца.

Постоянная C_p и показатели степени x, y, n для конкретных (расчетных) условий обработки для каждой из составляющих силы резания приведены в табл. 3.20.

Поправочный коэффициент K_p представляет собой произведение ряда коэффициентов ($K_p = K_{мр}K_{\varphi p}K_{\gamma p}K_{\lambda p}K_{rp}$), учитывающих фактические условия резания. Численные значения этих коэффициентов приведены в табл. 3.21–3.23.

Таблица 3.20

Значения коэффициента C_p и показателей степени в формулах силы резания при точении

Обрабатываемый материал	Материал рабочей части резца	Вид обработки	Коэффициент и показатели степени в формулах для составляющих											
			тангенциальной P_z				радиальной P_y				осевой P_x			
			C_p	x	y	n	C_p	x	y	n	C_p	x	y	n
Конструкционная сталь и стальные отливки, $\sigma_в$ = 750 МПа	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	300	1,0	0,75	0,15	243	0,9	0,6	0,3	339	1,0	0,5	0,4
		Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	384	0,90	0,90		355	0,6	0,8		241	1,05	0,2	
		Отрезание и прорезание	408	0,72	0,8	0	173	0,73	0,67	0	–	–	–	–
		Нарезание резьбы	148	–	1,7	0,71	–	–	–	–	–	–	–	–

Окончание табл. 3.20

Обрабатываемый материал	Материал рабочей части резца	Вид обработки	Коэффициент и показатели степени в формулах для составляющих											
			тангенциальной P_z				радиальной P_y				осевой P_x			
			C_p	x	y	n	C_p	x	y	n	C_p	x	y	n
	Быстрорежущая сталь	Наружное продольное точение, подрезание и растачивание	200	1,0	0,75	–	125	0,9	0,75	0	67	1,2	0,65	0
		Отрезание и прорезание	247		1,0	0	–	–	–	–	–	–	–	–
		Фасонное точение	212		0,75									
Сталь жаропрочная 12Х18Н9Т 141 НВ	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	204											
Серый чугун, 190 НВ	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	92	1,0	0,75	0	54	0,9	0,75	0	46	1,0	0,4	0
Серый чугун, 190 НВ	Твердый сплав	Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	123	1,0	0,85	0	61	0,6	0,5	0	24	1,05	0,2	0
		Нарезание резьбы	103	–	1,8	0,82	–	–	–	–	–	–	–	–
Серый чугун, 190 НВ	Быстрорежущая сталь	Отрезание и прорезание	158	1,0	1,0	0	–	–	–	–	–	–	–	–
Ковкий чугун, 150 НВ	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение, растачивание	81		0,75		43	0,9	0,75	0	38	1,0	0,4	0
			100				88				40	1,2	0,65	
		Отрезание и прорезание	139		1,0		–	–	–	–	–	–	–	–
Медные гетерогенные сплавы, 120 НВ	Быстрорежущая сталь	Наружное продольное и поперечное точение, растачивание	55	1,0	0,66		–	–	–	–	–	–	–	–
		Отрезание и прорезание	75		1,0									
Алюминий и силумин		Наружное продольное и поперечное точение, растачивание, подрезание	40	1,0	0,75	0	–	–	–	–	–	–	–	–
		Отрезание и прорезание	50		1,0	–								

Таблица 3.21

Поправочный коэффициент $K_{мр}$, учитывающий влияние качества медных и алюминиевых сплавов на силовые зависимости

Медные сплавы	$K_{мр}$	Алюминиевые сплавы	$K_{мр}$
Гетерогенные:		алюминий и силумин	1,0
120 НВ	1,0	дюралюминий,	
НВ > 120	0,75	$\sigma_в$, МПа :	
Свинцовистые при основной		250	1,5
гетерогенной структуре и свин-		350	2,0
цовистые с содержанием свинца		>350	2,75
10 % при основной гомогенной			
структуре	0,65–0,7		
Гомогенные	1,8–2,2		
Медь	1,7–2,1		
С содержанием свинца >15 %	0,25–0,45		

Таблица 3.22

Поправочный коэффициент $K_{мр}$ для стали и чугуна, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости

Обрабатываемый материал	Расчетная формула	Показатель степени n при определении		
		Составляющей P_z силы резания при обработке резцами	крутящего момента M и осевой силы P_0 при сверлении, рассверливании и зенкеровании	окружной силы резания P_z при фрезеровании
Конструкционная углеродистая и легированная сталь $\sigma_в$, МПа:	$K_{мр} = \left(\frac{\sigma_в}{750}\right)^n$			
≤ 600		0,75 / 0,35	0,75 / 0,75	0,3 / 0,3
> 600		0,75 / 0,75	0,75 / 0,75	0,3 / 0,3
Серый чугун	$K_{мр} = \left(\frac{НВ}{190}\right)^n$	0,4 / 0,55	0,6 / 0,6	1,0 / 0,55
Ковкий чугун	$K_{мр} = \left(\frac{НВ}{150}\right)^n$	0,4 / 0,55	0,6 / 0,6	1,0 / 0,55

Примечание. В числителе приведены значения показателя степени n для твердого сплава, в знаменателе – для быстрорежущей стали.

Таблица 3.23

Поправочные коэффициенты, учитывающие влияние геометрических параметров режущей части инструмента на составляющие силы резания при обработке стали и чугуна

Параметры		Материал режущей части инструмента	Поправочные коэффициенты			
Наименование	Величина		Обозначение	Величина коэффициента для составляющих		
				тангенциальной P_z	радиальной P_y	осевой P_x
Главный угол в плане φ°	30 45 60 90	Твердый сплав	$K_{\varphi\rho}$	1,08 1,0 0,94 0,89	1,30 1,0 0,77 0,50	0,78 1,0 1,11 1,17
	30 45 60 90	Быстрорежущая сталь		1,08 1,0 0,98 1,08	1,63 1,0 0,71 0,44	0,70 1,00 1,27 1,82
Передний угол γ°	–15 0 10	Твердый сплав	$K_{\gamma\rho}$	1,25 1,1 1,0	2,0 1,4 1,0	2,0 1,4 1,0
	12–15 20–25	Быстрорежущая сталь		1,15 1,0	1,6 1,0	1,7 1,0
Угол наклона главного лезвия λ°	–5 0 5 15	Твердый сплав	$K_{\lambda\rho}$	1,0	0,75 1,0 1,25 1,7	1,07 1,0 0,85 0,65
Радиус при вершине *r*, мм	0,5 1,0 2,0 3,0 4,0	Быстрорежущая сталь	K_{rp}	0,87 0,93 1,0 1,04 1,10	0,66 0,82 1,0 1,14 1,33	1,0

6. Мощность резания $N_э$, кВт. Эффективную мощность резания $N_э$ рассчитывают по формуле

$$N_э = \frac{P_z V}{1020 \cdot 60}.$$

При одновременной работе нескольких инструментов эффективную мощность определяют как суммарную мощность отдельных инструментов.

Эффективная мощность резания не должна превышать мощность главного привода станка $N_э < N_{дв.ст}$ ($N_{дв.ст} = N_{дв}\eta$, где $N_{дв}$ – мощность двигателя станка, η – КПД станка). Если условие не выполняется и $N_{дв.ст} > N_э$, уменьшают скорость резания, определяют

коэффициент перегрузки. Исходя из того, что мощность прямо пропорциональна скорости резания V и частоте вращения n, рассчитывают новое меньшее значение скорости резания $V_y = \frac{V}{K_п}$.

Режимы резания на черновых операциях проверяются в основном по мощности, а иногда и по допустимой силе подачи или крутящему моменту станка.

При чистовой обработке обычными проходными или расточными резцами ($t < 2$ мм, $S \leq 0{,}6$ мм/об), а также при обработке сверлами, зенкерами и развертками режим резания ввиду незначительных сил резания по мощности не проверяется.

Выбранный режим резания должен удовлетворять условиям:

$$N_э \leq N_{дв.ст}\,\eta \;\text{ и }\; 2M \leq 2M_{дв.ст},$$

где $N_э$ − эффективная мощность резания (определяется по картам или расчетам), кВт; $N_{дв}$ – потребляемая мощность от электродвигателя привода главного движения с учетом η – КПД трансмиссии станка (определяется по паспорту), кВт; $2M$ – двойной крутящий момент при резании в кГ·м (Н·м); $2M_{ст}$ – двойной крутящий момент на шпинделе станка, кГ·м(Н·м).

Достаточно точно двойной крутящий момент может быть подсчитан по формуле

$$2M = P_Z D/1000,\ \text{кГ·м (Н·м)},$$

где P_z – тангенциальная сила резания (определяется по эмпирическим формулам), кГ(Н); D – диаметр обрабатываемой заготовки, мм.

7. Основное время T_o, мин. Основное время рассчитывают по формуле

$$T_o = \frac{L_p}{n_{пр} s} i,$$

где L_p – длина рабочего хода инструмента (расчетная длина резания), мм; i – число рабочих ходов инструмента.

Длина рабочего хода, мм, равна $L_p = l_{вр} + l_o + l_{пер}$, где l_o – длина обрабатываемой поверхности, мм; $l_{вр}$ и $l_{пер}$ – величины врезания и перебега инструмента или рабочего стола, мм (рис. 3.2).

Приближенно величины врезания и перебега можно определить по прил. Е.

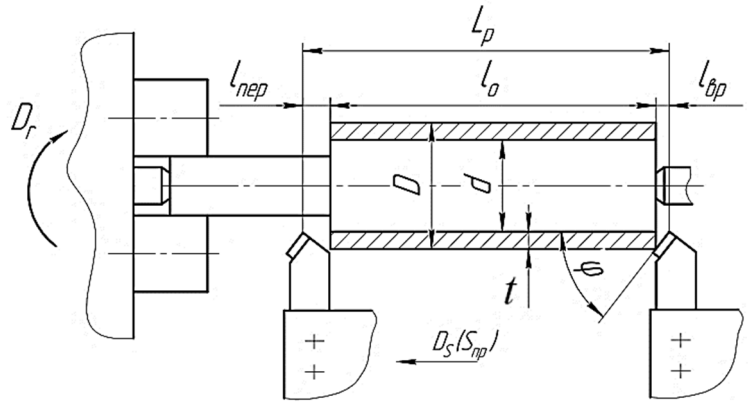


Рис. 3.2. Схема для определения
основного времени обработки детали

Методика выполнения работы

Лабораторное оборудование: токарно-винторезный станок, резцы, комплект средств измерения.

Характеристики средств измерения оформляются в виде табл. 3.24.

Таблица 3.24

Характеристики средств измерения

Наименование средств измерения	Цена деления	Пределы измерения

Измерение диаметральных размеров обработанной детали в зависимости от стадии обработки производится штангенциркулем или микрометром. Измерение шероховатости обработанной поверхности детали производится по эталонным образцам или с помощью профилографа-профилометра в зависимости от стадии обработки.

Характеристика объекта лабораторной работы

Объектом лабораторной работы являются процессы обработки заготовок резанием для определения режимных параметров и основного времени.

Порядок выполнения работы

1. Выполнить расчеты режимов резания для продольного точения и сквозного растачивания деталей.

2. Произвести измерение диаметральных размеров обработанных деталей в соответствии с заданным квалитетом.

3. Измерить шероховатость обработанной поверхности деталей в зависимости от стадии обработки.

4. Полученные результаты свести в табл. 3.25.

Экспериментальная часть

Таблица 3.25

Параметры режима резания

Вид обработки	t, мм	s, мм/об	$V_{пр}$, м/мин	n, мин$^{-1}$	P_z, Н	N_e, кВт	M, Н·м	T_o, мин
Продольное точение								
Растачивание сквозного отверстия								

1. Получить от преподавателя задание на выполнение работы.

2. Рассчитать по формулам значения режимных параметров.

3. Произвести измерение диаметральных размеров обработанных деталей в соответствии с заданным квалитетом.

4. Измерить шероховатость обработанной поверхности деталей в зависимости от стадии обработки.

5. Сопоставить полученные шероховатость и точность обработки поверхности деталей с заданными табличными значениями.

Задание

Задача 1

На токарно-винторезном станке (рис. 3.3) производится наружное продольное точение заготовки от диаметра D, мм, до диаметра d, мм. Длина обработанной поверхности – L, мм, длина заготовки – $L_з$, мм. Данные выбрать из табл. 3.26.

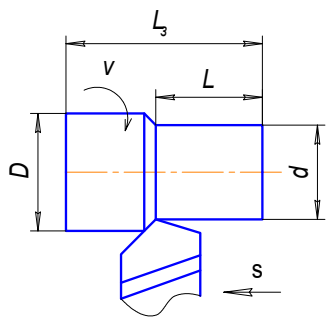


Рис. 3.3. Схема продольного точения вала

Требуется:

1. Выбрать токарный станок.

2. Выбрать режущий инструмент и материал режущей части инструмента.

3. Назначить режим резания.

4. Определить машинное время обработки.

Таблица 3.26

Данные к задаче 1

Номер варианта	Материал заготовки	$\sigma_в$, МПа	НВ	Вид заготовки и состояние ее поверхности	Шероховатость поверхности, мкм	D, мм	d, мм	$L_з$, мм	L, мм	Применение охлаждения	Способ крепления заготовки
1	Серый чугун СЧ15	–	190	Отливка с коркой	*Ra* 12,5	100*h*17	92*h*12	850	800	Без охл.	В центрах
2	Сталь 45	750	–	Поковка с коркой	*Ra* 3,2	60*h*14	50*h*10	750	700	С охл.	В центрах
3	Сталь 35	650	–	Прокат	*Ra* 2,5	48*h*12	40*h*9	950	900	С охл.	В патроне
4	Серый чугун СЧ20	–	180	Отливка без корки	*Ra* 20	156*h*17	150*h*12	700	600	Без охл.	В патроне
5	Сталь 30ХГС	800	–	Поковка с коркой	*Ra* 3,2	70*h*16	60*h*11	750	700	С охл.	В центрах
6	Бронза БрАЖ9-4	–	120	Отливка с коркой	*Ra* 6,3	108*h*14	100h10	1100	1000	Без охл.	В центрах
7	Серый чугун СЧ20	–	229	Отливка с коркой	*Ra* 6,3	90*h*15	82*h*11	1250	1200	Без охл.	В патроне
8	Сталь 12Х18Н10Т	750	–	Прокат	*Ra* 6,3	125*h*15	120*h*11	850	800	С охл.	В патроне
9	Сталь 20	500	–	Прокат	*Ra* 6,3	124*h*12	120*h*10	940	900	С охл.	В центрах
10	Сталь 45Х	850	–	Поковка с коркой	*Ra* 12,5	105*h*17	96*h*12	1100	1000	С охл.	В центрах
11	Сталь 30	500	–	Поковка с коркой	*Ra* 6,3	100*h*15	94*h*10	1000	900	С охл.	В центрах
12	Сталь 45	600	–	Поковка с коркой	*Ra* 2,5	64*h*12	60*h*8	850	830	С охл.	В патроне
13	Серый чугун СЧ15	–	170	Отливка с коркой	*Ra* 6,3	120*h*16	100*h*11	560	550	Без охл.	В центрах
14	Сталь 60	700	–	Поковка	*Ra* 6,3	98*h*15	90*h*10	400	380	С охл.	В центрах

Задача 2

На токарно-винторезном станке (рис. 3.4) производится растачивание сквозного отверстия от диаметра d, мм, до диаметра D, мм. Диаметр заготовки – $D_з$, мм. Длина отверстия – L, мм. Способ крепления заготовки – в патроне. Данные выбрать из табл. 3.27.

Требуется:

1. Выбрать токарный станок.

2. Выбрать режущий инструмент и материал режущей части инструмента.

3. Назначить режимы резания.

4. Определить машинное время.

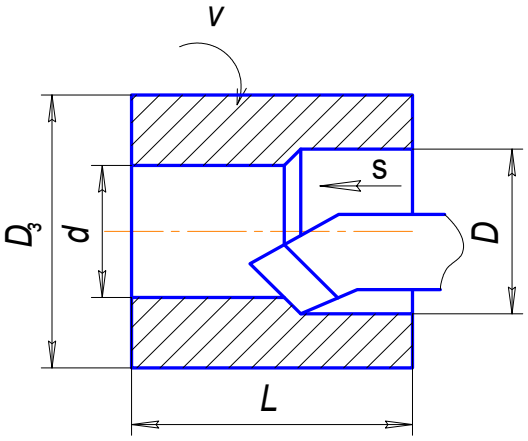


Рис. 3.4. Схема растачивания сквозного отверстия

Выводы по работе

Дать оценку влияния технологических режимных параметров процесса резания деталей на производительность и качество обработки.

Таблица 3.27

Данные к задаче 2

Номер варианта	Материал заготовки	$\sigma_в$, МПа	НВ	Вид заготовки и состояние ее поверхности	Шероховатость поверхности, мкм	*D*, мм	*d*, мм	$L_з$, мм	*L*, мм	Применение охлаждения
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15	Серый чугун СЧ10	–	120	Отливка с коркой	*Ra* 12,5	100*h*17	92*h*12	850	800	Без охл.
16	Сталь 45	700	–	Прокат с просверловкой отверстий	*Ra* 3,2	60*h*14	50*h*10	750	700	С охл.
17	Сталь 5	490	–	Прокат с просверловкой отверстий	*Ra* 2,5	48*h*12	40*h*9	950	900	С олхл.
18	Серый чугун СЧ15	–	160	Отливка без корки	*Ra* 15	156*h*17	150*h*12	700	600	Без охл.
19	Сталь 40Х	750	–	Прокат с просверловкой отверстий	*Ra* 6,3	70*h*16	60*h*11	750	700	С охл.

Окончание табл. 3.27

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
20	Сталь 30ХГС	800		Прокат с просверловкой отверстий	*Ra* 6,3	108*h*14	100*h*10	1100	1000	Без охл.
21	Сталь 35	690		Прокат	*Ra* 6,3	90*h*15	82*h*11	1250	1200	Без охл.
22	Серый чугун СЧ20		180	Отливка с коркой	*Ra* 6,3	125*h*15	120*h*11	850	800	С охл.
23	Сталь 12Х18Н10Т	610	–	Прокат	*Ra* 6,3	124*h*12	120*h*10	940	900	С охл.
24	Серый чугун СЧ10	–	120	Отливка с коркой	*Ra* 12,5	105*h*17	96*h*12	1100	1000	С охл.
25	Серый чугун СЧ20	–	180	Отливка с коркой	*Ra* 6,3	100*h*15	94*h*10	1000	900	С охл.
26	Сталь 50	690	–	Прокат	*Ra* 2,5	64*h*12	60*h*8	850	830	С охл.
27	Серый чугун СЧ10	–	140	Отливка с коркой	*Ra* 6,3	120*h*16	100*h*11	560	550	Без охл.
28	Сталь 20ХН	650	–	Штамповка с коркой	*Ra* 6,3	98*h*15	90*h*10	400	380	С охл.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Методика выполнения работы.
4. Характеристика объекта лабораторной работы.
5. Порядок выполнения работы.
6. Экспериментальная часть.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Каков порядок расчета режимных параметров процесса резания при точении и растачивании?
2. Каким образом изменение режимных параметров влияет на качество и производительность процесса обработки?
3. Как оценивается правильность расчета режимов резания?
4. Каким образом выбирается материал режущей части инструмента?
5. Как выбирается период стойкости режущих инструментов?
6. Как выбираются глубина резания и подача?
7. Как рассчитываются скорость резания, составляющие силы резания и эффективная мощность резания?

Приложение А

Таблица А.1

Рекомендуемое число рабочих ходов в зависимости от точности заготовки и детали при токарной обработке

Квалитет заготовки	Обрабатываемые заготовки	Квалитет детали							
		14		13–12		11–10		9–7	
		Требуемые стадии обработки							
		Номер стадии	Наименование	Номер стадии	Наименование	Номер стадии	Наименование	Номер стадии	Наименование
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17	Отливки: стальные и чугунные III класса точности, кокильные из цветных металлов и сплавов. Заготовки, полученные горячей ковкой и штамповкой. Прокат обычной точности	I	Черновая	I II	Черновая Получистовая	I II III	Черновая Получистовая Чистовая	I II III IV	Черновая Получистовая Чистовая Отделочная
16	Отливки: стальные III класса точности, из цветных металлов II класса точности и в кокиль. Штампованные стальные заготовки (горячая штамповка). Прокат обычной и повышенной точности	I	Черновая	I II III	Черновая Получистовая Чистовая	I II III	Черновая Получистовая Чистовая	I II III IV	Черновая Получистовая Чистовая Отделочная
15	Отливки: стальные II класса точности и кокильные, чугунные II класса точности, из цветных сплавов II класса точности, кокильные и полученные по выплавляемым моделям. Кованые стальные заготовки, полученные горячей ковкой. Прокат повышенной точности	I	Черновая	II	Получистовая	II III	Получистовая Чистовая	II III IV	Получистовая Чистовая Отделочная

Продолжение табл. А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14	Отливки: стальные II класса точности, кокильные или полученные в оболочковых формах; чугунные I класса точности; из цветных металлов и сплавов, полученные в оболочковых формах, по выплавляемым моделям, под давлением и в кокиле	–	–	II	Получистовая	II III	Получистовая Чистовая	II III IV	Получистовая Чистовая Отделочная
13	Отливки: стальные и чугунные I класса точности или полученные в оболочковых формах по выплавляемым моделям; из цветных металлов и сплавов, полученные в оболочковых формах, по выплавляемым моделям, под давлением и в кокиле	–	–	II	Получистовая	III	Чистовая	III IV	Чистовая Отделочная
12	Отливки: стальные I класса точности или полученные в оболочковых формах, по выплавляемым моделям; чугунные, полученные в оболочковых формах; из цветных металлов и сплавов, отлитых под давлением. Калиброванные прутки	–	–	–	–	III	Чистовая	III IV	Чистовая Отделочная

Окончание табл. А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	Отливки: стальные, полученные в оболочковых формах или по выплавляемым моделям; чугунные, полученные по выплавляемым моделям. Калиброванные прутки	–	–	–	–	III	Чистовая	IV	Отделочная

Таблица Б.1

Применение инструментов из быстрорежущих сталей нормальной и повышенной производительности

Инструменты	Обрабатываемые материалы		
	Цветные сплавы, стали I–VII групп	Стали VIII–IX групп	Стали и сплавы X–XIV групп
1	2	3	4
Резцы	Р6М5, Р6МФ3, Р6М5К5[*1], Р9К5, ЭК-41, ЭК-42, Р12Ф4К5[*1], Р12М3К8Ф2[*1], Р6М5Ф3-МП, Р12МФ5-МП	Р6М5К5, Р9К5, Р6М5Ф3, Р9М4К8, Р12М3К8Ф2, Р12Ф4К5, Р6М5К5-МП, Р9М4К8-МП, 13Р6М5Ф3-МП	Р9М4К8, Р6М5К5, Р9К5, Р9К10, Р12М3К5Ф2-МП, Р12М3К10Ф3-МП, 15Р10Ф3К8М6-МП, 22Р10Ф6К8М3-МП, В24М12К23
Фрезы	Р6М5, Р6М5Ф3, Р6М5К5[*1], Р9К5, ЭК-41, ЭК-42, Р6М5Ф3-МП, Р6М5К5-МП	Р6М5К5, Р6М5Ф3, Р9М4К8, Р9К5, Р12М3К8Ф2, Р6М5К5-МП, Р9М4К8-МП, Р12М3К5Ф2-МП	Р9М4К8, Р6М5К5, Р9К5, Р12Ф4К5[*4], Р12М3К8Ф2, Р9М4К8-МП, Р12М3К5Ф2-МП, Р12М3К10Ф3-МП, 15Р10Ф3К8М6-МП
Сверла, зенкеры, развертки	Р6М5, Р6М5Ф3, Р6М5К5[*1], Р9К5, ЭК-41, ЭК-42, Р6М5Ф3-МП, Р6М5Ф5-МП, А11Р3М3Ф2[*2]	Р6М5К5, Р9К5, Р6М5Ф3, Р9М4К8, Р9М6К5, Р10К5Ф5, Р12Ф3, Р6М5К5-МП, Р9М4К8-МП, Р12М3К5Ф2-МП	Р9М4К8, Р6М5К5, Р9К5, Р12Ф4К5, Р12М3К8Ф2, Р9М4К8-МП, Р12М3К5Ф2-МП, 15Р10Ф3К8М6-МП, 22Р10Ф6К8М3-МП, В18К25Х4
Протяжки, прошивки	Р18, Р6М5, Р6М5Ф3, Р6М5К5, ЭК-41, ЭК-42, Р9М5К5, Р6М5Ф3-МП, Р12МФ5-МП	Р6М5К5, Р6М5Ф3, Р9К5, Р18, Р9М4К8, Р12М3К8Ф2[*3], Р6М5Ф3-МП, Р12МФ5-МП	Р18, Р9М4К8, Р9К5, Р6М5К5, Р6М5Ф3, Р12МФ5-МП, Р12М3К5Ф2-МП
Метчики, плашки	Р6М5, Р6М5К5, Р6М5Ф3, ЭК-41, ЭК-42, Р9К5, Р9М4К8, А11Р3М3Ф2[*2], Р6М5Ф3-МП, Р12МФ5-МП	Р9К5, Р6М5К5, Р9М4К8, Р6М5Ф3, Р6М5Ф3-МП, Р12МФ5-МП, 13Р6М5Ф3-МП, 15Р10Ф3К8М6-МП	Р9М4К8, Р9К5[*5], Р6М5К5, Р6М5Ф3, Р12М3К8Ф2, Р12МФ5-МП, Р12М3К5Ф2-МП, 15Р10Ф6К8М3-МП, 22Р10Ф6К8М3-МП
Зуборезный инструмент	Р6М5, Р6М5Ф3, ЭК-41, ЭК-42, Р6М5Ф3[*1], Р9М4К8[*1], Р6М5Ф3-МП, Р6М5К5-МП	Р6М5К5, Р9М4К8, Р6М5К5-МП, Р9М4К8-МП, Р12М3К5Ф2-МП, 13Р6М5Ф3-МП, 16Р10Ф3К8М6-МП	Р9М4К8, Р9М4К8-МП, Р12М3К5Ф2-МП, Р12М3К10Ф3-МП, 15Р10Ф3К8М3-МП, 22Р10Ф6К8М3-МП

[*1] При обработке на повышенных скоростях резания.
[*2] Для обработки мелкоразмерных деталей.
[*3] Для прошивок при обработке сталей и сплавов с HRC > 35.
[*4] Для инструмента простой формы.
[*5] Метчики диаметром до 8 мм целесообразно изготовлять из твердого сплава

Продолжение табл. Б.1

Рекомендации по выбору марок твердого сплава, минералокерамики, СТМ для обработки различных материалов

Вид обработки	Марки инструментальных материалов		
	Цветных сплавов	Сталей	Чугунов
	I–III	V–VI	IV
Чистовое точение при s_o = 0,1–0,3 мм/об, t = 0,5–2 мм	ВК3, ВК3М, ВК6М, ВК8, ТТ8К6, КНТ16, ТН20	ВК6, ВК8, Т15К6, Т14К8, Т30К4, ТТ10К8Б, ТН20, КТН16, ВОК-60	ВК4, ВК6, ВК8, ВК3М, ВК6-ОМ, ВОК-60, В3, КОМПОЗИТЫ 10, 10Д, 05, 01, 02
Получистовое точение при s_o = 0,2–0,5 мм/об, t = 2–4 мм	ТН20, КНТ16, ВК6М, ВК8	ТН20, КНТ16, Т15К6, Т14К8	ВК3, ВК6М, ВК6, ТТ8К6, ВОК-60
Черновое точение при s_o = 0,4–1,0 мм/об, t = 4–10 мм	ВК6, ВК8	Т15К6, Т14К8, ТТ10К8Б, Т5К10	ВК4, ВК6, ВК10-ОМ
Тяжелое черновое точение при s_o = 1,0 мм/об, t = 6–20 мм	ВК4, ВК6, ВК8	Т5К10, Т5К12, ТТ7К12	ВК4, ВК6, ВК8, ВК10-ОМ
Отрезка и прорезка канавок	ВК3, ВК3М, ВК6-ОМ	Т15К6, Т5К10, Т14К8	ВК3, ВК4, ВК6, ВК6М
Нарезание резьбы резцом	ВК3, ВК3М, ВК6-ОМ	Т15К6, Т14К8, Т30К4, ВК6	ВК3, ВК3М, ВК6М, ВК6-ОМ
Сверление	ВК4, ВК6М	Т5К10, ВК8, ВК10М	ВК4, ВК6, ТТ8К6
Зенкерование	ВК4, ВК6	Т15К6, Т14К8, Т30К4	ВК4, ВК3М, ВК6М, ТТ8К6
Развертывание	ВК3М, ВК6-ОМ, ВК3	Т30К4, Т15К6	ВК3М, ВК3, ВК6М, ВК6-ОМ
Черновое фрезерование	ВК4, ВК8, ВК6	Т5К10, ТТ7К12, ВК8	ВК6, ВК8
Получистовое и чистовое фрезерование	ВК6М, ВК6	Т15К6, Т14К8, ТТ20К9, ТН20, КНТ16, ВОК-60, В3, КОМПОЗИТЫ 10, 01, 10Д	ВК6, ВК4, ВК6М, ВК10-ОМ, ТТ8К6, ВОК-60, В3, КОМПОЗИТЫ 05, 10, 10Д, 01

Классификация цветных и черных металлов и сплавов по обрабатываемости резанием

I. Магниевые сплавы.

II. Алюминиевые сплавы.

III. Медь и медные сплавы.

IV. Чугуны.

V. Углеродистые стали.

VI. Легированные стали.

VII. Теплоустойчивые стали.

VIII. Коррозионно-стойкие стали.

IX. Жаропрочные деформируемые стали.

X. Коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные деформируемые стали.

XI. Жаропрочные и жаростойкие деформируемые сплавы на никелевой основе.

XII. Жаропрочные литейные сплавы на никелевой основе.

XIII. Сплавы на титановой основе.

XIV. Высокопрочные стали.

Таблица В.1

Соответствие отечественных марок твердых сплавов ISO

По ISO	По ГОСТ 3882-67	Области применения
*K*01	ВК2; ВК3М	Для обработки чугуна, цветных металлов и их сплавов и неметаллических материалов
*K*10	ВК6М	
*K*20	ВК6	
*K*30	ВК4н	
*K*40	ВК8	
*M*10	ТТ10К8А	Универсальные марки
*M*20	ТТ10К8В	
*P*01	Т30К4	Для обработки всевозможных сталей в отожженном и термически обработанном состоянии
*P*10	Т15К6	
*P*20	Т14К8	
*P*25	ТТ20К9	
*P*30	Т5К10	
*P*40	ТТ7К12; Т15К12В	
*P*50	Т17К15	

Примечание. Большая номенклатура выпускаемых твердых сплавов всегда позволяет выбрать одну-две марки для любой подгруппы применения. Если одной подгруппе соответствуют две или три марки сплава, то надо отдать предпочтение наиболее прочной. Все твердые сплавы, в соответствии с рекомендациями Международной организации стандартов ИСО, разделены на три группы в зависимости от материалов, для обработки которых они предназначены.

Для обработки широкой номенклатуры углеродистых, низколегированных и среднелегированных сталей, стального литья, для обработки незакаленных инструментальных сталей, резание которых сопровождается образованием сливной стружки, используются твердые сплавы группы применения *P*. Они могут обозначаться цифрой 1 (первая цифра в трехзначном обозначении) или полосой синего цвета.

Для обработки высоколегированных тепло- и жаростойких сталей, высокомарганцовистых, высокопрочных и нержавеющих аустенитных сталей, а также для резания автоматных сталей и ковки легированных чугунов предназначены твердые сплавы группы применения *M* – могут обозначаться цифрой 2 (первая цифра в трехзначном обозначении) или полосой желтого цвета.

Для обработки серых, ковких, отбеленных чугунов, дающих стружку надлома, для резания закаленных сталей, цветных металлов и сплавов, а также для обработки пластмасс, стеклопластиков, бетона, древесины предназначены твердые сплавы группы применения *K*. При маркировке твердосплавных пластин эту группу обозначают цифрой 3 или полосой красного цвета. Основные группы применения *P*, *M*, *K* разбиты на подгруппы, которым присвоены

двузначные индексы. Индексы принимают значения от 01 до 40. Наиболее часто встречаются следующие индексы: 01, 05, 10, 15, 20, 25, 30, 40. Однако возможны и промежуточные значения.

Малые индексы соответствуют чистовым операциям, когда от твердых сплавов требуются высокая износостойкость и малая прочность. Большие индексы соответствуют черновым операциям, т.е. твердый сплав должен обладать высокой прочностью и, как следствие, низкой износостойкостью. Поэтому индекс 01 соответствует тонкой чистовой обработке, а индекс 40 – грубой черновой обработке по корке, с большими глубинами резания и ударами.

В связи с этим каждая марка твердого сплава имеет свою предпочтительную область применения. Например, Т15К6 относится к областям *Р*10, т.е. чистовая обработка сталей; ВК8 относится к *К*ЗО и *М*30 – черновая обработка чугунов и труднообрабатываемых материалов.

Границы подгрупп определяются ориентировочно и неоднозначно. Например, сплав ВКЗ может относиться к областям *К*01 и *К*05.

Кроме того, в зависимости от химсостава и свойств сплава одна и та же марка может одновременно хорошо работать в двух-трех подгруппах (например, Т15К6 работает в областях *Р*10, *Р*15, *Р*20) или даже в различных группах применения и подгруппах (например, ТН20-Р10–*К*10, *М*15–*М*30).

Приложение Г

Таблица Г.1

Быстрорежущие стали США

Марка стали	Содержание химических элементов, %					
	C	Cr	Mo	V	W	Co
Ml	0,81–0,82	3,8–3,9	8,6–8,7	1–1,2	1,6-1,8	–
*M*2	0,87	4,2	5	1,9	6,4	–
*M*7	1,0	4	9	2	2	–
*M*10	0,85–0,88	4	8–8,1	2–2,1	–	–
*M*35	0,9	4,2	5	1,9	6,4	4,8
*M*41	1,1	4,2	3,75	2	6,8	5
*M*42	1,1	4	9,5	1,2	1,5	8
*M*43	1,23	3,8	8,7	2	1,8	8,2
*M*44	1,15	4,2	6,25	2,25	5,8	12
*M*45	1,25	4,2	5,2	1,7	8,25	5,5

Таблица Г.2

Примеры применения быстрорежущих сталей

Область применения	Марка быстрорежущей стали		Химический состав стали, %				
	в США	в России	C	W	Mo	V	Co
Обработка материала твердостью до HRC 30	*M*7	М9ВФ	1,0	1,75	8,75	2,0	–
Обработка материала твердостью до HRC 30–40	*M*3 2кл.	Р6М5ФЗ	1,2	6,0	5,0	3,0	–
Обработка материала твердостью до HRC 40–50	*M*42	Р2М9К8	1,1	1,5	9,5	1,2	8,0
	*T*15	Р12Ф5К5	1,5	12,0	–	5,0	5,0
Черновая обработка при тяжелых режимах резания	*M*41	Р7М4К5	1,1	6,75	3,75	2,0	5,0
Фрезерование профиля штампов	*M*4	Р6М5Ф4	1,3	5,5	4,5	4,0	–

Примечание. Стандарт США на быстрорежущую сталь по AISI охватывает 30 марок, разделенных на две группы: молибденовую *M* – 21 марка и вольфрамовую *T* – девять марок. Выпуск молибденовых быстрорежущих сталей составляет 92 % всего производства быстрорежущей стали в США.

При изготовлении режущего инструмента в основном используются быстрорежущие стали следующих марок: вольфрамо-молибденовая *М*2, соответствующая отечественной Р6М5, и марки вольфрамо-молибдено-кобальтовой группы *М*40 (*М*41, *М*42). Фирма Do-All Co заменяет марку *М*2 на марку М7, как на более износостойкую. Вольфрамо-молибдено-кобальтовую группу сталей *М*40 (*М*41–*М*47) широко применяют для обработки резанием высокотвердых и особо легированных сталей. После закалки и отпуска эти стали имеют высокую твердость, достигающую 70 HRC.

Паспортные данные металлорежущих станков

Токарно-винторезный станок модели 16К20

Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки, мм: над станиной – 400; над суппортом – 220.

Наибольшая длина обрабатываемого изделия – 2000 мм.

Высота резца, устанавливаемого в резцедержателе, – 25 мм. Мощность двигателя $N_{дв} = 10$ кВт; КПД станка $\eta = 0{,}75$.

Частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$: 12,5; 16; 20, 25, 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600.

Продольная подача, мм/об: 0,05; 0,06; 0,075; 0,09; 0,1; 0,125; 0,15; 0,175; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 2; 2,4; 2,8.

Поперечная подача, мм/об: 0,025; 0,03; 0,0375; 0,045; 0,05; 0,0625; 0,075: 0,0875; 0,1; 0,125; 0,15; 0,175; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1; 1,2; 1,4.

Максимальная осевая составляющая силы резания, допускаемая механизмом подачи, $P_x = 6000$ Н (≈ 600 кгс).

Токарно-винторезный станок модели 16Б16П

Наибольший диаметр обрабатываемого изделия, мм: над станиной – 320, над суппортом – 180.

Наибольшая длина обрабатываемой заготовки 1000 мм.

Высота резца, устанавливаемого в резцедержателе, 25 мм.

Мощность двигателя $N_{дв} = 6{,}3$ кВт; КПД станка $\eta = 0{,}7$.

Частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$: 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000.

Продольная подача, мм/об: 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,1; 0,12; 0,15; 0,17; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,4; 2,8.

Поперечная подача, мм/об: 0,025; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,1; 0,12; 0,15; 0,17; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4.

Максимальная осевая составляющая силы резания, допускаемая механизмом подачи, $P_x = 6000$ Н (≈ 600 кгс).

Токарный многорезцовый полуавтомат модели 1Н719

Наибольший диаметр обрабатываемого изделия: над станиной – 400 мм, над суппортом – 250 мм; наибольшая длина обрабатываемой заготовки – 1400 мм.

Число суппортов – 2.

Мощность двигателя $N_д$ = 18,5 кВт; КПД станка η = 0,8.

Частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$: 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250.

Скорость движения продольной и поперечной подачи суппортов, мм/мин: 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400.

Максимальная осевая составляющая силы резания, допускаемая механизмом подачи, P_x = 16 000 Н (≈1630 кГс).

Токарный станок с ЧПУ модели 16К20Ф3С32

Технические характеристики станка 16К20Ф3С32

Наименование параметра	16К20Ф3С32	16К20Ф3С5
Обозначение системы ЧПУ	2Р22	Н22-1М
Основные параметры станка		
Наибольший диаметр обрабатываемого изделия над станиной, мм	400	400
Наибольший диаметр обрабатываемого изделия над суппортом, мм	220	220
Диаметр отверстия в шпинделе, мм	53	53
Наибольшая длина обрабатываемого изделия, мм	1000	1000
Предельный диаметр сверления в стали, мм	25	25
Предельный диаметр сверления в чугуне, мм	28	28
Шпиндель		
Мощность двигателя главного движения, кВт	11	11
Количество рабочих скоростей шпинделя	22	22
Пределы чисел оборотов шпинделя, об/мин	12,5–2000	12,5–2000
Количество автоматически переключаемых скоростей	9	9
Диапазон автоматического переключения	16	16
Диапазон скоростей шпинделя, устанавливаемый вручную, об/мин	Ряд I – 12,5–200 Ряд II – 50–800 Ряд III – 125–2000	Ряд I – 12,5–200 Ряд II – 50–800 Ряд III – 125–2000

Центр шпинделя передней бабки по ГОСТ 13214-67	7032–0043 Морзе № 6	7032–0043 Морзе № 6
Центр пиноли задней бабки по ГОСТ 13214-67	7032–0045 Морзе № 5	7032–0045 Морзе № 5
Конец шпинделя по ГОСТ 12593–72	6К	6К
Подачи		
Наибольшее перемещение суппорта: продольное / поперечное, мм	900/250	900/250
Максимальная скорость продольной подачи при нарезании резьбы, мм/мин	2000	1200
Пределы шагов нарезаемых резьб, мм	0,1–39,999	До 20
Диапазон скоростей продольных подач, мм/мин	3–2000	3–1200
Диапазон скоростей поперечных подач, мм/мин	3–2000	1,5–600
Скорость быстрых продольных ходов, мм/мин	7000	4800
Скорость быстрых поперечных ходов, мм/мин	4000	2400
Дискретность продольного перемещения	0,002	0,01
Дискретность поперечного перемещения	0,002	0,005
Высота резца, мм	25	25
Количество позиций на поворотной резцедержке (число инструментов в револьверной головке)	6	6
Параметры системы ЧПУ		
Обозначение системы ЧПУ	2Р22	Н22-1М
Число координат	2	2
Количество одновременно управляемых координат	2	2
Разрешающая способность в продольном направлении (дискретность задания по оси *Z*), мм	0,001	0,001
Разрешающая способность в поперечном направлении (дискретность задания по оси *X*), мм	0,001	0,05
Тип датчика нулевого положения		КВД3-24
Тип датчика обратной связи	РОД-620	
Тип резьбонарезного датчика	РОД-620	ИГР
Электродвигатель главного привода	А02-52-4СП43, М301 4А132М443, М301	А02-52-4СП43, М301 4А132М443, М301
Мощность двигателя главного привода, кВт	11	11
Суммарная мощность электродвигателей, кВт	20	20
Суммарная мощность станка, кВт	22	22
Габариты и масса станка		
Масса станка с ЧПУ, кг	5000	5000

Приложение Е

Таблица Е.1

Величина врезания $l_{вр}$ и перебега $l_{пер}$ при работе резцами

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Резцы</td><td colspan="12">Глубина резания t</td></tr>
<tr><td>1</td><td>1</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>14</td><td>16</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="12">Величина врезания l_1</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Проходные и расточные с главным углом в плане φ</td><td>15°</td><td>5</td><td>9</td><td>13</td><td>16</td><td>20</td><td>24</td><td>28</td><td>31</td><td>39</td><td>–</td><td>–</td><td>–</td></tr>
<tr><td>30°</td><td>3</td><td>5</td><td>7</td><td>8</td><td>10</td><td>12</td><td>14</td><td>15</td><td>19</td><td>22</td><td>26</td><td>29</td></tr>
<tr><td>45°</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>12</td><td>14</td><td>16</td><td>18</td></tr>
<tr><td>60°</td><td rowspan="2">1</td><td>2</td><td>3</td><td>3</td><td>4</td><td>4</td><td>5</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>9</td><td>11</td></tr>
<tr><td>75°</td><td>1</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>4</td><td>4</td><td>4</td><td>5</td></tr>
<tr><td>90°;</td><td colspan="11">3</td><td>5</td></tr>
<tr><td colspan="2">Подрезные</td><td colspan="12" rowspan="3">При работе в упор – 3.
При работе на проход – 5</td></tr>
<tr><td colspan="2">Отрезные</td></tr>
<tr><td colspan="2">Прорезные</td></tr>
<tr><td colspan="2">Фасонные</td><td colspan="12">3</td></tr>
<tr><td colspan="14">**П р и м е ч а н и е.** Величина перебега l_2 при работе на проход вне зависимости от величины φ: при глубине резания t = 1–2 мм, l_2 = 1 мм; при глубине резания t = 3–7 мм, l_2 = 2 мм; при глубине резания t = 8–16 мм, l_2 = 3 мм</td></tr>
</table>

Таблица Е.2

Суммарная величина врезания и перебега при резьбонарезании, мм

Режущий инструмент	Обработка		Врезание + + перебег, мм
Резцы резьбовые	На проход при шаге резьбы P	≤6 ≤10 ≤10	4P 3P 2P
	В упор		3P
	Вихревым методом		3P
Метчики машинные	На проход		6P
	В упор		3P
Метчики гаечные	На проход		Длина режущей части метчика
Плашки круглые, самооткрывающиеся головки	–		2P
Плашки тангенциальные	–		2P
Резьбонарезные круглые гребенки для винторезных головок	–		3P
Фрезы резьбовые дисковые	Резьбофрезерование при шаге резьбы P	≤6 ≤10 ≤10 «6 < 10 < 10	3P 2P 1,5P

Таблица Е.3

Величина перебега стола при строгании в направлении главного движения, мм

Станок	Длина обработки l, не более	Величина перебега стола или резца l_2
Продольно-строгальный	2000	200
	4000	325
	6000	400
	> 6000	500
Поперечно-строгальный, долбежный	100	35
	200	50
	300	60
	>300	75

Лабораторная работа № 4

ГЕОМЕТРИЯ СВЕРЛА С ВИНТОВЫМИ КАНАВКАМИ

Цель работы – закрепить сведения о конструктивных элементах и геометрических параметрах сверл, элементах режима резания и срезаемого слоя при сверлении; ознакомиться с методами измерения сверл и приборами, применяемыми для этой цели; приобрести навыки эскизирования сверл.

Краткие теоретические сведения

Сверление – это способ обработки резанием, обеспечивающий получение сквозных и глухих отверстий в сплошном материале, а также применяемый для рассверливания уже имеющихся отверстий.

Сверление – это один из наиболее распространенных способов получения глухих и сквозных цилиндрических отверстий в сплошном материале.

При работе на радиальном или вертикально-сверлильном станке сверло совершает оба движения – вращательное вокруг своей оси и поступательное вдоль оси; заготовка закрепляется неподвижно на столе станка. При работе на токарных и револьверных станках, а также на токарных автоматах вращается обрабатываемая заготовка, а сверло совершает перемещение вдоль оси.

Сверление обеспечивает точность обработки в пределах 11–12 квалитетов и шероховатость обработанной поверхности Ra = 6,3–12,5 мкм.

Зенкерование – процесс увеличения зенкером предварительно подготовленного отверстия (литого, штампованного, просверленного) с целью придания его стенкам более правильной геометрической формы и меньшей шероховатости. Эта операция может быть окончательной (при получении отверстия с точностью в пределах 8–9-го квалитетов и с шероховатостью Ra = 3,2–6,4 мкм), или предварительной (получистовой) – перед развертыванием. Средние значения припусков под зенкерование (после сверления) – 0,5–3 мм на сторону.

Развертывание – процесс окончательной обработки отверстия разверткой для получения более точных размеров (до 5–7-го квалитетов) и шероховатостью обработанной поверхности в пределах Ra = 0,5–1,6 мкм. Припуск под развертывание принимается небольшой – в среднем 0,15–0,5 мм на сторону для черновых разверток и 0,05–0,25 мм – для чистовых.

Части и элементы сверла

Сверло состоит из рабочей части, шейки и хвостовика (рис. 4.1). Конический или цилиндрический хвостовик служит для закрепления сверла на станке.

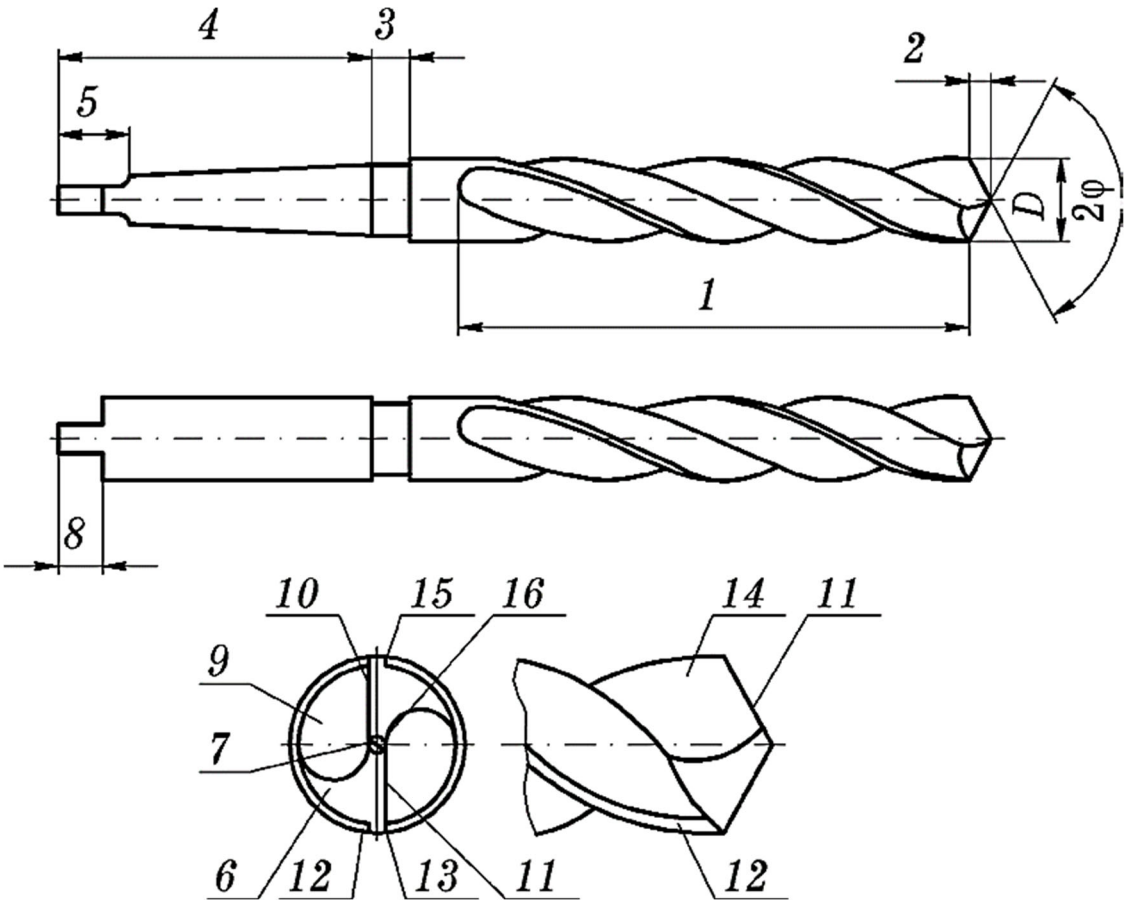


Рис. 4.1. Части и элементы сверла:
1 – рабочая часть; *2* – режущая часть; *3* – шейка; *4* – хвостовик; *5* – лопатка; *6* – зуб; *7* – поперечная кромка; *8* – поводок; *9* – стружечная канавка; *10* – задняя поверхность; *11* – режущие кромки; *12* – ленточка; *13* – кромка ленточки; *14* – передняя поверхность; *15* – спинка зуба; *16* – сердцевина

У спирального сверла различают следующие части (рис. 4.2):

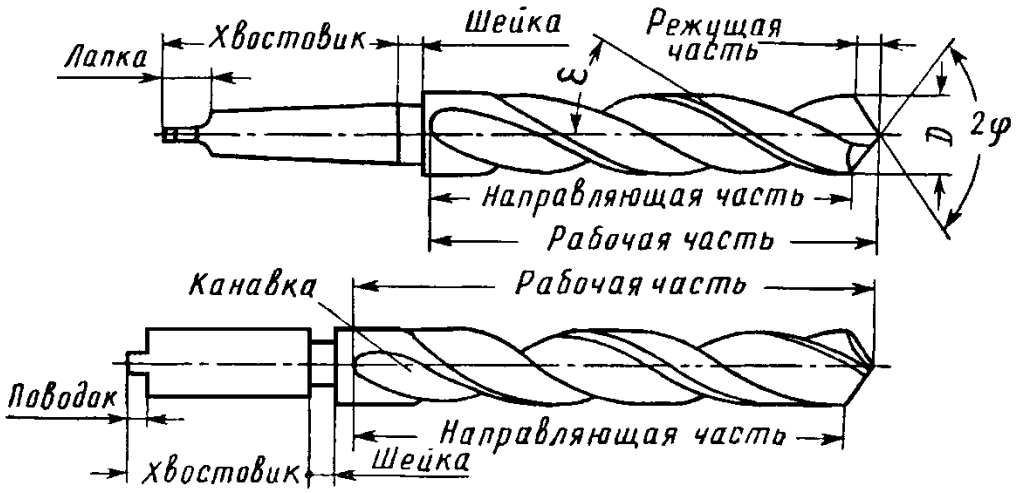


Рис. 4.2. Конструктивные элементы сверла

Рабочая часть – часть сверла, снабженная двумя спиральными (точнее, винтовыми) канавками; включает режущую и направляющую части сверла.

Режущая часть – часть сверла, заточенная на конус и несущая режущие кромки.

Направляющая часть – часть сверла, которая обеспечивает направление сверла в процессе резания.

Хвостовик – часть сверла, служащая для его закрепления и передачи крутящего момента от шпинделя.

Лапка (у сверл с коническим хвостовиком) служит упором при выбивании сверла из отверстия шпинделя (рис. 4.3).

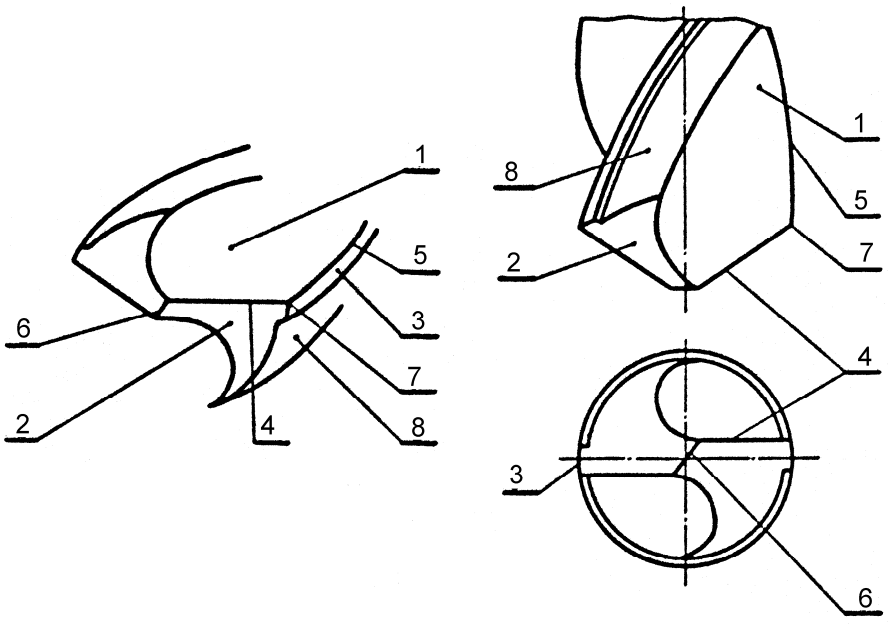


Рис. 4.3. Основные элементы спирального сверла

***Передняя* поверхность 1** – винтовая поверхность канавки, по которой сходит стружка.

***Главная задняя поверхность* 2** – поверхность, обращенная к поверхности резания.

***Вспомогательная задняя поверхность (ленточка)* 3** – узкая полоска на цилиндрической поверхности сверла, расположенная вдоль винтовой канавки, обеспечивает сверлу направление при резании.

***Главная режущая кромка* 4** – кромка, образуемая пересечением передней и главной задней поверхностей.

***Вспомогательная режущая кромка* 5** – кромка, образуемая пересечением передней и вспомогательной задней поверхностей.

***Поперечная кромка* 6** образуется при пересечении двух главных задних поверхностей.

***Вершина лезвия* 7** – точка пересечения главной и вспомогательной режущих кромок.

***Спинка сверла* 8** – заниженная относительно ленточки поверхность, предназначенная для уменьшения трения между сверлом и обработанной поверхностью отверстия.

Две главные режущие кромки (см. рис. 4.2), расположенные на режущей части (заборном конусе), образуют угол при вершине 2φ, который у сверл из инструментальных сталей при обработке конструкционных материалов обычно равен 116–118°; для разных материалов он должен быть различным: для более твердых – больше, для более мягких – меньше. Например, при обработке жаропрочных и нержавеющих материалов максимальной стойкостью обладают сверла с углом 2φ = 125–135° (для глухого отверстия) и 2φ = 140° (для сквозных отверстий); при обработке эбонита, мрамора и других хрупких материалов угол 2φ = 80–90°; при сверлении титановых сплавов 2φ = 90–120°; при сверлении алюминия и алюминиевых сплавов 2φ = 130–140°.

***Угол наклона поперечной кромки* ψ** измеряется между проекциями поперечной и главных режущих кромок на плоскость, перпендикулярную к оси сверла; при правильной заточке сверла угол ψ = 50–55°.

Наклон винтовой канавки, по которой сходит стружка, определяется углом ω, заключенным между осью сверла и касательной к винтовой линии по наружному диаметру сверла. Этот угол ω, называемый углом наклона винтовой канавки сверла, определяет величину переднего угла: с увеличением угла ω увеличивается

передний угол и тем самым облегчается процесс стружкообразования. Наклон винтовой канавки у сверл берется от 18 до 30°. С увеличением угла ω уменьшается прочность сверла, вследствие чего у сверл малого диаметра он делается меньше, чем у сверл большого диаметра.

Шейка сверла – промежуточная часть между хвостовиком и рабочей частью сверла. В связи с особенностями технологии изготовления сверла шейка имеет меньший диаметр, чем рабочая часть. Последняя состоит из режущей и направляющей частей и имеет две винтовые канавки, по которым транспортируется стружка из обрабатываемого отверстия.

Винтовые канавки разделяют рабочую часть сверла на два зуба (пера). Так как перья сверла должны быть соединены, то между ними вдоль оси сверла имеется сердцевина. Ее размер соответствует окружности, касательной к поверхности канавок. Направляющая часть обеспечивает движение сверла в обрабатываемом отверстии и служит резервом для образования режущей части при переточках сверла. Направляющая часть сверла для уменьшения трения соприкасается с отверстием только по отшлифованным винтовым ленточкам, которые расположены по краю винтовой канавки. Остальная часть зуба сверла имеет меньший диаметр и с обработанным отверстием не соприкасается. Ленточка шлифуется по окружности (см. рис. 4.1). На поверхности винтовых стружечных канавок образуется и транспортируется стружка, т.е. они являются передними поверхностями сверла. Торец сверла на режущей части затачивают, образуя главные задние поверхности, обращенные в процессе обработки к поверхности резания. Задние поверхности могут быть оформлены частью конической, линейчатой, эвольвентой и винтовой, плоской и другими поверхностями. Вспомогательными задними поверхностями являются наружные поверхности круглошлифованных ленточек. Это часть конической поверхности с очень малой конусностью, ось которой совпадает с осью сверла. Передние поверхности винтовых канавок, пересекаясь с главными задними поверхностями, образуют главные режущие кромки, расположенные симметрично оси сверла, а пересекаясь со вспомогательными задними поверхностями (ленточками), – вспомогательные режущие кромки. Они являются коническими винтовыми линиями с очень малой конусностью. Так как в сверле имеется сердцевина, то при пересечении двух задних поверхностей образуется поперечная кромка или перемычка (см. рис. 4.1).

Геометрические параметры сверла

При сверлении и рассверливании отверстий обработанной поверхностью является поверхность полученного отверстия. Поверхность резания – это поверхность, образуемая режущей кромкой при ее движении в процессе резания (рис. 4.4).

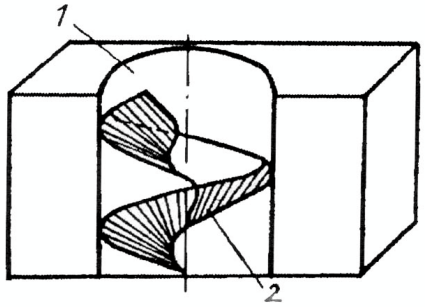


Рис. 4.4. Поверхности при сверлении:
1 – обработанная поверхность; *2* – поверхность резания

Геометрические параметры сверла рассматриваются в разных плоскостях (рис. 4.5):

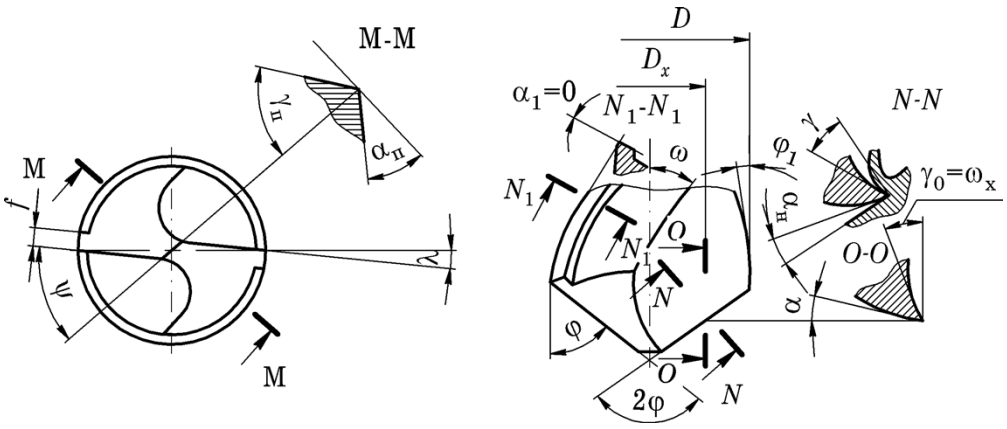


Рис. 4.5. Геометрические параметры сверла

Главным углом в плане φ называется угол в основной плоскости между плоскостью резания и рабочей плоскостью. От угла φ зависят ширина и толщина срезаемого слоя, условия теплоотвода, прочность режущей части сверла. Величину угла φ назначают в зависимости от свойств обрабатываемого материала. На практике требуется быстро определять, для каких условий работы предназначено заточенное сверло. Для этого измеряют угол между проекциями главных режущих кромок на плоскость, проходящую через ось

сверла, параллельно режущим кромкам – двойной угол в плане 2φ (см. рис. 4.5). Измерить угол 2φ можно с помощью простых угломеров. Однако на ширину и толщину среза влияет не угол 2φ, а угол φ на каждом пере сверла. При заточке можно получить точную величину угла 2φ, но разные величины углов φ на перьях сверла. Условия работы на каждом пере сверла в данном случае разные. При этом ухудшаются условия резания, снижаются точность и качество обработанного отверстия. Вот почему при оценке качества изготовления и заточки сверла необходимо измерять углы φ на каждом из перьев. В основной плоскости рассматриваются вспомогательные углы в плане φ_1 (см. рис. 4.5). Чтобы избежать защемления сверла в просверленном отверстии, диаметр рабочей части сверла уменьшают по направлению к хвостовику, т.е. делают обратную конусность. Чтобы после переточек диаметр сверла изменялся незначительно, обратная конусность сверла невелика – 0,03...0,15 мм на 100 мм длины сверла.

Вспомогательным углом в плане φ_1 называется угол между проекцией вспомогательной режущей кромки (кромки ленточки) на основную плоскость сверла и рабочей плоскостью. Величина его не превышает 10'. Ее можно определить по формуле

$$\mathrm{tg}\varphi_1 = (D–D_1)/2l,$$

где D и D_1 – соответственно диаметры сверла в начале и в конце направляющей части; l – длина направляющей части.

Передняя поверхность сверла представляет собой винтовую поверхность, состоящую из семейства винтовых линий, у которых одинаковый шаг и различный диаметр. Поэтому угол наклона этих винтовых линий различный.

Углом наклона винтовой канавки ω называется угол между касательной к винтовой линии, образующей эту канавку, и линией параллельной оси сверла. В разных точках режущей кромки он неодинаков. В периферийной точке главной режущей кромки, т.е. по кромке ленточки, он максимальный.

Угол ω зависит от обрабатываемого материала, глубины просверливаемого отверстия и других факторов. Сверла изготавливаются с углами ω = 15–60°, для других точек режущей к оси сверла. Рассмотрим развертки сечений сверла цилиндрическими поверхностями разного диаметра с осью, совпадающей с осью сверла, на длине шага винтовой канавки. Для сравнения накладываем эти сечения одно на другое (рис. 4.6).

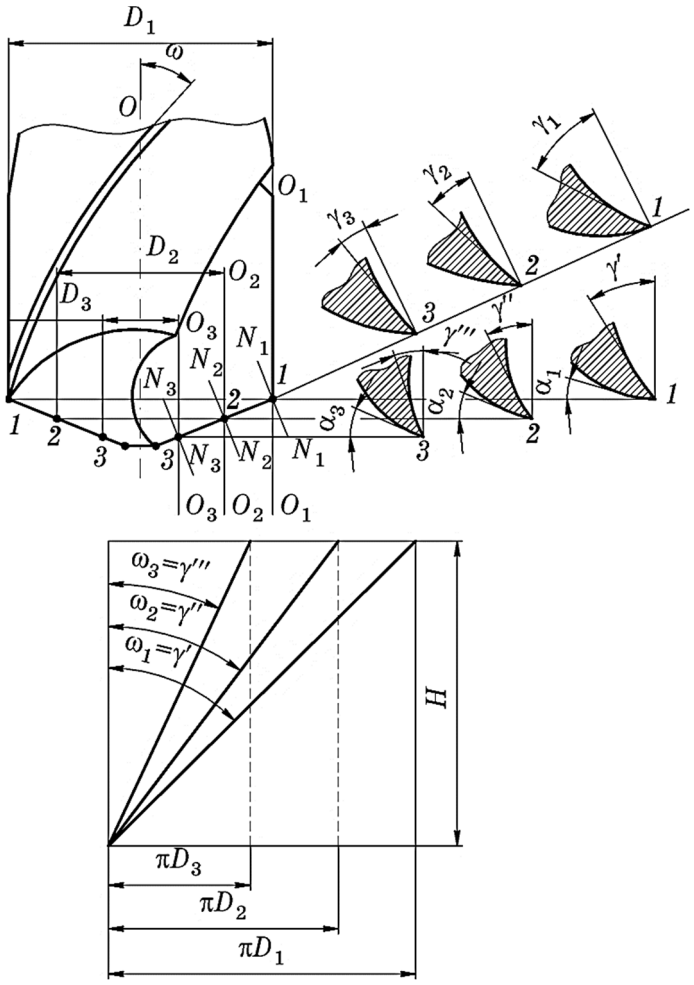


Рис. 4.6. Передние и задние углы сверла
в разных точках режущей кромки

Рассмотрим развертки сечений сверла цилиндрическими поверхностями разного диаметра с осью, совпадающей с осью сверла, на длине шага винтовой канавки. Для сравнения накладываем эти сечения одно на другое (см. рис. 4.6). Как видно из рисунка:

$$\mathrm{tg}\omega = \pi D/H;\ \mathrm{tg}\omega_1 = \pi D_1/H;\ \mathrm{tg}\omega_2 = \pi D_2/H;\ \mathrm{tg}\omega_3 = D_3/H,$$

т.е. для любой точки

$$\mathrm{tg}\omega_x = \pi D_x/H,$$

где D – диаметр сверла на периферии; D_1, D_2, D_x – диаметры сверла, соответствующие разным точкам режущее кромки, через которые проведены сечения.

Отсюда

$$\mathrm{tg}\omega_x = (D_x/D)\mathrm{tg}\omega.$$

Наклон винтовой стружечной канавки – это наклон передней поверхности сверла в продольном направлении. Следовательно, это

продольный передний угол сверла, т.е. $\gamma_{пр} = \omega$. Этот угол измеряется в плоскости, касательной к цилиндру с радиусом r_x и осью, совпадающей с осью сверла.

Однако для характеристики процесса сверления нужно знать главный передний угол в главной секущей плоскости, который определяет условия резания. Главная секущая плоскость нормальна к главной кромке (см. рис. 4.6).

Главным передним углом γ называется угол между касательной к передней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и нормалью в той же точке к поверхности резания. Передний угол на чертежах сверла не проставляют, так как положение и форму передней поверхности сверла определяет угол наклона винтовой канавки. Так как угол наклона винтовой канавки, являющейся передней поверхностью сверла, уменьшается при приближении от периферии к оси сверла, то и передний угол неодинаков для разных точек режущей кромки. Чем ближе рассматриваемая точка к оси сверла, тем меньше этот угол. На наружном диаметре передний угол находится в пределах $\gamma = 25–30°$. Соотношение передних углов, измеренных в главной секущей плоскости и в продольном сечении, у сверла такое же, как и у резца:

$$\operatorname{tg}\gamma = \operatorname{tg}\gamma_{пр}/\sin\varphi, \qquad (4.1)$$

где $\gamma_{пр} = \omega$.

Следовательно, на периферии сверла $\operatorname{tg}\gamma = \operatorname{tg}\omega/\sin\varphi$, а для любой точки режущей кромки в соответствии с выражением (4.1) получим выражение

$$\operatorname{tg}\gamma_x = \operatorname{tg}\omega_x/\sin\varphi = D_x\operatorname{tg}\omega/D\sin\varphi. \qquad (4.2)$$

Если передний угол образуется при изготовлении сверла, то задний получают при его заточке.

Задним углом сверла α называется угол между касательной к задней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и плоскостью резания. Угол $\alpha = 6–14^{\circ}$ на небольшом диаметре и $20–27^{\circ}$ – у сердцевины. Задний угол α на ленточках сверл равен 0°.

Траектории точек режущих кромок располагаются на воображаемых цилиндрических поверхностях с осями, совпадающими с осью сверла. На этих поверхностях и рассматривают главные задние углы сверла. Таким образом, главным задним углом является продольный задний угол (рис. 4.7).

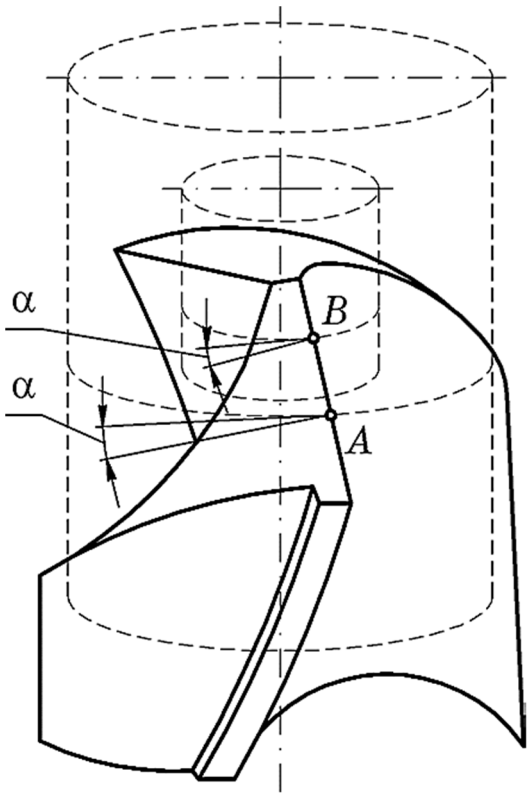


Рис. 4.7. Образование заднего угла α на кромке сверл
в цилиндрических сечениях

Если сверло только вращается, то траектория точки режущей кромки – окружность. Так как сверло имеет подачу вдоль оси, то траектория точки режущей кромки винтовая и действительный задний угол будут меньше статического. Развернем на плоскость траекторию точки режущей кромки при отсутствии подачи и при работе с подачей (рис. 4.8).

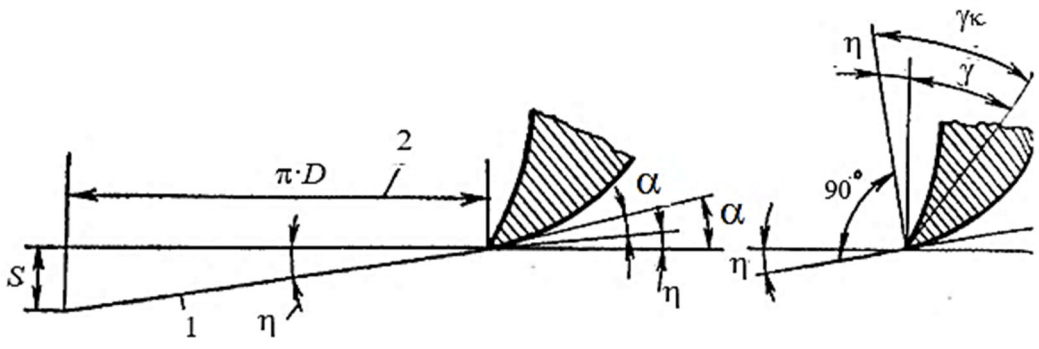


Рис. 4.8. Передний и задний углы сверла в процессе резания:
1 – развернутая винтовая линия; *2* – развернутая окружность

Таким образом, передний угол γ находится между касательной к следу передней поверхности в данной точке режущей кромки

и нормалью в той точке к окружности ее вращения вокруг оси сверла.

Задний угол α находится между касательной к следу задней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и касательной в той же точке к окружности ее вращения вокруг оси сверла.

Кинематический задний угол уменьшается на угол η. Величина угла η различная для разных точек режущей кромки (см. рис. 4.8) и определяется по зависимости

$$\mathrm{tg}\eta = S/\pi D;\ \alpha_k = \alpha - \eta. \qquad (4.3)$$

Чем ближе точка режущей кромки лежит к оси сверла, тем меньше диаметр воображаемой цилиндрической поверхности, по которой идет траектория точки, режущая кромки, и тем значительнее уменьшается задний угол сверла в процессе работы. Уменьшение зазора между задней поверхностью сверла и поверхностью резания (заднего угла) или отсутствие его приводит к повышенному трению и износу или же делает дальнейшую работу сверла невозможной.

Даже при малых подачах уменьшение заднего угла в процессе работы для точек, находящихся вблизи оси сверла, весьма существенно. Это уменьшение компенсируют, соответственно увеличивая задний угол при заточке: $\alpha_{зат} = \alpha + \eta$. Если заднюю поверхность сверла заточить по плоскости с одинаковым задним углом во все точках режущей кромки, учитывающим максимально уменьшение его в процессе работы $\alpha_{зат} = \alpha + \eta_{мах}$, то процесс заточки упростится. У сверла изменить (уменьшить) передний угол невозможно, а на периферии величина его значительна. Поэтому при больших задних углах угол заострения сверла β на периферии будет малым, а прочность и теплоотвод – низкими.

В связи с этим при заточке приходится обеспечивать такое увеличение заднего угла, которое необходимо для каждой точки режущей кромки, т.е. затачивать задний угол переменной величины. Наибольшее значение задний угол должен иметь у оси сверла, наименьшее – на периферии. При этом обеспечивается примерное равенство углов заострения вдоль режущей кромки сверла. На чертежах задний угол сверла задают в периферийной точке режущей кромки, так как здесь его легче измерить,

Вспомогательный задний угол **сверла** α_1 измеряется в плоскости, нормальной к вспомогательной режущей кромке (кромке

ленточки). Так как ленточка шлифуется по окружности, то вспомогательные задние углы сверла α_1 равны нулю (см. рис. 4.5).

Углом наклона главной режущей кромки λ называется угол между режущей кромкой и радиусом, проведенным через точку режущей кромки (см. рис. 4.5).

Пересечение главных задних поверхностей образует поперечную кромку или перемычку.

Угол наклона перемычки ψ – угол между проекциями поперечной и главной режущей кромки на плоскость, перпендикулярную оси сверла (см. рис. 4.5). Величина этого угла при правильной заточке сверла $\psi = 50–55°$. Пересекая перемычку перпендикулярными к ней секущими плоскостями, можно видеть, что угол резания перемычки больше 90°, т.е. передний угол перемычки $\gamma_п$ отрицательный, перемычка не режет металл, а скоблит его (выдавливает). Из-за этого около 65 % усилия подачи и около 15 % крутящего момента приходится на перемычку. На практике применяют различные методы подточки перемычки. Даже небольшое улучшение формы перемычки значительно уменьшает силу резания и увеличивает стойкость сверла и точность обработки.

Методика выполнения работы

Лабораторное оборудование: сверло с винтовыми канавками, угломер универсальный, микрометр со специальными наконечниками, штангенциркуль, линейка масштабная.

При проведении работы требуется: выполнить эскиз сверла в проекциях с необходимыми сечениями, на которых показать буквами размеры и обозначить все углы сверла; измерить конструктивные параметры сверла и занести в табл. 4.1; определить углы ω, ψ, λ, φ, φ_1; произвести расчет передних углов для трех точек режущей кромки (на наружном диаметре, на диаметре, немного превышающем размер сердцевины сверла и на одной промежуточной точке). Результаты занести в табл. 4.1. Установить закономерность изменения передних углов сверла.

Измерить задние углы в нескольких точках режущей кромки, а результаты занести в табл. 4.2. Установить закономерность изменения задних углов сверла и причины необходимости такой заточки задней поверхности сверла.

Характеристика объекта лабораторной работы

Объектами лабораторной работы являются различные типы осевых инструментов.

Порядок выполнения работы

1. Изучить кинематику сверления.

2. Изучить схемы измерения углов и конструктивных размеров сверла.

3. Измерить параметры сверла и занести результаты в табл. 4.1, 4.2.

Экспериментальная часть

Таблица 4.1

Результаты измерений параметров сверла

Номер измерения	Диаметр сверла		Диаметр сердцевины		Ширина ленточки f, мм	Угол наклона винтовой канавки ω, град	Угол наклона поперечной кромки ψ, град	Углы в плане φ, град		Угол между режущими кромками 2φ, град	Передний угол сверла γ, град
	У хвостовика D_1, мм	У вершины D, мм	У хвостовика d_1, мм	У вершины d, мм				Для 1-го пера	Для 2-го пера		

Таблица 4.2

Результаты измерения заднего угла

Номер измерения	Диаметр сверла D, мм	Диаметр сверла D_x, на котором производится измерение, мм	Угол поворота сверла при измерении, град	Показания индикатора, мм	tg α	Измеренный задний угол α, град

Измерения конструктивных и геометрических параметров сверл с винтовыми канавками

Диаметр сверл измеряется обычным микрометром (рис. 4.9); диаметр сердцевины сверла – микрометром с острыми наконечниками (рис. 4.10); длина поперечной кромки сверла f и ширина ленточки $l_п$ – штангенциркулем вершины сверла (рис. 4.11); угол наклона поперечной кромки ψ – универсальным угломером УМ (рис. 4.12); угол наклона винтовой канавки сверла ω можно измерить с помощью угломера МИЗ (рис. 4.13), на плиту которого поставлена призма. Режущую кромку в этом случае следует располагать в горизонтальной плоскости. С помощью универсального угломера можно определить и угол 2φ (рис. 4.14), но контролировать заточку сверла таким образом нельзя, так как перья сверла могут быть заточены неодинаково и углы φ на разных перьях могут различаться, что ухудшит условия работы сверла и уменьшит его стойкость. Поэтому контроль углов φ осуществляют с помощью специальной лупы или микроскопа.

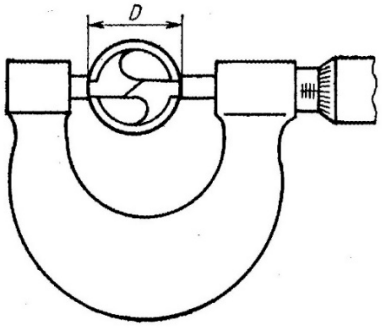


Рис. 4.9. Измерение диаметра сверла микрометром

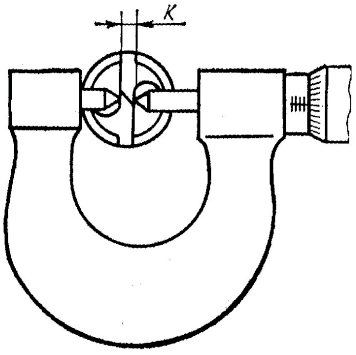


Рис. 4.10. Измерение диаметра сверла микрометром с острыми наконечниками

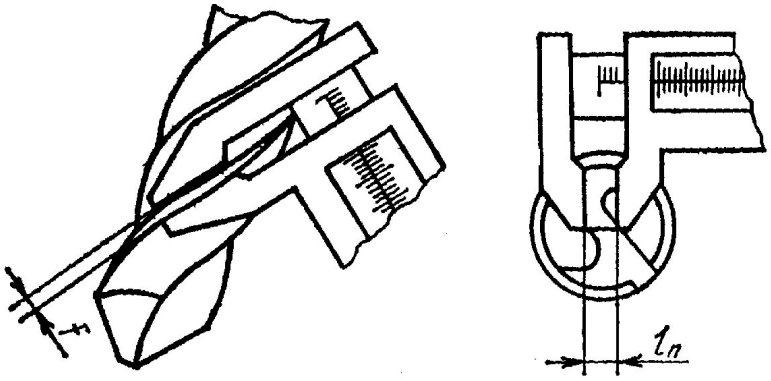


Рис. 4.11. Измерение длины поперечной кромки и ширины ленточки сверла штангенциркулем

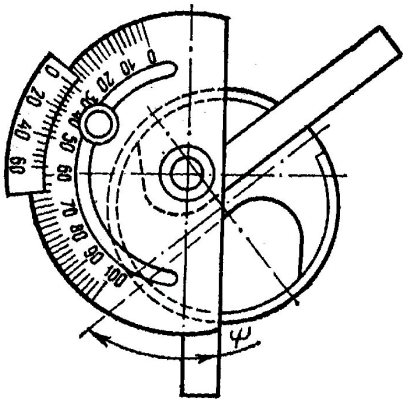


Рис. 4.12. Измерение угла наклона поперечной кромки сверла

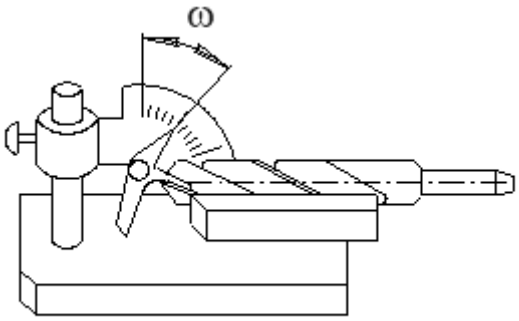


Рис. 4.13. Измерение угла наклона канавки угломером МИЗ

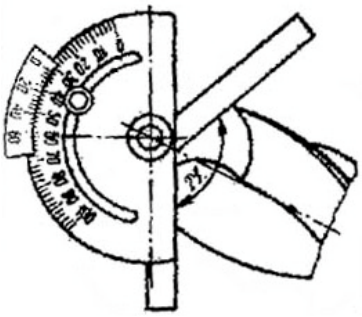


Рис. 4.14. Измерение угла при вершине сверла универсальным угломером УМ

Вспомогательный угол в плане φ_1 можно определить по формуле

$$\varphi_1 = \text{arctg}(D_1 - D_2)/2l, \qquad (4.4)$$

где D_1 и D_2 – диаметры сверла, измеренные на расстоянии l. Для упрощения значение l принимают равным 100 мм:

$$\text{tg}\gamma_x = \frac{D_x \text{tg}\omega}{D \sin\varphi}, \qquad (4.5)$$

где ω – угол наклона винтовой канавки сверла; φ – угол в плане режущей кромки сверла; D – наружный диаметр сверла; D_x – диаметр, соответствующий рассматриваемой точке режущей кромки сверла.

По результатам измерений, сведенных в табл. 4.1, 4.2, выполняют эскизный чертеж сверла (рис. 4.15).

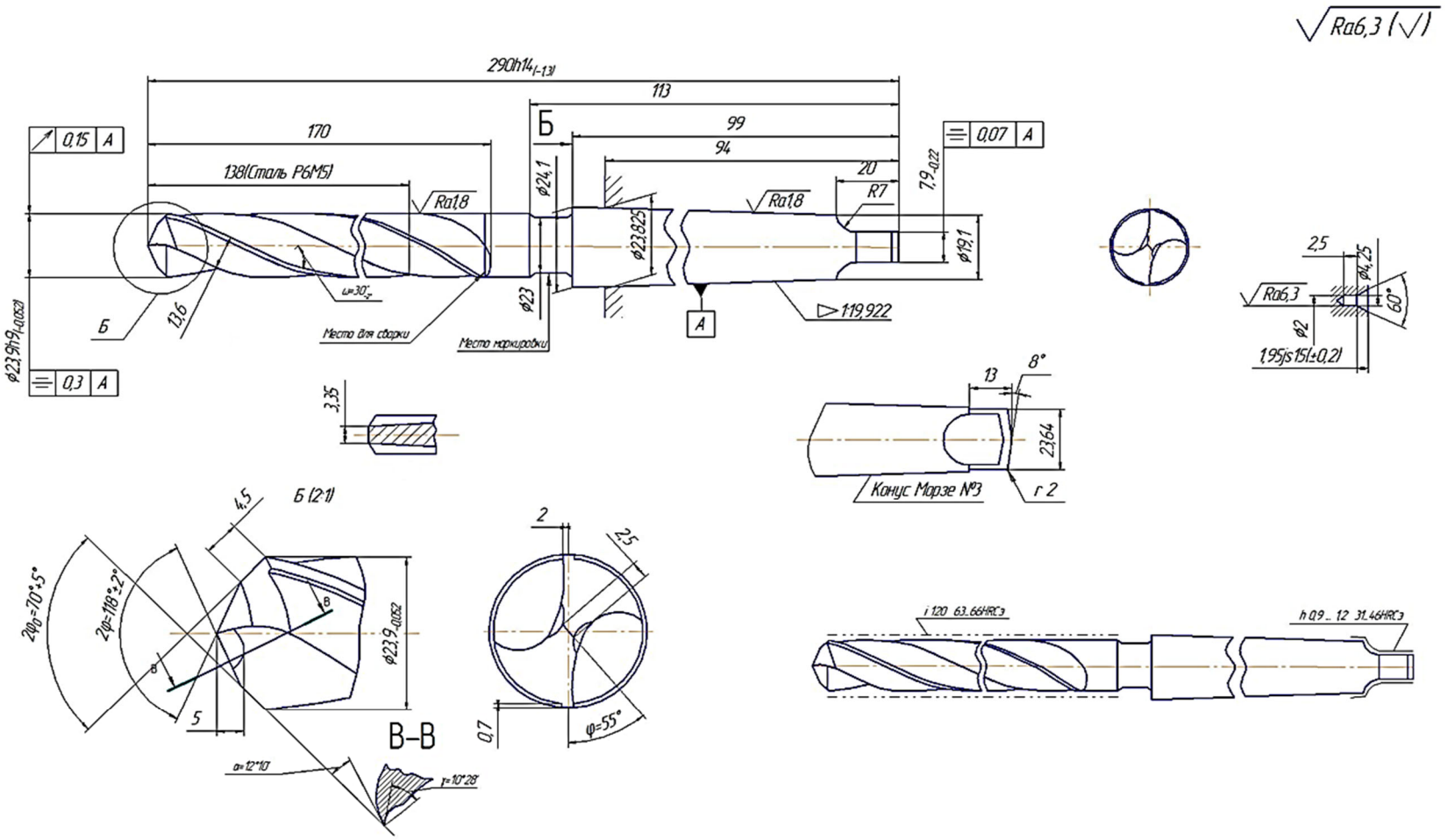


Рис. 4.15. Эскиз спирального сверла с двойной заточкой и подточкой поперечной кромки

Выводы по работе

Проанализировать влияние измеренных конструктивных и геометрических параметров инструмента на производительность и качество процесса сверления деталей.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Методика выполнения работы.
4. Характеристика объекта лабораторной работы.
5. Порядок выполнения работы.
6. Экспериментальная часть.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Укажите части и элементы сверла, их назначение.
2. В каких плоскостях измеряются геометрические параметры сверла?
3. Дайте определения углов в плане сверла.
4. Расскажите об особенностях угла наклона винтовой канавки сверла в разных точках режущей кромки сверла.
5. Чему равен передний угол в любой точке режущей кромки сверла?
6. Как найти задний угол сверла? В какой плоскости он измеряется и почему?
7. Как определить необходимую величину заднего угла сверла для любой точки режущей кромки?
8. Дайте определение вспомогательного заднего угла сверла α_1, угла наклона перемычки ψ, угла наклона режущей кромки сверла λ.
9. Как образуется угол поперечной кромки (перемычки) сверла?

Лабораторная работа № 5

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ФРЕЗ

Цель работы – закрепить сведения о конструктивных элементах и геометрических параметрах фрез, элементах режима резания и срезаемого слоя при фрезеровании; ознакомиться с методами измерения фрез и устройствами, применяемыми для этой цели; приобрести навыки эскизирования фрез.

Краткие теоретические сведения

Классификация основных типов фрез

Фреза – многозубый инструмент, представляющий собой тело вращения, на образующей которого или торце имеются режущие зубья.

В настоящее время применяются фрезы самых разнообразных форм и размеров. Их можно систематизировать по следующим признакам.

1. По конструкции зубьев:
   а) с остроконечными (острозаточенными);
   б) затыловочными.
2. По расположению зубьев относительно оси фрезы:
   а) цилиндрические с зубьями на поверхности цилиндра;
   б) угловые или конические с зубьями на конусе;
   в) торцевые с зубьями в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы;
   г) фасонные с зубьями на поверхности с криволинейной образующей.
3. По форме зубьев:
   а) с прямыми зубьями;
   б) винтовыми зубьями;
   в) угловыми зубьями;
   г) фасонными зубьями.
4. По профилю зубьев:
   а) резьбонарезные;
   б) зубонарезные дисковые и пальцевые;
   в) зубонарезные червячные;
   г) для канавок инструментов.

5. По конструкции инструмента:

а) цельные;

б) составные;

в) наборные или комплектные;

г) со вставными зубьями.

6. По способу крепления:

а) насадные с отверстием для насаживания на справку;

б) концевые с цилиндрическим или коническим хвостовиком.

Фрезы применяются для черновой и чистовой обработки плоскостей; прорезки пазов и шпоночных канавок; узких щелей и разрезки металлов; черновой и окончательной обработки фасонных поверхностей. Фрезерование является широко распространенным процессом резания материалов, применяемым для обработки плоских и фасонных поверхностей. Применяется фрезерование и для обработки резьбы. Этот способ обработки обеспечивает 8–10 квалитеты и шероховатость обработанной поверхности Ra = 1,6–6,3 мкм.

Основные виды фрезерования показаны на рис. 5.1.

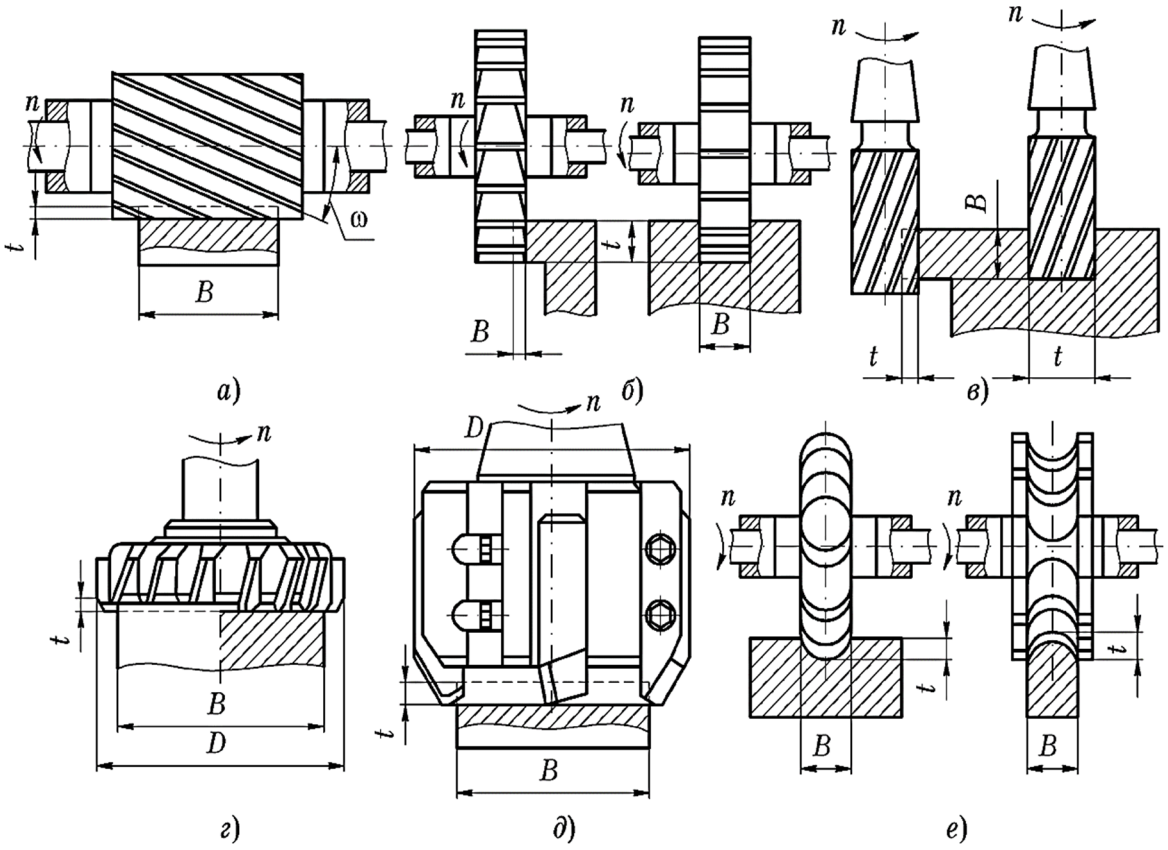


Рис. 5.1. Основные виды фрезерования:
а – фрезерование цилиндрическими фрезами; *б* – фрезерование дисковыми фрезами; *в* – фрезерование концевыми фрезами; *г*, *д* – торцовое фрезерование; *е* – фасонное фрезерование

Образование обработанной поверхности при фрезеровании осуществляется за счет относительного перемещения фрезы и заготовки, включающего два совместных движения (рис. 5.2, 5.3): вращение фрезы вокруг своей оси (главное движение резания D_r со скоростью V) и поступательное движение заготовки (движение подачи D_s со скоростью V_s).

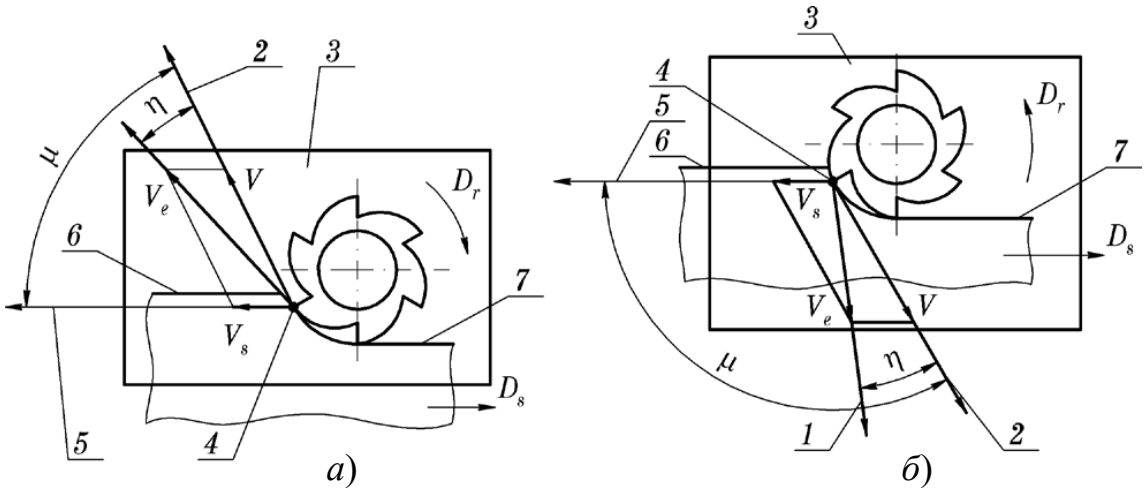


Рис. 5.2. Элементы движений
в процессе резания при цилиндрическом фрезеровании:
а – при встречном фрезеровании; *б* – при попутном фрезеровании:
1 – направление скорости результирующего движения резания;
2 – направление скорости главного движения резания;
3 – рабочая плоскость P_s; *4* – рассматриваемая точка режущей кромки;
5 – направление скорости движения подачи; *6* – обрабатываемая
поверхность; *7* – обработанная поверхность

В результате относительного (результирующего) движения D_e со скоростью V_e с обрабатываемой поверхности *6* удаляется слой металла и образуется обработанная поверхность *7*. Направления скоростей V и V_e для каждого зуба фрезы в каждый конкретный момент времени различны. Это наглядно видно на примере фрезерования торцевой фрезой (рис. 5.4).

Геометрические параметры зуба (лезвия) фрезы так же, как и лезвия резца, измеряются в статической системе координат, ориентированной относительно направления скорости V главного движения резания D_r, и кинематической системе, ориентированной относительно направления скорости V_e результирующего движения D_e. Статическая система координат состоит из основной плоскости $P_{v\text{с}}$, плоскости резания $P_{n\text{с}}$ и главной секущей плоскости $P_{\tau\text{с}}$ (рис. 5.4,*а*); кинематическую систему образуют плоскости $P_{v\text{к}}$, $P_{n\text{к}}$ и $P_{\tau\text{к}}$ (рис. 5.4,*б*).

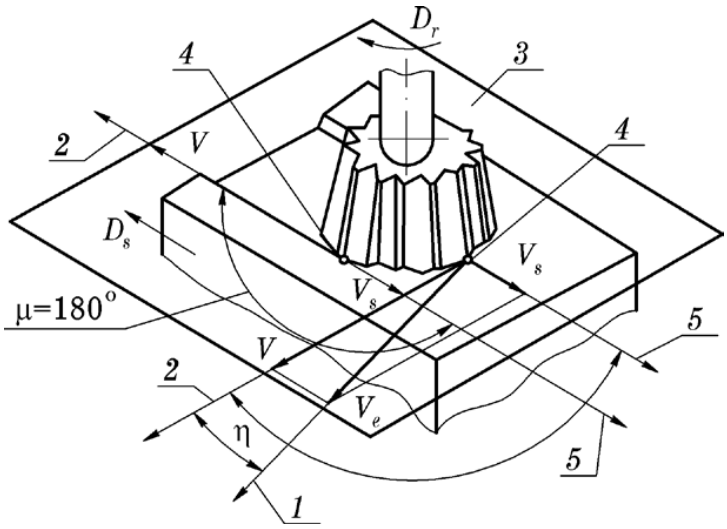


Рис. 5.3. Элементы движений скорости движения подачи
в процессе резания при фрезеровании торцевой фрезой:
1 – направление скорости результирующего движения резания;
2 – направление скорости главного движения резания;
3 – рабочая плоскость P_s; *4* – рассматриваемая точка режущей кромки;
5 – направление движения подачи

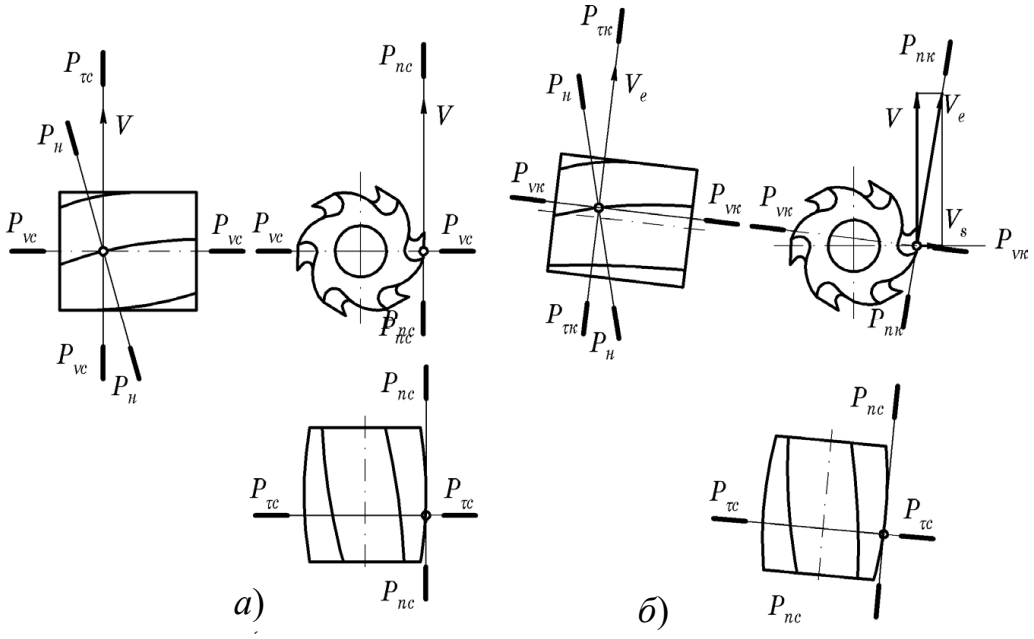
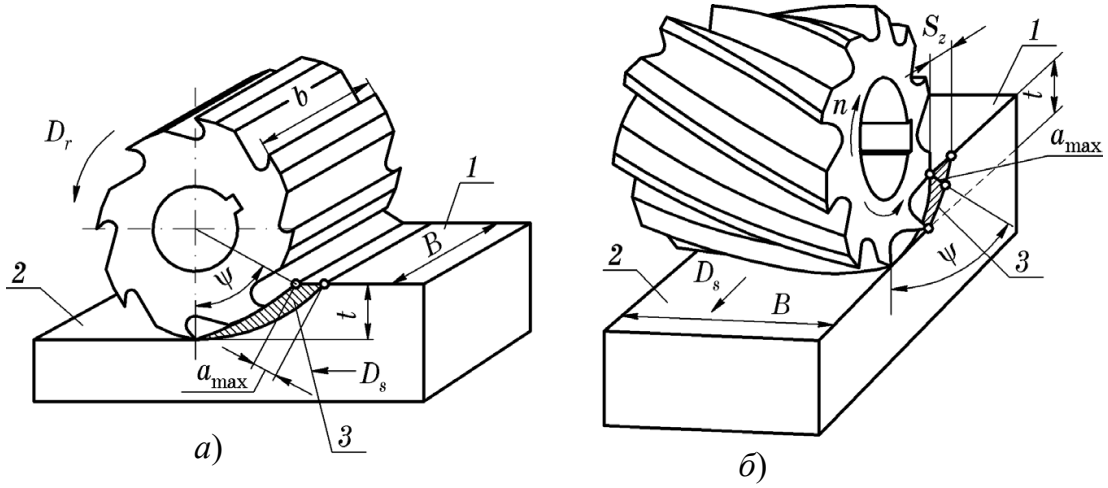


Рис. 5.4. Координатные плоскости
при цилиндрическом фрезеровании:
а) статическая система координат;
б) кинематическая система координат

Фрезерование цилиндрическими фрезами может производиться двумя способами: а) против подачи (встречное фрезерование) (рис. 5.5,*а*), когда фреза вращается против направления

движения подачи, вследствие чего толщина среза увеличивается от нуля до a_{max}; б) по подаче или методом попутного фрезерования (рис. 5.5,*б*), когда вращение фрезы и направление подачи совпадают; толщина среза уменьшается от a_{max} до нуля.



а) *б*)

Рис. 5.5. Схема работы цилиндрической фрезы:
1 – обрабатываемая поверхность;
2 – обработанная поверхность; *3* – поверхность резания

Цилиндрическое фрезерование осуществляется на горизонтально-фрезерных станках или на станках с ЧПУ.

Фрезерование может быть симметричным и несимметричным. При симметричном резании ось фрезы совпадает с плоскостью симметрии обрабатываемой поверхности, а при несимметричном – не совпадает.

При несимметричном фрезеровании труднообрабатываемых материалов (например, жаропрочных сплавов) твердосплавной торцовой или цилиндрической фрезой целесообразно вести обработку по методу попутного фрезерования, при котором толщина среза на выходе фрезы будет минимальной. При работе из-под корки положительно характеризуется встречное фрезерование.

Зубья фрез имеют углы резания δ, задний α, передний γ. На рис. 5.6 показаны геометрические элементы режущей части цилиндрической фрезы и ее конструктивные параметры.

Геометрические параметры режущей части фрезы рассматриваются в торцевой (перпендикулярной оси вращения фрезы) и нормальной (перпендикулярной главной режущей кромке) секущих плоскостях: $t_н$ и $t_Т$ – шаг зубьев фрезы в нормальном и торцевом сечениях; $\alpha_н$ и $\alpha_Т$ – задний угол в нормальном и торцевом сечениях, град; ω – угол наклона винтовой канавки фрезы, град.

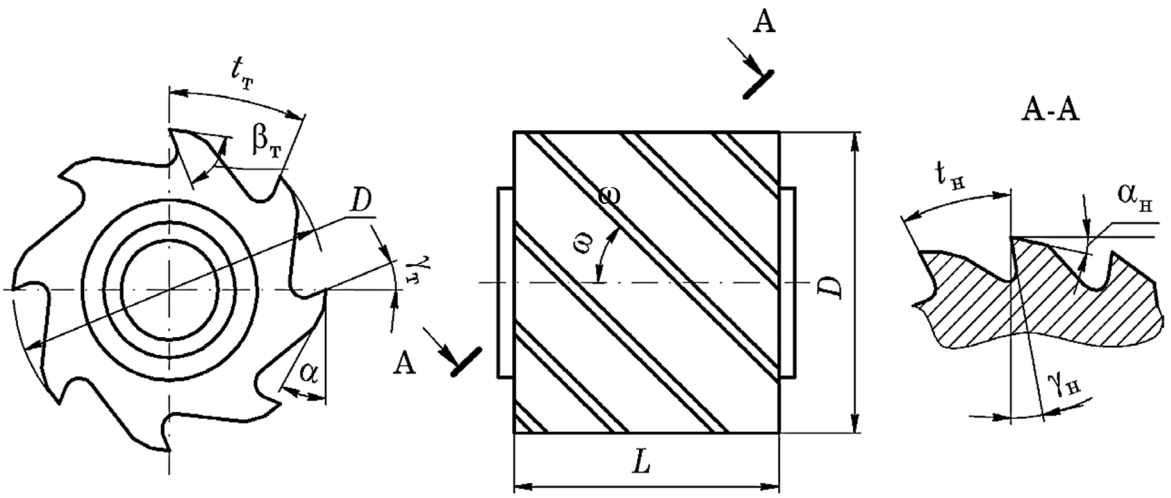


Рис. 5.6. Геометрические и конструктивные параметры цилиндрической фрезы

Измерение углов α и γ выполняется в торцевой плоскости. При изготовлении и эксплуатации фрез необходимо величины этих углов задавать в нормальной секущей плоскости А–А. Эти величины определяются по формулам:

$$\mathrm{tg}\gamma_N = \mathrm{tg}\gamma_T \cos\omega; \tag{5.1}$$

$$\mathrm{tg}\alpha_N = \frac{\mathrm{tg}\alpha_T}{\cos\omega}. \tag{5.2}$$

Угол резания:

а) в торцевой плоскости $\delta_T = 90^\circ - \gamma_T$;

б) в нормальной плоскости $\delta_N = 90^\circ - \gamma_N$.

Угол заострения:

а) в торцевой плоскости $\beta_T = 90^\circ - (\gamma_T + \alpha_T)$;

б) в нормальной плоскости $\beta_N = 90^\circ - (\gamma_N + \alpha_N)$.

Шаг зубьев:

а) в торцевой плоскости $t_T = \frac{\pi D}{z}$, где z – число зубьев фрезы;

б) в нормальной плоскости $t_N = t_T \cos\omega$.

Шаг винтовой канавки зуба фрезы $H = \pi D \mathrm{ctg}\omega$.

На рис. 5.7 показаны элементы и геометрические параметры фрезы.

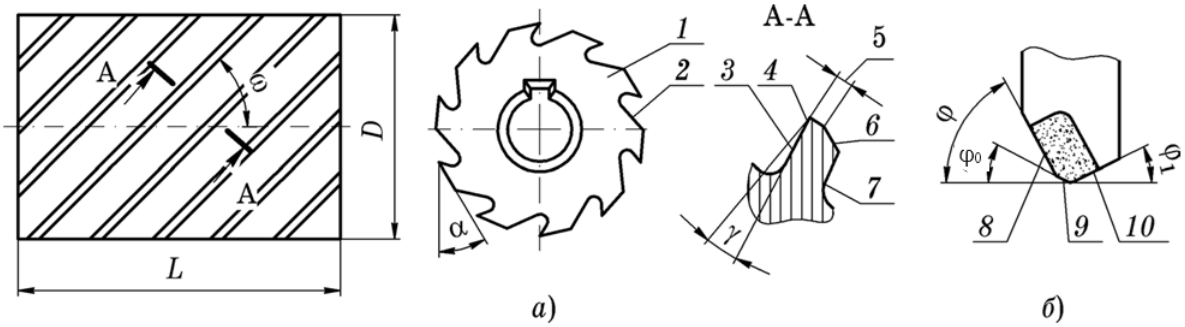


Рис. 5.7. Элементы и геометрия фрезы:
а – цилиндрическая фреза; *б* – зуб торцевой фрезы:
1 – корпус; *2* – зуб; *3* – передняя поверхность зуба;
4 – режущее лезвие; *5* – ленточка; *6* – задняя поверхность; *7* – спинка зуба; *8* – главное режущее лезвие; *9* – переходное режущее лезвие;
10 – вспомогательное режущее лезвие

Методика выполнения работы

Лабораторное оборудование: фрезы, комплект средств измерения.

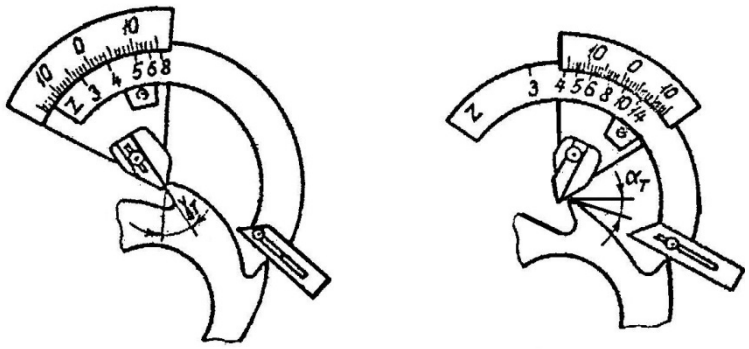
Характеристики средств измерения оформляются в виде табл. 5.1.

Таблица 5.1

Характеристики средств измерения

Наименование средств измерения	Цена деления	Пределы измерения

Измерение конструктивных размеров фрезы производится масштабной линейкой, штангенциркулем или микрометром, а геометрических параметров – настольными и универсальными угломерами (рис. 5.8, 5.9). Результаты измерений сводятся в табл. 5.1. Углы рабочей части фрезы: передний угол γ, задний угол α, угол наклона спирали ω и другие – измеряют угломерами разной конструкции. Для измерения передних и задних фрез применяют специальный угломер. На рис. 5.8,*а* показано измерение переднего угла γ ($\gamma = 14^{\circ}$), на рис. 5.8,*б* – измерение заднего угла α ($\alpha_1 = 8^{\circ}$). Отсчет углов производится против риски, цифра которой соответствует числу зубьев фрезы ($z = 6$).



а) *б*)

Рис. 5.8. Схемы измерения геометрических параметров цилиндрической фрезы:
а – измерение переднего угла γ; *б* – измерение заднего угла α

На рис. 5.9 показано измерение угла наклона спирали с помощью угломера.

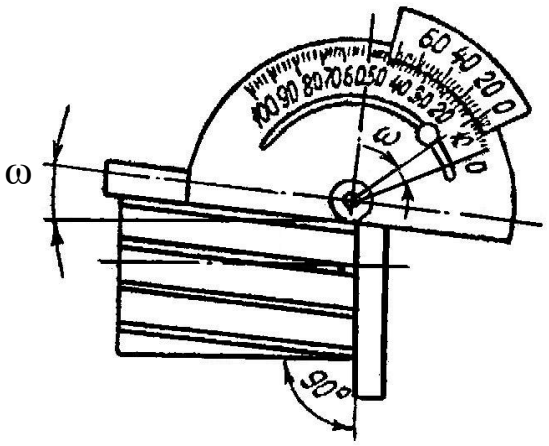


Рис. 5.9. Измерение угла наклона спирали винтовой канавки сверла

Величина радиального $\Delta_р$ и торцевого $\Delta_т$ биения фрезы определяется с помощью индикаторной стойки. Результаты измерений конструктивных и геометрических параметров заносятся в табл. 5.2.

Характеристика объекта лабораторной работы

Объектами лабораторной работы являются различные типы фрез.

Порядок выполнения работы

1. Изучить кинематику фрезерной обработки.
2. Изучить схемы измерения углов фрезы.
3. Измерить углы фрезы и свести результаты в табл. 5.2.

Экспериментальная часть

Таблица 5.2

Результаты измерения конструктивных и геометрических параметров цилиндрической фрезы

Наименование фрезы и завода-изготовителя	Материал режущей части фрезы	Размеры фрезы, мм			Число зубьев фрезы Z	Угол наклона спирали ω, град	Шаг винтовой канавки H, мм	Углы фрезы в торцевой плоскости, град				Углы фрезы в сечении, перпендикулярном к режущей кромке, град				Радиальное биение $\Delta_р$, мм	Торцевое биение $\Delta_т$, мм
		D	L	t_Z				γ_T	α_T	β_T	δ_T	γ_N	α_N	β_N	δ_N		

По результатам измерений, сведенных в табл. 5.2, выполняют эскиз фрезы (рис. 5.10).

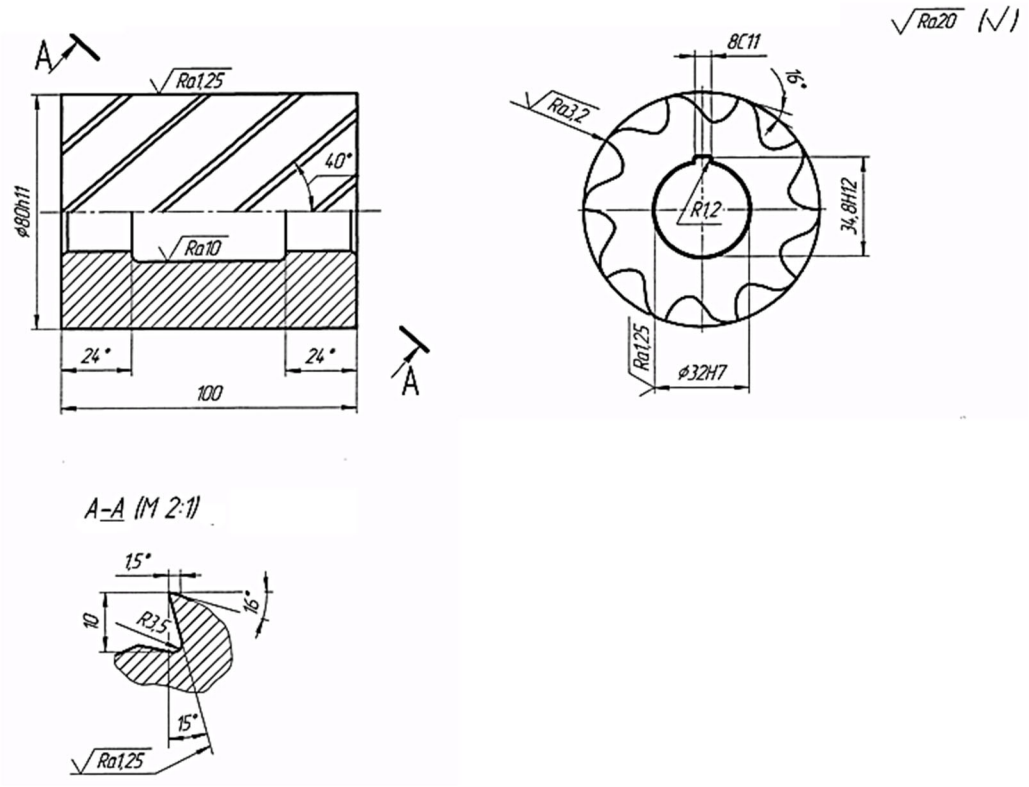


Рис. 5.10. Эскизный чертеж цилиндрической фрезы

Выводы по работе

Дать оценку влияния измеренных конструктивных и геометрических параметров инструмента на производительность и качество процесса фрезерования деталей.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Методика выполнения работы.
4. Характеристика объекта лабораторной работы.
5. Порядок выполнения работы.
6. Экспериментальная часть.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируются фрезы?
2. Какова взаимосвязь между углами фрезы в торцевом и нормальном сечениях?
3. Какие приборы применяются для измерения конструктивных элементов и геометрических параметров фрез?
4. С какой целью необходимо задавать углы фрезы в различных секущих плоскостях?
5. Каким образом измеряются геометрические параметры фрез?

Лабораторная работа № 6

ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ

Цель работы – ознакомиться с основными закономерностями процесса стружкообразования и методами определения усадки стружки; выявить зависимости усадки стружки от величины переднего угла резца, скорости резания и толщины срезаемого слоя.

Краткие теоретические сведения

Процесс резания представляет собой удаление с обрабатываемой заготовки некоторого слоя металла, оставленного под обработку и называемого припуском. Резец, действуя передней поверхностью на срезаемый слой, деформирует его, вследствие чего возникают упругие, а затем пластические деформации и при определенных условиях деформированный элемент слоя отделяется от основной массы металла и превращается в стружку. При дальнейшем движении резца описанный процесс будет последовательно повторяться. Это происходит в тот момент, когда касательные напряжения в срезаемом слое превышают сопротивление сдвигу.

Существующие в настоящее время разнообразие методов обработки резанием, конструкций инструмента, его геометрических параметров, свойств обрабатываемого материала и окружающей среды, широкие пределы изменения режимов резания обусловливают практически бесконечное число возможных комбинаций условий резания. Однако все они могут быть сведены к сравнительно небольшому числу основных случаев работы режущего элемента, принятая классификация которых проводится по следующим признакам:

1. **По форме рабочих участков режущих кромок:**

а) свободное резание, если в работе участвует только одна прямолинейная режущая кромка;

б) несвободное резание, если в работе участвуют две и более сопряженные режущие кромки.

2. **По ориентации режущей кромки относительно вектора скорости резания:**

а) прямоугольное резание, если вектор скорости резания V перпендикулярен режущей кромке;

б) косоугольное резание, если вектор V не перпендикулярен режущей кромке.

3. **По характеру контактных деформаций стружки:**

а) резание без вторичных пластических деформаций контактного слоя стружки, при этом застойная зона на передней поверхности инструмента отсутствует;

б) резание с вторичной пластической деформацией контактного слоя стружки без его разрушения; при этом на передней поверхности инструмента возникает застойная зона, мало влияющая на направление схода стружки;

в) резание с вторичной пластической деформацией контактного слоя стружки, сопровождающееся его разрушением; при этом на передней поверхности возникает нарост, сильно влияющий на направление схода стружки. Сдвиг происходит между отдельными частицами зерен и между самими зернами.

4. **По непрерывности процесса стружкообразования:**

а) сливное стружкообразование, если процесс пластической деформации в зоне стружкообразования является непрерывным и не сопровождается разрушением зоны стружкообразования;

б) образование стружки скалывания, если процесс пластической деформации в зоне стружкообразования не завершается образованием сливной стружки и преждевременно прерывается вследствие разрушения зоны стружкообразования.

Процесс стружкообразования сопровождается такими явлениями, как усадка стружки, нарост на инструменте и упрочнение поверхностного слоя.

На осуществление процесса стружкообразования обычно затрачивается более 90 % силы и работы резания. От этого процесса, главным образом, зависят тепловой режим и контактные нагрузки на рабочих поверхностях инструмента, а следовательно, интенсивность и характер их износа. В непосредственной связи с процессом стружкообразования находятся качество поверхностного слоя и точность обработки детали. В свою очередь протекание этого процесса в основном определяется деформированным состоянием зоны стружкообразования (рис. 6.1).

Касательные напряжения, возникающие в процессе трения, вызывают вторичные пластические деформации в стружке, приводящие к образованию контактного прирезцового слоя – застойной зоны, т.е. зоны пластически деформированного металла, перемещающегося в процессе резания вместе с инструментом впереди его режущей части.

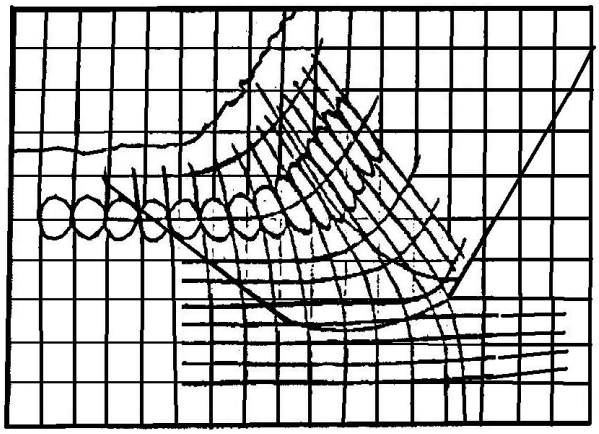


Рис. 6.1. Характер деформационных искажений кристаллической решетки обрабатываемого материала в зоне резания

Под влиянием больших удельных температур и давлений на передней поверхности режущей части инструментов задерживаются частицы материала застойной зоны, строение которых значительно отличается от строения стружки и основного материала. Этот слой получил название нароста и представляет собой твердую часть обрабатываемого металла (его твердость в 2,5–3,5 раза превышает твердость обрабатываемого материала), пластически деформированного, заторможенного и приваренного к резцу, сохраняющуюся на нем и после прекращения процесса резания.

Нарост защищает режущую кромку инструмента от истирающего действия со стороны сходящей стружки, уменьшает угол резания, что способствует более легкому отделению стружки, содействует уменьшению нагрева режущей кромки, создает благоприятное распределение напряжений по передней поверхности резца; все это снижает износ и повышает стойкость инструмента. По этим причинам при грубой (черновой) обработке образование нароста не считается вредным. Однако при чистовой обработке резанием наростообразование приводит к значительному увеличению шероховатости поверхности, а при определенных условиях – к интенсивным вибрациям. Было замечено, что нарост отсутствует при малых скоростях резания (2–5 м/мин), при больших скоростях резания (свыше 20 м/мин для материалов повышенной твердости), а также при прерывистом резании фрезерованием, строганием и при зубонарезании.

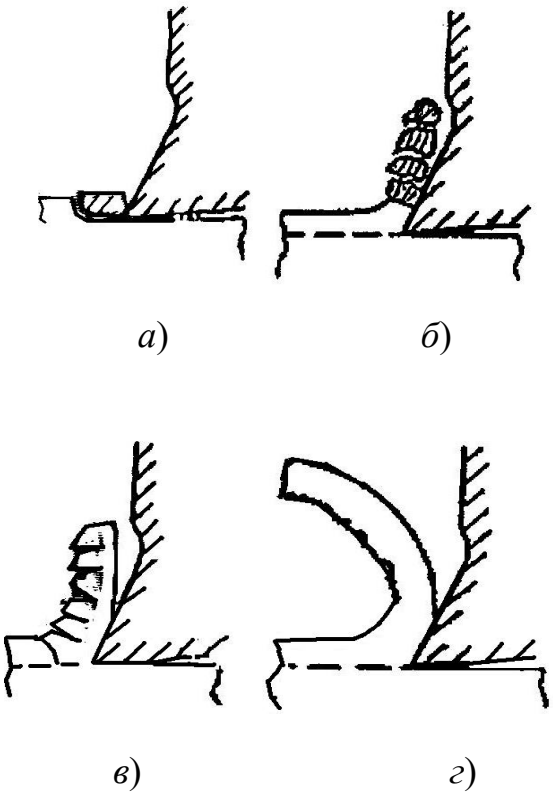
В зависимости от условий обработки вид получаемой в процессе резания стружки будет различным. По виду стружку принято делить на четыре типа.

Стружка надлома образуется при обработке хрупких металлов (чугун, бронза). Она состоит из отдельных элементов, связанных

между собой и имеющих шероховатую поверхность, примыкающую к передней поверхности резца (рис. 6.2,*а*).

Если срезаемые элементы слоя остаются не связанными между собой, то стружку, полученную при обработке пластичных металлов (стали), называют **элементной** (рис. 6.2,*б*). Она образуется при резании с низкими скоростями.

Если элементы срезаемого слоя остаются соединенные между собой, образуя сплошную ленту с гладкой наружной стороной, примыкающей к передней поверхности резца, и с внутренней стороной, имеющей ярко выраженные зазубрины или «ступени», то такая стружка называется **ступенчатой** (рис. 6.2,*в*). Эта стружка образуется при резании пластичных металлов на средних скоростях.



а) *б*) *в*) *г*)

Рис. 6.2. Типы стружек:
а – стружка надлома; *б* – элементная; *в* – ступенчатая; *г* – сливная

Если стружка не имеет зазубрин, т.е. отсутствуют заметные следы плоскостей сдвига, то ее называют **сливной** (рис. 6.2,*г*). Сливная стружка образуется при резании пластичных металлов с высокими скоростями. Вид образовавшейся стружки (ее форма и цвет) дает представление о тех деформациях, которые имели место при резании металлов, а также о качественной стороне протекания процесса резания.

Одной из важнейших характеристик пластической деформации срезаемого слоя является **усадка стружки**, которая приводит к изменению размеров срезаемого слоя при переходе его в стружку. При срезании металла вследствие пластического сжатия и сдвигов, происходящих в зернах металла срезаемого слоя, толщина стружки превышает толщину срезаемого слоя. Так как объем металла после деформации равен объему до деформации, а ширина стружки практически не меняется, то длина стружки $l_{стр}$ становится короче длины срезаемого слоя $l_{ср.сл}$ (пути резца) (рис. 6.3).

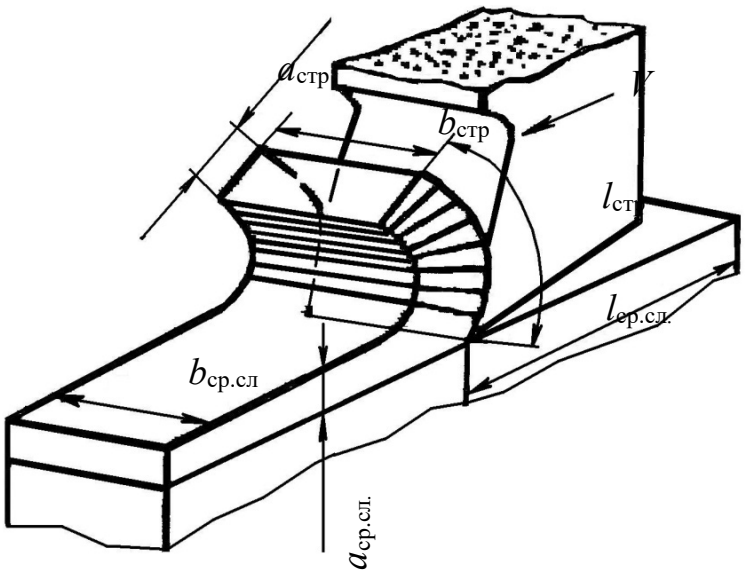


Рис. 6.3. Схема к определению коэффициента усадки стружки

Это явление называется усадкой стружки, а отношение длины срезаемого слоя к длине стружки – **коэффициентом усадки** (укорочения) стружки:

$$K_l = \frac{l_{ср.сл}}{l_{стр}}. \qquad (6.1)$$

Так как объемы стружки $W_{стр}$ и срезаемого слоя $W_{ср.сл}$ одинаковы, а изменение ширины незначительно, коэффициент укорочения равен коэффициенту утолщения стружки, т.е.

$$K_l = \frac{l_{ср.сл}}{l_{стр}} = \frac{a_{стр}}{a_{ср.сл}}. \qquad (6.2)$$

При резании пластичных материалов коэффициент усадки больше, чем при резании хрупких материалов. Например, при резании углеродистых сталей он колеблется в пределах 2–6, а при

резании чугуна – в пределах 1,5–2,5. Чем прочнее и тверже обрабатываемый материал, тем меньше коэффициент усадки. Кроме этого, коэффициент усадки стружки зависит от скорости резания, толщины и ширины срезаемого слоя, геометрии инструмента и свойств смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС).

СОТС, снижающие величину коэффициента трения, уменьшают коэффициент усадки стружки, причем эффект от влияния жидкости тем сильнее, чем меньше толщина срезаемого слоя и скорость резания.

Коэффициент усадки является некоторой количественной оценкой степени пластической деформации материала, а поэтому чем с меньшими пластическими деформациями протекает процесс резания, тем более благоприятны условия для стружкообразования и меньше расход мощности на обработку данной заготовки.

Принципиальное влияние скорости резания на коэффициент усадки стружки представлено на рис. 6.4.

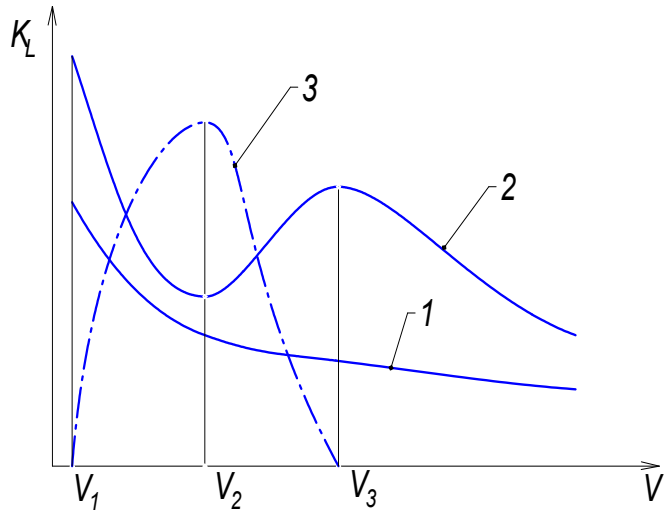


Рис. 6.4. Схема влияния скорости резания на высоту нароста (кривая *3*) и коэффициент усадки стружки при резании материалов, не склонных к наростообразованию (кривая *1*) и склонных к наростообразованию (кривая *2*)

Кривая *1* соответствует резанию материалов, не склонных к наростообразованию. В этом случае по мере увеличения скорости резания коэффициент усадки стружки вначале быстро, а затем более медленно уменьшается. Указанное влияние скорости резания на K_l объясняется уменьшением коэффициента трения между стружкой и передней поверхностью при увеличении температуры на передней поверхности вследствие возрастания скорости резания.

При резании материалов, склонных к наростообразованию (кривая *2*), скорость резания на K_l влияет немонотонно. Вначале при

увеличении скорости резания коэффициент усадки уменьшается, достигает минимальной величины при определенном значении скорости V_2, а затем вновь возрастает. При достижении скоростью резания значения V_3 возрастание коэффициента K_l прекращается и при скоростях резания $V > V_3$ кривая *2* ведет себя так же, как и кривая *1*. Уменьшение коэффициента K_l при увеличении скорости резания от V_1 до V_2 и его дальнейшее увеличение при возрастании от V_2 до V_3 связано с действием на процесс стружкообразования нароста. Кривой *3* на рисунке показано изменение высоты нароста в интервале скоростей резания от V_1 до V_2.

Влияние переднего угла на коэффициент K_l представлено на рис. 6.5.

По мере увеличения угла γ коэффициент усадки стружки уменьшается, а горбы на кривых $K_l = f(V)$ сглаживаются. Кроме того, чем больше величина переднего угла, тем при большем значении скорости резания кривая K_l достигает вторичного максимума. Последнее вполне естественно, так как при увеличении переднего угла исчезновение нароста происходит при больших скоростях резания.

На рис. 6.6 показано влияние на коэффициент усадки стружки толщины срезаемого слоя. Кривые $K_l = f(V)$ имеют горбообразный вид, причем для меньших толщин срезаемого слоя вершины горбов сдвинуты в область более высоких скоростей резания. Из рисунка видно, что при постоянном переднем угле инструмента максимальные значения коэффициента усадки стружки не зависят от толщины срезаемого слоя, но K_l достигает максимальной величины при различных скоростях резания.

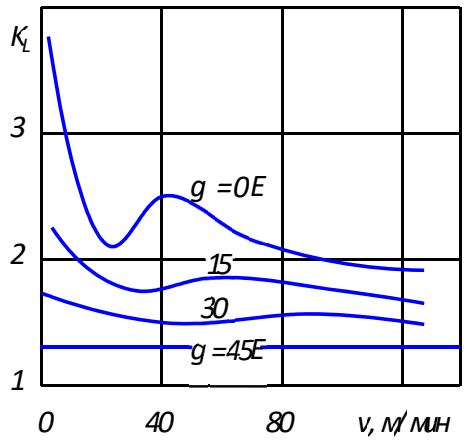


Рис. 6.5. Влияние переднего угла на коэффициент усадки стружки K_l при различных скоростях резания (сталь 20Х; φ = 45; a = 0,31 мм; b = 1,45 мм)

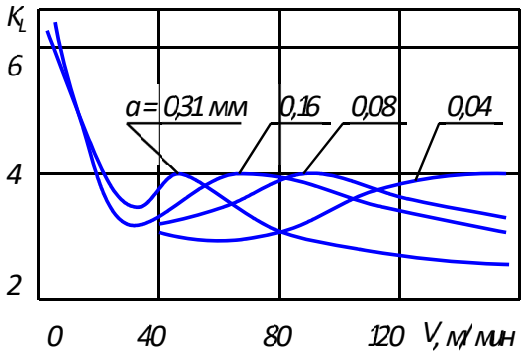


Рис. 6.6. Влияние толщины срезаемого слоя на коэффициент усадки стружки K_l при различных скоростях резания (сталь 20Х; γ = 0°; φ = 45°; t = 1 мм)

Коэффициент усадки стружки можно определить несколькими методами, из которых наибольшее распространение получили три:

1. По длине стружки.

Для нахождения коэффициента усадки измеряют длину стружки по гладкому контуру гибкой нитью (тонкой проволокой). Потом нить прикладывают к масштабной линейке и измеряют ее длину.

Для измерения пути резца при точении вдоль оси заготовки прорезают неглубокие пазы, в которые для уменьшения удара зачеканивают медную или алюминиевую проволоку. В этом случае длина пути резца будет равна длине дуги между пазами (рис. 6.7):

$$l_{\text{ср.сл}} = \frac{\pi D \chi}{360} = \frac{\pi D - nb}{4}, \qquad (6.3)$$

где χ – угол между пазами, град ($\chi = 90$); D – диаметр заготовки, мм; n – количество пазов; b – ширина паза, мм ($b = 4$ мм).

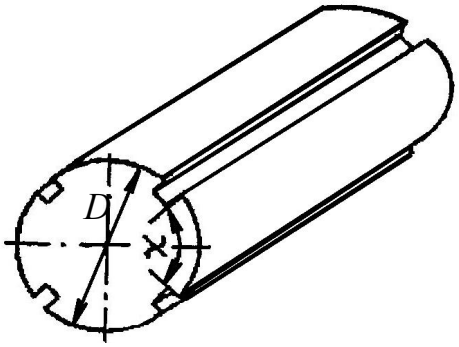


Рис. 6.7. Заготовка с пазами

2. По толщине стружки.

При достаточно гладкой стружке можно, зная толщину срезаемого слоя, измерить толщину стружки с помощью микрометра со специальными насадками или микроскопа. Измерения производятся в 4–5 точках по ширине и длине стружки, а затем подсчитывается среднее арифметическое значение.

3. Весовой метод.

Коэффициент усадки определяется по формуле

$$K_l = \frac{f_{\text{стр}}}{f_{\text{ср.сл}}}, \qquad (6.4)$$

где $f_{\text{стр}}$ и $f_{\text{ср.сл}}$ – площади поперечного сечения стружки и срезаемого слоя соответственно, мм^2.

Площадь поперечного сечения стружки определяется делением массы стружки на ее длину, т.е.

$$f_{\text{стр}} = \frac{m}{\rho l_{\text{стр}}}, \qquad (6.5)$$

где $l_{\text{стр}}$ – длина стружки (определяется с точностью до ± 1 мм); m – масса стружки (определяется с точностью до ± 1 мг); ρ – плотность материала заготовки (для стали она равна 7,8 мг/мм^3).

Каждый из перечисленных способов имеет свою область применения.

Методика выполнения работы

Лабораторное оборудование: токарно-винторезный станок; заготовка; проходные прямые и прямые отогнутые резцы, упорные резцы (2 шт.) с различными величинами передних углов; угломеры; штангенциркуль; линейка металлическая; весы с разновесами; микрометр со специальными насадками (микроскоп); гибкие нити.

Исследование усадки стружки проводится в процессе несвободного прямоугольного резания стали в зависимости от изменения величины переднего угла резца, скорости резания и толщины срезаемого слоя для различных материалов деталей.

Экспериментальная часть работы начинается с измерения углов токарных резцов, величина которых заносится в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Угловые параметры резца

Номер резца	Углы резца, град							
	α	γ	α_1	γ_1	φ	φ_1	β	λ
1								
2								

Для проведения исследований будем использовать методику многофакторного регрессионного анализа.

Характеристика объекта лабораторной работы

Объектом лабораторной работы является усадка стружки, возникающая в процессе резания при обработке поверхности детали.

Порядок выполнения работы

1. Изучить методы определения усадки стружки.

2. Подготовить план проведения экспериментов.

3. Провести обработку детали в соответствии с планом экспериментов, занести результаты в отчет.

4. Обработать экспериментальные данные и занести результаты в отчет.

Экспериментальная часть

Кодированный план экспериментов представлен в табл. 6.2. Для записи условий эксперимента и обработки полученных данных вместо натуральных значений исследуемых факторов используем их кодирование с помощью следующего соотношения:

$$X_i = \frac{2(x_i - x_{i\max})}{x_{i\max} - x_{i\min}} + 1, \qquad (6.6)$$

где x_i – значение i-го фактора; $x_{i\ max}$, $x_{i\ min}$ – соответственно значения i-го фактора на верхнем (+1) и нижнем (–1) уровнях.

Таблица 6.2

Матрица планирования экспериментов

Номер опыта	$X_1(V)$	$X_2(\gamma)$	$X_3(a)$	$l_{ср.сл}$, мм	$l_{стр}$, мм				K_{l_1}	K_{l_2}	K_{l_3}	$K_{l_{ср}}$
					l_1	l_2	l_3	$l_{стр}$				
1	+1	+1	+1									
2	+1	+1	–1									
3	+1	–1	+1									
4	+1	–1	–1									
5	–1	+1	+1									
6	–1	+1	-1									
7	–1	–1	+1									
8	–1	–1	–1									

Уровни варьирования факторов приведены в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Уровни варьирования факторов

Уровни факторов	$X_1(V)$, м/мин	$X_2(\gamma)$, рад	$X_3(a)$, мм
–1			
+1			

Толщина срезаемого слоя определяется соотношением

$$a = S\sin\varphi, \tag{6.7}$$

где S – подача резца, мм/об; φ – угол в плане резца (используем проходные упорные резцы с φ = 90º); a – толщина среза a, равная по величине глубине резания t, мм.

Величины частот вращения шпинделя задает преподаватель. Для определения соответствующих им значений скорости резания используют формулу

$$V = \frac{\pi D n}{1000}, \tag{6.8}$$

где n – частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$; D – диаметр заготовки, мм.

Варьирование режимных параметров при проведении экспериментов производится следующим образом:

1) t = 1 мм, s = 0,4 мм/об, n = 710 мин$^{-1}$;
2) t = 1 мм, s = 0,2 мм/об, n = 710 мин$^{-1}$;
3) t = 1 мм, s = 0,4 мм/об, n = 710 мин$^{-1}$;
4) t = 1 мм, s = 0,2 мм/об, n = 710 мин$^{-1}$;
5) t = 1 мм, s = 0,4 мм/об, n = 355 мин$^{-1}$;
6) t = 1 мм, s = 0,2 мм/об, n = 355 мин$^{-1}$;
7) t = 1 мм, s = 0,4 мм/об, n = 355мин$^{-1}$;
8) t = 1 мм, s = 0,2 мм/об, n = 355 мин$^{-1}$.

Получив образцы стружки от каждого образца, определяют коэффициент усадки стружки с использованием одной из описанных ранее методик по указанию преподавателя. Результаты заносятся в табл. 6.2.

Полученные результаты служат исходными данными для построения эмпирической зависимости (математической модели) коэффициента усадки стружки от величины переднего угла, скорости резания и толщины срезаемого слоя, которая имеет следующий вид:

$$K_l = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3, \tag{6.9}$$

где b_0, b_1, b_2, b_3 – коэффициенты пропорциональности, зависящие от свойств обрабатываемого материала и условий его обработки; b_0 – среднее арифметическое значение всех параметров оптимизации в матрице планирования экспериментов (определяет свободный член в уравнении регрессии).

$$b_0 = \frac{1}{N}\sum_{u=1}^{N} \bar{K}_{l_u}; \tag{6.10}$$

$$b_i = \frac{1}{N}\sum_{u=1}^{N} X_{i_u}\overline{K}_{l_u}, \qquad (6.11)$$

где N – число опытов ($N = 8$); $\overline{K}_{l_u}$ – среднее значение коэффициента усадки в u-м опыте (см. табл. 6.2); X_{i_u} – значение X_i в u-м опыте (см. табл. 6.2).

Если каждый опыт дублировался m раз, то дисперсия воспроизводимости опыта рассчитывается по формуле

$$S_{\text{в}}^2 = \frac{1}{N(m-1)}\sum_{u=1}^{N}\sum_{j=1}^{m}(K_{lu_j} - \overline{K}_{lu})^2, \qquad (6.12)$$

где K_{lu_j} – значение коэффициента усадки в j-м повторении u-го опыта (см. табл. 6.2).

Дисперсия воспроизводимости характеризует ошибки параллельных опытов, т.е. опытов, проведенных в одном режиме, но в разное время.

Значимость каждого коэффициента b_i оценивается с помощью Критерия Стьюдента $t(p, m)$ (табл. 6.4).

Таблица 6.4

Критическое значение критерия Стьюдента $t(p, m)$

m	Доверительная вероятность $t(p, m)$			
	0,90	0,95	0,975	0,99
2	2,920	4,303	6,205	9,925
3	2,353	3,182	4,541	5,841

Доверительный интервал b_i-го коэффициента определяется следующим образом:

$$\Delta b_i = t(p, m)\frac{S_{\text{в}}^2}{\sqrt{mN}}. \qquad (6.13)$$

Если выполняется условие $|b_i| > |\Delta b_i|$, то i-й коэффициент считается значимым, в противном случае он обнуляется.

Для оценки адекватности полученной модели необходимо рассчитать дисперсию адекватности модели S_0^2:

$$S_0^2 = \frac{1}{N(N-k-1)}\left(\sum_{j=1}^{m}\sum_{u=1}^{N}K_{lu_j}^2 - mN\sum_{i=0}^{k}b_i^2\right)^2. \qquad (6.14)$$

Дисперсия остаточная (дисперсия адекватности) − дисперсия, характеризующая рассеивание опытных данных относительно уравнения регрессии.

Затем рассчитывается значение критерия Фишера $F_н$:

$$F_н = \frac{S_0^2}{S_в^2}. \qquad (6.15)$$

Критическое значение критерия Фишера $F_н$ определяется по табл. 6.5, где $m_1 = N - k - 1$ (k – количество факторов). Если $F_н < F_к$, то модель адекватна, в противном случае – нет.

Таблица 6.5

Критическое значение критерия Фишера $F_к$

P	m	m_1								
		4	6	8	10	15	20	30	40	50
0,9	2	8,15	8,01	7,95	7,82	7,75	7,68	7,59	7,50	7,48
0,95		16,45	16,30	16,25	16,19	16,10	15,90	15,85	15,79	15,6
0,9	3	6,72	6,65	6,59	6,48	6,35	6,28	6,14	6,05	5,95
0,95		12,35	12,2	12,05	11,95	11,75	11,61	11,48	11,35	11,10
0,9	4	5,39	5,31	5,27	5,24	5,20	5,18	5,17	5,16	5,15
0,95		9,28	9,10	8,89	8,81	8,7	8,66	8,62	8,59	8,57
0,99		29,50	28,20	27,70	27,30	26,90	26,70	26,50	26,40	26,30
0,9	6	3,62	3,45	3,37	3,32	3,27	3,24	3,21	3,16	3,14
0,95		5,41	5,05	4,88	4,77	4,62	4,56	4,50	4,46	4,43
0,99		12,10	11,0	10,50	10,20	9,72	9,55	9,38	9,29	9,20

Подставляя кодированные значения (6.6) в (6.9), получим действительную модель вида

$$K_l = a_0 + a_1 V + a_2 \gamma + a_3 a.$$

Пример расчета

Условия проведения опытов (табл. 6.6–6.8):

Таблица 6.6

Параметры резца

Материал режущей части	Номер резца	Углы резца, град.							
		α	γ	α_1	γ_1	φ	φ_1	β	λ
Т15К6	1	5	5	5	10	90	45	80	0
	2	5	15	5	10	90	45	75	0

Станок модели: 1А625.

Обрабатываемый материал: прокат из стали 20 диаметром 50 мм.

Таблица 6.7

Уровни варьирования факторов

Уровни факторов	X_2	X_1		X_3
	γ, рад	n, мин$^{-1}$	V, м/мин	a, мм
–1	5	500	75	0,05
+1	15	750	118	015

Таблица 6.8

Матрица планирования экспериментов

Номер опыта	γ, рад X_1 (V)	V, м/мин X_2 (γ)	a, мм X_3 (a)	K			
				K_{l_1}	K_{l_2}	K_{l_3}	$K_{l_{ср}}$
1	+1	+1	+1	2,1	2,16	2,13	2,134
2	+1	+1	–1	2,7	2,52	2,61	2,526
3	+1	–1	+1	2,4	2,28	2,34	2,394
4	+1	–1	–1	2,7	2,88	2,79	2,786
5	–1	+1	+1	2,0	1,9	1,95	1,914
6	–1	+1	–1	2,3	2,1	2,2	2,306
7	–1	–1	+1	2,25	2,17	2,21	2,174
8	–1	–1	–1	2,65	2,55	2,6	2,566

Экспериментальные значения K_l заносим в таблицу и рассчитываем коэффициенты пропорциональности по формулам (6.10), (6.11):

$$b_0 = 2{,}35;\ b_1 = 0{,}11;\ b_2 = -0{,}13;\ b_3 = -1{,}196.$$

Дисперсия воспроизводимости $S_в^2$ рассчитывается по формуле (6.12):

$$S_в^2 = 0{,}0746.$$

Значимость каждого коэффициента b_i оценивается с помощью критерия Стьюдента $t(p, m)$ (см. табл. 6.4).

Доверительный интервал b_i-го коэффициента определяется по формуле (6.13):

$$\Delta b_i = 3{,}182\frac{0{,}0746}{\sqrt{2\cdot 8}} = 0{,}0594.$$

Условие $|b_i| > |\Delta b_i|$ выполняется для всех коэффициентов, следовательно, все коэффициенты считаются значимыми.

Получим модель вида:

$$K_l = 2{,}35 + 0{,}11X_1 - 0{,}13X_2 - 0{,}196X_3.$$

Для оценки адекватности полученной модели необходимо рассчитать дисперсию адекватности модели S_0^2:

$$S_0^2 = 0{,}4395.$$

Затем рассчитывается значение критерия Фишера $F_н$ по формуле (6.15):

$$F_н = \frac{0{,}4395}{0{,}0746} = 5{,}891.$$

Критическое значение критерия Фишера $F_н$ определяется по табл. 6.5, $F_к = 16{,}45$.

$F_н < F_к$, следовательно, модель адекватна.

Подставляя кодированные значения (6.6) в (6.12), получим действительную модель вида:

$$K_l = 2{,}508 + 0{,}051V + 0{,}026\gamma + 3{,}92a.$$

Выводы по работе

Дать оценку влияния на коэффициент усадки скорости резания V, переднего угла резца γ, толщины срезаемого слоя a.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Методические указания.
4. Характеристика объекта лабораторной работы.
5. Порядок выполнения работы.
6. Экспериментальная часть.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Как влияет нарост на процесс резания?
2. Какие типы стружек существуют и каковы условия их образования?
3. Что представляет собой явление усадки и каковы его причины?
4. Что называется шириной и толщиной поперечного сечения среза?

5. Что такое коэффициент усадки и что он характеризует?

6. Какова сущность методов определения коэффициента усадки?

7. Как влияют на коэффициент усадки изменение переднего угла, скорости резания, толщины среза, применение СОТС, физико-механические свойства обрабатываемого материала?

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы – ознакомиться с методами определения обрабатываемости различных материалов деталей и определить коэффициенты обрабатываемости.

Краткие теоретические сведения

Возрастание производительности труда и повышение качества выпускаемой продукции во многом зависят от того, насколько правильно определены условия обработки детали. Среди множества факторов, влияющих на эти условия, важное место занимает способность материала детали поддаваться обработке режущими инструментами, которую обычно называют обрабатываемостью.

Обрабатываемость материала является совокупностью многих его технологических свойств, воздействующих на различные стороны процесса резания. С практической точки зрения наибольший интерес представляют следующие показатели обрабатываемости:

– **интенсивность изнашивания рабочих поверхностей инструмента** при обработке данного металла, определяющая уровень скорости резания, с которой целесообразно работать, и находящаяся в тесной связи с производительностью и себестоимостью обработки;

– **качество окончательно обработанной поверхности детали,** которое характеризуется шероховатостью поверхности, точностью размеров и формы детали, остаточными напряжениями в поверхностном слое детали и т.д.;

– **величина силы резания,** по которой можно определить прочность и жесткость отдельных деталей станка, деформации инструмента и детали, мощность, расходуемую на резание;

– **характер образования, форма и легкость отвода стружки,** играющие важную роль при таких операциях, как глубокое сверление, нарезание резьб в глухих отверстиях, работа на токарных автоматах и т.д.

В зависимости от особенностей операции выбирается наиболее важная характеристика обрабатываемости, но во всех случаях, прямо или косвенно, эти характеристики связаны с интенсивностью затупления инструмента, которая определяется уровнем скорости резания.

Таким образом, в большинстве случаев обрабатываемость металла определяется путем нахождения зависимости $T = f(V)$ при прочих параметрах процесса резания, близких к оптимальным, т.е. обеспечивающих требования к качеству и стоимости детали.

Среди факторов, влияющих на функцию $T = f(U)$, можно выделить: изменение физической природы изнашивания по мере возрастания скорости резания; изменение твердости и прочности инструментального материала по мере возрастания скорости резания; возникновение вибраций в определенных диапазонах условий резания и вследствие этого падение стойкости; образование нароста, которое происходит наиболее бурно при малых скоростях резания и резко снижает стойкость инструмента; снижение допускаемых величин износа при многоинструментальной обработке и снижение в связи с этим показателя степени; преждевременное снятие работоспособных инструментов одновременно с изношенными (организационно-техническая причина).

Анализ зависимостей $T = f(V)$ приводит к выводу, что для каждого вида обработки, обрабатываемого и инструментального материалов существует максимально достижимое, предельное значение стойкости $T_{пр}$. Ориентировочные значения $T_{пр}$ для резцов по данным автомобильной промышленности приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Предельные значения стойкости резцов

Обрабатываемый материал	Материал режущей части резца	$T_{пр}$, мин
Сталь	Быстрорежущая сталь	1500
Чугун		1000
Сталь	Твердый сплав	600
Чугун		1500

Общепринятой количественной характеристикой обрабатываемости материалов резанием является скорость резания V_T, соответствующая определенному периоду стойкости инструмента T и другим стандартным условиям испытания (глубина резания, подача, геометрия режущей части инструмента). Кроме того, часто анализируются возможность получения требуемых параметров шероховатости обработанной поверхности, характер образующейся стружки (степень ее дробимости) и сила резания. Для сравнения обрабатываемости различных материалов резанием один из самых распространенных материалов

принимается за эталон. Тогда относительная обрабатываемость любого другого *i*-го материала выражается отношением $V_{i\text{м}}/V_{\text{эт}}$.

Для определения показателя обрабатываемости резанием необходимо экспериментально определить параметры математической модели, которая описывает семейство кривых износа *h* инструмента в зависимости от продолжительности *t* и скорости υ резания:

$$h = CV^m t^{\lambda}, \tag{7.1}$$

где *C*, *m*, λ – искомые параметры; *h* – накопленный за время *t* износ задней поверхности инструмента (рис. 7.1).

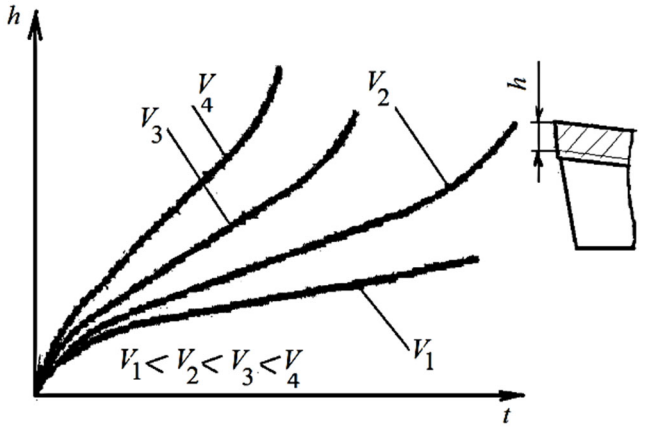


Рис. 7.1. Типовая зависимость износа инструмента
от продолжительности работы и скорости резания

При заданных стандартных значениях допустимого износа $h_{\text{д}}$ (табл. 7.2) и выбранном $t = T$, где *T* – принятый период стойкости:

$$V_T = \left[\frac{h_{\text{д}}}{CT^{\lambda}}\right]^{\frac{1}{m}}. \tag{7.2}$$

Таблица 7.2

Допустимый износ задней поверхности резца $h_{\text{д}}$

Материал режущей части	Вид обработки	Допустимый износ по задней поверхности $h_{\text{д}}$
Твердый сплав	Обдирка	0,75
Твердый сплав	Чистовая обработка	0,25–0,4
Быстрорежущая сталь	Обдирка	1,5
Быстрорежущая сталь	Чистовая обработка	0,25–0,4
Минералокерамика	Обдирка и чистовая обработка	0,25–0,4

Такие уравнения получили широкое распространение и приняты для расчетов во всех изданиях общемашиностроительных нормативов по режимам резания.

Существуют различные методы определения обрабатываемости. Классический метод заключается в определении зависимостей $T = f(V)$ для различных материалов. Путем измерения износа резца через небольшие промежутки времени, задавшись определенным периодом стойкости T, можно найти соответствующие ему скорости резания V_{T1}, V_{T2} и определить ***коэффициент обрабатываемости***:

$$k_0 = \frac{V_1}{V_{T_э}}. \qquad (7.3)$$

Классический метод наиболее точно и объективно отражает влияние обрабатываемого материала на интенсивность износа инструмента, однако он очень трудоемок и требует большого расхода обрабатываемого материала и инструмента. Поэтому в настоящее время разработаны ускоренные методы определения обрабатываемости. Рассмотрим некоторые из них.

Метод торцевого точения

При подрезании торца скорость резания изменяется по линейному закону (рис. 7.2).

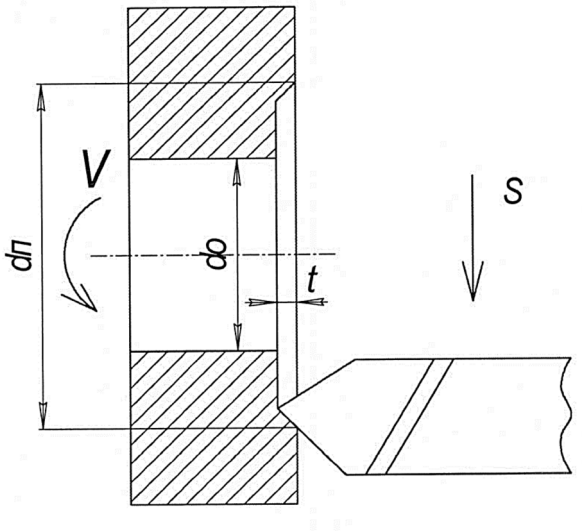


Рис. 7.2. Схема торцевого точения

Если подрезание начинается от относительно малого диаметра и проводится по направлению от центра детали, то закон изменения скорости

$$V = \frac{2\pi n^2 st}{1000}, \tag{7.4}$$

где n – частота вращения шпинделя, мин$^{-1}$; s – подача, мм/об; t – продолжительность резания, мин.

Время, в течение которого будет подрезан торец:

$$t = \frac{d}{2ns}, \tag{7.5}$$

где d – максимальный диаметр заготовки, мм.

Износ, накопленный за время K подрезаний, определяется по зависимости

$$h' = \frac{C}{m+\lambda}\left(\frac{2\pi n^2 s}{1000}\right)^m \cdot \left(\frac{d}{2ns}\right)^{m+\lambda}. \tag{7.6}$$

Эксперимент включает три этапа, в каждом из которых с постоянной глубиной резания K раз подрезается торец заготовки. На первом этапе обрабатывается заготовка диаметром d_1 при частоте вращения n_1, на втором – диаметром d_2 при той же частоте вращения. На третьем этапе обрабатывается заготовка диаметром d_1 при частоте вращения n_2 ($d_2 = 2d_1$ и $n_2 = 2n_1$). Максимальная частота вращения заготовки n_2 выбирается в зависимости от заданной максимальной скорости резания $V_{\max}$.

После каждого этапа измеряется накопленный износ резца по задней грани − h_1, h_2 и h_3 соответственно. Искомые параметры модели (7.1) можно вычислить по формулам:

$$m = 0,5\left(1+\alpha\beta\right)/\alpha;\ \ \lambda = 0,5\left(1-\alpha\beta\right)/\alpha; \tag{7.7}$$

$$\alpha = 0,91\ln\left(\frac{h_2}{h_1}\right);\ \beta = \frac{1,443}{\alpha}\ln\frac{h_3 - h_2}{h_1}; \tag{7.8}$$

$$C = \frac{h_1}{B} n_1^{-\beta}\left(Kd_1\right)^{-1/\alpha};\ B = \left(\frac{\pi}{1000}\right)^m \cdot \left(\frac{1}{2s}\right)^{\lambda}. \tag{7.9}$$

Метод ступенчатого изменения скорости резания

Данный метод удобно применять в производственных условиях при обработке партий одинаковых заготовок с постоянной длиной обработки L, глубиной резания a и подачей s. Скорость резания ступенчато изменяется от минимальной V_1 до максимальной при переключении коробки скоростей станка:

$$V_i = V_1 \varphi^{i-1}, \tag{7.10}$$

где i – порядковый номер ступени; φ – знаменатель ряда геометрической прогрессии.

Износ инструмента за время обработки одной детали при условии, что после обработки каждой из предшествующих деталей скорость резания, начиная с наименьшей, повышалась на одну ступень:

$$h_i^{\beta} - h_{i-1}^{\beta} = C^{\beta} V_1^{\alpha} t_1 \varphi^{(i-1)\cdot(a-1)}, \tag{7.11}$$

где t – порядковый номер детали; $\beta = 1/\lambda$; $\alpha = m/\lambda$; t − продолжительность обработки первой детали.

Накопленный износ после обработки i деталей с последовательным повышением скорости определяется следующим образом:

$$h_i^{\beta} = C^{\beta} V_1^{\alpha} t_1 \frac{\varphi^{i\cdot(a-1)} - 1}{\varphi^{(a-1)} - 1}. \tag{7.12}$$

Предположим, что исследуемый диапазон скоростей обеспечивается за счет $2k$ ступеней. Тогда партия из N обрабатываемых деталей, где $N = k\cdot(6k_1 + k_2)$, разбивается на три части: $N_1 = N_2 = 3kk_1$, и $N_3 = kk_2$. После обработки каждой части партии деталей измеряется накопленный износ h_1, h_2 и h_3. Изменение скорости резания при обработке первых N_1 деталей производится в следующем порядке: сначала обрабатывается k деталей с последовательным увеличением скорости от V_1 до V_k, а затем $2k$ деталей с последовательным увеличением скорости после обработки каждой детали от V_1 до V_{2k}. Этот цикл повторяется k_1 раз. Аналогично обрабатывается вторая часть партии с числом деталей N_2. Число k_i подбирается так, чтобы после обработки $N_1 + N_2$ деталей накопленный износ достиг 60–70 % допустимого. При обработке третьей части партии обрабатывается k деталей с последовательным увеличением скорости от V_1 до V_k; данный цикл повторяется k_2 раз.

Искомые параметры определяются по формулам:

$$\lambda = 3{,}332 \lg\left(\frac{h_2}{h_1}\right); m = \lg\frac{A}{k \lg \varphi} + 1; \ \alpha = \frac{m}{\lambda}; \tag{7.13}$$

$$C = \frac{h_2}{\upsilon_1^{m-\lambda}} \left(\frac{1000 sU}{2k_1 \pi dL}\right)^{\lambda}; A = \left(\frac{k_2}{2k_1}\right)\left(\frac{h_2^{\beta}}{h_3^{\beta} - h_2^{\beta}}\right) - 2; \tag{7.14}$$

$$U = \frac{\varphi^{\alpha-1} - 1}{\varphi^{2k\cdot(\alpha-1)} + \varphi^{k\cdot(\alpha-1)} - 2}, \qquad (7.15)$$

где d – диаметр заготовки, мм.

Методика выполнения работы

Лабораторное оборудование: токарно-винторезный станок, заготовка, проходные упорные резцы, микрометр со специальными насадками.

Исходные данные: диаметр вала, материал заготовки, модель токарного станка.

Параметры резца свести в табл. 7.3–7.5.

Характеристика объекта лабораторной работы

Объектами лабораторной работы являются методы определения обрабатываемости резанием.

Порядок выполнения работы

1. Изучить методы определения обрабатываемости резанием.
2. Провести обработку детали в соответствии с заданием.
3. Обработать экспериментальные данные и свести результаты в таблицы отчета.

Экспериментальная часть

Таблица 7.3

Параметры станка

Токарно-винторезный станок модели	
Ряд подач s, мм/об	
Ряд частот вращения шпинделя n, мин$^{-1}$	

Таблица 7.4

Характеристика заготовки

Материал заготовки	Твердость, НВ	Предел прочности $\sigma_в$, МПа	Диаметр заготовки d, мм

Таблица 7.5

Параметры резца

Материал режущей части резца	Стойкость *T*, мин	Углы резца, град							
		α	γ	α_1	γ_1	φ	φ_1	β	λ

Обрабатываемость резанием будем оценивать по методике торцевого точения. Исходные данные и результаты испытаний заносятся в табл. 7.6. Эксперимент проводим в два этапа:

– определяем обрабатываемость эталонного материала (сталь 45, ГОСТ 1050–88);

– определяем обрабатываемость исследуемого материала;

– рассчитываем коэффициент обрабатываемости исследуемого материала, промежуточные данные и результаты расчета сводим в табл. 7.7.

Для расчета используем зависимости (7.1) – (7.9).

Таблица 7.6

Результаты эксперимента

Номер опыта	*n*, мин$^{-1}$	*V*, м/мин	*S*, мм/об	*d*, мм	*t*, мм	h_i, мм

Таблица 7.7

Результаты расчета коэффициента обрабатываемости

	α	β	*B*	*C*	*m*	λ	*VT*	*K*o
Эталон								
Образец								

Выводы по работе

Сравнить обрабатываемости исследуемых материалов деталей и эталонного материала по коэффициенту обрабатываемости.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Методика выполнения работы.

4. Характеристика объекта лабораторной работы.
5. Порядок выполнения работы.
6. Экспериментальная часть.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое обрабатываемость?
2. Перечислите основные показатели обрабатываемости.
3. Какими методами определяется обрабатываемость?
4. В чем заключаются ускоренные методы определения обрабатываемости?
5. В чем сущность метода торцевого точения?
6. Как влияют на показатели обрабатываемости физико-механические свойства обрабатываемого материала?
7. Как влияет на показатели обрабатываемости структура обрабатываемого материла?

Лабораторная работа № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

Цель работы – приобрести практические навыки по назначению оптимальных режимов резания для токарной обработки при наложении ряда ограничений.

Краткие теоретические сведения

Качественными показателями при обработке резанием являются шероховатость поверхности и точность получаемых размеров заготовки.

Возникновение неровностей при точении определяется геометрическими причинами образования шероховатости, физико-механическими свойствами обрабатываемого материала, режимами резания и вибрациями в технологической системе.

За один оборот заготовки резец перемещается на величину подачи S, мм/об. При этом на обработанной поверхности остается часть металла, не снятая резцом и образующая остаточный гребешок. Величина и форма неровностей поверхности, состоящих из остаточных гребешков, определяются подачей и формой режущего инструмента. Например, при уменьшении подачи высота неровностей снижается.

Изменение главного φ и вспомогательного φ_1 угла в плане оказывает влияние не только на высоту, но и на форму неровностей поверхности. При использовании резцов с закругленной вершиной достаточно большого радиуса r вершины неровностей становятся соответственно также закругленными. При этом увеличение радиуса закругления вершины резца r приводит к уменьшению высоты неровностей (показателя Ra). Следовательно, при чистовой обработке целесообразно пользоваться проходными резцами с малыми значениями углов φ, φ_1, не следует без особой необходимости применять подрезные резцы. Для уменьшения шероховатости поверхности следует проводить доводку поверхностей режущих инструментов, что приводит к повышению их стойкости.

При обработке резанием пластичных материалов поверхностный слой претерпевает пластическую деформацию, в результате

которой значительно изменяются размеры и форма неровностей поверхности заготовки (обычно шероховатость при этом увеличивается).

При обработке хрупких материалов наблюдается вырывание отдельных частиц металла, что ведет к увеличению высоты и изменению формы неровностей.

На шероховатость обрабатываемой поверхности большое влияние оказывает нарост на передней поверхности резца. При скорости резания 20–40 м/мин нарост наиболее велик и устойчив. В зоне скоростей более 70 м/мин, при которых нарост не образуется, шероховатость поверхности будет минимальной.

Лучшее качество поверхности достигается после нормализации и отпуска заготовки, при этом материал имеет однородную и мелкозернистую структуру. Известно, что с увеличением твердости обрабатываемого материала шероховатость снижается.

Скорость резания является одним из наиболее существенных факторов, влияющих на развитие пластических деформаций, при точении. Малые скорости резания углеродистых конструкционных сталей порядка 1 м/мин приводят к сравнительно небольшому повышению температуры и способствуют образованию элементарной стружки. При этом отделение стружки происходит легко и без заметных деформаций верхнего слоя. Неровности на обработанной поверхности незначительны.

Подача – один из основных элементов резания, оказывающий большое влияние на шероховатость, что связано не только с геометрическими причинами, но и в значительной степени обусловлено пластическими и упругими деформациями в поверхностном слое.

Резание металлов осуществляется инструментом, лезвие которого всегда имеет радиус округления, поэтому минимальная толщина срезаемого слоя t является критичной, при которой происходит только пластическая и упругая деформация металла округленной поверхностью лезвия инструмента и не происходит удаления срезаемого слоя. В итоге это приводит к увеличению высоты неровностей.

Химический состав материала заготовки, отражающегося на его вязкости, в свою очередь влияет на величину шероховатости поверхности.

Применение смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), предотвращающих схватывание, уменьшающих трение и облегчающих процесс стружкообразования, способствует снижению высоты неровностей поверхности.

В процессе резания возникают вынужденные колебания системы: станок – заготовка – инструмент, вызываемые действием внешних сил, и автоколебания системы, появление которых связано с периодическим упрочнением (наклепом) срезаемого слоя металла и изменением условий трения или резания. Вынужденные колебания системы обусловливаются дефектами отдельных механизмов станка (неточностью зубчатых передач, плохой балансировкой вращающихся частей и т.д.), являющихся причинами неравномерности их движения. Вибрации лезвия инструмента являются дополнительным источником увеличения шероховатости обработанной поверхности.

Высота неровностей поверхности будет тем значительнее, чем больше удвоенная амплитуда колебания лезвия инструмента относительно обрабатываемой поверхности.

Большое влияние на шероховатость и точность поверхности оказывает состояние станка. Новые и хорошо отрегулированные станки, установленные на массивных фундаментах или на виброопорах, хорошо изолированные от вибраций другого оборудования, обеспечивают минимальную шероховатость и высокую точность.

На показатели шероховатости оказывает большое влияние жесткость приспособления и обрабатываемой заготовки.

Методика выполнения работы

Лабораторное оборудование: токарно-винторезный станок, заготовки, резцы токарные, профилометр.

В табл. 8.1 занести параметры средств измерений.

Таблица 8.1

Характеристики средств измерения

Наименование, тип	Цена деления шкалы, мкм	Диапазон измерений, мкм

Перед выполнением экспериментальной части проводят теоретический расчет оптимальных режимов резания чистового точения жестких валов (подача S, мм/об; глубина резания t, мм; частота вращения шпинделя n, мин$^{-1}$) по приведенной ниже методике.

Исходные данные: диаметр вала, материал заготовки, марка токарного станка, параметры резца.

Данные сведены в табл. 8.2–8.4.

Таблица 8.2

Параметры станка

Токарно-винторезный станок марки	
Ряд подач, мм/об	
Ряд чисел оборотов шпинделя, мин$^{-1}$	
Жесткость станка, кН/мм	
Мощность электродвигателя, кВт	
КПД привода	

Таблица 8.3

Характеристика заготовки

Материал заготовки	Твердость, НВ	Предел прочности $\sigma_в$, МПа	Диаметр заготовки d, мм

Таблица 8.4

Параметры резца

Материал режущей части резца	Стойкость T, мин	Углы резца, град								Радиус при вершине r, мм
		α	γ	α_1	γ_1	φ	φ_1	β	λ	

Определение ***оптимальных режимов резания*** основывается на построении математических моделей при заданных *технических ограничениях*, которые в наибольшей степени определяют описываемый процесс и оценочную функцию (критерий оптимальности).

Для процессов точения, фрезерования, сверления можно выделить следующие ***технические ограничения***:

– режущие возможности инструмента (его стойкость);

– мощность электродвигателя станка;

– наименьшая и наибольшая скорость резания (частота вращения шпинделя и подача);

– прочность и жесткость режущего инструмента;

– точность обработки;

– шероховатость обработанной поверхности.

В качестве *оценочной функции* обычно используют минимальную себестоимость:

$$F_{\min} = \frac{c}{(nS)}, \tag{8.1}$$

где c – эмпирический коэффициент; n и S – режимы резания.

Можно увидеть, что $F_{\min}$ будет наименьшей, когда произведение nS будет максимальным.

Для расчета оптимальных режимов резания при наружном продольном точении примем следующие технические ограничения:

1) ***ограничение по стойкости резца***

$$nS^{y} \le T', \tag{8.2}$$

где

$$T' = \frac{318 C_V K_V}{T^m t^x d}, \tag{8.3}$$

где T – стойкость инструмента при одноинструментальной обработке 30–60 мин.

Коэффициент K_V является произведением коэффициентов, учитывающих влияние материала заготовки $K_{мV}$ (табл. 8.5, 8.6), состояние поверхности $K_{пV}$ (табл. 8.7), материала инструмента $K_{иV}$ (табл. 8.8); значения CV, m, x, y выбираем из табл. 8.9.

Таблица 8.5

Поправочный коэффициент $K_{мV}$, учитывающий влияние физико-механических свойств материала

Обрабатываемый материал	Расчетная формула
Сталь	$K_{мV} = K_г \left(\frac{750}{\sigma_в} \right)^{n_V}$
Серый чугун	$K_{мV} = \left(\frac{190}{НВ} \right)^{n_V}$
Коэффициент K_r, характеризующий группу стали по обрабатываемости, и показатель степени n_V (см. табл. 8.6).	

Таблица 8.6

Коэффициент K_r, характеризующий группу стали по обрабатываемости, и показатель степени nV

Обрабатываемый материал			Коэффициент K_r для материала инструмента		Показатель степени nV для материала инструмента	
			из быстрорежущей стали	из твердого сплава	из быстрорежущей стали	из твердого сплава
	Углеродистая сталь ($C \leq$ 0,6 %), $\sigma_в$, МПа	<450	1,0	1,0	–1,0	1,0
		450–550	1,0	1,0	1,75	
		>550	1,0	1,0	1,75	
	повышенной и высокой обрабатываемости резанием хромистая		0,85	0,95	1,75	
	углеродистая (C > 0,6%)		0,8	0,9	1,5	
	Хромоникелевая, хромомолибденованадиевая		0,7	0,8	1,257	
	Хромомарганцовистая					
	Хромомолибденовая		0,8	0,85	1,25	
	Быстрорежущая		0,6	0,7	1,25	
	Серый чугун		–	–	1,7	1,25

Таблица 8.7

Поправочный коэффициент $K_{пV}$, учитывающий состояние поверхности заготовки

Состояние поверхности заготовки				
без корки	с коркой			
	прокат	поковка	отливка при корке	
			нормальной	сильно загрязненной
1,0	0,9	0,8	0,8–0,85	0,5–0,6

Таблица 8.8

Коэффициент $K_{иV}$, учитывающий материал инструмента

Обрабатываемый материал	Значения коэффициента $K_{иV}$						
Сталь конструкционная	Т5К12В	Т5К10	Т14К8	Т15К6	Т15К8	Т30К4	ВК8
	0,35	0,65	0,8	1,00	1,15	1,4	0,4
	Р6М5	ВК4	ВК6	9ХС	ХВГ	У12А	
	1,0	2,5	2,7	0,6	0,6	0,5	
Серый чугун	ВК8	ВК6		ВК4	ВК3		
	0,83	1,0		1.1	1,15		

Таблица 8.9

Значения коэффициента *CV* и показателей степени *m*, *x*, *y*

Вид обработки	Материал режущей части	Характеристика подачи	Коэффициент и показатели степени			
			C_υ	x	y	m
Обработка конструкционной углеродистой стали $\sigma_в$ = 750 МПа						
Наружное продольное точение проходными резцами	Т15К6*	S до 0,3	420	0,15	0,20	0,20
		S св. 0,3 до 0,7	350		0,350	
		$S > 0,7$	340		0,45	
То же резцами с дополнительным лезвием	Т15К6*	$S \le t$	292	0,30	0.15	0,18
		$S > t$		0,15	0,13	
Отрезание	Т15К6*	–	47	–	0,80	0,2
	Р18**		23,7		0,66	0,25
Обработка серого чугуна 190 НВ						
Наружное продольное точение проходными резцами	ВК6*	$S \le 0,4$	292	0.15	0,20	0,20
		$S > 0,4$	243		0,40	
То же резцами с дополнительным лезвием	ВК6**	$S \le t$	324	0,4	0,2	0,28
		$S > t$	324	0,2	0,4	
Отрезание	ВК6*	–	68,5	–	0,4	0,2

Примечания: * без охлаждения;** с охлаждением.
1. Подача *S*, мм/об.
2. При обработке без охлаждения конструкционных и жаропрочных сталей и стальных отливок резцами из быстрорежущей стали вводить поправочный коэффициент на скорость резания 0,8.

2) ***ограничение по шероховатости поверхности***:

$$n^{-k_3} S^{k_1} \le Ra', \tag{8.4}$$

где

$$Ra' = \frac{Ra\left(1000\right)^{-k_3}}{k_0 (\pi d)^{-k_3} r^{k_2} \left(90 + \gamma\right)^{k_4}},$$

где Ra – требуемая шероховатость поверхности, мкм; S – подача, мм/об; γ – главный передний угол, град; r – радиус при вершине резца, мм; k_0, k_1, k_2, k_3, k_4 – эмпирические коэффициенты (табл. 8.10);

Таблица 8.10

Коэффициенты при получистовом и чистовом точении

Сталь	k_0	k_1	k_2	k_3	k_4
Ст3	0,01	0,65	0,6	0,5	1,9
20	41,8	0,75	0,55	0,38	0,25
45	7,0	0,85	0,65	0,36	0,15
70	5,8	1,1	0,68	0,15	0,45

3) ***ограничение по мощности станка***

$$n^{n_p+1} S^{y_p} \le N', \tag{8.4}$$

где

$$N' = \frac{6120 \cdot (1000)^{n_p+1} N\eta}{C_p t^{x_p} d^{n_p+1} \pi^{n_p+1} K_p};$$

N – мощность электродвигателя станка, кВт; η – КПД привода; C_p, n_p, y_p, x_p – эмпирические коэффициенты (табл. 8.11); коэффициент K_p является произведением коэффициентов, учитывающих влияние материала заготовки $K_{мр}$ (табл. 8.12, 8.13), геометрических параметров резца $K_{\varphi p}$, $K_{\gamma p}$, $K_{\lambda p}$, K_{rp}, (табл. 8.14).

Таблица 8.11

Значения коэффициента C_p и показателей степени n_p, x_p, y_p

Вид обработки	Материал режущей части резца	Коэффициент и показатели степени			
		C_p	x_p	y_p	n_p
Обработка конструкционной углеродистой стали $\sigma_в$ = 750 МПа					
Наружное продольное точение проходными резцами	Т15К6	300	1	0,75	–0,15
То же резцами с дополнительным лезвием	Т15К6	384	0,9	0,9	
Отрезание	Т15К6	408	0,72	0,8	0
	Р18	247	1,0	1,0	
Обработка серого чугуна 190 НВ					
Наружное продольное точение проходными резцами	ВК6	92	1,0	0,75	0
То же резцами с дополнительным лезвием	ВК6	123		0,85	
Отрезание	Р18	158		1,0	

Таблица 8.12

Поправочный коэффициент $K_{мр}$, учитывающий влияние физико-механических свойств материала

Обрабатываемый материал	Расчетная формула
Сталь	$K_{мр} = \left(\frac{\sigma_в}{750}\right)^{n_р}$
Серый чугун	$K_{мр} = \left(\frac{НВ}{190}\right)^{n_р}$
Показатель степени $n_р$ (см. табл. 8.13)	

Таблица 8.13

Показатель степени $n_р$

Обрабатываемый материал		Показатель степени $n_р$ для материала инструмента	
		из быстрорежущей стали	из твердого сплава
Сталь конструкционная $\sigma_в$, МПа	≤600	0,35	0,75
	>600	0,75	
Чугун серый		0,55	0,4

Таблица 8.14

Поправочные коэффициенты, учитывающие влияние геометрических параметров инструмента на составляющие силы резания

Обозначение поправочного коэффициента	Материал режущей части инструмента	Параметры		Величина коэффициента
		наименование	величина	
1	2	3	4	5
$K_{\varphi р}$	Твердый сплав	Главный угол в плане φ, град	45	1,0
			60	0,94
			90	0,89
	Быстрорежущая сталь		30	1,08
			45	1,0
			60	0,98
			90	1,08
$K_{\gamma р}$	Твердый сплав	Передний угол γ, град	–15	1,25
			0	1,1
			10	1,0
	Быстрорежущая сталь		12–15	1,15
			20–25	1,0

Окончание табл. 8.14

1	2	3	4	5
$K_{\lambda p}$	Твердый сплав	Угол наклона главного лезвия λ, град	–5–15	1,0
K_{rp}	Быстрорежущая сталь	Радиус при вершине резца r, мм	0,5	0,87
			1,0	0,93
			2,0	1,0
			3,0	1,04
			5,0	1,10

4) ***ограничение по максимальному числу оборотов шпинделя***

$$n \le n_{\text{ст. max}}; \tag{8.5}$$

5) ***ограничение по минимальному числу оборотов шпинделя***

$$n \ge n_{\text{ст. min}}; \tag{8.6}$$

6) ***ограничение по максимальной величине подачи***

$$S \le S_{\max}; \tag{8.7}$$

7) ***ограничение по минимальной величине подачи***

$$S \ge S_{\min}. \tag{8.8}$$

Приводим все оценочные функции к линейному виду, логарифмируя их:

$$\ln(n) + y\ln(S) \le \ln T'; \tag{8.9}$$

$$-K_3\ln(n) + K_1\ln(S) \le \ln Ra'; \tag{8.10}$$

$$(n_p + 1)\ln(n) + y_p\ln(S) \le \ln N'; \tag{8.11}$$

$$\ln(n) \le \ln\ (n_{\text{ст. max}}); \tag{8.12}$$

$$\ln(n) \ge \ln\ (n_{\text{ст. min}}); \tag{8.13}$$

$$\ln S \le \ln S_{\max}; \tag{8.14}$$

$$\ln S \ge \ln S_{\min}. \tag{8.15}$$

Вводя обозначения

$$\ln(n) = X_1;\ \ln(100 \cdot S) = X_2, \tag{8.16}$$

получим систему линейных неравенств, а прибавив к ним оценочную функцию, получим математическую модель процесса обработки (умножаем на 100 для того, чтобы значение натурального логарифма не было отрицательным):

$$X_1 + yX_2 \le \ln(T' \cdot 100^{y}); \quad (8.17)$$

$$-K_3 X_1 + K_1 X_2 \le \ln(Ra' \cdot 100^{0,36}); \quad (8.18)$$

$$(n_p + 1) \cdot X_1 + y_p X_2 \le \ln(N' \cdot 100^{y_p}); \quad (8.19)$$

$$X_1 \le \ln(n_{\text{ст.max}}); \quad (8.20)$$

$$X_1 \ge \ln(n_{\text{ст.min}}); \quad (8.21)$$

$$X_2 \le \ln(S_{\max} \cdot 100); \quad (8.22)$$

$$X_2 \ge \ln(S_{\min} \cdot 100); \quad (8.23)$$

$$f_0 = (X_1 + X_2)\ \max. \quad (8.24)$$

Решение этих неравенств позволяет определить рациональные режимы резания:

$$n_{\text{опт}} = ex_{1\text{опт}}; \quad (8.25)$$

$$S_{\text{опт}} = ex_{2\text{опт}}/100. \quad (8.26)$$

Характеристика объекта лабораторной работы

Объектами лабораторной работы являются оптимальные режимы резания при наложении ряда ограничений.

Порядок выполнения работы

1. Изучить методику определения оптимальных режимов резания при точении.
2. Провести оптимизацию режимов резания при заданных условиях и занести результаты в отчет.
3. Получить математическую модель процесса обработки.
4. Выполнить графическое построение математической модели для определения оптимальных режимов резания.
5. Провести обработку детали в соответствии с заданием.
6. Обработать экспериментальные данные и свести результаты в таблицы отчета.
7. Измерить шероховатость детали и сравнить ее с заданной.

Экспериментальная часть

Исходя из паспортных данных станка назначаем реальные значения режимов резания и заносим их в табл. 8.15.

Таблица 8.15

Оптимальные режимы резания

Частота вращения шпинделя n, мин$^{-1}$	Подача S, мм/об	Глубина резания t, мм

Выполнив теоретический расчет, переходим к проведению экспериментальной части. Установив в патрон станка заготовку, обрабатываем ее, установив расчетные режимы резания.

Затем проводим измерение шероховатости поверхности $R_{изм}$ и сравниваем с заданной величиной Ra. Результаты измерений заносим в табл. 8.16. Делаем вывод об оптимальности назначенных режимов резания исходя из условия: $Ra_{изм} \leq Ra$.

Таблица 8.16

Параметры шероховатости детали

Заданный параметр шероховатости, Ra, мкм	Измеренный параметр шероховатости $Ra_{изм.}$, мкм

Выводы по работе

Сделать выводы об оптимальности назначенных режимов резания.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Методика выполнения работы.
4. Характеристика объекта лабораторной работы.
5. Порядок выполнения работы.
6. Экспериментальная часть.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается задача выбора оптимальных режимов резания?

2. Каковы характерные ограничения для чистовой и черновой обработки?

3. В чем смысл технических ограничений, накладываемых на режимы резания?

4. Что собой представляет многоугольник решений?

5. Как графически определить оптимальный вариант режима резания?

Пример расчета

Задание. Определить оптимальные режимы получистового точения вала диаметром 40 мм из стали 45 ($\sigma_в$ = 610 МПа, 241НВ) для получения среднеарифметического отклонения профиля *Ra* = 3,2 мкм на станке 16К20 (*N* = 11кВт; *n* = 12,5–1600 мин$^{-1}$; *S* = 0,05–2,8 мм/об; КПД привода η = 0,85) проходным резцом с режущей частью из твердого сплава Т15К6 с геометрическими параметрами: $\varphi = 45°$, $\gamma = 0°$, $\lambda = 0°$, *r* = 0,5 мм.

С учетом уравнений (8.2)–(8.8) получим следующие неравенства:

1) ограничение по стойкости инструмента:

$$T' = \frac{318 \cdot 350 \cdot 1,23 \cdot 1 \cdot 1}{60^{0,2} \cdot 0,5^{0,15} \cdot 40} = 1673,8;$$

$$nS^{0,35} \le 1673,8;$$

2) ограничение по мощности станка:

$$N' = \frac{6120 \cdot (1000)^{-0,15+1} \cdot 11 \cdot 0,85}{300 \cdot 0,5^{1} \cdot 40^{-0,15+1} \cdot \pi^{-0,15+1} \left(\frac{610}{750}\right) \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 0,93} = 2673;$$

$$n^{-0,15+1} S^{0,75} \le 2673;$$

3) ограничение по шероховатости поверхности:

$$Ra' = \frac{2,5 \cdot (1000)^{-0,36}}{7(\pi \cdot 40)^{-0,36} \cdot 0,5^{0,65} \cdot (90+0)^{0,15}} = 0,054;$$

$$n^{-0,36} S^{0,85} \le 0,054;$$

4) ограничение по максимальному числу оборотов шпинделя:

$$n \le 1600;$$

5) ограничение по минимальному числу оборотов шпинделя:

$$n \ge 12,5;$$

6) ограничение по максимальной величине подачи:

$$S \le 2,8;$$

7) ограничение по минимальной величине подачи:

$$S \ge 0,05.$$

Логарифмируя с учетом (8.16) и вводя оценочную функцию (8.24), получим:

$$X_1 + 0,35X_2 \le 9,03;$$

$$0,85X_1 + 0,75X_2 \le 11,3;$$

$$-0,36X_1 + 0,85X_2 \le 0,99;$$

$$X_1 \le 7,3;$$

$$X_1 \ge 2,5;$$

$$X_2 \le 5,6;$$

$$X_2 \ge 1,6;$$

$$f_0 = (X_1 + X_2) \max.$$

Решаем систему уравнений *графическим методом*.
Строим графики функций (рис. 8.1).

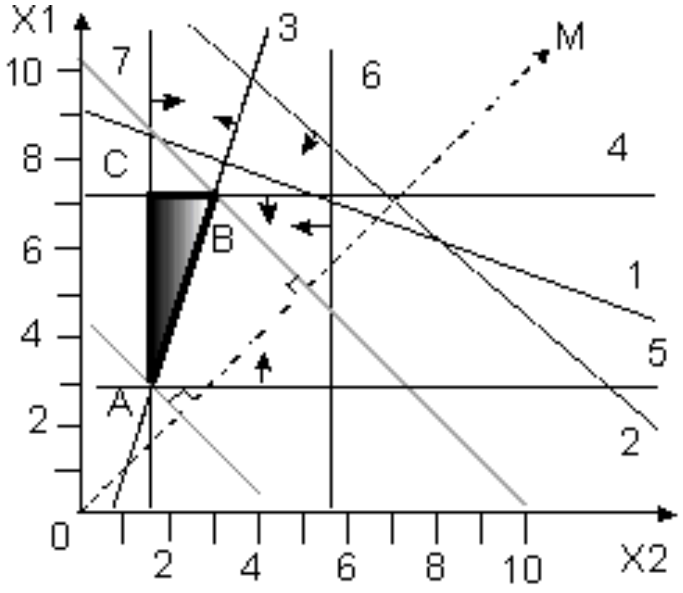


Рис. 8.1. Графическое построение математической модели определения оптимальных режимов резания

Граничные прямые, пересекаясь, образуют многоугольник решений *ABC*, внутри которого любая точка удовлетворяет всем

неравенствам. Для определения оптимальных значений $X_{1опт}$ и $X_{2опт}$ под углом 45° к осям X_1 и X_2 строится вектор максимизации $f_0 = X_1 + X_2$, который изображается прямой, перпендикулярной этому вектору. В точке B, где прямая оценочной функции коснется многоугольника решений, функция примет максимальное значение, а в точке A – минимальное. Координаты точки B являются оптимальными значениями $X_{1опт}$ и $X_{2опт.}$ Они определяются графически с учетом принятого масштаба.

$X_{1опт} = 7{,}3$; $X_{2опт} = 3{,}2$.

С учетом (8.25), (8.26) оптимальные режимы резания равны

$n_{опт} = e7{,}3 = 1600$ мин$^{-1}$;

$S_{опт} = e3{,}2/100 = 0{,}24$ мм/об.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аршинов В. А., Алексеев Г. А. Резание металлов и режущий инструмент. М. : Машиностроение, 1976. 440 с.

2. Коженкова Т. И., Фельдштейн Е. Э. Лабораторные работы по резанию металлов. Минск : Вышэйш. шк., 1985. 176 с.

3. Дорофеев В. Д., Соколов В. О., Пунчик А. Б., Романов В. М. Резание металлов : лаб. практикум. Пенза : Пенз. политех. ин-т, 1987. 76 с.

4. Третьяков И. И., Аршинов В. А., Киселев Н. Ф. [и др.]. Лабораторные работы по курсу «Резание металлов». М. : Машиностроение, 1965. 57с.

5. Григорьев В. С., Нестеров С. А., Игнатов В. Б. [и др.]. Резание материалов : метод. указания к лаб. работам. Пенза : Изд-во ПГУ, 2002. Ч. I, II. 120 с.

6. Григорьев С. Н., Маслов А. Р. Обработка резанием в автоматизированном производстве : учеб. пособие. М. : Машиностроение, 2008. 372 с.

7. Григорьев С. Н., Схиртладзе А. Г., Скрябин В. А. [и др.]. Резание материалов : учебник. Пенза : Приволжский дом знаний, 2012. 356 с.

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

9. Каштальян И. А., Клевзович В. И. Обработка на станках с числовым программным управлением : справ. пособие. Минск : Вышэйш. шк., 1997. 271 с.

10. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Ч. I: Нормативы времени. Центральное бюро нормативов по труду. М. : Экономика, 1990. 208 с.

11. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Суслова. 5-е изд., испр. М. : Машиностроение, 2003. 944 с.

12. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. 2-е изд., испр. М. : Машиностроение, 1985. 690 с.

13. Скрябин В. А., Машков А. Н., Нестеров С. А. Резание материалов : метод. указания к лаб. работам. Пенза : Изд-во ПГУ, 2015. 138 с.

14. Скрябин В. А., Зверовщиков А. Е., Машков А. Н., Нестеров С. А. Резание материалов : метод. указания к выполнению контрольных работ. Пенза : Изд-во ПГУ, 2017. 56 с.

Учебное издание

Скрябин Владимир Александрович,
Зверовщиков Александр Евгеньевич,
Зотов Евгений Валерьевич,
Нестеров Сергей Александрович

Резание материалов

Редактор *Н. А. Сидельникова*
Технический редактор *С. В. Денисова*
Компьютерная верстка *С. В. Денисовой*

Подписано в печать 02.11.2026.
Формат 60×84$^{1}/_{16}$. Усл. печ. л. 8,6.
Тираж 60. Заказ № 514.

Издательство ПГУ
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40
Тел.: (8412) 66-60-49, 66-67-77; e-mail: iic@pnzgu.ru


ПензГУ