

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

ТЕОРИЯ РЕЗАНИЯ

Лабораторный практикум

для студентов специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения,
металлорежущие станки и инструменты»

Витебск
2026

УДК 621.9

Составители:

А. Н. Голубев, Р. В. Окунев

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения»
УО ВГТУ, протокол № 10 от 19.05.2026.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом
УО «ВГТУ», протокол № 9 от 29.05.2026.

Теория резания: лабораторный практикум / А. Н. Голубев, Р. В. Окунев. –
Витебск : УО «ВГТУ», 2026. – 80 с.

Лабораторный практикум содержит методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Теория резания» и предназначен для студентов специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» высших учебных заведений.

УДК 621.9

© УО «ВГТУ», 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Лабораторная работа 1. Координатные плоскости. Поверхности и углы режущего лезвия	6
1.1 Порядок выполнения работы	6
1.2 Классификация токарных резцов.....	6
1.3 Части, элементы и геометрия токарного проходного резца	7
1.4 Прибор и измерение геометрических параметров резцов	10
1.5 Контрольные вопросы.....	13
Лабораторная работа 2. Инструментальные материалы	13
2.1 Порядок выполнения работы	13
2.2 Основные сведения об инструментальных материалах	14
2.3 Контрольные вопросы.....	16
2.4 Индивидуальные задания	16
Лабораторная работа 3. Параметры режимов резания при точении	19
3.1 Порядок выполнения работы	19
3.2 Основные сведения	20
3.3 Справочные данные	23
3.4 Индивидуальные задания	42
3.5 Контрольные вопросы.....	43
Лабораторная работа 4. Параметры режимов резания при фрезеровании	46
4.1 Порядок выполнения работы	46
4.2 Основные сведения	46
4.3 Контрольные вопросы.....	48
4.4 Индивидуальные задания	49
Лабораторная работа 5. Параметры режимов резания при строгании	50
5.1 Порядок выполнения работы	50
5.2 Основные сведения	50
5.3 Пример назначения режима резания	54

5.4 Контрольные вопросы.....	55
5.5 Справочные данные	56
5.6 Индивидуальные задания	59
Лабораторная работа 6. Параметры режимов резания при сверлении	60
6.1 Порядок выполнения работы	60
6.2 Основные сведения	60
6.3 Справочные данные	63
6.4 Индивидуальные задания	69
6.5 Контрольные вопросы.....	69
Лабораторная работа 7. Параметры режимов резания при абразивной обработке	72
7.1 Порядок выполнения работы	72
7.2 Характеристики и маркировка абразивного инструмента	72
7.3 Рекомендации по назначению режимов резания при шлифовании	73
7.4 Индивидуальные задания	77
7.5 Контрольные вопросы.....	78
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	79

ВВЕДЕНИЕ

Учебная дисциплина «Теория резания» входит в государственный компонент учебного плана по специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты».

Дисциплина формирует у студентов основы знаний о природе и основных закономерностях процессов пластического деформирования снимаемого с заготовки поверхностного слоя и превращение его в стружку, формирования обработанной поверхности на заготовке, изнашивания и затупления режущего инструмента, а также по методам оптимизации функционирования системы резания и путям оптимального управления ею, интенсификации процессов резания и повышения работоспособности и надежности режущего инструмента.

Важным навыком, развиваемым в ходе изучения дисциплины, является владение методологией расчета режимов резания для различных процессов механической обработки деталей машин, чему способствует выполнение лабораторных работ.

Лабораторный практикум включает 7 лабораторных работ, выполнение которых способствует практическому изучению следующих тем:

- поверхности и углы режущего лезвия, способы их измерений;
- классификацию, основные свойства и критерии выбора инструментальных материалов;
- методики расчетов оптимальных режимов резания при различных видах механической обработки (точение, фрезерование, строгание, сверление, абразивная обработка).

Каждая лабораторная работа содержит краткие теоретические сведения по теме, описание методики выполнения работы, справочные данные, индивидуальные задания, контрольные вопросы.

Лабораторная работа 1. Координатные плоскости. Поверхности и углы режущего лезвия

Цель работы: изучение классификации и геометрии токарных резцов и прибора для измерения углов.

Оборудование и инструмент: штангенциркуль (0÷160 мм); угломер универсальный ЛМТ; комплект токарных резцов.

1.1 Порядок выполнения работы

1. Изучить классификацию и геометрические параметры режущей части токарных резцов по методическому пособию и наглядным образцам.

2. Изучить способы измерения геометрии режущей части токарного резца и измерительный прибор.

3. По заданию преподавателя произвести классификацию 2-3 резцов и определить геометрические параметры их режущей части. Полученные данные занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Форма оформления индивидуального задания

Тип резца	Материал режущей части	Сечение державки	Конструкция режущей части	Форма головки	Направление подачи	Углы резцов, град									
						Главные				В плане				α_1	λ
						α	γ	β	δ	φ	φ_1	ε			

4. Зарисовать эскиз одного резца. Измеренные конструктивные и геометрические параметры проставить на эскизе.

1.2 Классификация токарных резцов

При обработке заготовок на токарных станках используют резцы, которые классифицируются по нескольким признакам (рис. 1.1):

по конструкции режущей части – цельные (1), с припаянной пластинкой из твёрдого сплава (2), с механическим креплением режущей пластинки (3);

по форме головки резца – прямые (4), отогнутые (5), оттянутые (6);

по направлению подачи (7) – правые, левые;

по виду выполняемой работы – проходные для обтачивания гладких цилиндрических и конических поверхностей (8, 9, 10), подрезные для обтачивания плоских торцовых поверхностей (11), расточные для растачивания сквозных (12.1) и глухих (12.2) отверстий, отрезные для разрезания заготовок на части и для протачивания кольцевых канавок (6), галтельные для обтачивания переход-

ных поверхностей между ступенями валов по радиусам (13), резьбовые наружные (14) и внутренние (15), фасонные для обтачивания фасонных поверхностей (16);

по роду режущего материала – из быстрорежущей стали, с пластинками из твёрдого сплава, с пластинками из минералокерамики, с кристаллами алмазов и эльбора (17).

В настоящее время в промышленности находят широкое применение резцы с многогранными неперетачиваемыми пластинками твёрдого сплава (18).

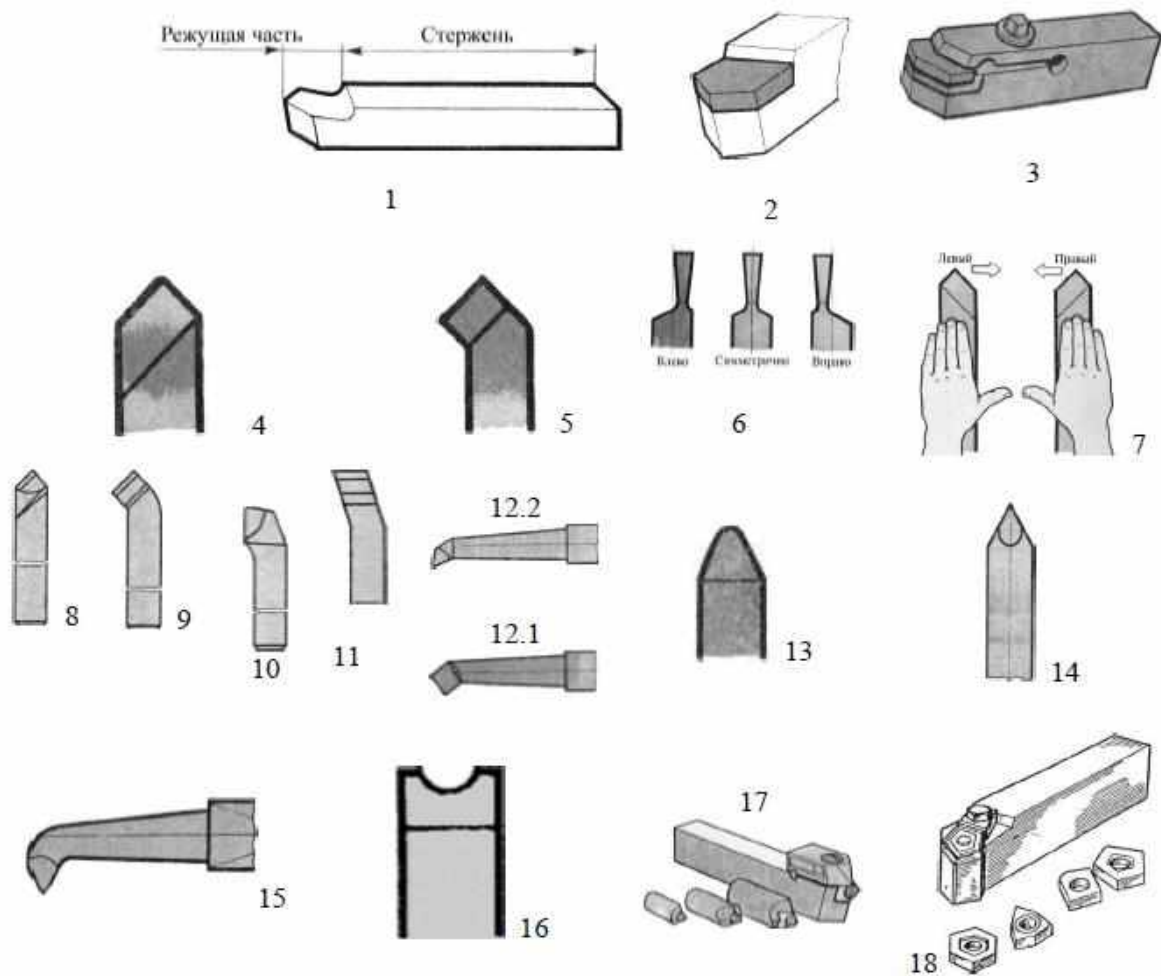


Рисунок 1.1 – Типы токарных резцов

1.3 Части, элементы и геометрия токарного проходного резца

Токарный проходной резец состоит из двух частей: режущей части (головки) и державки (стержня).

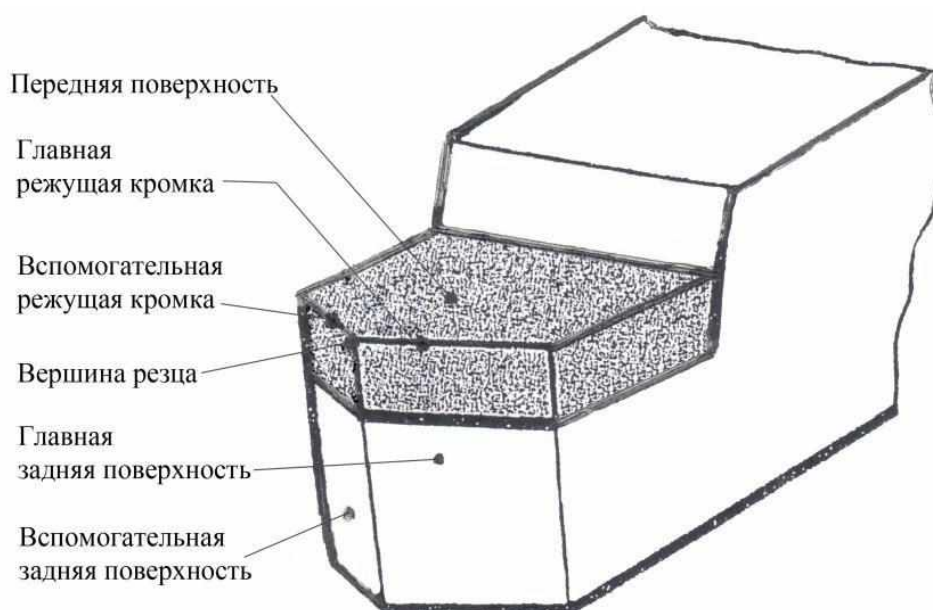


Рисунок 1.2 – Элементы режущей части прямого проходного резца

Режущая часть резца (рис. 1.2) имеет следующие элементы: переднюю поверхность, по которой сходит стружка; главную заднюю поверхность, обращённую к поверхности резания на заготовке; вспомогательную заднюю поверхность, обращённую к обработанной поверхности заготовки; главное режущее лезвие (кромку), которым является линия пересечения передней и главной задней поверхностей; вспомогательное режущее лезвие (кромку), которым является линия пересечения передней и вспомогательной задней поверхностей; вершину резца, которой является точка пересечения главного и вспомогательного режущих лезвий.

Чтобы резец мог осуществлять работу резания, его поверхности затачивают под определёнными углами (рис. 1.4). Для определения величины углов резца (рис. 1.3) вводят две координатные плоскости (основную и плоскость резания) и две секущие плоскости (главную и вспомогательную). Вспомогательная секущая плоскость условно не показана.

Основной плоскостью называется плоскость, параллельная направлениям продольной и поперечной подач.

Плоскостью резания называется плоскость, проходящая касательно к поверхности резания через главное режущее лезвие резца.

Главной секущей плоскостью называется плоскость, проходящая через произвольную точку главного режущего лезвия перпендикулярно к проекции главного режущего лезвия на основную плоскость.

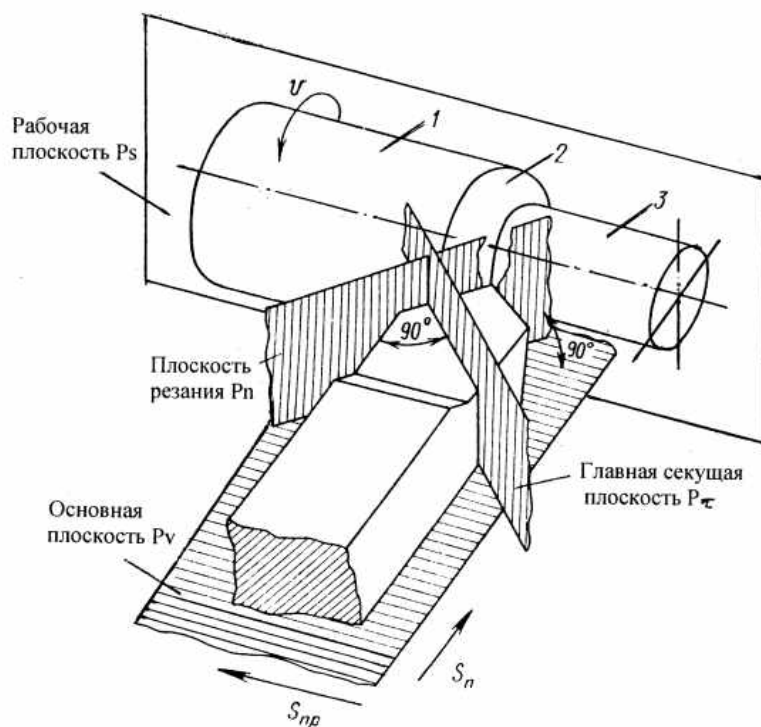


Рисунок 1.3 – Координатные и секущие плоскости

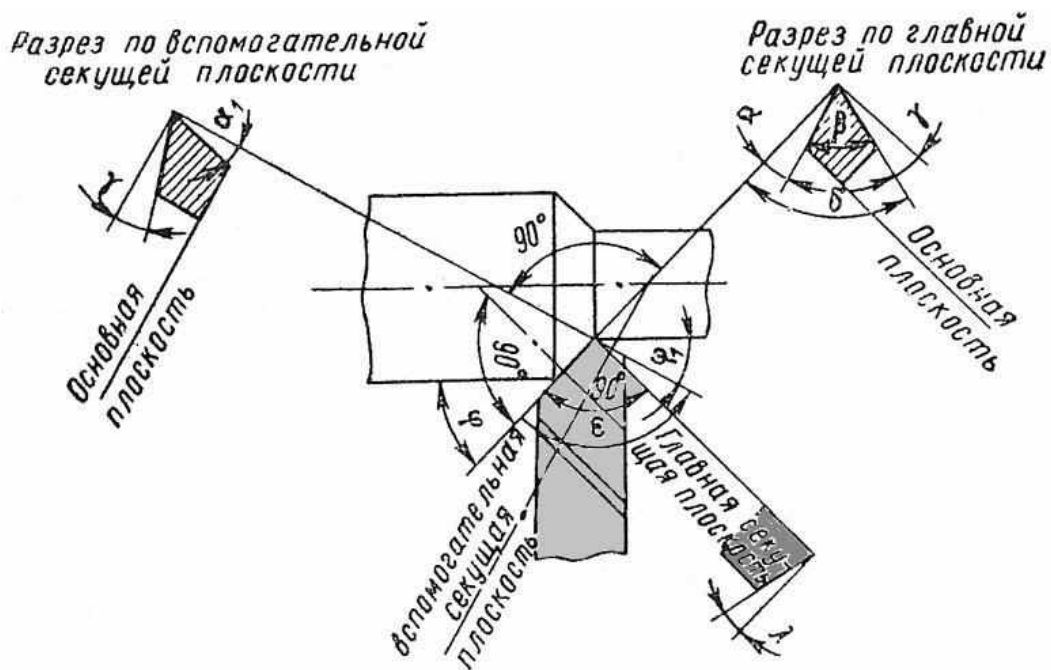


Рисунок 1.4 – Геометрические параметры режущей части прямого проходного резца

Вспомогательной секущей плоскостью называется плоскость, проходящая через произвольную точку вспомогательного режущего лезвия перпендикулярно к проекции вспомогательного режущего лезвия на основную плоскость.

В главной секущей плоскости измеряют передний угол γ и главный задний угол α .

Во вспомогательной секущей плоскости измеряют вспомогательный задний угол α_1 .

Передним углом γ называется угол между передней поверхностью резца и плоскостью, перпендикулярной к плоскости резания, проведённой через главное режущее лезвие резца.

Главным задним углом α называется угол между передней и главной задней поверхностями резца.

Вспомогательным задним углом α_1 называется угол между передней и вспомогательной задней поверхностями резца.

Углом заострения β называется угол между передней и главной задней поверхностями резца.

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

Между углами существуют следующие зависимости: $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$; $\alpha + \beta = \delta$; $\beta = 90^\circ - (\alpha + \gamma)$.

Углы α , β , γ выбирают так, чтобы уменьшить до возможных пределов сопротивление металла резанию, но вместе с тем необходимо обеспечить достаточную прочность резца.

Абсолютная величина углов γ , α , α_1 влияет на шероховатость обработанной поверхности, величину силы резания и т. д.

Кроме рассмотренных углов, различают углы в плане.

Главный и вспомогательный углы в плане φ и φ_1 измеряют между направлениями подачи и проекцией главного или вспомогательного режущих лезвий на основную плоскость.

Угол при вершине резца ϵ в плане – угол между проекциями режущих лезвий (главного и вспомогательного) на основную плоскость.

Угол наклона главного режущего лезвия λ (угол между главным режущим лезвием и линией, проходящей через вершину резца параллельно основной плоскости) измеряется в плоскости, проходящей через главное режущее лезвие перпендикулярно к основной плоскости. Угол λ влияет на направление схода стружки (рис. 1.5).

1.4 Прибор и измерение геометрических параметров резцов

Сечение тела резца измеряют штангенциркулем или измерительной линейкой, а углы резца – универсальным и настольным угломерами. Самым распространённым угломером является универсальный угломер ЛМТ, который предназначен для измерения основных углов резца – переднего γ , главного заднего α , вспомогательного заднего α_1 , главного и вспомогательного в плане φ и φ_1 , наклона главного режущего лезвия λ .

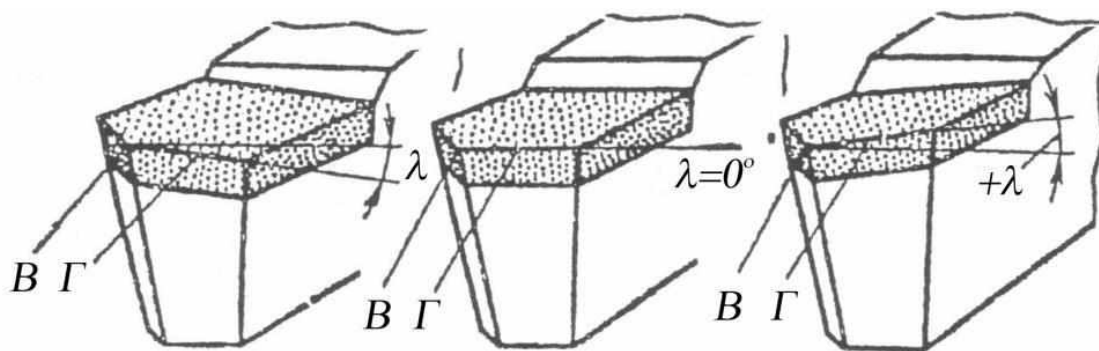


Рисунок 1.5 – Угол наклона главного режущего лезвия

Универсальный угломер (рис. 1.6) состоит из плиты 1, вертикальной стойки 6, на которой перемещается устройство, состоящее из блока 11, трёх шкал с измерительными ножами. Шкальное устройство устанавливается и перемещается на стойке 6 по шпоночному пазу и при необходимости (после ослабления фиксатора 12) может поворачиваться вокруг оси стойки и устанавливаться в любом положении по высоте. Измерительные ножи шкальных устройств снабжены винтами (14), позволяющими фиксировать требуемое положение.

Верхняя плоскость плиты угломера снабжена направляющей линейкой 15. На рисунке 1.6 иллюстрируются способы измерения углов токарного проходного правого резца с отогнутой головкой.

Для измерения переднего угла γ измерительный нож 3 шкалы 4 настраивается перпендикулярно главному режущему лезвию резца и прижимается до соприкосновения с передней поверхностью резца. Совмещение измерительного ножа с гранью резца должно быть плотным без просвета. При этом указатель 5 измерительного ножа показывает значение γ .

Измерение задних углов α и α_1 производится с помощью измерительного ножа 10, который плотно прижимается к главной или вспомогательной задним поверхностям резца. Определение значения угла производится аналогично переднему.

Для измерения главного φ и вспомогательного φ_1 углов в плане резец устанавливается на плите 1 до соприкосновения с направляющей линейкой 15, а шкальное устройство поворачивается на стойке в требуемое положение до соприкосновения измерительного ножа 13 в первом случае с главным, а во втором – со вспомогательным режущим лезвием. Отсчёт значений углов производится с помощью указателя 8 на шкале 9. После измерения главного и вспомогательного углов в плане φ и φ_1 можно определить угол при вершине ε по следующей зависимости:

$$\varepsilon = 180^\circ - (\varphi + \varphi_1).$$

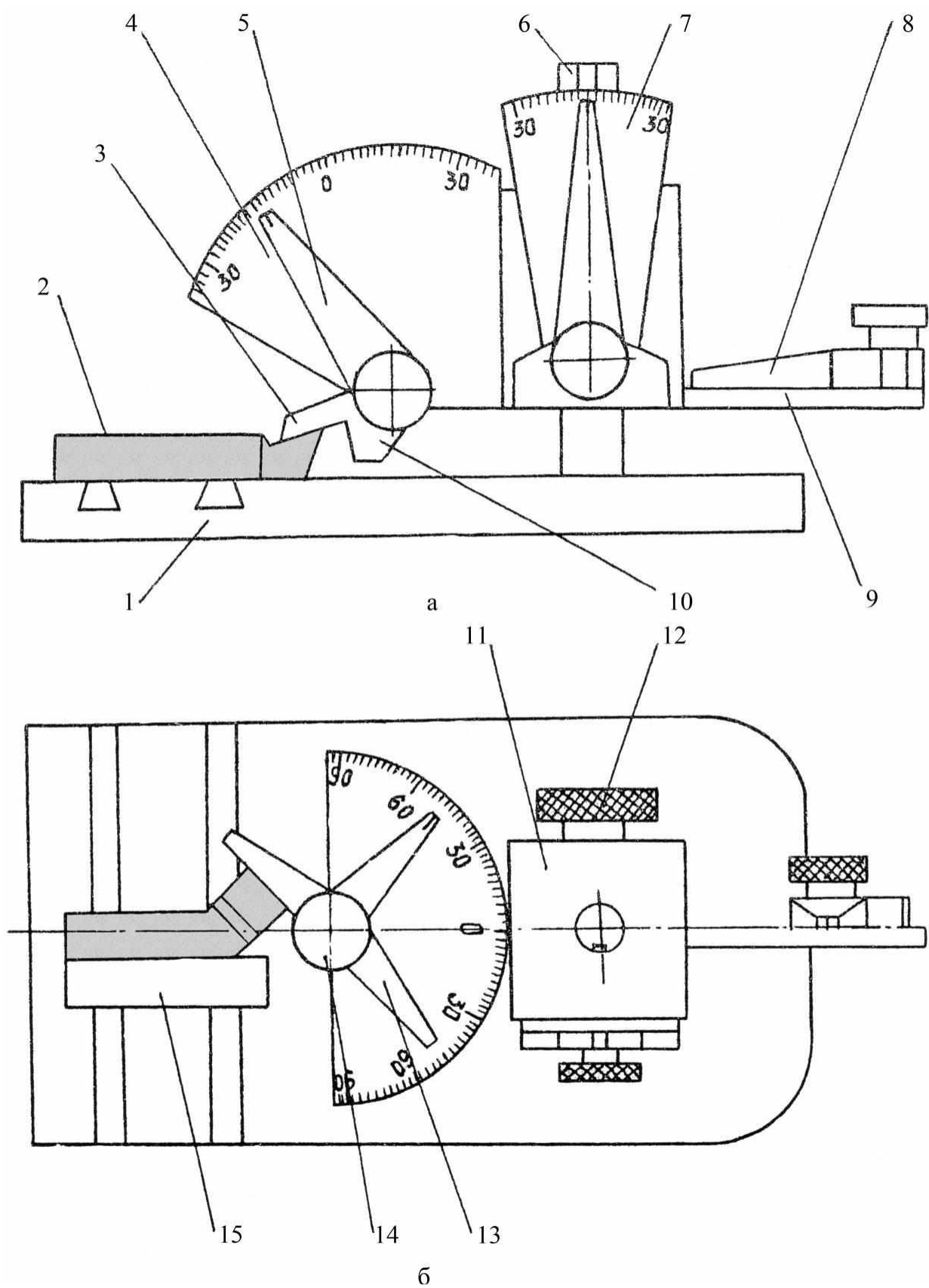


Рисунок 1.6 – Универсальный угломер ЛМТ

Для измерения угла наклона главного режущего лезвия λ шкала 4 поворачивается на стойке в требуемое положение до соприкосновения с вершиной резца. При повороте измерительного ножа 3 до соприкосновения с главным режущим лезвием указатель 5 фиксирует значение угла λ .

После измерения вышеуказанных углов значения остальных углов подсчитывают по формулам:

при $\gamma > 0^\circ$: $\delta = 90^\circ - \gamma$; $\beta = 90^\circ - (\alpha + \gamma)$;

при $\gamma < 0^\circ$: $\delta = 90^\circ + \gamma$; $\beta = 90^\circ - (\alpha + \gamma)$;

при $\gamma = 0^\circ$: $\delta = 90^\circ$; $\beta = 90^\circ - \alpha$.

1.5 Контрольные вопросы

1. Что такое основные и секущие плоскости?
2. Какие углы резцов измеряются с помощью универсального угломера ЛМТ?
3. Какие углы определяются расчётом?
4. Как измерить углы резца в плане?
5. Как называются углы α , α_1 , β , γ , δ , φ , φ_1 , ε , λ ?

Лабораторная работа 2. Инструментальные материалы

Цель работы: изучение инструментальных материалов по внешнему виду. Изучение основных параметров инструментальных материалов по справочной литературе.

Оборудование и инструмент: 1) инструментальные материалы различных видов; 2) измерительная линейка, штангенциркуль; 3) аналитические весы.

2.1 Порядок выполнения работы

1. Последовательно описать все выданные материалы, дополняя описание эскизом. При описании материала указать:

- а) название инструмента;
 - б) агрегатное состояние – твёрдое тело, порошок, паста;
 - в) цвет;
 - г) способность оставлять царапины друг на друге у нескольких пар неабразивных материалов;
 - д) плотность;
 - е) величину зёрен абразива (визуально);
 - ж) форму режущей части;
- з) метод крепления к державке;

и) другие характерные признаки.

2. Выписать вариант задания из табл. 2.1. Номер варианта задаётся преподавателем.

3. По справочной литературе, каталогам производителей установить свойства инструментальных материалов заданных марок. Заполнить таблицу 2.2 согласно варианту задания.

4. Решить технологическую задачу из таблицы 2.3 на выбор материала. Обосновать выбор, основанный на взаимосвязи свойств материала и условий обработки. При выполнении задания необходимо:

- проанализировать условия: твердость/прочность заготовки, режимы резания (v , s , t), характер обработки (непрерывная/прерывистая, черновая/чистовая);

- выявить ключевые требования к инструменту: теплостойкость, ударная вязкость, износостойкость (абразивная/диффузионная), химическая инертность;

- сопоставить требования со свойствами материалов: выбрать подходящую группу (сталь, твердый сплав, керамика, СТМ);

- сделать конкретный выбор и обосновать его: назвать не только группу, но и конкретную марку или тип (например, не просто «твердый сплав», а «твердый сплав группы ВК8 с многослойным покрытием TiAlN для абразивного чугуна»);

- исключить неподходящие варианты: объяснить, почему другие группы материалов не подходят (например, «быстрорежущая сталь не подходит из-за низкой теплостойкости», «керамика не подходит из-за хрупкости при прерывистом резании»).

2.2 Основные сведения об инструментальных материалах

Инструментальные материалы – это материалы, из которых изготавливается рабочая часть инструментов, предназначенных для обработки резанием, давлением и другими методами. Их качество определяется комплексом свойств: твердостью, износостойкостью, теплостойкостью (красностойкостью) и механической прочностью.

Рассмотрим классификацию и основные группы инструментальных материалов.

Инструментальные стали

Углеродистые (У7...У13). Низкая теплостойкость (200–250 °С), невысокая скорость резания (10–12 м/мин). Применяются для ручного инструмента.

Легированные (9ХС, ХВГ). Свойства близки к углеродистым, но лучше прокаливаемость. Для штампов, метчиков, плашек.

Быстрорежущие (P6M5, P18). Теплостойкость до 600–650 °С, скорость резания до 40–60 м/мин. Основа режущего инструмента (сверла, фрезы, резцы) для обработки сталей.

Твердые сплавы (металлокерамика)

Группа ВК (WC + Co). Для обработки чугуна, цветных металлов, неметаллов (пример: ВК8).

Группа ТК (WC + TiC + Co). Для обработки сталей (пример: Т15К6).

Группа ТТК (WC + TiC + TaC + Co). Для тяжелых условий и труднообрабатываемых сталей.

Свойства: твердость 87–92 HRA, теплостойкость 800–900 °С, скорость резания до 300 м/мин.

Минералокерамические материалы

Оксидная керамика (Al_2O_3). Высокая твердость и теплостойкость (1200 °С), но хрупкость. Для чистовой обработки без ударов.

Керметы (Al_2O_3 + TiC, TiN). Повышенная прочность. Для прерывистого резания.

Сверхтвердые материалы (СТМ)

ПКНБ/PCBN (на основе кубического нитрида бора). Для обработки закаленных сталей (HRC > 45) и чугунов. Теплостойкость до 1400–1500 °С.

ПКА/PCD (поликристаллический алмаз). Для обработки цветных металлов, композитов, пластмасс. Исключительная износостойкость.

Абразивные материалы

Электрокорунд (Al_2O_3). Для шлифования сталей.

Карбид кремния (SiC). Для чугуна, цветных металлов, твердых сплавов.

Современные материалы (актуальное развитие)

Наноструктурированные твердые сплавы. Сочетание высокой твердости и прочности.

Керамика на основе нитрида кремния (Si_3N_4). Высокая ударная вязкость для обработки чугуна.

Упрочненные (армированные) керамики (Al_2O_3 + SiC whiskers). Повышенная прочность.

Многослойные и наноструктурированные износостойкие покрытия (TiAlN, AlCrN). Наносятся на основу из твердого сплава для увеличения стойкости в 3–5 раз.

2.3 Контрольные вопросы

1. На какие основные группы делятся современные инструментальные материалы? Какие из них относятся к категории композиционных и наноструктурированных?
2. Назовите область применения безвольфрамовых твердых сплавов (керметов). Какими эксплуатационными преимуществами и ограничениями они обладают по сравнению со сплавами групп ВК и ТК?
3. Какими свойствами отличаются оксидная минералокерамика (Al_2O_3) и керметы? В каких случаях в современном производстве целесообразно применять керамику на основе нитрида кремния (Si_3N_4) и армированную керамику?
4. Какими физико-механическими свойствами отличаются СТМ на основе кубического нитрида бора (ПКНБ/PCBN) и СТМ на основе поликристаллических алмазов (ПКА/PCD)? Как эти отличия определяют их область применения при обработке сталей и цветных сплавов?
5. Какие виды электрокорунда вы знаете и чем они отличаются? Для шлифования каких групп инструментальных материалов применяется белый, хромистый и титанистый электрокорунд?
6. Почему карбид бора чаще всего выпускается в виде шлифпорошков и паст для обработки свободным зерном (доводка, притирка)? Какое свойство этого материала препятствует его широкому использованию в жестко связанных абразивных кругах?
7. Какие группы инструментальных сталей вы знаете? Для какого типа инструмента (ручной, штамповый, металлорежущий) применяется каждая группа и каков предел их теплостойкости?
8. За счет каких факторов нанесение многослойных наноструктурированных покрытий (например, TiAlN , AlCrN) повышает износостойкость и скорость резания твердосплавного инструмента?

2.4 Индивидуальные задания

Варианты заданий для определения свойств инструментальных материалов приведены в таблице 2.1. В таблице 2.2 дан шаблон для оформления этого задания.

В таблице 2.3 приведены варианты заданий для решения технологической задачи по обоснованному выбору инструментального материала.

Таблица 2.1 – Варианты заданий для определения свойств инструментальных материалов

№ вар.	Виды инструментальных материалов				
	Сталь	Твердый сплав	Минералокерамические сплавы	Сверхтвердые материалы	Абразивные материалы
1	У7Ф, 9ХС, Р18	ВК2, Т30К4	ЦМ-322	Алмаз природный	15А (Электрокорунд)
2	У7А, ХВГ, Р12	ВК3, Т15К6	ВОК-60	Алмаз синтетический	25А (Электрокорунд)
3	У8, ХВ6, Р9	ВК3М, Т14К8	ВШ-75	Кубический нитрид бора	45А (Электрокорунд)
4	У8А, Х12, Р18Ф2	ВК4, Т5К10	Кермет (Al ₂ O ₃ + TiC)	Рубин	37А (Электрокорунд)
5	У8Г, Х6ВФ, Р6М5	Нано-ВК4В, Т5К12В	ВОК-60	Лейкосапфир	34А (Электрокорунд)
6	У8ГА, 11Х, Р9Ф5	ВК6, Т17К12	Керамика Si ₃ N ₄	ПКА/PCD	64С (Карбид кремния)
7	У10, 13Х, Р14Ф3	ВК6М, ТТ10К8Б	ЦМ-322	ПКНБ/PCBN	55С (Карбид кремния)
8	У10А, В1, Р9К10	ВК6В, Т17К15	ВОК-100 (Кермет)	Кубический нитрид бора	54С (Карбид кремния)
9	У11, ХГСВ, Р9К10	ВК8, Т14К3	ВШ-75	Рубин	12А (Электрокорунд)
10	У11А, Х12М, Р18К5Ф2	ВК10.МНТ-2	Армированная (Al ₂ O ₃ +SiC)	Лейкосапфир	62С (Карбид кремния)
11	У12, Х6ВФ, Р10К5Ф5	ВК8 + TiAlN	ВОК-60	Алмаз природный	52С (Карбид кремния)
12	У12А, 7Х3, Р10К10Р2	ВК10М, Т5К10	ВШ-75	Алмаз синтетический	22А (Электрокорунд)
13	У13, 45Х, Р6М5	ВК15, ТТ7К12	ЦМ-322	ПКНБ / PCBN	Карбид бора
14	У13А, ХГСВФ, Р9М4	Нано-ВК20, ТТ10К8Б	Кермет (Al ₂ O ₃ + TiN)	Рубин	Паста ГОИ
15	У9, ХВ, Р12М3	ВК25 + AlCrN	Керамика Si ₃ N ₄	Лейкосапфир	Наждак

Таблица 2.2 – Форма оформления индивидуального задания

№	ГОСТ	Вид инструментального материала	Марка материала	Твердость	Теплостойкость	Скорость резания	Предел прочности	Основные компоненты	Назначение материала

Таблица 2.3 – Индивидуальные задания на выбор инструментального материала

№	Условие задачи
1	2
Обработка конструкционных сталей	
1.	Черновое точение поковки из углеродистой стали 45 (твердость 180–200 НВ). Режимы: $v = 120$ м/мин, $s = 0,4$ мм/об, $t = 3$ мм. Обработка с коркой, возможны удары
2.	Получистовое фрезерование вала из легированной стали 40ХН (твердость 220–240 НВ). Режимы: $v = 180$ м/мин, подача на зуб $f_z = 0,15$ мм, глубина резания $a_p = 2$ мм. Обработка непрерывная
3.	Чистовое растачивание отверстия в детали из стали 20 (незакаленная, 160 НВ). Требуется высокая точность и чистота поверхности. Режимы: $v = 250$ м/мин, $s = 0,08$ мм/об, $t = 0,2$ мм
Обработка закаленных и труднообрабатываемых сталей	
4.	Чистовое шлифование шестерни из стали 18ХГТ после цементации и закалки (твердость 58–62 HRC). Требуется снять припуск 0,1 мм с высокой точностью
5.	Тонкое точение (hard turning) втулки из подшипниковой стали ШХ15 (твердость 60–62 HRC). Режимы: $v = 100$ м/мин, $s = 0,05$ мм/об, $t = 0,15$ мм. Непрерывный резание
6.	Протягивание шпоночного паза в коленчатом валу из высокопрочной легированной стали 38ХНЗМФА (прочность $\sigma_b > 1200$ МПа). Низкая скорость резания, высокие нагрузки на протяжку
7.	Фрезерование лопатки из жаропрочного никелевого сплава (типа Инконель 718). Режимы: $v = 50$ м/мин, $f_z = 0,1$ мм, $a_p = 1$ мм. Высокие температуры в зоне резания, абразивный износ
Обработка чугунов	
8.	Высокоскоростное черновое точение отливки из серого чугуна СЧ20. Режимы: $v = 220$ м/мин, $s = 0,5$ мм/об, $t = 4$ мм. Обработка с литейной коркой и песком (абразивные включения)
9.	Чистовое фрезерование плоскости на корпусе из высокопрочного чугуна ВЧ50. Режимы: $v = 180$ м/мин, $f_z = 0,12$ мм, $a_p = 0,5$ мм. Прерывистое резание (фрезерование замкнутого контура)
10.	Сверление глубоких отверстий ($L = 10D$) в отливке из ковкого чугуна КЧ30. Режимы: $v = 80$ м/мин, $s = 0,2$ мм/об. Проблема отвода стружки и охлаждения
Обработка цветных металлов и сплавов	
11.	Чистовое точение детали из алюминиевого сплава АЛ9 (силумин). Режимы: $v = 800$ м/мин, $s = 0,1$ мм/об, $t = 0,5$ мм. Проблема налипания материала на режущую кромку
12.	Высокопроизводительное фрезерование блока цилиндров из алюминиевого сплава АК12 (с высоким содержанием кремния $\sim 12\%$). Режимы: $v = 1500$ м/мин, $f_z = 0,2$ мм, $a_p = 2$ мм. Высокоабразивный износ
13.	Точение втулки из чистой меди М1. Требуется зеркальная поверхность. Режимы: $v = 300$ м/мин, $s = 0,05$ мм/об, $t = 0,2$ мм. Пластичный, вязкий материал

Окончание таблицы 2.3

14.	Сверление и зенкерование отверстий в титановом сплаве ВТ6. Режимы: $v = 40$ м/мин, $s = 0,1$ мм/об. Низкая теплопроводность, высокая химическая активность, склонность к наклепу
Обработка неметаллических и композитных материалов	
15.	Фрезерование панели из стеклопластика (эпоксидная смола + стекловолокно). Высокоабразивный материал, требуется острый инструмент для минимизации вырывания волокон
16.	Точение втулки из фторопласта (PTFE). Материал очень мягкий и вязкий, склонен к деформации под нагрузкой резания
17.	Гравировка и профильное фрезерование композитной плиты (алюминиевая основа + слой пластика). Комбинированная обработка разнородных материалов за одну установку
Специальные и комбинированные условия	
18.	Точение вала «в упор» (с подрезкой торца) из закаленной стали 40X (50 HRC). Прерывистое резание с ударным входом инструмента. Режимы: $v = 150$ м/мин, $s = 0,08$ мм/об
19.	Обработка на станке с ЧПУ упрочненной поверхности (после поверхностного пластического деформирования – наклепа) стальной детали. Поверхностный слой имеет твердость до 400–500 HV, под ним – более мягкий материал
20.	Сухое (без применения СОЖ) высокоскоростное фрезерование алюминиевого сплава. Режимы: $v = 2000$ м/мин. Критически важна стойкость к термоциклическим нагрузкам и окислению

Лабораторная работа 3. Параметры режимов резания при точении

Цель работы: научиться рассчитывать наиболее оптимальные режимы резания при токарной обработке по аналитическим формулам и с применением современных специализированных онлайн-калькуляторов, а также провести сравнительный анализ полученных данных.

3.1 Порядок выполнения работы

Получить у преподавателя вариант задания (табл. 3.31, 3.32). Выполнить расчет режимов резания расчетным методом.

Проверить полученные результаты с помощью утвержденного преподавателем онлайн-калькулятора режимов резания, например, калькуляторов от производителей металлорежущего инструмента Walter [5], Hoffmann [6] или аналогичных открытых инженерных сервисов.

Занести оба варианта расчета в сводную таблицу.

Сделать вывод, сопоставив результаты ручного и автоматизированного расчета, и объяснить возможные расхождения.

3.2 Основные сведения

В зависимости от точности (калитета) заготовки и детали определяют число стадий обработки (число проходов) (табл. 3.25).

В зависимости от решаемых технологических задач выбирают вид резца, форму пластины, геометрические элементы резца [3]. 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 напаянные резцы. Такие резцы могут быть применены при меньшей подаче, но при большей скорости резания, что обеспечивает рост производительности.

Выбор материала инструмента осуществляют с учетом обрабатываемого материала, характера припуска и поверхности заготовки, глубины резания (табл. 3.24).

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 прохода и более. На каждом последующем проходе 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.

2. Подача s , мм/об: при черновом точении принимается максимально допустимой по мощности оборудования, жесткости системы СПИД, прочности режущей пластины и прочности державки. Рекомендуемые подачи при черновом наружном точении приведены в таблице 3.17, а при черновом растачивании в таблице 3.18.

Максимальные величины подач при точении стали 45, допустимые прочностью пластины из твердого сплава, приведены в таблице 3.13.

Подачи при чистовом точении выбирают в зависимости от требуемых параметров шероховатости обработанной поверхности и радиуса при вершине резца из таблицы 3.12.

При прорезании пазов и отрезании величина поперечной подачи зависит от свойств обрабатываемого материала, размеров паза и диаметра обработки (табл. 3.14).

Рекомендуемые подачи при фасонном точении приведены в таблице 3.16.

Выбранные значения подачи корректируют по паспорту станка. Паспортные данные некоторых станков приведены в таблице 3.29.

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

$$v_p = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_v,$$

а при отрезании, прорезании и фасонном точении – по формуле

$$v_p = \frac{C_v}{T^m S^y} K_v.$$

Среднее значение стойкости T при одноинструментной обработке – 60 мин, при точении резцами с дополнительным лезвием – 30–45 мин. Значения коэффициента C_v , показателей степени x , y , и m приведены в таблице 3.19.

Коэффициент K_v является произведением коэффициентов, учитывающих влияние материала заготовки K_{mv} (см. табл. 3.1, 3.3, 3.7, 3.8), состояния поверхности K_{nv} (табл. 3.2), материала инструмента K_{iv} (см. табл. 3.4), вида обработки K_{ov} (см. табл. 3.9), углов в плане резцов $K_{\phi v}$ и радиуса при вершине резца K_r (табл. 3.20). При многоинструментной обработке и многостаночном обслуживании период стойкости увеличивают, вводя соответственно коэффициенты K_{Ti} (см. табл. 3.5) и K_{Tc} (см. табл. 3.6).

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv} \cdot K_{Tv} \cdot K_{Tc} \cdot K_{\phi v} \cdot K_r.$$

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 таблице 3.15.

Режимы резания при точении закаленной стали резцами из твердого сплава приведены в таблице 3.21.

4. Частоту вращения n , об/мин рассчитывают по формуле

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

где v_p – скорость резания, м/мин; D – диаметр детали, мм.

После расчета частоты вращения принимают ее ближайшее меньшее значение по паспорту станка (табл. 3.29). Затем уточняют скорость резания по принятому значению n_{np} :

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

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

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

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 таблице 3.22.

Поправочный коэффициент K_p представляет собой произведение ряда коэффициентов ($K_p = K_{mp} \cdot K_{fp} \cdot K_{yp} \cdot K_{lp} \cdot K_{rp}$), учитывающих фактические условия резания. Численные значения этих коэффициентов приведены в таблицах 3.10, 3.11 и 3.23.

6. Мощность резания N_e , кВт рассчитывают по формуле

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

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

Мощность резания не должна превышать эффективную мощность главного привода станка $N_e < N_{\Sigma}$. ($N_{\Sigma} = N_{дв} \eta$, где $N_{дв}$ – мощность двигателя, η – КПД станка). Если условие не выполняется и $N > N_{\Sigma}$, уменьшают скорость резания.

Определяют коэффициент перегрузки $K_n = \frac{N_e}{N_{\Sigma}}$. Исходя из того, что мощность прямо пропорциональна скорости резания v и частоте вращения n , рассчитывают новое меньшее значение скорости резания $v_y = \frac{v}{K_n}$.

7. Основное время T_o , мин рассчитывают по формуле

$$T_o = \frac{L}{n_{np} s} i,$$

где L – длина рабочего хода инструмента, мм; i – число проходов инструмента.

Длина рабочего хода, мм, равна $L = l + l_1 + l_2$, где l – длина обрабатываемой поверхности, мм; l_1 и l_2 – величины врезания и перебега инструмента, мм (табл. 3.30).

В таблицах 3.1–3.30 приведены справочные данные, необходимые для определения режимов резания расчетным методом.

3.3 Справочные данные

Таблица 3.1 – Поправочный коэффициент K_{mv} , учитывающий влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Расчетная формула
Сталь	$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_s} \right)^{n_v}$
Серый чугун	$K_{mv} = \left(\frac{190}{HB} \right)^{n_v}$
Ковкий чугун	$K_{mv} = \left(\frac{150}{HB} \right)^{n_v}$
Примечания: 1. σ_s и HB – 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. 3.7)	

Таблица 3.2 – Поправочный коэффициент K_{nv} , учитывающий влияние состояния поверхности заготовки на скорость резания

Состояние поверхности заготовки					
Без корки	С коркой				
	Прокат	Поковка	Стальные и чугунные отливки при корке		Медные и алюминиевые сплавы
			нормальной	сильно загрязненной	
1,0	0,9	0,8	0,8 – 0,85	0,5 – 0,6	0,9

Таблица 3.3 – Поправочный коэффициент K_{mv} , учитывающий влияние физико-механических свойств медных и алюминиевых сплавов на скорость резания

Медные сплавы	K_{mv}	Алюминиевые сплавы	K_{mv}
1	2	3	4
Гетерогенные: $HB > 140$ $HB \ 100 - 140$ Свинцовистые при основной гетерогенной структуре Гомогенные	0,7 1,0 1,7 2,0	Силумин и литейные сплавы (закаленные), $\sigma_s = 200 \div 300$ МПа, $HB > 60$ Дюралюминий (закаленный), $\sigma_s = 400-500$ МПа, $HB > 100$	0,8
Сплавы с содержанием свинца $< 10\%$ при основной гомогенной структуре Медь Сплавы с содержанием свинца $> 15\%$	4,0 8 12,0	Силумин и литейные сплавы, $\sigma_s = 100-200$ МПа, $HB \leq 65$. Дюралюминий, $\sigma_s = 300-400$ МПа, $HB \leq 100$ Дюралюминий, $\sigma_s = 200-300$ МПа	1,0 1,2

Таблица 3.4 – Поправочный коэффициент K_{uv} , учитывающий влияние инструментального материала на скорость резания

Обрабатываемый материал	Значения коэффициента K_{uv} в зависимости от марки инструментального материала						
	T5K12B 0,35	T5K10 0,65	T14K8 0,8	T15K6 1,00	T15K6 1,15	T30K4 1,4	BK8 0,4
Сталь конструкционная							
Коррозионно-стойкие и жаропрочные стали	BK8 1,0	T5K10 1,4	T15K6 1,9	P18 0,3	–		
Сталь закаленная	HRC 35 – 50				HRC 51 – 62		
	T15K6 1,0	T30K4 1,25	BK6 0,85	BK8 0,83	BK4 1,0	BK6 0,92	BK8 0,74
Серый и ковкий чугун	KB8 0,83	BK6 1,0	BK4 1,1	BK3 1,15	BK3 1,25	–	
Сталь, чугун, медные и алюминиевые сплавы	P6M5	BK4	BK6	9XC	XBG	Y12A	–
	1,0	2,5	2,7	0,6	0,6	0,5	

Таблица 3.5 – Коэффициент изменения стойкости K_{Ti} в зависимости от числа одновременно работающих инструментов при средней по равномерности их загрузке

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

Таблица 3.6 – Коэффициент изменения периода стойкости K_{Tc} в зависимости от числа одновременно обслуживаемых станков

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

Таблица 3.7 – Значения коэффициента K_r и показатели степени n_v в формуле для расчета коэффициента обрабатываемости стали K_{mv} , приведенные в таблице 3.1

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
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сталь: углеродистая ($C \leq 0,6\%$), σ_B , 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	

Окончание таблицы 3.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
повышенной и высокой обрабатываемости резанием хромистая	1,2	1,1	1,75	1,0	1,05	0,9	-	1,0
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		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 3.8 – Поправочный коэффициент K_{mv} , учитывающий влияние физико-механических свойств жаропрочных и коррозионно-стойких сталей и сплавов на скорость резания.

Марка стали или сплава	σ_b , МПа	Усредненное значение коэффициента K_{mv}
1	2	3
12X18H9T	550	1,0
13X11H2B2MФ	1100–1460	0,8–0,3
14X17H2	800–1300	1,0–0,75
13X14H3B2ФР	700–1200	0,5–0,4
37X12H8Г8МФБ	-	0,95–0,72
45X14H14B2M	700	1,06
10X11H20T3P	720–800	0,85
12X21H5T	820–10000	0,65
20X23H18	600–620	0,80
31X19H9MBT	600–620	0,40
15X18H12C4TЮ	730	0,50

Окончание таблицы 3.8

1	2	3
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 3.9 – Поправочный коэффициент K_{ov} , учитывающий влияние вида обработки на скорость резания.

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

Таблица 3.10 – Поправочный коэффициент K_{mp} , учитывающий влияние качества медных и алюминиевых сплавов на силовые зависимости.

Медные сплавы	K_{mp}	Алюминиевые сплавы	K_{mp}
Гетерогенные: НВ 120 НВ > 120	1,0 0,75	Алюминий и силумин Дюралюминий, $\sigma_{в}, \text{МПа}$:	1,0
Свинцовистые при основной гетерогенной структуре и свинцовистые с содержанием свинца 10 % при основной гомогенной структуре	0,65–0,7	250 350 >350	1,5 2,0 2,75
Гомогенные	1,8–2,2		
Медь	1,7–2,1		
С содержанием свинца >15 %	0,25–0,45		

Таблица 3.11 – Поправочный коэффициент K_{mp} 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 зенкерении	окружной силы резания P_z при фрезеровании
Конструкционная углеродистая и легированная сталь σ_b , МПа: ≤ 600 > 600	$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_b}{750} \right)^n$	0,75 / 0,35 0,75 / 0,75	0,75 / 0,75 0,75 / 0,75	0,3 / 0,3 0,3 / 0,3
Серый чугун	$K_{mp} = \left(\frac{HB}{190} \right)^n$	0,4 / 0,55	0,6 / 0,6	1,0 / 0,55
Ковкий чугун	$K_{mp} = \left(\frac{HB}{150} \right)^n$	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 3.12 – Подачи, мм/об, при чистовом точении

Параметр шероховатости поверхности, мкм		Радиус при вершине резца r , мм					
		0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
Ra	Rz						
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 $\sigma_b = 700\text{--}900$ МПа и чугунов; для сталей с $\sigma_b = 500\text{--}700$ МПа значения подач умножать на коэффициент $K_s = 0,45$; для сталей с $\sigma_b = 900\text{--}1100$ МПа значения подач умножать на коэффициент $K_s = 1,25$							

Таблица 3.13 – Подачи, мм/об, допустимые прочностью пластины из твердого сплава, при точении конструкционной стали резцами с главным углом в плане $\varphi = 45^\circ$

Толщина пластины, мм	Глубина резания t , мм, до			
	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 $\sigma_b = 480\text{--}640$ МПа; 1,0 при $\sigma_b = 650\text{--}870$ МПа и 0,85 при $\sigma_b = 870\text{--}1170$ МПа.
2. При обработке чугуна табличное значение подачи умножать на коэффициент 1,6.
3. Табличное значение подачи умножать на поправочный коэффициент 1,4 при $\varphi = 30^\circ$; 1,0 при $\varphi = 45^\circ$; 0,6 при $\varphi = 60^\circ$ и 0,4 при $\varphi = 90^\circ$.
4. При обработке с ударами подачу уменьшать на 20 %

Таблица 3.14 – Подачи, мм/об, при прорезании пазов и отрезании

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
Св. 150	10–15	0,28–0,36	0,4–0,55
Карусельные станки			
До 2500	10–15	0,35–0,45	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 $HRC_s < 50$ и на 50 % при $HRC_s > 50$.

3. При работе резцами, установленными в револьверной головке, табличные значения умножать на коэффициент 0,8

Таблица 3.15 – Режимы резания при тонком точении и растачивании

Обрабатываемый материал	Материал рабочей части режущего инструмента	Параметр шероховатости поверхности Ra, мкм	Подача, мм/об	Скорость резания, мм/мин
Сталь: $\sigma_b < 650$ МПа $\sigma_b = 650 \div 800$ МПа $\sigma_b > 800$ МПа	T30K4	1,25–0,63	0,06–0,12	250–300 150–200 120–170
Чугун: HB 149–163 HB 156–229 HB 170–241	BK3	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

Таблица 3.16 – Подачи, мм/об, при фасонном точении

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

Таблица 3.17 – 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
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
До 20	От 16 × 25 до 25 × 25	0,3–0,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Св. 20 до 40	От 16 × 25 до 25 × 25	0,4–0,5	0,3–0,4	–	–	–	0,4–0,5	–	–	–	–
Св. 40 до 60	От 16 × 25 до 25 × 40	0,5–0,9	0,4–0,8	0,3–0,7	–	–	0,6–0,9	0,5–0,8	0,4–0,7	–	–
Св. 60 до 100	От 16 × 25 до 25 × 40	0,6–1,2	0,5–1,1	0,5–0,9	0,4–0,8	–	0,8–1,4	0,7–1,2	0,6–1,0	0,5–0,9	–
Св. 100 до 400	От 16 × 25 до 25 × 40	0,8–1,3	0,7–1,2	0,6–1,0	0,5–0,9	–	1,0–1,5	0,8–1,9	0,8–1,1	0,6–0,9	–
Св. 400 до 500	От 20 × 30 до 40 × 60	1,1–1,4	1,0–1,3	0,7–1,2	0,6–1,2	0,4–1,1	1,3–1,6	1,2–1,5	1,0–1,2	0,7–0,9	–
Св. 500 до 600	От 20 × 30 до 40 × 60	1,2–1,5	1,0–1,4	0,8–1,3	0,6–1,3	0,1–1,2	1,5–1,8	1,2–1,6	1,0–1,4	0,9–1,2	0,8–1,0

Окончание таблицы 3.17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Св. 600 до 1000	От 25 × 40 до 40 × 60	1,2–1,8	1,1–1,5	0,9–1,4	0,8–1,4	0,7–1,3	1,5–2,0	1,3–1,8	1,0–1,4	1,0–1,3	0,9–1,2
Св. 1000 до 2500	От 30 × 45 до 40 × 60	1,3–2,0	1,3–1,8	1,2–1,6	1,1–1,5	1,0–1,5	1,6–2,4	1,6–2,0	1,4–1,8	1,3–1,7	1,2–1,7

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 HRC, 44-56 и на 0,5 для стали с HRC, 57-62.

Таблица 3.18 – 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 прямо- угольного 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—	—	—	—
12	60	0,10	0,08	—	—	0,16	0,12—	—	—
16	80	0,1—0,2	0,15	0,1	—	0,12—	0,18	0,1—0,18	—
20	100	0,5—0,3	0,15—	0,12	—	0,20	0,15—	0,12—	—
25	125	0,25—	0,25	0,12—0,2	—	0,20—	0,25	0,25	—
30	150	0,5	0,15—0,4	0,12—0,3	—	0,30	0,25—	0,25—	—
40	200	0,4	0,2—0,5	0,15—0,4	—	0,3—0,4	0,35	0,35	—
40 × 40	150	—	0,25—0,6	0,5—0,7	—	0,4—0,6	0,3—0,5	0,25—	0,4—0,5
	300	—	0,6—1,0	0,3—0,6	—	0,5—0,8	0,4—0,6	0,45	0,3—0,4
60 × 60	150	—	0,4—0,7	0,8—1,0	0,6—0,8	—	0,6—0,8	0,3—0,8	0,6—0,9
	300	—	0,9—1,2	0,5—0,8	0,4—0,7	—	0,7—1,2	0,5—0,9	0,5—0,7
75 × 75	300	—	0,7—1,0	0,8—1,1	0,7—0,9	—	0,6—0,9	0,4—0,7	0,7—1,0
	500	—	0,9—1,3	0,6—0,9	0,5—0,7	—	1,0—1,5	0,8—1,2	0,6—0,8
	800	—	0,7—1,0	0,4—0,7	—	—	0,9—1,2	0,7—0,9	—
	—	—	—	—	—	—	1,1—1,6	0,9—1,3	—
								0,7—1,1	
								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

Таблица 3.19 – 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, $\sigma_B = 750$ МПа						
Наружное продольное точение проходными резцами	T15K6*	s до 0,3	420		0,20	
		s св. 0,3 до 0,7	350	0,15	0,35	0,20
		$s > 0,7$	340		0,45	

Окончание таблицы 3.19

1	2	3	4	5	6	7
То же, резцами с дополнительным лезвием	T15K6*	$s \leq t$ $s > t$	292	0,30 0,15	0,15 0,30	0,18
Отрезание	T5K10* P18**	- -	47 23,7	- -	0,80 0,66	0,20 0,25
Фасонное точение	P18**	-	22,7	-	0,50	0,30
Нарезание крепежной резьбы	T15K6*	-	244	0,23	0,30	0,20
	P6M5	Черновые ходы: $P \leq 2$ 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	T15K6*	-	2330	0,50	0,50	0,50
Обработка серого чугуна, HB 190						
Наружное продольное точение проходными резцами	BK6*	$s \leq 0,40$	292	0,15	0,20	0,20
		$s > 0,40$	243		0,40	
Наружное продольное точение резцами с дополнительным лезвием	BK6**	$s \geq t$	324	0,40	0,20	0,28
		$s < t$	324	0,20	0,40	0,28
Отрезание	BK6*	-	68,5	-	0,40	0,20
Нарезание крепежной резьбы		-	83	0,45	-	0,33
Обработка ковкого чугуна, HB 150						
Наружное продольное точение проходными резцами	BK8*	$s \leq 0,40$	317	0,15	0,20	0,20
		$s > 0,40$	215	0,15	0,45	0,20
Отрезание	BK6*	-	86	-	0,4	0,20
Обработка медных гетерогенных сплавов средней твердости, HB 100 – 140						
Наружное продольное точение проходными резцами	P18*	$s \leq 0,20$	270	0,12	0,25	0,23
		$s > 0,20$	182		0,30	
Обработка силумина и литейных алюминиевых сплавов, $\sigma_B = 100 \div 200$ МПа, HB ≤ 65 ; Дюралюминия, $\sigma_B = 300 \div 400$ МПа, HB ≤ 100						
Наружное продольное точение проходными резцами	P18*	$s \leq 0,20$	485	0,12	0,25	0,28
		$s > 0,20$	328		0,50	
* Без охлаждения ** С охлаждением Примечания: 1. При внутренней обработке (расточивание, 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 T15K6 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 в мм/об						

Таблица 3.20 – Поправочные коэффициенты, учитывающие влияние параметров резца на скорость резания

Главный угол в плане φ°	Коэффициент $K_{\varphi v}$	Вспомога- тельный угол в плане φ_l°	Коэффициент $K_{\varphi lv}$	Радиус при вершине рез- ца 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	-	-	-	-

* Учитывают только для резцов из быстрорежущей стали

Таблица 3.21 – Режимы резания при точении закаленной стали резцами с пластинами из твердого сплава

Таблица 1. Выбор скорости резания по твердости сплава											
Подача s , мм/об	Шири- на проре- зания, мм	Твердость обрабатываемого материала HRC_s									
		35	39	43	46	49	51	53	56	59	62
		Скорость резания v , мм/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 $Rz = 10$ 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_{lv} :

Твердость обрабатываемого материала	HRC_s , 35–49				HRC_s , 50–62			
Марка твердого сплава	T30K4	T15K6	BK6	BK8	BK4	BK6	BK8	
коэффициент K_{lv}	1,25	1,0	0,85	0,83	1,0	0,92	0,74	

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

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

Таблица 3.22 – 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, $\sigma_b = 750$ 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	-	-	-	-	-	-	-	-
	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 12X18Н9Т HB 141	Твердый сплав	Наружное продольное и поперечное точение и растачивание	204											
Серый чугун, HB 190	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, HB 190	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	-	-	-	-	-	-	-	-

Окончание таблицы 3.22

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
Серый чугун, $HB\ 190$	Быстрорежущая сталь	Отрезание и прорезание	158	1,0	1,0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Ковкий чугун, $HB\ 150$	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, $HB\ 120$	Быстрорежущая сталь	Наружное продольное и поперечное точение, растачивание	55	1,0	0,66	0	-	-	-	-	-	-	-	-
		Отрезание и прорезание	75		1,0									
Алюминий и силумин		Наружное продольное и поперечное точение, растачивание, подрезание	40	1,0	0,75		-	-	-	-	-	-	-	-
	Отрезание и прорезание	50	1,0		-									

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	Твердый сплав	$K_{\varphi p}$	1,08	1,30	0,78
	45			1,0	1,0	1,0
	60			0,94	0,77	1,11
	90			0,89	0,50	1,17
	30	Быстрорежущая сталь		1,08	1,63	0,70
	45			1,0	1,0	1,00
	60			0,98	0,71	1,27
90	1,08			0,44	1,82	
Передний угол γ°	-15	Твердый сплав	$K_{\gamma p}$	1,25	2,0	2,0
	0			1,1	1,4	1,4
	10			1,0	1,0	1,0
	12–15	Быстрорежущая сталь		1,15	1,6	1,7
	20–25			1,0	1,0	1,0
Угол наклона главного лезвия λ°	-5	Твердый сплав	$K_{\lambda p}$	1,0	0,75	1,07
	0				1,0	1,0
	5				1,25	0,85
	15				1,7	0,65
Радиус при вершине r , мм	0,5	Быстрорежущая сталь	K_{rp}	0,87	0,66	1,0
	1,0			0,93	0,82	
	2,0			1,0	1,0	
	3,0			1,04	1,14	
	4,0			1,10	1,33	

Таблица 3.24 – Рекомендуемое число проходов в зависимости от точности заготовки и детали при токарной обработке

Квали- тет за- готов- ки	Обрабатываемые заготовки	Квалитет детали							
		14		13-12		11-10		9-7	
		Требуемые стадии обработки							
		Но- мер ста- дии	Наим ено- вание	Но- мер ста- дии	Наимено- вание	Номер стадии	Наимено- вание	Номер стадии	Наимено- вание
17	Отливки: стальные и чугунные III класса точности, кокильные из цветных металлов и сплавов. Заготовки, полученные горячей ковкой и штамповкой. Прокат обычной точности	I	Черн.	I II	Черн. Получист.	I II III	Черн. Получист. Чист.	I II III IV	Черн. Получист. Чист. Отделочн.
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	Черн.	I II III	Черн. Получист. Чист.	I II III	Черн. Получист. Чист.	I II III IV	Черн. Получист. Чист. Отделочн.
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	Черн.	II	Получист.	II III	Получист. Чист.	II III IV	Получист. Чист. Отделочн.
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	Получист.	II III	Получит. Чист.	II III IV	Получист. Чист. Отделочн.

Окончание таблицы 3.24

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
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
11	Отливки: стальные, полученные в оболочковых формах или по выплавляемым моделям; чугунные, полученные по выплавляемым моделям. Калиброванные прутки.	-	-	-	-	III	Чистовая	IV	Отделочная

Таблица 3.25 – 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
Резцы	P6M5, P6MФ3, P6M5K5 ^{*1} , P9K5, ЭК-41, ЭК-42, P12Ф4K5 ^{*1} , P12M3K8Ф2 ^{*1} , P6M5Ф3-МП, P12MФ5-МП	P6M5K5, P9K5, P6M5Ф3, P9M4K8, P12M3K8Ф2, P12Ф4K5, P6M5K5-МП, P9M4K8-МП, 13P6M5Ф3-МП	P9M4K8, P6M5K5, P9K5, P9K10, P12M3K5Ф2-МП, P12M3K10Ф3-МП, 15P10Ф3K8M6-МП, 22P10Ф6K8M3-МП, B24M12K23
Фрезы	P6M5, P6M5Ф3, P6M5K5 ^{*1} , P9K5, ЭК-41, ЭК-42, P6M5Ф3-МП, P6M5K5-МП	P6M5K5, P6M5Ф3, P9M4K8, P9K5, P12M3K8Ф2, P6M5K5-МП, P9M4K8-МП, P12M3K5Ф2-МП	P9M4K8, P6M5K5, P9K5, P12Ф4K5 ^{*4} , P12M3K8Ф2, P9M4K8-МП, P12M3K5Ф2-МП, P12M3K10Ф3-МП, 15P10Ф3K8M6-МП
Сверла, зенкеры, развертки	P6M5, P6M5Ф3, P6M5K5 ^{*1} , P9K5, ЭК-41, ЭК-42, P6M5Ф3-МП, P6M5Ф5-МП, A11P3M3Ф2 ^{*2}	P6M5K5, P9K5, P6M5Ф3, P9M4K8, P9M6K5, P10K5Ф5, P12Ф3, P6M5K5-МП, P9M4K8-МП, P12M3K5Ф2-МП	P9M4K8, P6M5K5, P9K5, P12Ф4K5, P12M3K8Ф2, P9M4K8-МП, P12M3K5Ф2-МП, 15P10Ф3K8M6-МП, 22P10Ф6K8M3-МП, B18K25X4
Протяжки, прошивки	P18, P6M5, P6M5Ф3, P6M5K5, ЭК-41, ЭК-42, P9M5K5, P6M5Ф3-МП, P12MФ5-МП	P6M5K5, P6M5Ф3, P9K5, P18, P9M4K8, P12M3K8Ф2 ^{*3} , P6M5Ф3-МП, P12MФ5-МП	P18, P9M4K8, P9K5, P6M5K5, P6M5Ф3, P12MФ5-МП, P12M3K5Ф2-МП
Метчики, плашки	P6M5, P6M5K5, P6M5Ф3, ЭК-41, ЭК-42, P9K5, P9M4K8, A11P3M3Ф2 ^{*2} , P6M5Ф3-МП, P12MФ5-МП	P9K5, P6M5K5, P9M4K8, P6M5Ф3, P6M5Ф3-МП, P12MФ5-МП, 13P6M5Ф3-МП, 15P10Ф3K8M6-МП	P9M4K8, P9K5 ^{*5} , P6M5K5, P6M5Ф3, P12M3K8Ф2, P12MФ5-МП, P12M3K5Ф2-МП, 15P10Ф6K8M3-МП, 22P10Ф6K8M3-МП
Зуборезный инструмент	P6M5, P6M5Ф3, ЭК-41, ЭК-42, P6M5Ф3 ^{*1} , P9M4K8 ^{*1} , P6M5Ф3-МП, P6M5K5-МП	P6M5K5, P9M4K8, P6M5K5-МП, P9M4K8-МП, P12M3K5Ф2-МП, 13P6M5Ф3-МП, 16P10Ф3K8M6-МП	P9M4K8, P9M4K8-МП, P12M3K5Ф2-МП, P12M3K10Ф3-МП, 15P10Ф3K8M3-МП, 22P10Ф6K8M3-МП
^{*1} При обработке на повышенных скоростях резания. ^{*2} Для обработки мелкогабаритных деталей. ^{*3} Для прошивок при обработке сталей и сплавов с HRC ₃ > 35. ^{*4} Для инструмента простой формы. ^{*5} Метчики диаметром до 8 мм целесообразно изготавливать из твердого сплава			

Таблица 3.26 – Рекомендации по выбору марок твердого сплава, БВТС, минералокерамики СТМ для обработки различных материалов

Вид обработки	Марки инструментальных материалов		
	Цветных сплавов	Сталей	Чугунов
	I–III	V–VI	IV
Чистовое точение при $s_o = 0,1 \div 0,3$ мм/об, $t = 0,5 \div 2$ 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 $s_o = 0,2 \div 0,5$ мм/об, $t = 2 \div 4$ мм	ТН20, КНТ16, ВК6М, ВК8	ТН20, КНТ16, Т15К6, Т14К8	ВК3, ВК6М, ВК6, ТТ8К6, ВОК-60
Черновое точение при $s_o = 0,4 \div 1,0$ мм/об, $t = 4 \div 10$ мм	ВК6, ВК8	Т15К6, Т14К8, ТТ10К8Б, Т5К10	ВК4, ВК6, ВК10-ОМ
Тяжелое черновое точение при $s_o = 1,0$ мм/об, $t = 6 \div 20$ 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

Таблица 3.27 – Рекомендации по выбору марки твердого сплава, БВТС, минералокерамики и СТМ для обработки труднообрабатываемых материалов

Вид обработки	Марки инструментальных материалов для обработки групп					
	сталей				сплавов	
	VII-VIII	IX-X	XIV	Закаленных	XI-XII	XIII
Чистовое точение при $s_o = 0,1-0,3$ мм/об, $t = 0,5-2$ мм	T30K4, BK6-OM, TT8K6, KHT-16, TH20	T15K6, BK3M, BK6-OM, BK10-OM, BK15-OM, TM3, KTC-2M	T15K6, BK3M, BK6M, BOK-60, BOK63, ПТНБ, гексонит, эльбор-Р	T30K4, BK3M, TT8K6, B3, BOK-60, BOK-63, силинит, ниборит, белсор, композиты 01, 02, 05, 09, 10	BK3M, BK6M, BK6-OM, BK10-OM, BK10-XOM, KTC-2M	BK3M, BK6M, BK6-OM, BK10-OM, BK15-OM, карбонадо
Получистовое точение при $s_o = 0,2-0,5$ мм/об, $t = 2-4$ мм	T5K10, T14K8, T15K6, TT8K6, TM3, TH20, KHT-16	T15K6, T14K8, BK8, BK6M, BK10-OM, BK15-OM, TT10K8Б, KTC-2M	T15K6, BK3M, BK6M, BK8, TT10K8Б	BK3M, BK6M, B3, BOK-60	BK6, BK8, BK6M, BK10-OM, BK10-XOM, TT10K8Б, KTC-2M	BK4, BK6M, BK6-OM, BK10OM, BK15-OM
Черновое точение при $s_o = 0,4-1,0$ мм/об, $t = 4-10$ мм	T5K10, T14K8, T15K6, TT10K8Б	T15K6, T14K8, BK8, BK6M, BK10-OM, TT10K8Б	T5K12, BK8, BK6M, BK10-OM, TT7K12	-	BK4, BK6, BK8, BK6M, BK10-OM, BK10XOM	BK4, BK6, BK8, BK10-OM
Тяжелое черновое точение при $s_o = 1,0$ мм/об, $t = 6-20$ мм	T5K10, T5K12, TT7K12	T5K12, BK8, BK8B, BK10-OM, TT7K12	BK8, BK10-OM, TT7K12	-	BK8, BK10-OM, TT7K12	BK8, BK10-OM, BK15-OM
Отрезка и прорезка канавок	T5K10, T14K8, T15K6	BK8, BK6M	BK8, BK6M, BK4	-	BK6, BK6M, BK10-OM	BK4, BK8
Нарезание резьбы резцом	T14K8, T15K6	BK3, BK8, BK6M	BK8, BK6-OM, BK10-OM	T30K4, BK3M, BK6M	BK8, BK6M, BK6-OM	BK8, BK6M, BK6-OM

Окончание таблицы 3.27

Вид обработки	Марки инструментальных материалов для обработки групп					
	Сталей				Сплавов	
	VII-VIII	IX-X	XIV	Закаленных	XI-XII	XIII
Нарезание резьбы метчиком	BK8, BK10-OM, BK10M, BK6M, BK3M	BK8 ^{*1} , BK10M ^{*1} , BK10-OM ^{*1}	BK8, BK10M, BK10-OM	-	BK8, BK6M, BK10M, BK10-OM	BK8, BK6M, BK1-OM, BK10-OM
Получистовое и чистовое строгание и долбление	BK8, T5K10	BK8, BK6-KC, T5K12	BK10-OM, TT7K12	-	BK8, BK15-OM	BK8, BK10-OM
Черновое строгание и долбление	BK8, T5K12, TT7K12	BK15-OM, TT7K12	BK15-OM, TT7K12	-	BK8, BK15-OM	BK8, BK15-OM
Сверление	T5K10, T5K12, BK8, BK6M, BK10M	T5K12, BK8, BK10M	T5K12, BK8, BK6M, BK10M, BK15M	-	BK8, BK6M, BK10M, BK6-OM, BK10-OM	BK8, BK6M, BK10M, BK6-OM, BK15M
Зенкерование	T14K8, T15K6	BK6M, BK6-OM	BK6M, BK6-OM	-	BK8, BK6M, BK10-OM	BK8, BK4, BK6M
Развертывание	T15K6, T30K4, BK3M, BK6M, BK6-OM	BK6M, BK6-OM	BK6M, BK6-OM	T30K4, BK3M, BK6-OM	BK6M, BK6-OM	BK6M, BK6-OM
Черновое фрезерование	T5K10, T14K8, BK8, TT7K9, TT7K12, TT21K9, TT20K9A	T5K12, T14K8, TT7K12, BK10-OM, BK10XOM, BK15-OM	T5K10, BK8, TT7K12, BK15-OM, BK15XOM	-	BK8, BK10-OM ^{*2} , BK10-OM, BK10XOM, BK15-OM, BK15XOM, BK10KC, TT10K8Б	BK8, BK10-OM ^{*2} , BK10-OM, BK10XOM, BK15-OM, BK15XOM, BK10KC, TT10K8Б
Получистовое и чистовое фрезерование	T15K6, T14K8, TT20K9, BK8, TT7K9, TT21K9, TT20K9A	T14K8, TT20K9, BK6M, BK10M, BK8 ^{*2} , KTC-2M	T14K8, TT20K9, BK6M, BK10M, BOK-63, BK10XOM	Композиты 01, 10, силинит-Р, картинит	BK8, BK10-OM, BK10XOM, KTC-2M, TT10K8Б	BK4, BK10-OM, BK10XOM, BK8, TT10K8Б
^{*1} Для нарезания резьбы диаметром более 8 мм						
^{*2} Концевые фрезы диаметром более 16 мм целесообразнее применять из быстрорежущей стали						

Таблица 3.28 – Классификация цветных и черных металлов по обрабатываемости резанием

Группа	Материал
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 3.29 – Паспортные данные некоторых металлорежущих станков

Токарно-винторезный станок 16K20
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 $N_d = 10$ кВт; КПД станка $\eta = 0,75$. Частота вращения шпинделя, об/мин: 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
Токарно-винторезный станок 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 $N_d = 6,3$ кВт; КПД станка $\eta = 0,7$. Частота вращения шпинделя, об/мин: 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
Токарный многорезцовый полуавтомат 1Н713
Наибольший диаметр обрабатываемого изделия: над станиной – 400 мм, над суппортом – 250 мм; наибольшая длина обрабатываемой заготовки – 1400 мм. Число суппортов – 2. Мощность двигателя $N_d = 18,5$ кВт; КПД станка $\eta = 0,8$. Частота вращения шпинделя, об/мин: 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

Таблица 3.30 – Величина врезания l_1 и перебега l_2 при работе резцами

Резцы		Глубина резания t											
		1	1	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16
		Величина врезания l_1											
Проходные и расточные с углом в плане φ	15°	5	9	13	16	20	24	28	31	39	-	-	-
	30°	3	5	7	8	10	12	14	15	19	22	26	29
	45°	2	3	4	5	6	7	8	9	12	14	16	18
	60°	1	2	3	3	4	4	5	5	6	7	9	11
	75°		1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5
	90°;		3										
Подрезные		При работе в упор – 3. При работе на проход – 5											
Отрезные													
Прорезные													
Фасонные		3											
Примечание. Величина перебега l_2 при работе на проход вне зависимости от величины φ : при глубине резания $t = 1\text{--}2$ мм $l_2 = 1$ мм; при глубине резания $t = 3\text{--}7$ мм $l_2 = 2$ мм; при глубине резания $t = 8\text{--}16$ мм $l_2 = 3$ мм													

3.4 Индивидуальные задания

Задача 1. На токарно-винторезном станке производится наружное продольное точение заготовки от диаметра D мм до диаметра d мм (рис. 3.1). Длина обработанной поверхности L мм, длина заготовки L_3 мм. Данные выбрать из таблицы 3.31.

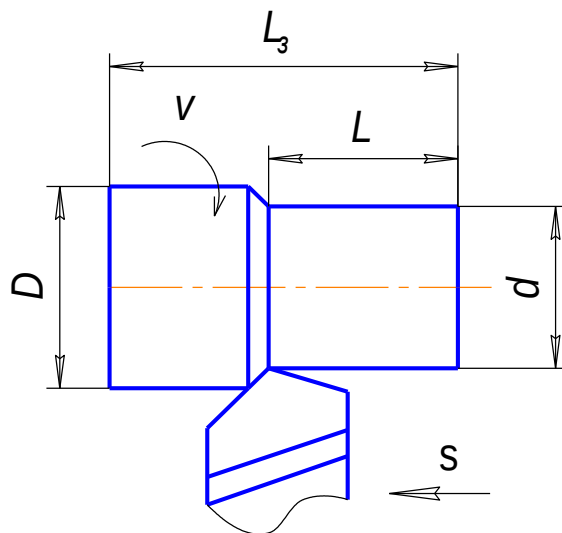


Рисунок 3.1 – Схема обработки заготовки к задаче 1

Требуется:

- выбрать токарный станок;
- выбрать режущий инструмент и материал режущей части инструмента;
- назначить режимы резания;
- определить машинное время.

Задача 2. На токарно-винторезном станке производится растачивание сквозного отверстия от диаметра d мм до диаметра D мм (рис. 3.2). Диаметр заготовки D_3 мм. Длина отверстия L мм. Способ крепления заготовки – в патроне. Данные выбрать из таблицы 3.32.

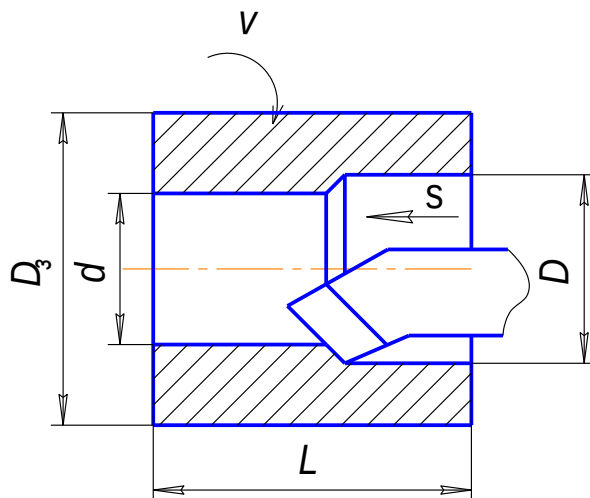


Рисунок 3.2 – Схема обработки заготовки к задаче 2

Требуется:

- выбрать токарный станок;
- выбрать режущий инструмент и материал режущей части инструмента;
- назначить режимы резания;
- определить машинное время.

3.5 Контрольные вопросы

1. Частью чего является процедура назначения режима резания?
2. Цель операции точения.
3. Цель операции растачивания.
4. Какие исходные данные нужны для процедуры назначения?
5. Расчетный метод назначения режима резания.
6. Что такое коррекция величины подачи?
7. Как проверяется режим резания?

Таблица 3.31 – Данные к задаче 1

№ вар.	Материал заготовки	σ_s , МПа	НВ	Вид заготовки и состояние её поверхности	Шерохова- тость по- верхности, мкм	D , мм	d , мм	L_z , мм	L , мм	Приме- нение охла- ждения	Способ крепления заготовки
1	Серый чугун СЧ15	-	160	Отливка с коркой	Rz 40	100h17	92h12	850	800	Без охл.	В центрах
2	Сталь 45	750	-	Поковка с коркой	Ra 3,2	60h14	50h10	750	700	С охл.	В центрах
3	Сталь 35	650	-	Прокат	Ra 2,5	48h12	40h9	950	900	С охл.	В патроне
4	Серый чугун СЧ20	-	180	Отливка без кор- ки	Ra 15	156h17	150h12	700	600	Без охл.	В патроне
5	Сталь 30ХГС	800	-	Поковка с коркой	Rz 10	70h16	60h11	750	700	С охл.	В центрах
6	Бронза БрАЖ9-4	-	120	Отливка с коркой	Rz 20	108h14	100h10	1100	1000	Без охл.	В центрах
7	Серый чугун СЧ20	-	229	Отливка с коркой	Rz 30	90h15	82h11	1250	1200	Без охл.	В патроне
8	Сталь 12Х18Н10Т	750	-	Прокат	Rz 30	125h15	120h11	850	800	С охл.	В патроне
9	Сталь 20	500	-	Прокат	Rz 10	124h12	120h10	940	900	С охл.	В центрах
10	Сталь 45Х	850	-	Поковка с коркой	Rz 50	105h17	96h12	1100	1000	С охл.	В центрах
11	Сталь 30	500	-	Поковка с коркой	Rz 30	100h15	94h10	1000	900	С охл.	В центрах
12	Сталь 45	600	-	Поковка с коркой	Ra 2,5	64h12	60h8	850	830	С охл.	В патроне
13	Серый чугун СЧ15	-	170	Отливка с коркой	Rz 30	120h16	100h11	560	550	Без охл.	В центрах
14	Сталь 60	700	-	Поковка	Rz 10	98h15	90h10	400	380	С охл.	В центрах

Таблица 3.32 – Данные к задаче 2

№ вар.	Материал за- готовки	σ_B , МПа	НВ	Вид заготовки и состояние её поверхности	Шерохо- ватость пов-ти, мкм	D , мм	d , мм	L_3 , мм	L , мм	Примене- ние охла- ждения
15	Серый чугун СЧ10	-	120	Отливка с коркой	Rz 40	100h17	92h12	850	800	Без охл.
16	Сталь 45	700	-	Прокат с просверловкой отв.	Ra 3,2	60h14	50h10	750	700	С охл.
17	Сталь 5	490	-	Прокат с просверловкой отв.	Ra 2,5	48h12	40h9	950	900	С олхл.
18	Серый чугун СЧ15	-	160	Отливка без корки	Ra 15	156h17	150h12	700	600	Без охл.
19	Сталь 40Х	750	-	Прокат с просверловкой отв.	Rz 10	70h16	60h11	750	700	С охл.
20	Сталь 30ХГС	800		Прокат с просверловкой отв.	Rz 20	108h14	100h10	1100	1000	Без охл.
21	Сталь 35	690		Прокат	Rz 30	90h15	82h11	1250	1200	Без охл.
22	Серый чугун СЧ20		180	Отливка с коркой	Rz 30	125h15	120h11	850	800	С охл.
23	Сталь 12Х18Н10Т	610	-	Прокат	Rz 10	124h12	120h10	940	900	С охл.
24	Серый чугун СЧ10	-	120	Отливка с коркой	Rz 50	105h17	96h12	1100	1000	С охл.
25	Серый чугун СЧ20	-	180	Отливка с коркой	Rz 30	100h15	94h10	1000	900	С охл.
26	Сталь 50	690	-	Прокат	Ra 2,5	64h12	60h8	850	830	С охл.
27	Серый чугун СЧ10	-	140	Отливка с коркой	Rz 30	120h16	100h11	560	550	Без охл.
28	Сталь 20ХН	650	-	Штамповка с коркой	Rz 10	98h15	90h10	400	380	С охл.

Лабораторная работа 4. Параметры режимов резания при фрезеровании

Цель работы: научиться рассчитывать наиболее оптимальные режимы резания при фрезерной обработке по аналитическим формулам и с применением современных специализированных онлайн-калькуляторов, а также провести сравнительный анализ полученных данных.

4.1 Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя вариант задания (табл. 4.1).
2. Выполнить расчет режимов резания аналитическим (расчетным) методом по формулам. Необходимые значения коэффициентов выбрать по справочной литературе [3].
3. Провести альтернативный расчет тех же параметров с помощью специализированного инженерного онлайн-калькулятора (например, Walter, Hoffmann [5, 6] или аналогичных сервисов).
4. Составить сравнительную таблицу по результатам аналитического и электронного расчетов.
5. В выводах к работе сопоставить полученные данные и объяснить причины возможных расхождений (различия в алгоритмах, учет современных инструментальных материалов и т. д.).

4.2 Основные сведения

Режим резания при фрезеровании назначается следующим образом.

1. Выбирается станок, с помощью которого можно обработать деталь заданной конфигурации и размеров. Иногда эта операция выпадает, так как станок задан.
2. Выбирается инструмент (фреза торцевая, цилиндрическая, дисковая и др.), который наиболее подходит для эффективного выполнения заданной операции и определяется марка инструментального материала.
3. Определяется глубина резания. В целях сокращения технологического времени рекомендуется вести обработку в один проход. При повышенных требованиях к шероховатости детали или большом припуске обработка ведется в два – три прохода (черновые и чистовой).
4. Определяется подача на зуб S_z . Ее выбор зависит от обрабатываемого материала, материала режущей части, типа фрезы и для отдельных типов фрез – глубины резания t , ширины фрезерования B и диаметра фрезы D . Рекомендуемая подача на зуб определяется по справочникам.
5. Выбирается стойкость фрезы T в зависимости от ее типа, инструментального материала и диаметра.
6. Рассчитывается теоретическая скорость резания (м/мин) по следующей

формуле:

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

где C_V – коэффициент, учитывающий условия обработки; D – диаметр фрезы, мм; T – стойкость фрезы, мм; t – глубина фрезерования, мм; S_z – подача на зуб, мм/зуб; B – ширина фрезерования, мм; z – число зубьев фрезы; K_V – общий поправочный коэффициент; q, m, x, y, u, p – показатели степеней.

7. Определяется теоретическая частота вращения шпинделя (об/мин):

$$n_T = \frac{1000 \cdot V_T}{\pi \cdot D}.$$

8. Найденная частота корректируется по паспортным данным выбранного станка n .

9. Находится действительная скорость резания V (м/мин) с учетом коррекции числа оборотов:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}.$$

Сравниваются V_T и V . Если расхождение будет больше 25 %, то станок выбран некорректно и следует вернуться в начало расчета.

10. Определяется минутная подача (мм/мин):

$$S_M = S_z \cdot z \cdot n.$$

11. Минутная подача корректируется по паспортным данным выбранного станка $S_{Мскор}$.

12. Вычисляется действительная подача на зуб $S_{z\partial}$ (мм/зуб):

$$S_{z\partial} = \frac{S_{Мскор}}{z \cdot n}.$$

13. Осуществляется проверка выбранного режима по мощности:

$$N_{рез} \leq N_{см},$$

где $N_{рез}$ – мощность, затрачиваемая на резание; $N_{см}$ – мощность станка.

Мощность станка N_{cm} (кВт) определяют по формуле:

$$N_{cm} = N_{\partial} \cdot \eta,$$

где N_{∂} – мощность двигателя станка; η – КПД станка.

Мощность резания (кВт) можно определить по формуле:

$$N_{рез} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60},$$

где P_z – окружная сила (Н):

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

где C_p – коэффициент, учитывающий условия обработки;
 K_{MP} – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала.

14. Рассчитывается основное технологическое время T_0 (мин):

$$T_0 = \frac{L}{S_{мскор}},$$

где L – длина рабочего хода (мм). Длину рабочего хода определяют с учетом величины врезания и перебега следующим образом:

$$L = l + \Delta + y,$$

где l – длина обрабатываемой детали; Δ – величина врезания; y – величина перебега.

4.3 Контрольные вопросы

1. Частью чего является процедура назначения режима резания?
2. Цель операции фрезерования.
3. Какие исходные данные нужны для процедуры назначения?
4. Расчетный метод назначения режима резания.
5. Что такое коррекция величины подачи (главного движения)?
6. Как проверяется режим резания?

4.4 Индивидуальные задания

Индивидуальные задания для определения режимов резания приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Варианты заданий к лабораторной работе 4

№ вар.	Заготовка			t , мм	Материал	Станок
	L , мм	B , мм	h , мм			
1	720	180	50	12	Чугун	6П80Г
2	640	160	50	13	Сталь 45	6П80Г
3	560	140	50	14	Сталь 40Х	6П80Г
4	480	120	50	15	Чугун	6П80Г
5	400	100	50	16	Сталь 45	6П80Г
6	800	320	45	12	Сталь 40Х	6М82Г
7	720	300	45	13	Чугун	6М82Г
8	640	280	45	14	Сталь 45	6М82Г
9	560	260	45	15	Сталь 40Х	6М82Г
10	480	240	45	16	Чугун	6М82Г
11	640	250	45	12	Сталь 45	6Н81
12	560	225	45	13	Сталь 40Х	6Н81
13	480	200	45	14	Чугун	6Н81
14	400	175	45	15	Сталь 45	6Н81
15	340	150	45	12	Сталь 40Х	6Н81
16	800	320	45	13	Чугун	6Н12ПБ
17	700	260	45	14	Сталь 45	6Н12ПБ
18	600	220	45	15	Сталь 40Х	6Н12ПБ
19	500	180	45	12	Чугун	6Н12ПБ
20	400	120	45	13	Сталь 45	6Н12ПБ
21	600	400	45	14	Сталь 40Х	6М13Г
22	550	340	45	15	Чугун	6М13Г
23	500	280	45	12	Сталь 45	6М13Г
24	450	220	45	13	Сталь 40Х	6М13Г
25	400	180	45	14	Чугун	6М13Г

Лабораторная работа 5. Параметры режимов резания при строгании

Цель работы: научиться рассчитывать наиболее оптимальные режимы резания при строгании по аналитическим формулам и с применением современных специализированных онлайн-калькуляторов, а также провести сравнительный анализ полученных данных.

5.1 Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя вариант задания (табл. 5.7).
2. Выполнить назначение режимов резания аналитическим (расчетным) методом по формулам.
3. Провести аналогичный расчет параметров обработки с помощью инженерного онлайн-калькулятора (например, универсальных металлообрабатывающих онлайн-сервисов).
4. Занести результаты традиционного расчета и данные из онлайн-калькулятора в общую таблицу.
5. Сформулировать вывод, сопоставив результаты обоих методов, и объяснить причины выявленных отклонений (учет динамики обратного хода, особенности геометрии строгальных резцов и т. д.).

5.2 Основные сведения

Строгание и долбление – это операции, обычно применяемые при обработке горизонтальных и вертикальных плоскостей и пазов различного профиля, а также для получения фасонных поверхностей с прямолинейными образующими.

При назначении режима резания в строгой последовательности выполняются такие действия:

1. Рассматривается чертёж обрабатываемой детали и выясняются требования, предъявляемые к готовому изделию, на основании которых формируются предложения по выбору станка, инструмента, и ориентировочно оценивается характер процесса резания (черновое, получистовое, чистовое).
2. Выбирается станок, с помощью которого можно обрабатывать данную деталь (табл. 5.3). При выборе станка необходимо учитывать, что строгальные станки делятся на поперечно- и продольно строгальные. У продольно-строгальных станков движение резания сообщается столу с закрепленной на нём заготовкой, а движение подачи – резцу. У поперечно-строгальных станков наоборот. Долбежные станки отличаются от строгальных тем, что у них возвратно-поступательное движение осуществляется не в горизонтальной, а в вер-

тикальной плоскости и скорости рабочего и холостого хода равны.

Станок выбирается из инженерных и конструктивных соображений, которые включают в себя накопленный опыт по правильному выбору оборудования. В частности, эти соображения основаны на установлении необходимых классов точности станка, его оптимальной мощности и перемещения рабочих органов, позволяющих обрабатывать деталь заданных габаритов.

Возможен также и другой вариант, который больше распространен на практике – станок задан заранее (например, установлен в цехе и его замена не возможна). В этом случае весь расчет режима резания необходимо проводить, учитывая характеристики выбранного станка и стараясь при этом в возможно большей степени компенсировать негативные последствия выбора оборудования за счет других параметров процесса обработки.

3. Выбирается инструмент. В качестве режущего инструмента при строгании применяют строгальные резцы, а при долблении – долбежные. В силу специфики работы, которая включает в себя ударные нагрузки и возвратно-поступательные движения инструмента или детали, они несколько отличаются от обычных токарных резцов. Применяемые резцы в виду выполняемых работ делятся на проходные, подрезные, отрезные и фасонные. Форма державки резца преимущественно прямоугольная и имеет сечение в 1,25...1,5 раза больше, чем у токарных, что вызвано необходимостью компенсации ударных нагрузок.

Выбор инструмента сопряжен с выбором марки инструментального материала. Для случая строгания и долбления необходимо учитывать, что поскольку работа ведется с ударами, нельзя использовать хрупкие инструментальные материалы (минералокерамику, керметы, трехкарбидные твердые сплавы и пр.). Предпочтение необходимо отдавать быстрорежущим сталям и вязким твердым сплавам.

4. Определяется глубина резания в зависимости от припуска на обработку. Общей тенденцией здесь является стремление взять глубину резания равной величине припуска, что обеспечивает максимальную производительность обработки.

Ограничивающими факторами являются требования к качеству поверхности, мощности станка и прочности инструмента. В зависимости от требований к качеству поверхности резания подразделяется на черновое ($t > 2$ мм), получистовое ($t = (0,5-2)$ мм) и чистовое ($t = (0,1-0,4)$ мм). Мощность станка и прочность инструмента выбирается на основе инженерных соображений.

При неправильном выборе этих параметров ошибка выявится в ходе проводимых расчетов. В этом случае необходимо вернуться к началу расчета, выбрать новые параметры и расчет повторить.

5. Выбирается подача. Выбор производится в зависимости от ряда исходных данных (табл. 5.6).

6. Выбранная подача корректируется по станку (табл. 5.3).

7. Определяется теоретическая скорость резания (м/мин) на основании выбранной глубины резания, подачи и принятой стойкости резца по формуле:

$$V_T = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y},$$

где C_V – коэффициент, зависящий от условий обработки; T – стойкость инструмента, мин (среднее значение стойкости строгальных и долбежных резцов – 120 мин); t – глубина резания, мм; S – подача, мм/дв. ход; m, x, y – показатели степени; K_V – общий поправочный коэффициент.

Формула аналогична формуле для расчета скорости резания при точении, включая все коэффициенты и показатели степеней, величины которых для разных случаев обработки приведены в табл. 5.1.

8. По найденной скорости резания определяется теоретическое число двойных ходов в минуту:

$$K_T = \frac{1000 \cdot V_T}{L \cdot (1 + m)},$$

где L – длина хода стола (или ползуна), определяемая как сумма длины обрабатываемой поверхности и перебега резца в обе стороны ($L = l + l_{пер}$). Перебег определяется по таблице 5.4 в зависимости от длины строгания, l – длина детали; $l_{пер}$ – перебег в обе стороны; m – отношение скорости рабочего хода к скорости холостого хода (табл. 5.5) (для долбежных станков $m = 1$).

9. Найденное теоретическое число двойных ходов корректируется по выбранному станку.

10. Определяется действительная скорость резания (м/мин) с учетом скорректированного числа двойных ходов по формуле

$$V = \frac{K \cdot L \cdot (1 + m)}{1000}.$$

11. Сравниваются действительная и расчетная скорости резания. Расхождение должно быть в пределах 10–15 %. Если расхождения между этими скоростями больше, то необходимо выбрать другой станок.

12. Проводится проверка выбранного режима резания по мощности (кВт) станка:

$$N_{рез} \leq N_{см},$$

где $N_{рез}$ – мощность, затрачиваемая на резание; $N_{см}$ – мощность станка.

Мощность станка $N_{см}$ определяется по формуле

$$N_{см} = N_{д} \cdot \eta,$$

где N_{∂} – мощность двигателя станка; η – КПД станка.

Мощность резания

$$N_{рез} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60},$$

где P_z – тангенциальная составляющая силы резания:

$$P_z = 10 \cdot C_{P_z} \cdot t^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot V^{z_p},$$

здесь C_{P_z} – коэффициент, зависящий от условий обработки; x_p, y_p, z_p – показатели степени.

Для обрабатываемой конструкционной стали $\sigma_s = 750$ МПа, значение коэффициента C_{P_z} и показателей степеней x_p, y_p, z_p приведены в табл. 5.2.

13. При тяжелых условиях работы делается также проверка прочности резца. Условие прочности державки резца выражается следующей формулой:

$$\sigma_{изг} \leq [\sigma_{изг}],$$

где $\sigma_{изг}$ – наибольшее напряжение в теле резца, зависящее от воспринимаемой нагрузки, материала тела резца и размеров поперечного сечения, МПа; $[\sigma_{изг}]$ – допускаемое напряжение для державки резца, МПа (для стали марок У7, 45 $[\sigma_{изг}] = 200\text{--}250$ МПа);

$$\sigma_{изг} = \frac{M_{изг}}{W} = \frac{P_z \cdot l_p}{W},$$

где $M_{изг}$ – изгибающий момент, Н·м; P_z – сила резания, Н; l_p – вылет резца из резцедержателя, м; W – осевой момент сопротивления или момент сопротивления при изгибе, м³.

Вылет резца из резцедержателя определяется по следующей формуле:

$$l_p \approx (1,2 \div 1,25) \cdot H,$$

где H – высота сечения державки резца. Момент сопротивления при изгибе для прямоугольного сечения рассчитывается по следующей формуле:

$$W = \frac{B \cdot H^2}{6},$$

где B – ширина сечения державки резца.

14. Определяется основное технологическое время (мин):

$$T_o = \frac{B_0 + B_1 + B_2}{K \cdot S},$$

$$B_1 = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi,$$

где B_0 – ширина обработанной поверхности; B_1 – боковое врезание резца; B_2 – боковой сход резца ($B_2 = (2-3)$ мм); K и S – скорректированное число двойных ходов и скорректированная подача.

5.3 Пример назначения режима резания

Исходные данные: деталь из стали 35 ($\sigma_s = 600$ МПа), ширина $B_0 = 100$ мм, длина $l = 250$ мм. Необходимо назначить режим резания для операции строгания (припуск $h = 2$ мм и шероховатость $R_z = 20$ мкм).

1. На основании габаритных размеров детали и величины припуска под обработку выбираем поперечно-строгальный станок 7В36, который по нашим соображениям должен выполнить поставленную задачу.

2. Анализируем предстоящий процесс обработки и приходим к выводу, что в качестве инструмента в данном случае можно выбрать строгальный резец. Материал режущей части – быстрорежущая сталь Р6М5, сечение державки резца – 20×30 мм, форма головки резца изогнутая вниз, $\varphi = 45^\circ$, радиус при вершине 1 мм.

3. Для получения $R_z 20$ мкм необходимо применить полуступенчатую обработку. В этом случае можно взять максимальную глубину резания $t = 2$ мм. Поэтому принимаем $t = h = 2$ мм, т. е. весь припуск снимаем за один проход.

4. Выбираем подачу, имея в виду, что резание относится к разряду полуступенчатой обработки ($t = 2$ мм), а $R_z = 20$ мкм. В этом случае $S = (0,25-0,4)$ мм/дв. ход. Выбираем из этого диапазона $S = 0,3$ мм/дв. ход.

5. Корректируем подачу по паспортным данным станка, т. е. используя данные, отыскиваем подачу, наиболее близкую выбранной: $S = 0,4$ мм/дв. ход.

6. На основании выбранной глубины, подачи и данных таблицы 5.1 определяем скорость резания:

$$V_T = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} = \frac{56 \cdot 1}{120^{0,125} \cdot 2^{0,25} \cdot 0,4^{0,66}} = 47,1 \text{ м/мин.}$$

7. Определяем число двойных ходов в минуту. Для этого по таблицам 5.4 и 5.5 находим $l_{\text{пер}} = 60$ мм, $m = 0,84$, тогда:

$$K_T = \frac{1000 \cdot V_T}{L \cdot (1+m)} = \frac{1000 \cdot 47,1}{310 \cdot (1+0,84)} = 82,57 \text{ дв. ход./мин.}$$

8. Корректируем число двойных ходов по паспортным данным станка – $K = 85$ дв. ход/мин.

9. Определяем действительную скорость резания:

$$V = \frac{K \cdot L \cdot (1+m)}{1000} = \frac{85 \cdot 310 \cdot (1+0,84)}{1000} = 48,48 \text{ м/мин.}$$

10. Сравниваем действительную и теоретическую скорость резания.

Расхождение составляет 2,9 %, что не выходит за рамки 10–15 %.

Следовательно, станок в плане скоростей выбран правильно.

11. Осуществляем проверку выбранного режима по мощности:

$$N_{рез} \leq N_{см}$$

$$N_{см} = N_{\partial} \cdot \eta = 4,5 \cdot 0,65 = 2,93 \text{ кВт.}$$

$$P_z = 10 \cdot C_{p_z} \cdot t^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot V^{z_p} = 200 \cdot 2^{1,0} \cdot 0,4^{0,75} \cdot 48,48^0 = 2000 \text{ Н.}$$

$$N_{рез} = \frac{P_z \cdot V}{102 \cdot 60} = \frac{2000 \cdot 48,48}{1020 \cdot 60} = 1,58 \text{ кВт}$$

Условие проверки по мощности выполняется. Условие резания не тяжелые – получистовая обработка, поэтому проверку на прочность резца можно не делать.

Определяем основное технологическое время.

$$B_1 = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi = 2 \cdot \operatorname{ctg} 45 = 2 \text{ мм.}$$

$$B_2 = 2 \text{ мм.}$$

$$T_o = \frac{B_0 + B_1 + B_2}{K \cdot S} = \frac{100 + 2 + 2}{85 \cdot 0,4} = 3,1 \text{ мин.}$$

5.4 Контрольные вопросы

1. Порядок назначения режима резания при строгании?
2. Какие исходные данные нужны для процедуры назначения?
3. Расчетный метод назначения режима резания.

4. Что такое коррекция величины подачи?
5. Как проверяется режим резания?

5.5 Справочные данные

В таблицах 5.1 – 5.6 приведены справочные данные для расчета режимов резания.

Таблица 5.1 – Значения коэффициентов и показателей степеней для подсчета скорости резания

Материал режущей части инструмента	Подача, мм/дв. ход	Коэффициенты и показатели степеней			
		C_v	x	y	m
Твердый сплав	до 0,3	273	0,15	0,2	0,2
	0,3–0,75	227		0,35	
	> 0,75	221		0,45	
Быстрорежущая сталь	< 0,25	87,5	0,25	0,33	0,125
	> 0,25	56		0,66	

Таблица 5.2 – Коэффициенты и показатели степеней для определения тангенциальной составляющей силы резания

Материал режущей части инструмента	Коэффициенты и показатели степеней			
	C_{Pz}	x_p	y_p	z_p
Твердый сплав	300	1,0	0,75	-0,15
Быстрорежущая сталь	200	1,0	0,75	0

Таблица 5.3 – Паспортные данные строгальных и долбежных станков

Станок долбежный 7M430	
Мощность двигателя 7,5 кВт, КПД станка 0,8.	
Наибольшая длина хода ползуна: 320 мм.	
Наибольшее сечение державки резца $B \times H$: 16 x 25 мм.	
Число двойных ходов (дв. ход/мин): 5–11; 7,9–22; 11–36; 19,3–36	
Подача (мм/дв. ход):	
0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,06; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,06; 2,2; 2,4; 2,6	
Станок поперечно-строгальный 7A33	
Мощность двигателя 3 кВт, КПД станка 0,75.	
Наибольшая длина хода ползуна: 320 мм.	
Наибольшее сечение державки резца $B \times H$: 16 x 25 мм.	
Число двойных ходов (дв. ход/мин): 41,6; 61,2; 94,5; 106,3.	
Подача (мм/дв. ход):	
0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,9; 1; 1,1; 1,2.	

Окончание таблицы 5.3

Станок поперечно-строгальный 7В36	
Мощность двигателя 4,5 кВт, КПД станка 0,65. Наибольшая длина хода ползуна: 700 мм Наибольшее сечение державки резца <i>В</i> х <i>Н</i> : 20 х 30 мм. Число двойных ходов (дв. ход/мин): 10,6; 15; 21,2; 30; 42,5; 60; 85; 118. Подача (мм/дв. ход): 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 2; 2,2; 2,4; 2,6; 2,8; 3,06; 3,2	
Станок долбежный 7А412	
Мощность двигателя 1,6 кВт, КПД станка 0,8. Наибольшая длина хода ползуна: 100 мм. Наибольшее сечение державки резца <i>В</i> х <i>Н</i> : 12 х 20 мм. Число двойных ходов (дв. ход/мин): 52; 67; 101; 210. Подача (мм/дв. ход): 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0	

Таблица 5.4 – Перебег стола

Продольно-строгальные станки		Поперечно-строгальные станки	
Длина строгания, мм, до	Перебег стола в обе стороны, мм	Длина строгания, мм, до	Перебег резца в обе стороны, мм
2000	200	100	35
4000	325	200	50
6000	375	300	60
10000	475	св. 300	75

Таблица 5.5 – Отношение скоростей рабочего и холостого ходов ползуна

Длина хода ползуна, мм	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
Отношение скоростей рабочего и холостого ходов пол- зуна	0,93	0,90	0,87	0,84	0,81	0,78	0,75	0,72	0,69	0,665	0,64	0,615	0,59

Таблица 5.6 – Диапазоны рекомендуемых подач

Поперечно-строгальные станки					
Черновая обработка плоскостей					
Обрабатываемый материал	Сечение державки	Глубина резания t , мм			
		<3	[3–5]	>5	
		Подача S , мм/дв. ход			
Сталь	16×25	1,0–1,2	0,5–0,7	0,3–0,4	
	20×30	1,3–1,6	1,2–1,3	0,5–0,7	
	25×40	1,7–2,0	1,2–1,6	0,9–1,2	
Чугун и медные сплавы	16×25	1,2–1,4	0,9–1,2	0,6–1,0	
	20×30	1,6–1,8	1,3–1,6	1,0–1,4	
	25×40	1,7–2,0	1,7–2,0	1,3–1,6	
Чистовая обработка плоскостей					
Класс чистоты	Обрабатываемый материал	Радиус или переходная кромка при вершине резца, мм			
		1	2	3	
		Подача S , мм/дв. ход			
4	Сталь, чугун и медные сплавы	0,7–0,8	1,0–1,2		
5	Сталь	0,25–0,4	0,5–0,7	0,7–0,9	
	Чугун и медные сплавы	0,35–0,5	0,6–0,8	0,9–1,0	
Долбежные станки					
Черновая обработка плоскостей					
Обрабатываемый материал	Сечение державки	Глубина резания t , мм			
		<3	[3–5]	>5	
		Подача S , мм/дв. ход			
Сталь	16×25	1,0–1,2	0,5–0,7	0,3–0,4	
	20×30	1,3–1,6	0,8–1,2	0,5–0,7	
	30×45	1,7–2,0	1,2–1,6	0,9–1,2	
Чугун и медные сплавы	16×25	1,2–1,4	0,8–1,2	0,6–1,0	
	20×30	1,6–1,8	1,3–1,6	1,0–1,4	
	30×45	1,7–2,0	1,7–2,0	1,3–1,6	
Чистовая обработка плоскостей					
Класс точности	Обрабатываемый материал	φ_1	Радиус при вершине резца, мм		
			1	2	3
			Подача S , мм/дв. ход		
4	Сталь и чугун	3–4	0,9–1,0	1,2–1,5	
		5–10	0,7–0,8	1,0–1,2	
5	Сталь	2,3	0,25–0,4	0,5–0,7	0,7–0,9
	Чугун		0,35–0,5	0,6–0,8	0,9–1,0

5.6 Индивидуальные задания

Индивидуальные задания приведены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Варианты индивидуальных заданий

№	Заготовка								Инструмент							
	Операция	Тип обработки	t мм	b мм	l мм	Материал	σ_s МПа	HB ед	B мм	H мм	γ	φ	φ_1	r мм	$l_{рез}$ мм	Инструментальный материал
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	стр	чер	2,2	100	200	20	48	–	16	25	5	30	10	3,1	1,5Н	тс
2	дол	кл4	1	56	200	20	50	–	16	25	7	45	10	3	2Н	тс
3	стр	чер	3,5	300	510	40Х	65	–	20	30	9	40	15	2	3,2Н	бс
4	стр	чер	4	210	210	СЧ	–	265	16	25	0	40	10	1,5	3Н	тс
5	дол	кл4	1,2	96	220	СЧ	–	270	16	25	2	35	20	2,6	2Н	бс
6	стр	кл5	0,8	145	420	Л63	15	–	20	30	15	35	10	1,2	2,2Н	бс
7	стр	кл4	1,3	88	180	45	70	–	16	25	9	30	20	3	1,8Н	тс
8	стр	кл5	0,7	99	360	40Х	75	–	20	30	10	40	12	3	1,8Н	тс
9	дол	чер	4	47	100	45	65	–	20	30	10	45	12	0,8	3Н	тс
10	дол	кл5	0,5	110	150	СЧ	–	260	16	25	0	30	10	0,6	2Н	бс
11	стр	чер	2	48	190	СЧ	–	260	16	25	1	45	15	2	2Н	тс
12	стр	кл4	1	258	520	20	55	–	20	30	6	30	15	2,2	2,8Н	тс
13	дол	кл5	0,8	179	230	40Х	70	–	20	30	5	50	20	3,1	1,9Н	бс
14	стр	кл4	0,9	63	150	Л63	10	–	16	25	13	40	10	0,5	1,5Н	тс
15	дол	чер	3,1	89	80	СЧ	–	265	30	45	0	45	12	1	1,5Н	бс
16	стр	кл5	0,6	75	300	45	60	–	20	30	9	50	20	1,1	2,2Н	тс
17	дол	чер	3,8	125	190	45	60	–	20	30	10	50	20	2,3	2,5Н	тс
18	дол	чер	2,9	49	200	СЧ	–	270	16	25	2	30	10	2	2Н	тс
19	стр	чер	4,1	120	200	СЧ	–	265	16	25	3	35	15	0,9	3Н	бс
20	стр	чер	2,1	200	390	Л63	12	–	20	30	14	40	12	1	3Н	бс
Примечания: Операции: СТР – строгание, ДОЛ – долбление Тип обработки: ЧЕР – черновой, КЛ – чистовой (4,5 класс чистоты) Материал: цифра – марка стали, СЧ – серый чугун, Л63 – латунь Материал инструмента: тс – твердый сплав, бс – быстрорежущая сталь																

Лабораторная работа 6. Параметры режимов резания при сверлении

Цель работы: научиться рассчитывать наиболее оптимальные режимы резания при сверлении и рассверливании по аналитическим формулам и с применением современных специализированных онлайн-калькуляторов, а также провести сравнительный анализ полученных данных.

6.1 Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя вариант задания (табл. 6.12, 6.13).
2. Выполнить назначение режимов резания аналитическим (расчетным) методом по формулам.
3. Провести аналогичный расчет параметров обработки с помощью инженерного онлайн-калькулятора (например, специализированных онлайн-сервисов производителей осевого инструмента Guhring, Sandvik Coromant или Walter [5]).
4. Занести результаты традиционного расчета и данные из онлайн-калькулятора в общую таблицу.
5. Сформулировать вывод, сопоставив результаты обоих методов, и объяснить причины выявленных отклонений (влияние глубины сверления и длины стружкоотводящих канавок, подточка перемычки, применение СОЖ и т. д.).

6.2 Основные сведения

1. *Глубина резания t , мм.* При сверлении глубина резания $t = 0,5 D$, при рассверливании, зенкеровании и развертывании $t = 0,5 (D - d)$, где d – начальный диаметр отверстия; D – диаметр отверстия после обработки.

2. *Подача s , мм/об.* При сверлении отверстий без ограничивающихся факторов выбираем максимально допустимую по прочности сверла подачу (табл. 6.1). При рассверливании отверстий подача, рекомендованная для сверления, может быть увеличена до 2 раз. При наличии ограничивающих факторов подачи при сверлении и рассверливании равны. Их определяют умножением табличного значения подачи на соответствующий поправочный коэффициент, приведенный в примечании к таблице.

Полученные значения корректируем по паспорту станка (табл. 6.9). Подачи при зенкеровании приведены в таблице 6.2, а при развертывании – в таблице 6.3.

3. *Скорость резания v_p , м/мин.* Скорость резания при сверлении

$$v_p = \frac{C_v D^q}{T^m S^y} K_v,$$

а при рассверливании, зенкеровании, развертывании

$$v_p = \frac{C_v D^q}{T^m t^x s^y} K_v,$$

значения коэффициентов C_v и показателей степени m, x, y, q приведены для сверления в таблице 6.4, для рассверливания, зенкерования и развертывания – в таблице 6.5, а значения периода стойкости T – в таблице 6.7.

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания,

$$K_v = K_{mv} K_{uv} K_{lv},$$

где K_{mv} – коэффициент на обрабатываемый материал (табл. 3.1, 3.3, 3.7, 3.8); K_{uv} – коэффициент на инструментальный материал (табл. 3.4); K_{lv} – коэффициент, учитывающий глубину сверления (табл. 6.6). При рассверливании и зенкерованием литых или штампованных отверстий вводится дополнительно поправочный коэффициент K_{nv} (табл. 3.2).

4. Частоту вращения n , об/мин, рассчитывают по формуле

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

где v_p – скорость резания, м/мин; D – диаметр отверстия, мм.

После расчета частоты вращения принимают ее ближайшее меньшее значение по паспорту станка (табл. 6.9). Затем уточняют скорость резания по принятому значению n_{np} :

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

5. Крутящий момент $M_{кр}$, Н·м, и осевую силу P_o , Н, рассчитывают по формулам:

– при сверлении:

$$\begin{aligned} M_{кр} &= 10 C_m D^q s^y K_p; \\ P_o &= 10 C_p D^q s^y K_p; \end{aligned}$$

– при рассверливании и зенкеровании:

$$\begin{aligned} M_{кр} &= 10 C_m D^q t^x s^y K_p; \\ P_o &= 10 C_p t^x s^y K_p. \end{aligned}$$

Значения C_m и C_p и показателей степени q, x, y приведены в таблице 6.8.

Коэффициент K_p , учитывающий фактические условия обработки, в данном случае зависит только от материала обрабатываемой заготовки и определяется выражением

$$K_p = K_{mp}.$$

Значения коэффициента K_{mp} приведены для стали и чугуна в таблице 3.11, а для медных и алюминиевых сплавов – в таблице 3.10.

Для определения крутящего момента при разворачивании каждый зуб инструмента можно рассматривать как расточной резец. Тогда при диаметре инструмента D крутящий момент, Н·м,

$$M_{кр} = \frac{C_p t^x s_z^y D z}{2 \cdot 100};$$

здесь s_z – подача, мм на один зуб инструмента, равная s/z , где s – подача, мм/об, z – число зубьев развертки. Значения коэффициентов и показателей степени (см. в табл. 3.22).

6. Мощность резания N_e , кВт, определяют по формуле:

$$N_e = \frac{M_{кр} n_{np}}{9750},$$

где n_{np} – частота вращения инструмента или заготовки, об/мин.

Мощность резания не должна превышать эффективную мощность главного привода станка $N_e < N_{\text{э}}$ ($N_{\text{э}} = N_{\text{дв}} \eta$, где $N_{\text{дв}}$ – мощность двигателя, η – КПД станка). Если условие не выполняется и $N_e > N_{\text{э}}$, снижают скорость резания. Определяют коэффициент перегрузки $K_n = \frac{N_e}{N_{\text{э}}}$. рассчитывают новое меньшее

значение скорости резания $v_y = \frac{v}{K_n}$.

Также проверяют подачу станка и по допустимому усилию $P_o < P_{ост}$, где $P_{ост}$ – осевая сила станка.

7. Основное время T_o , мин, рассчитывают по формуле

$$T_o = \frac{L}{n_{np} s},$$

где L – длина рабочего хода инструмента, мм.

Длина рабочего хода $L = l + l_1 + l_2$, где l – длина обрабатываемой поверхности, мм; l_1 и l_2 – величины врезания и перебега инструмента, мм (табл. 6.10, 6.11).

6.3 Справочные данные

Таблица 6.1 – Подача, мм/об, при сверлении стали, чугуна, медных и алюминиевых сплавов сверлами из быстрорежущей стали

Диаметр сверла D , мм	Сталь				Серый и ковкий чугун, медные и алюминиевые сплавы	
	$HB < 160$	$HB 160-240$	$HB 240-300$	$HB > 300$	$HB \leq 170$	$HB > 170$
2 – 4	0,09 – 0,13	0,08 – 0,10	0,06 – 0,07	0,04 – 0,06	0,12 – 0,18	0,09 – 0,12
4 – 6	0,13 – 0,19	0,10 – 0,15	0,07 – 0,11	0,06 – 0,09	0,18 – 0,27	0,12 – 0,18
6 – 8	0,19 – 0,26	0,15 – 0,20	0,11 – 0,14	0,09 – 0,12	0,27 – 0,36	0,18 – 0,24
8 – 10	0,26 – 0,32	0,20 – 0,25	0,14 – 0,17	0,12 – 0,15	0,36 – 0,45	0,24 – 0,31
10 – 12	0,32 – 0,36	0,25 – 0,28	0,17 – 0,20	0,15 – 0,17	0,45 – 0,55	0,31 – 0,35
12 – 16	0,36 – 0,43	0,28 – 0,33	0,20 – 0,23	0,17 – 0,20	0,55 – 0,66	0,35 – 0,41
16 – 20	0,43 – 0,49	0,33 – 0,38	0,23 – 0,27	0,20 – 0,23	0,66 – 0,76	0,41 – 0,47
20 – 25	0,49 – 0,58	0,38 – 0,43	0,27 – 0,32	0,23 – 0,26	0,76 – 0,89	0,47 – 0,54
25 – 30	0,58 – 0,62	0,43 – 0,48	0,32 – 0,35	0,26 – 0,29	0,89 – 0,96	0,54 – 0,60
30 – 40	0,62 – 0,78	0,48 – 0,58	0,35 – 0,42	0,29 – 0,35	0,96 – 1,19	0,60 – 0,71
40 – 50	0,78 – 0,89	0,58 – 0,66	0,42 – 0,48	0,35 – 0,40	1,19 – 1,36	0,71 – 0,81

Примечание: приведенные подачи применяют при сверлении отверстий глубиной $l \leq 3D$ с точностью не выше 12-го квалитета в условиях жесткой технологической системы. В противном случае вводят поправочные коэффициенты:

- на глубину отверстий – $K_{ls} = 0,9$ при $l \leq 5D$; $K_{ls} = 0,8$ при $l \leq 7D$; $K_{ls} = 0,75$ при $l \leq 10D$;
- на достижение более высокого качества отверстия в связи с последующей операцией развертывания или нарезание резьбы – $K_{os} = 0,5$;
- на недостаточную жесткость системы СПИД: при средней жесткости $K_{жс} = 0,75$; при малой жесткости $K_{жс} = 0,5$;
- на инструментальный материал – $K_{ис} = 0,6$ для сверла с режущей частью из твердого сплава.

Таблица 6.2 – Поддачи, мм/об, при обработке отверстий зенкерами из быстрорежущей стали и твердого сплава

Обрабатываемый материал	Диаметр зенкера D , мм								
	До 15	Св. 15 до 20	Св. 20 до 25	Св. 25 до 30	Св. 30 до 35	Св. 35 до 40	Св. 40 до 50	Св. 50 до 60	Св. 60 до 80
Сталь	0,5–0,6	0,6–0,7	0,7–0,9	0,8–1,0	0,9–1,1	0,9–1,2	1,0–1,3	1,1–1,3	1,2–1,5
Чугун, $HB \leq 200$ и медные сплавы	0,7–0,9	0,9–1,1	1,0–1,2	1,1–1,3	1,2–1,5	1,4–1,7	1,6–2,0	1,8–2,2	2,0–2,4
Чугун, $HB > 200$	0,5–0,6	0,6–0,7	0,7–0,8	0,8–0,9	0,9–1,1	1,0–1,2	1,2–1,4	1,3–1,5	1,4–1,5

Примечания. 1. Приведенные значения подачи применять для обработки отверстий с допуском не выше 12-го квалитета. Для достижения более высокой точности (9–11-й квалитеты), а также при подготовке отверстий под последующую обработку их одной разверткой или под нарезание резьбы метчиком вводить поправочный коэффициент $K_{os} = 0,7$.

2. При зенкерении глухих отверстий подача не должна превышать 0,3–0,6 мм/об.

Таблица 6.3 – Подачи, мм/об, при предварительном (черновом) развертывании отверстий развертками из быстрорежущей стали

Обрабатываемый материал	Диаметр развертки D , мм									
	До 10	Св. 10 до 15	Св. 15 до 20	Св. 20 до 25	Св. 25 до 30	Св. 30 до 35	Св. 35 до 40	Св. 40 до 50	Св. 50 до 60	Св. 60 до 80
Сталь	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0
Чугун, $HB \leq 200$ и медные сплавы	2,2	2,4	2,6	2,7	3,1	3,2	3,4	3,8	4,3	5,0
Чугун, $HB > 200$	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	2,7	3,1	3,4	3,8

Примечания. 1. Подачу следует уменьшать: а) при чистовом развертывании в один проход с точностью по 9–11-му квалитетам и параметром шероховатости поверхности $Ra = 3,2–6,3$ мкм или при развертывании под полирование и хонингование, умножая на коэффициент $K_{os} = 0,8$; б) при чистовом развертывании после чернового с точностью по 7-му квалитету и параметром шероховатости поверхности $Ra = 0,4–0,8$ мкм, умножая на коэффициент $K_{os} = 0,7$; в) при твердосплавной рабочей части, умножая на коэффициент $K_{us} = 0,7$.
2. При развертывании глухих отверстий подача не должна превышать 0,2–0,5 мм/об

Таблица 6.4 – Значения коэффициента C_v и показателей степени в формуле скорости резания при сверлении

Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	Подача s , мм/об	Коэффициент и показатели степени				Охлаждение
			C_v	q	y	m	
Сталь конструкционная углеродистая, $\sigma_B = 750$ МПа	P6M5	$\leq 0,2$ $> 0,2$	7,0 9,8	0,40	0,70 0,50	0,20	Есть
Сталь жаропрочная 12X18H9T, HB 141		-	3,5		0,50	0,45	
Чугун серый, HB 190			$\leq 0,3$ $> 0,3$	14,7 17,1	0,25	0,55 0,40	0,125
	BK8	-	34,2	0,45		0,30	0,20
Чугун ковкий, HB 150	P6M5	$\leq 0,3$ $> 0,3$	21,8 25,3	0,25	0,55 0,40	0,125	Есть
	BK8	-	40,4		0,45	0,3	0,20
Медные гетерогенные сплавы средней твердости (HB 100 – 140)	P6M5	$\leq 0,3$ $> 0,3$	28,1 32,6	0,25	0,55 0,40	0,125	Есть
Силумин и литейные алюминиевые сплавы, $\sigma_B = 100\text{--}200$ МПа, $HB \leq 65$; дюралюминий, $HB \leq 100$		$\leq 0,3$ $> 0,3$	36,3 40,7		0,25	0,55 0,40	
Примечание. Для сверл из быстрорежущей стали рассчитанные по приведенным данным скорости резания действительны при двойной заточке и подточенной перемычке. При одинарной заточке сверл из быстрорежущей стали рассчитанную скорость резания следует уменьшать, умножая ее на коэффициент $K_{zv} = 0,75$							

Таблица 6.5 – Значения коэффициента C_v и показателей степени в формуле скорости резания при рассверливании, зенкерование и развертывании

Обрабатываемый материал	Вид обработки	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени					Охлаждение
			C_v	q	x	y	m	
Конструкционная углеродистая сталь, $\sigma_b = 750$ МПа	Рассверливание	P6M5 BK8	16,2 10,8	0,4 0,6	0,2	0,5 0,3	0,2 0,25	Есть
	Зенкерование	P6M5 T15K6	16,3 18,0	0,3 0,6		0,5 0,3	0,3 0,25	
	Развертывание	P6M5 T15K6	10,5 100,6	0,3 0,3	0,2 0	0,65 0,65	0,4	
Конструкционная закаленная сталь, $\sigma_b = 1600 \div 1800$ МПа, $HRC 49 - 54$	Зенкерование	T15K6	10,0	0,6	0,3	0,6	0,45	
	Развертывание		14,0	0,4	0,75	1,05	0,85	
Серый чугун, $HB 190$	Рассверливание	P6M5 BK8	23,4 56,9	0,25 0,5	0,1 0,15	0,4 0,45	0,125 0,4	Нет
	Зенкерование	P6M5 BK8	18,8 105,0	0,2 0,4	0,1 0,15	0,4 0,45	0,125 0,4	
	Развертывание	P6M5 BK8	15,6 109,0	0,2 0,2	0,1 0	0,5 0,5	0,3 0,45	
Ковкий чугун, $HB 150$	Рассверливание	P6M5 BK8	34,7 77,4	0,25 0,5	0,1 0,15	0,4 0,45	0,125 0,4	Есть
	Зенкерование	P6M5 BK8	27,9 143,0	0,2 0,4	0,1 0,15	0,4 0,45	0,125 0,4	Есть
	Развертывание	P6M5 BK8	23,2 148,0	0,2 0,2	0,1 0	0,5 0,5	0,3 0,45	Есть Нет

Таблица 6.6 – Поправочный коэффициент K_{lv} на скорость резания при сверлении, учитывающий глубину обрабатываемого отверстия

Параметр	Сверление					Рассверливание, зенкерование, развертывание
Глубина обрабатываемого отверстия l	3D	4D	5D	6D	8D	-
Коэффициент K_{lv}	1,0	0,85	0,75	0,7	0,6	1,0

Таблица 6.7 – Средние значения периода стойкости сверл, зенкеров и разверток

Инструмент (операция)	Обрабатываемый материал	Материал режущей части инструмента	Стойкость T , мин, при диаметре инструмента, мм							
			До 5	6–10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60	61–80
Сверло (сверление и рассверливание)	Конструкционная углеродистая и легированная сталь	Быстрорежущая сталь	15	25	45	50	70	90	110	-
		Твердый сплав	8	15	20	25	35	45	-	-
	Коррозионно- стойкая сталь	Быстрорежущая сталь	6	8	15	25	-	-	-	-
	Серый и ковкий чугун, медные и алюминиевые сплавы	Быстрорежущая сталь	20	35	60	75	105	140	170	-
		Твердый сплав	15	25	45	50	70	90	-	
Зенкеры (зенкерование)	Конструкционная углеродистая и легированная сталь, серый и ковкий чугун	Быстрорежущая сталь и твердый сплав	-	-	30	40	50	60	80	100
Развертки (развертывание)	Конструкционная углеродистая и легированная сталь	Быстрорежущая сталь	-	25	40	80	80	120	120	120
		Твердый сплав	-	20	30	50	70	90	110	140
	Серый и ковкий чугун	Быстрорежущая сталь	-	-	60	120	120	180	180	180
		Твердый сплав	-	-	45	75	105	135	165	210

Таблица 6.8 – Значения коэффициентов и показателей степени в формулах крутящего момента и осевой силы при сверлении, рассверливании и зенкеровании

Обрабатываемый материал	Наименование операции	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени в формулах							
			крутящего момента				осевой силы			
			C_m	q	x	y	C_p	q	x	y
Конструкционная углеродистая сталь, $\sigma_B = 750$ МПа	Сверление	Быстрорежущая сталь	0,0345	2,0	-	0,8	68	1,0	-	0,7
	Рассверливание и зенкерование		0,09	1,0	0,9	0,8	67	-	1,2	0,65
Жаропрочная сталь 12X18H9T, HB 141	Сверление		0,041	2,0	-	0,7	143	1,0	-	0,7
	Рассверливание и зенкерование		0,106	1,0	0,9	0,8	140	-	1,2	0,65
Серый чугун, HB 190	Сверление	Твердый сплав	0,012	2,2	-	0,8	42	1,2	-	0,75
	Рассверливание и зенкерование		0,196	0,85	0,8	0,7	46	-	1,0	0,4
	Сверление	Быстрорежущая сталь	0,021	2,0	-	0,8	42,7	1,0	-	0,8
	Рассверливание и зенкерование		0,085	1,0	0,75	0,8	23,5	-	1,2	0,4
Ковкий чугун, HB 150	Сверление	Твердый сплав	0,021	2,0	-	0,8	43,3	1,0	-	0,8
			0,01	2,2	-	0,8	32,8	1,2	-	0,75
	Рассверливание и зенкерование		0,17	0,85	0,8	0,7	38	-	1,0	0,4
Гетерогенные медные сплавы средней твердости, HB 120	Сверление	Быстрорежущая сталь	0,012	2,0	-	0,8	31,5	1,0	-	0,8
	Рассверливание и зенкерование		0,031	0,85	0,8	0,8	17,2	-	1,0	0,4
Силумин и дюралюминий	Сверление		0,005	2,0	-	0,8	9,8	1,0	-	0,7

Примечание. Рассчитанные по формуле осевые силы при сверлении действительны для сверл с подточенной перемычкой; с неподточенной перемычкой осевая сила при сверлении возрастает в 1,33 раза

Таблица 6.9 – Паспортные данные металлорежущих станков

Вертикально-сверлильный станок 2Н125										
Наибольший диаметр обрабатываемого отверстия в заготовке из стали: 25 мм.										
Мощность двигателя $N_d = 2,8$ кВт; КПД станка $\eta = 0,8$.										
Частота вращения шпинделя, об/мин: 45; 63; 90; 125; 180; 250; 355; 500; 710; 1000; 1400; 2000.										
Подача, мм/об: 0,1; 0,14; 0,2; 0,28; 0,4; 0,56; 0,8; 1,12; 1,6.										
Максимальная осевая сила резания, допускаемая механизмом подачи станка, $P_{max} = 9000$ Н										
Вертикально-сверлильный станок 2Н135										
Наибольший диаметр обрабатываемого отверстия в заготовке из стали: 35 мм.										
Мощность двигателя $N_d = 4,5$ кВт; КПД станка $\eta = 0,8$.										
Частота вращения шпинделя, об/мин: 31,5; 45; 63; 90; 125; 180; 250; 355; 500; 710; 1000; 1400.										
Подача, мм/об: 0,1; 0,14; 0,2; 0,28; 0,4; 0,56; 0,8; 1,12; 1,6.										
Максимальная осевая сила резания, допускаемая механизмом подачи станка, $P_{max} = 15000$ Н										

Таблица 6.10 – Суммарная величина врезания l_1 и перебега l_2 при работе сверлами, зенкерами и развертками, мм

Вид работы		Диаметр инструмента D									
		3	5	10	15	20	25	30	40	50	60 и более
		Врезание l_1 + перебега l_2									
Сверление на проход при заточке сверл	одинарной	2	2,5	5	6	8	10	12	15	18	23
	двойной	-	-	6	8	10	15	17	18	22	27
Сверление в упор		1,5	2	4	6	7	9	11	14	17	21
Рассверливание при глубине резания	5	-	-	-	4		5		6		
	10	-	-	-	-	7	8		9		
	15	-	-	-	-	-	-	11		12	
	20	-	-	-	-	-	-	-	14	15	
	30	-	-	-	-	-	-	-	-	18	
Зенкерование на проход при глубине резания	1	-	-	-	3			4		5	
	3	-	-	-	5			6		7	
Зенкерование на проход при глубине резания	5	-	-	-	-	7		8		9	
	10	-	-	-	-	-	12	13		14	15
Зенкерование в упор		-	-	-	2			3		4	
Развертывание цилиндрических отверстий	на проход	-	8	9	15	18	19		24	25	26
	в упор	-	2	3				4		5	
Центрование отверстий		1-2	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Примечание. При обработке в упор в таблице дана величина врезания l_1											

Таблица 6.11 – Расчетная длина хода конических разверток $l_{расч}$

Конус-ность	Угол при вершине конуса	Припуск на диаметр под конус, мм										
		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	3,0
1:0,5	90°	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,5
1:0,86	60°	0,17	0,35	0,5	0,7	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,7	2,6
1:1,81	30°	0,37	0,8	1,1	1,5	1,9	2,2	2,6	3,0	3,4	3,7	5,6
1:3	18°56'	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4	6,0	9
1:5	11°25'	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	15
1:7	8°10'	1,4	2,8	4,2	5,6	7,0	8,4	9,8	11,2	12,6	14	21
1:10	5°44'	2,0	4,0	6,0	8,0	10	12	14	16	18	20	30
1:15	3°49'	3,0	6,0	9,0	12	15	18	21	24	27	30	45
1:20	2°52'	4,0	8,0	12	16	20	24	28	-	-	-	-
1:30	1°54'	6,0	12	18	24	30	36	-	-	-	-	-
1:50	1°08'	10,1	20,3	30,3	40,4	50,5	-	-	-	-	-	-

6.4 Индивидуальные задания

Задача 1. На вертикально-сверлильном станке производится сверление отверстия диаметром D мм, глубиной L мм. Данные выбрать из таблицы 6.12.

Требуется:

- выбрать режущий инструмент и материал режущей части инструмента;
- назначить режимы резания;
- определить машинное время.

Задача 2. На вертикально-сверлильном станке мод. 2Н135 производится рассверливание отверстия диаметра d мм до диаметра D мм, глубиной L мм. Данные выбрать из таблицы 6.13.

Требуется:

- выбрать режущий инструмент и материал режущей части инструмента;
- назначить режимы резания;
- определить машинное время.

6.5 Контрольные вопросы

1. Частью чего является процедура назначения режима резания?
2. Цель операции сверления.
3. Цель операции рассверливания.
4. Какие исходные данные нужны для процедуры назначения?
5. Расчетный метод назначения режима резания.
6. Что такое коррекция величины подачи (главного движения)?
7. Как проверяется режим резания?

Таблица 6.12 – Данные к задаче 1

№ варианта	Материал заготовки	σ_s , МПа	НВ	Вид сверления	Шероховатость поверхности, мкм	D , мм	L , мм	Применение охлаждения	Материал инструмента
1	Серый чугун СЧ20	-	180	Глухое	Rz 30	25Н12	100	Без охл.	ТС
2	Сталь 45	600	-	Сквозное	Rz 36	20Н12	100	С охл.	БРС
3	Сталь 40Х	700	-	Глухое	Rz 20	28Н12	80	С охл.	БРС
4	Серый чугун СЧ15	-	160	Сквозное	Rz 25	16Н12	100	Без охл.	ТС
5	Сталь 40Х	650	-	Сквозное	Rz 30	15Н12	100	С охл.	БРС
6	Сталь 18ХНМА	900	-	Сквозное	Rz 36	22Н12	85	Без охл.	БРС
7	Серый чугун СЧ 10	-	140	Сквозное	Rz 30	30Н12	95	С охл.	ТС
8	Сталь 18ХНМА	1000	-	Глухое	Rz 32	18Н12	75	С охл.	БРС
9	Сталь 40Г	800	-	Глухое	Rz 28	25Н12	65	С охл.	БРС
10	Серый чугун СЧ 20	-	210	Сквозное	Rz 30	20Н12	85	Без охл.	ТС
11	Сталь 20	590	-	Сквозное	Rz 30	26Н12	30	Без охл.	ТС
12	Сталь 30	690	-	Сквозное	Rz 20	12Н12	35	С охл.	БРС
13	Сталь 40ХН	850	-	Глухое	Rz 28	20Н12	40	С охл.	БРС
14	Сталь 25	560	-	Глухое	Rz 20	24Н12	50	С охл.	БРС

Примечание: ТС – твёрдый сплав; БРС – быстрорежущая сталь.

Таблица 6.13 – Данные к задаче 2

№ варианта	Материал заготовки	σ_s , МПа	НВ	Вид сверления	Шероховатость поверхности, мкм	d , мм	D , мм	L , мм	Применение охлаждения
15	Серый чугун СЧ20	-	180	Сквозное	Rz 36	20	40	50	Без охл.
16	Сталь 20	590	-	Сквозное	Rz 22	40	50	60	С охл.
17	Сталь 45Х	750	-	Глухое	Rz 36	15	25	50	С охл.
18	Серый чугун СЧ10	-	120	Глухое	Rz 30	10	30	60	Без охл.
19	Сталь 18ХНМА	800	-	Сквозное	Rz 35	30	60	60	Без охл.
20	Сталь 12ХНМА	800	-	Сквозное	Rz 26	20	50	40	С охл.
21	Серый чугун СЧ 15	-	160	Глухое	Rz 28	15	30	60	Без охл.
22	Сталь 18ХНМА	850	-	Сквозное	Rz 40	40	60	50	Без охл.
23	Сталь 50	700	-	Глухое	Rz 32	25	40	25	С охл.
24	Сталь 40Г	750	-	Глухое	Rz 32	30	45	30	Без охл.
25	Сталь 20Х	550	-	Глухое	Rz 30	18	30	20	Без охл.
26	Сталь 30	500	-	Сквозное	Rz 26	12	24	30	С охл.

Лабораторная работа 7. Параметры режимов резания при абразивной обработке

Цель работы: освоить методику назначения оптимальных режимов резания при шлифовании (окружной скорости круга, скорости детали, глубины шлифования, продольной подачи и основного технологического времени) на основе аналитических формул и справочных данных (таблиц с рекомендациями), с учётом схемы шлифования, свойств обрабатываемого материала и характеристик абразивного инструмента, и обосновать выбор назначенных параметров для заданной технологической задачи.

7.1 Порядок выполнения работы

1. В соответствии с вариантом задания, выберите абразивный круг согласно таблицам 7.1 и 7.2, укажите его маркировку.
2. Установите рекомендуемые режимы обработки по таблице 7.3.
3. Выполните расчёт частоты вращения шпинделя и её согласование с паспортными данными станка (частоты: 1400, 1900, 2300, 3100 об/мин).
4. Пересчитайте фактическую скорость резания.
5. Найдите основное технологическое время (формула из варианта 1), где $l_1 = l_2 = 3$ мм.

7.2 Характеристики и маркировка абразивного инструмента

Абразивные инструменты, с помощью которых производится шлифование деталей, представляют собой достаточно сложные композиты, в состав которых входят режущие зерна из твердых и сверхтвердых материалов, связки и наполнители.

В качестве *материалов абразивных зерен* используются электрокорунд нормальный (обозначается 12А, 13А...16А), электрокорунд (22А...25А), электрокорунд легированный (хромистый 32А...34А, титанистый 37А, циркониевый 36А), монокорунд (43А...45А), карбид кремния черный (53С...55С), карбид кремния зеленый (63С, 64С), кубический нитрид бора (альбор-ЛО и ЛП), синтетический алмаз (АС) 41.

Абразивные зерна по *зернистости* (размеру зерна) подразделяются на следующие группы: шлифзерно 200...16 размером 2500–160 мкм; шлифпорошки 12...4 размером 160–40 мкм; микропорошки М63...М1 размером 63–1,0 мкм.

Твердость абразивного инструмента характеризуется его свойством сопротивляться нарушению сцепления между зернами и связкой. По степени твердости абразивные инструменты разделяются на мягкие (М1 и М2), средне-

мягкие (СМ1 и СМ2), средние (С1 и С2), среднетвердые (СТ1, СТ2 и СТ3), твердые (Т1 и Т2), весьма твердые (ВТ1 и ВТ2) и чрезвычайно твердые (ЧТ1 и ЧТ2).

Структура абразивного инструмента характеризуется соотношением объемов шлифовальных зерен, связки и воздушных пор в массе инструмента. Структуры разделяются на плотные (номера 0...3), средние (4...8), открытые (9...12) и очень открытые (13...20).

Связка в абразивных инструментах необходима для соединения абразивных зерен в единый монолит и определяет его твердость и прочность. Применяемые для изготовления абразивных инструментов связки подразделяют на три группы: органические – бакелитовые (Б1, Б2, Б3) и вулканитовые (В1, В2, В3), минеральные – в основном керамические (К1, К2,...К8) и металлические.

Форма и размеры абразивных кругов стандартизованы (табл. 7.1). Основные размеры кругов: наружный D и внутренний d диаметры, высота H .

Все перечисленные выше характеристики абразивного круга, а также допустимая окружная скорость, классы точности и неуравновешенности, включаются в *маркировку*, которая наносится на нерабочую поверхность круга и должна быть указана в технологической документации.

Пример условного обозначения круга плоского прямого профиля размером 300x20x127 из электрокорунда белого марки 24А, зернистостью 25, твердостью СТ2, структурой 6 на керамической связке К1, рассчитанного на допустимую окружную скорость 35 м/с, класса точности А и класса неуравновешенности 1 кл:

ПП 300x20x127 24А 25 СТ2 6К1 35 м/с А 1 кл

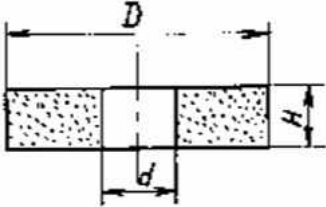
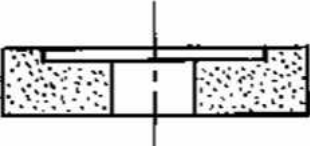
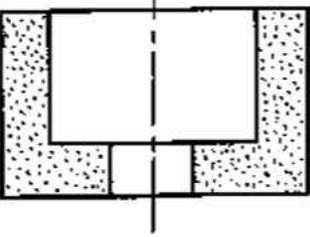
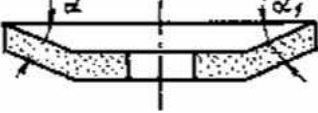
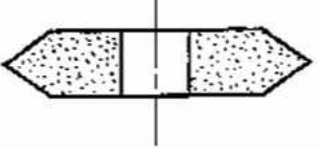
Кроме того, в маркировке может быть указан завод-изготовитель. Наиболее широкое применение в машино- и приборостроении находят круги из электрокорунда и карбида кремния по ГОСТ 2424-83, алмазные круги по ГОСТ 16167-90 (ИСО 6168-80), ГОСТ 16172-90 (ИСО 6168-80), эльборовые круги по ГОСТ 17123-79 (ИСО 6168-80) и др.

Выбор характеристики круга определяется схемой обработки, требованиями к качеству обработанной поверхности, материалом обрабатываемой детали и его физико-механическими свойствами. В таблице 7.2 приводятся некоторые рекомендации по выбору шлифовального круга.

7.3 Рекомендации по назначению режимов резания при шлифовании

Разработку режимов резания при шлифовании следует начинать с установления характеристики абразивного инструмента. Для этого необходимо воспользоваться рекомендациями таблиц 7.1 и 7.2.

Таблица 7.1 – Абразивные инструменты по ГОСТ 2424-83

Тип круга	Обозначение	Форма сечения	Размеры
Плоский прямого профиля	ПП		$D = 3-1060$; $d = 1-305$; $H = 1-250$ $D = 3-50$ для внутреннего круглого шлифования $D = 100-250$ для наружного плоского и круглого шлифования $D > 300$ для бесцентрового шлифования
Плоский с выточкой 2-х сторонний	ПВ (ПВД)		$D = 10-600$ $d = 3-305$ $H = 13-100$
Чашечный цилиндрический (конический)	ЧЦ (ЧК)		$D = 40-300$ $d = 13-127$ $H = 25-100$ $\alpha = 50; 68; 70; 80^\circ$
Тарельчатый	Т		$D = 80-350$ $d = 13-127$ $H = 8-0$ $\alpha = 15-45^\circ; \alpha_1 = 7-10^\circ$
Плоский с 2-х сторонним коническим профилем	2П		$D = 250-500$ $d = 76-203$ $H = 8-32$ $\alpha = 40-60^\circ$

К основным элементам режима резания при шлифовании относятся следующие.

1. *Окружная скорость рабочего круга V_k (м/с)*, которая для абразивных кругов должна быть меньше максимально допускаемой прочностью круга, но в то же время отличаться от нее незначительно.

2. *Скорость вращательного или поступательного движения детали V_d (м/мин)*.

Таблица 7.2 – Рекомендации для выбора характеристик шлифовальных кругов

Схема шлифования	Ra, мкм	Углеродистая и легированная сталь		Жаропрочная и нержавеющая сталь	Бронза и чугун
		HRC < 30	HRC > 50		
Наружное круглое с продольной подачей	Rz20 – 10 2,5 – 1,25 1,25 – 0,63 0,63 – 0,32	15A50C1K 15A40C2K 24A40CT1K 24A16CT1K	15A500ПК 15A50CM2K 24A40CM2K 24A16C1K	15A50CM1BK 15A50CMГBK 24A40CM2BK 24A16CM2BK	54C50CM1K 54C50CM1K 63C40CM2K 63C16CM2K
Наружное круглое с радиальной подачей	Rz20 – 10 2,5 – 1,25 1,25 – 0,63 0,63 – 0,32	15A50C2K 15A40CT1K 24A40CT1K 24A16CT2K	15A50CM2K 15A50CM2K 24A40C1K 24A16C2K	15A50CM2BK 15A50CM2BK 24A40C1BK 24A16C1BK	54C50CM2K 54C40CM2K 63C40C1K 63C16C1K
Внутреннее круглое	Rz20 – 10 2,5 – 1,25 1,25 – 0,63 0,63 – 0,32	24A50C1K 24A40C2K 24A25C2K 24A16CT1K	24A50CM2K 24A40CM2K 24A25C1K 24A16C2K	24A50CM1KB 24A40CM2KB 24A25C1KB 24A16C1KB	54C50CM1K 54C40CM2K 63C25CM2K 63C16C1K
Плоское	Rz20 – 10 2,5 – 1,25 1,25 – 0,63 0,63 – 0,32	15A50CЫ2K 15A40CM2K 15A25C1K 15A16C1K	15A50M3K 15A40M3K 15A25CM1K 15A16CM1K	15A50M3KB 15A40M3KB 15A25CM1KB 15A16CM1KB	54C50CM2K 54C40CM2K 63C25C1K 63C16C1K
Бесцентровое с продольной подачей	Rz20 – 10 2,5 – 1,25 1,25 – 0,63 0,63 – 0,32	15A50C2K 15A50CT1K 24A40CT1K 24A16CT2K	15A50CM2K 15A50CM2K 24A40C1K 24A16C2K	15A50CM2BK 15A50CM2BK 24A40C1BK 24A16C1BK	54C50CM2K 54C50CM2K 63C40C1K 63C16C2K

3. Глубина шлифования t (мм) – слой металла, снимаемый периферией или горцем круга за один полный проход обрабатываемой поверхности. При плоском шлифовании значение t определяется вертикальной подачей $S_{\text{верт}}$, а при круглом и бесцентровом шлифовании – величиной радиальной подачи $S_{\text{рад}}$.

4. Продольная подача $S_{\text{прод}}$ – перемещение шлифовального круга в направлении его оси в миллиметрах на один оборот детали при круглом шлифовании или в миллиметрах на каждый ход стола при плоском шлифовании периферией круга (обычно за счет поперечного движения стола).

Рекомендации по выбору элементов режима резания при шлифовании приведены в таблице 7.3. Выбрав по таблице 7.1 форму абразивного круга, установив его габаритные размеры и приняв рекомендованные по таблице 7.3 значения скорости резания зернами абразивного круга, по формуле

$$n = \frac{1000 \cdot 60 \cdot V_k}{\pi \cdot D}$$

определяют ожидаемую частоту вращения шпинделя шлифовальной бабки. Сопоставив полученное значение с паспортными данными станка, выбирают ближайшее меньшее значение частоты вращения и затем обратным пересчетом устанавливают скорость резания, с которой будет производиться шлифование. При значительных отклонениях ожидаемых частот вращения от паспортных данных возможна соответствующая корректировка выбранного вначале диаметра шлифовального круга.

Таблица 7.3 – Рекомендуемые режимы шлифования при обработке конструкционных металлов

Схема шлифования и характер обработки	Скорость круга V_k , м/с	Скорость детали V_d , м/мин	Глубина шлифования t , мм	Продольная подача $S_{прод}$, мм/об
Круглое наружное: предварительное	30–35	12–25	0,01–0,025	(0,3–0,7) B
окончательное	30–35	15–55	0,005–0,015	(0,2–0,4) B
Круглое внутреннее: предварительное	30–35	20–40	0,005–0,02	(0,4–0,7) B
окончательное	30–35	20–40	0,0025–0,01	(0,25–0,4) B
Круглое бесцентровое: предварительное < 20 мм	30–35	20–120	0,02–0,05	0,5–3,8*
предварительное > 20 мм	30–35	20–120	0,05–0,2	0,5–3,8*
окончательное	30–35	40–120	0,0025–0,01	1,2–2,0*
Плоское: предварительное периферией круга	30–35	6–30	0,015 – 0,04	(0,4–0,7) B^{**}
предварительное торцом круга	20–30	4–5	0,03 – 0,04	–
окончательное торцом круга	25–35	2–3	0,01 – 0,02	–
Примечание. В – ширина абразивного круга, мм. * Размерность м/мин. ** Размерность мм/ход.				

Основное технологическое время при круглом шлифовании (мин) определяется по формуле

$$t_0 = \frac{2 \cdot (l_3 + l_1 + B + l_2) \cdot \delta}{S_{прод} \cdot t},$$

где l_3 – длина обрабатываемой поверхности на заготовке, мм; l_1 и l_2 – длина перебега соответственно с правой и левой стороны шлифовального круга, мм; B – ширина шлифовального круга, мм; δ – припуск на шлифование, мм. Значения перебегов l_1 и l_2 обычно составляют 3–5 мм.

При плоском шлифовании основное технологическое время (мин) определяется по формуле

$$t_0 = \frac{2 \cdot (l_3 + l_1 + B + l_2) (B_3 + B + b_1 + b_2) \cdot \delta}{S_{\text{под}} \cdot V_{\delta} \cdot t},$$

где l_3 – размер заготовки в направлении оси шлифовального круга; b_1 и b_2 – перебеги шлифовального круга относительно детали при подаче, направленной вдоль оси круга. Значения b_1 и b_2 составляют 3–5 мм. Значения перебегов l_1 и l_2 при плоском шлифовании составляют 15–20 мм.

7.4 Индивидуальные задания

Вариант 1. Предварительное наружное круглое шлифование вала из углеродистой стали (HRC < 30) диаметром 40 мм, длиной 200 мм. Припуск 0,3 мм. Требуемая шероховатость Ra = 2,5 мкм.

Вариант 2. Окончательное наружное круглое шлифование вала из легированной стали (HRC > 50) диаметром 50 мм, длиной 180 мм. Припуск 0,15 мм. Ra = 1,25 мкм.

Вариант 3. Предварительное бесцентровое шлифование прутка из жаропрочной стали диаметром 18 мм. Длина 300 мм, припуск 0,2 мм. Rz20.

Вариант 4. Окончательное бесцентровое шлифование прутка диаметром 25 мм из нержавеющей стали. Припуск 0,08 мм. Ra = 0,63 мкм.

Вариант 5. Предварительное плоское шлифование периферией круга чугуной плиты 150×100 мм. Припуск 0,25 мм. Rz20.

Вариант 6. Окончательное плоское шлифование торцом круга стальной плиты 200×80 мм. Припуск 0,1 мм. Ra = 0,32 мкм.

Вариант 7. Предварительное внутреннее круглое шлифование отверстия диаметром 30 мм в заготовке из бронзы. Длина обрабатываемого участка 60 мм, припуск 0,2 мм. Rz10.

Вариант 8. Окончательное внутреннее круглое шлифование отверстия диаметром 45 мм в стальной заготовке (HRC < 30). Длина 80 мм, припуск 0,1 мм. Ra = 1,25 мкм.

Вариант 9. Предварительное наружное круглое шлифование вала диаметром 60 мм из чугуна. Длина 250 мм, припуск 0,25 мм. Rz20.

Вариант 10. Окончательное наружное круглое шлифование тонкостенного вала диаметром 20 мм из углеродистой стали. Длина 150 мм, припуск 0,12 мм. Ra = 0,63 мкм.

Вариант 11. Предварительное плоское шлифование стальной пластины 300×150 мм периферией круга. Припуск 0,3 мм. Rz20.

Вариант 12. Окончательное плоское шлифование торцом круга титановой пластины 120×90 мм. Припуск 0,05 мм. Ra = 0,32 мкм.

Вариант 13. Предварительное бесцентровое шлифование тонкого прутка диаметром 8 мм из жаропрочной стали. Длина 400 мм, припуск 0,15 мм. Rz10.

Вариант 14. Окончательное бесцентровое шлифование калиброванного прутка диаметром 12 мм из нержавеющей стали. Припуск 0,07 мм. Ra = 0,63 мкм.

Вариант 15. Предварительное внутреннее шлифование глухого отверстия диаметром 25 мм в чугунной заготовке. Длина 50 мм, припуск 0,2 мм. Rz20.

Вариант 16. Окончательное внутреннее шлифование сквозного отверстия диаметром 50 мм в стальной заготовке (HRC > 50). Длина 70 мм, припуск 0,1 мм. Ra = 1,25 мкм.

Вариант 17. Предварительное наружное шлифование ступенчатого вала (диаметры 35 и 45 мм) из легированной стали. Общая длина 220 мм, припуск 0,25 мм. Rz20.

Вариант 18. Окончательное наружное шлифование конической поверхности (угол 10°) диаметром 55 мм у основания из углеродистой стали. Длина образующей 100 мм, припуск 0,1 мм. Ra = 0,63 мкм.

Вариант 19. Предварительное плоское шлифование пакета из трёх стальных пластин 100×100 мм каждая. Припуск на каждую пластину 0,2 мм. Rz20.

Вариант 20. Окончательное плоское шлифование фасонной поверхности (радиус 20 мм) стальной заготовки 150×120 мм торцом круга. Припуск 0,08 мм. Ra = 0,32 мкм.

7.5 Контрольные вопросы

1. Какие материалы используются для абразивных зерен и как они обозначаются?
2. Как классифицируется абразивный инструмент по зернистости и твердости?
3. Что называют структурой абразивного инструмента?
4. На какие группы подразделяют связки шлифовальных кругов?
5. Что входит в условное обозначение абразивного инструмента?
6. Перечислите основные элементы режима резания при шлифовании.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барботько, А. И. Теория резания металлов. Основы процесса резания : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» / А. И. Барботько, А. Г. Зайцев. – Старый Оскол : ТНТ, 2020. – 375 с.
2. Попок, Н. Н. Теория резания : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальностям «Технология машиностроения», «Технологическое оборудование машиностроительного производства» / Н. Н. Попок. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. – 371 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя : в 2-х т. / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова [и др.]. – 4 е изд., испр. – Москва : Машиностроение 1, 2001. – Т. 2 – 944 с.
4. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Теория резания» для специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» / УО «ВГТУ»; сост. А. Л. Климентьев. – Витебск, 2018. – 1 CD-ROM (500 Мб). – Систем. требования : Windows XP. – Загл. с титул. экрана – Текст : электронный.
5. Walter Machining Calculator : [сайт]. – URL: <https://mac.walter-tools.com/> (дата обращения 25.05.2026). – Текст : электронный.
6. Hoffmann Group Machining Calculator : [сайт]. – URL: <https://www.hoffmann-group.com/GB/en/houk/services/find-tools-and-data/machining-calculator/e/37321/> (дата обращения 25.05.2026). – Текст : электронный.

Учебное издание

ТЕОРИЯ РЕЗАНИЯ

Лабораторный практикум

Составители:

Голубев Алексей Николаевич

Окунев Роман Владимирович

Редактор *Р. А. Никифорова*

Корректор *А. . Прокопюк*

Компьютерная верстка *А. Н. Голубев*

Подписано к печати 22.06.2026. Формат 60x90 ¹/₁₆. Усл. печ. листов 5,0.
Уч.-изд. листов 6,3. Тираж 40 экз. Заказ № 170.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.