

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»

Н. Н. Попок
Р. С. Хмельницкий
Г. И. Гвоздь

ТЕОРИЯ РЕЗАНИЯ: ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области машиностроительного оборудования и технологий
в качестве учебно-методического пособия
к лабораторным работам по дисциплине «Теория резания»
для студентов высших учебных заведений, обучающихся
по специальностям 1-36 01 01 «Технология машиностроения»,
1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного
производства»*

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2021

УДК 621.91.01(075.8)

ББК 34.5-5я73

П57

Одобрено и рекомендовано к изданию

советом механико-технологического факультета (протокол № 34 от 25.09.2020)

Кафедра технологии и оборудования машиностроительного производства

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

проф., канд. техн. наук, зав. кафедрой технологии и оборудования
машиностроительного производства

Витебского государственного технологического университета

В. И. ОЛЬШАНСКИЙ;

проф., д-р техн. наук, проф. кафедры металлорежущих станков и инструментов
Белорусского национального технического университета

В. А. ДАНИЛОВ

Попок, Н. Н.

П57 Теория резания: практикум : учеб.-метод. пособие / Н. Н. Попок,
Р. С. Хмельницкий, Г. И. Гвоздь. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2021. – 276 с.

ISBN 978-985-531-719-8.

Приведены общие методические указания к проведению лабораторных работ с использованием практического метода. Рассмотрены лабораторные работы, охватывающие широкий спектр вопросов по резанию материалов. Изложенные материалы включают цель и порядок выполнения работы, краткие теоретические сведения, применяемое оборудование и приборы, контрольные вопросы, варианты заданий и протоколы исследований. Для самоконтроля обучающихся приведены тесты по основным вопросам резания материалов.

Предназначено для студентов, магистрантов, аспирантов и специалистов в области обработки материалов резанием.

УДК 621.91.01(075.8)

ББК 34.5-5я73

ISBN 978-985-531-719-8

© Попок Н. Н., Хмельницкий Р. С., Гвоздь Г. И., 2021

© Полоцкий государственный университет, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Общие методические указания	4
Лабораторная работа № 1	
Виды обработки резанием	6
Лабораторная работа № 2	
Определение конструктивных элементов и геометрических параметров режущих инструментов	43
Лабораторная работа № 3	
Деформация срезаемого слоя	61
Лабораторная работа № 4	
Стружкообразование и стружкодробление при обработке ротационным инструментом	75
Лабораторная работа № 5	
Силы резания	86
Лабораторная работа № 6	
Исследование процесса резания на ленточнопильных станках	99
Лабораторная работа № 7	
Влияние режима резания на температуру резания	112
Лабораторная работа № 8	
Экспериментальное определение тепловых потоков и температур в технологических системах с использованием пирометра модели “Optris Lazer Sight”	122
Лабораторная работа № 9	
Влияние элементов режима резания и геометрических параметров лезвия на износ режущего инструмента	136
Лабораторная работа № 10	
Исследование процесса шлифования поверхности детали	148
Лабораторная работа № 11	
Скоростная обработка сферических поверхностей деталей машин	156
Лабораторная работа № 12	
Исследование нестационарного процесса резания на станке с ЧПУ	173
Лабораторная работа № 13	
Определение рационального режима резания	180
Тесты для самоконтроля	190

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

В качестве основных методических материалов для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Теория резания», размещенных в свободном доступе в медиатеке и репозитории Полоцкого государственного университета, используются:

- учебное пособие с грифом министерства образования Республики Беларусь «Теория резания» (Н.Н. Попок, 2019);
- учебно-методическое пособие к лабораторным работам по дисциплине «Теория резания»;
- тесты и задания для самостоятельной работы, размещенные в Classroom;
- электронные и видео-презентации лекций;
- стенды, плакаты, видеофильмы.

Методику проведения лабораторных работ рассмотрим на примере выполнения двух первых этого практикума: «Виды обработки резанием» и «Определение конструктивных элементов и геометрических параметров режущих инструментов», в ходе которых у студентов формируются основные понятия и определения по кинематическим и геометрическим параметрам компонентов процесса резания.

Перед началом выполнения лабораторных работ студенты изучают теоретический материал, и для проверки его усвоенности проводится опрос в аудитории. Затем группа студентов (10–12 человек) разбивается на подгруппы (2–3 человека), которым выдаются задания для выполнения.

Например, по лабораторной работе № 1 это схема конкретного вида обработки резанием, где студент обозначает требуемые параметры: элементы и направления движений инструмента и заготовки, обрабатываемой и обработанной поверхностей и поверхности резания, снимаемого и срезаемого слоев, изображает кинематическую схему и траекторию резания. Все это студент выполняет в электронном виде на компьютере. Затем студенты подгруппами вместе с мастером производственного обучения переходят в станочную лабораторию, где каждая подгруппа реализует выданный вид обработки на станке. При этом студенты фиксируют и поясняют основные движения инструмента и заготовки, получаемые поверхности и срезаемые слои на заготовке, визуально рассматривают и сравнивают с эталонными образцами шероховатость получаемой поверхности детали. Далее (**важно!**) студенты обмениваются полученной информацией и делают выводы о соответствии полученных данных

теоретическим и практическим представлениям о процессе резания. Тем самым студенты получают информацию о различных видах обработки резанием.

По лабораторной работе № 2 подгруппы студентов получают конкретные режущие инструменты, делают их эскизы, измеряют линейные и угловые размеры и проставляют эти размеры на эскизе. При этом используются различные типы инструментов: резцы, сверла, зенкеры, развертки, фрезы и т.д.; измерительные приборы: угломеры, инструментальные микроскопы, видеоизмерительные машины и др. Приводятся эскизы схем измерения угловых параметров. Затем, как и при выполнении лабораторной работы № 1, студенты обмениваются полученной информацией, обсуждают ее, выясняют непонятные вопросы у преподавателя и мастера производственного обучения.

Важно! Эта информация сохраняется в электронном виде и используется студентами при выполнении самостоятельной работы, проведении текущей аттестации в виде тестирования и при подготовке к экзамену.

По лабораторным работам №№ 3–13 выполняемые процедуры аналогичны тем, которые описаны для лабораторных работ № 1 и № 2. Добавляется обработка экспериментальных данных или по классической методике (лабораторные работы №№ 3–8, 10, 11), или по методике планирования эксперимента (лабораторная работа № 9). В лабораторной работе № 13 рассчитываются элементы режима резания и проводится экспериментальная проверка правильности полученных данных на соответствующем оборудовании (токарных, сверлильных, фрезерных и шлифовальных станках).

Лабораторная работа № 1

ВИДЫ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ

1. ЦЕЛЬ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Цель работы – изучение и исследование основных видов обработки резанием, кинематических схем и траекторий резания, обрабатываемой и обработанной поверхностей и поверхности резания, геометрических элементов поверхностей детали.

Рекомендуется выполнять работу в следующем порядке:

1. Изучить виды обработки резанием, движение резания и его элементы.
2. Изучить кинематические схемы резания, траектории резания и геометрические элементы поверхностей детали.
3. Согласно эскизу детали (таблица 1.1) выбрать вид обработки резанием (рисунки 1.2–1.8 и таблица 1.2).
4. Обработать поверхности деталей на станках, реализующих такие виды резания, как: 1) строгание; 2) обтачивание; 3) растачивание; 4) подрезание; 5) отрезание; 6) сверление; 7) центрование; 8) зенкерование; 9) развертывание, 10) периферийное фрезерование (цилиндрической, дисковой и концевой фрезами); 11) торцовое фрезерование; 12) охватывающее фрезерование; 13) зубострогание; 14) зубофрезерование; 15) зубодолбление; 16) резьбонарезание (метчиком, плашкой, резцом); 17) ротационное точение; 18) фрезоточение; 19) затылование; 20) плоское шлифование периферией или торцом круга; 21) круглое наружное шлифование; 22) внутреннее шлифование; 23) заточка лезвия (фрезы, зенкера, развертки, сверла).
5. Рассчитать параметры срезаемого слоя и определить шероховатость поверхности детали.
6. Заполнить протокол исследования видов обработки резанием.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Виды обработки резанием

Резанием называется обработка, заключающаяся в образовании новых поверхностей отделением поверхностных слоев материала с образованием стружки.

Общая схема обработки резанием включает следующие компоненты: режущий инструмент 1, заготовку 2 и их относительное движение (рисунок 1.1).

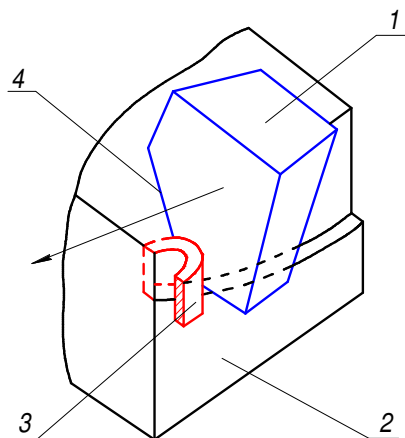


Рисунок 1.1. – Общая схема обработки резанием:

1 – режущий инструмент; 2 – заготовка;

3 – стружка; 4 – режущая кромка

Режущий инструмент – инструмент для обработки резанием.

Заготовка – предмет труда, из которого изменением формы, размеров, свойств поверхности и (или) материала изготавливают деталь.

Движение резания – общее (результатирующее) относительное движение инструмента и заготовки в процессе резания. Оно может быть как простым, так и сложным. Сложное движение резания воспроизвести рабочим органом бывает затруднительно, поэтому его разбивают на простые. Простых движений в составе движения резания может быть несколько и их разделяют на главное движение D_r , движение подачи D_s и касательное движение D_k .

Главное движение – прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, происходящее с наибольшей скоростью в процессе резания.

Движение подачи – прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания, предназначенное для того, чтобы распространить отделение слоя материала на всю обрабатываемую поверхность.

Касательное движение – движение режущего инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения и направлена по касательной к режущей кромке в рассматриваемой точке, предназначенное для того, чтобы сменять контактирующие с заготовкой участки режущей кромки. Примеры элементарных движений резания представлены на рисунках 1.2–1.8.

Движение резания количественно характеризуется скоростью. *Скоростью резания v* называется скорость перемещения точек режущей кромки в движении резания. *Скорость главного движения v_r* – скорость перемещения инструмента или заготовки в главном движении.

Скорость резания v_r измеряется в м/мин или м/с, применяются также такие характеристики, как частота вращения n , мин⁻¹, и число двойных ходов k , дв. х/мин:

$$v = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{2 L k}{1000}, \quad (1.1)$$

где D – диаметр инструмента или заготовки;

L – длина пути инструмента или заготовки.

Скорость движения подачи v_s – скорость перемещения инструмента или заготовки в движении подачи за каждый цикл главного движения или его часть. Различают подачу на один оборот главного движения или его часть S_o , мм/об или на один двойной ход S_x , мм/дв. х, подачу на один зуб S_z , мм/зуб, минутную подачу S_m , мм/мин. Математическая связь между этими подачами следующая:

$$S_m = S_o \cdot n = S_z \cdot Z \cdot n, \quad (1.2)$$

где Z – число зубьев инструмента.

Движение подачи не следует путать с установочным движением, предназначенным для установки инструмента в новое рабочее положение вне процесса резания.

Скорость касательного движения v_k – это скорость рассматриваемой точки режущей кромки или заготовки в касательном движении. Она не является режимной характеристикой и задается в виде соотношения v_k/v_r .

2.2. Основные виды обработки резанием

Кинематика процесса резания реализуется в конкретных *видах обработки*, подразделяемых на лезвийную и абразивную. *Лезвийная обработка* – обработка резанием, осуществляемая лезвийным инструментом; *абразивная обработка* – обработка абразивным инструментом, работающим по любой кинематической схеме резания.

По назначению можно выделить следующие основные виды обработки: *отрезание* – обработка резанием заключающаяся в отделении заготовки в качестве части от целого вдоль одной ее стороны; *вырезание* – обработка резанием, заключающаяся в отделении заготовки в качестве части целого вдоль двух или нескольких ее сторон; *разрезание* – обработка резанием, заключающаяся в разделении заготовки на части; *снятие фаски* – обработка резанием, заключающаяся в образовании фаски; *резьбонарезание* – обработка резанием, заключающаяся в образовании резьбы; *зубонарезание* – обработка резанием, заключающаяся в образовании зубьев; *зубозакругление* – обработка резанием концов зубьев вблизи торца зубчатого колеса, заключающаяся в придании им формы, облегчающей ввод колеса в зубчатое зацепление; *затылование* – обработка резанием, заключающаяся в образовании задних поверхностей затылованных зубьев.

К обработке резанием также относится слесарная обработка: опиление, резка, рубка, шабрение.

Вид лезвийной обработки определяется сочетанием прямолинейного и вращательного движений инструмента и заготовки, направлениями главного движения резания и движения подачи, сообщением их инструменту или заготовке, формой получаемой поверхности и типом режущего инструмента. С учетом перечисленных признаков существующие виды обработки резанием условно можно подразделить на поступательные, токарные, осевые, фрезерные и т.д. Условность такого подразделения обусловлена многообразием и сложностью видов обработки резанием, затрудняющих их включение в ту или иную группу. В настоящее время применяются виды обработки, представляющие собой комбинации признаков из вышеперечисленных групп, например, фрезоточение, резьбофрезерование, резьбопротягивание и т.п.

К поступательным видам обработки относятся строгание и долбление. *Строгание* – обработка резанием, осуществляемая однолезвийным инструментом с возвратно-поступательным главным движением резания (рисунок 1.2, а, б). *Долбление* – строгание инструментом, установочная база которого параллельна направлению главного движения резания (рисунок 1.2, в).

Строгание и долбление обычно применяются при обработке несложных профильных поверхностей с прямолинейными образующими, а также для обработки вертикальных и горизонтальных плоскостей в единичном и массовом производствах. Для этого процесса характерно действие на инструмент ударных нагрузок, небольшие скорости резания (1–1,5 м/с) и низкая производительность обработки вследствие инерционности

движущихся частей станков и наличия холостого хода стола или инструмента. Для повышения производительности обработки применяют инструментальные наладки из нескольких резцов, одновременно обрабатывающих несколько поверхностей детали.

Точение – лезвийная обработка с вращательным главным движением резания и возможностью изменения радиуса его траектории. Это наиболее универсальный и широко применяемый вид обработки резанием, позволяющий получать детали практически любой формы с высокой точностью и качеством. Разновидности точения: *обтачивание* – точение наружной поверхности с движением подачи вдоль образующей линии обработанной поверхности (рисунок 1.2, *г*); *расточивание* – точение внутренней поверхности с движением подачи вдоль образующей линии обработанной поверхности (рисунок 1.2, *д*); *подрезание* – точение торцевой поверхности (рисунок 1.2, *е*). При точении, как и при строгании и долблении, возможна обработка фасонным резцом и обработка по копиру.

Осевая обработка – лезвийная обработка с вращательным главным движением резания при постоянном радиусе его траектории и движении подачи только вдоль оси главного движения резания.

К разновидностям осевой обработки относятся следующие:

Сверление – осевая обработка сверлом (рисунок 1.3, *а, б*). Сверление применяется для получения отверстий в сплошном материале, а также для рассверливания на больший диаметр уже имеющихся отверстий и получения центровых отверстий.

Сверлением обеспечиваются 12...11-й качества точности и шероховатость обработанной поверхности $R_z = 80...20$ мкм. Процесс резания при сверлении во многом аналогичен точению, но имеет ряд особенностей, обусловленных: 1) переменностью переднего угла, принимающего малые и даже отрицательные значения у поперечной кромки, что приводит к повышению деформации срезаемого слоя, силы и температуры резания; 2) изменением скорости резания по длине главной режущей кромки, сказывающимся на изменении деформации в смежных элементах; 3) ухудшением отвода стружки и затруднением проникновения смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) в зону резания; 4) отсутствием задних углов на вспомогательных режущих кромках, что повышает силы трения.

Зенкерование и развертывание – осевая обработка соответственно зенкером и разверткой (рисунок 1.3, *в, г*). Зенкерование применяется для обработки предварительно просверленных, прошитых или отлитых отверстий с целью повышения их точности (11...9-й качества) и снижения шероховатости до $R_a = 2,5$ мкм.

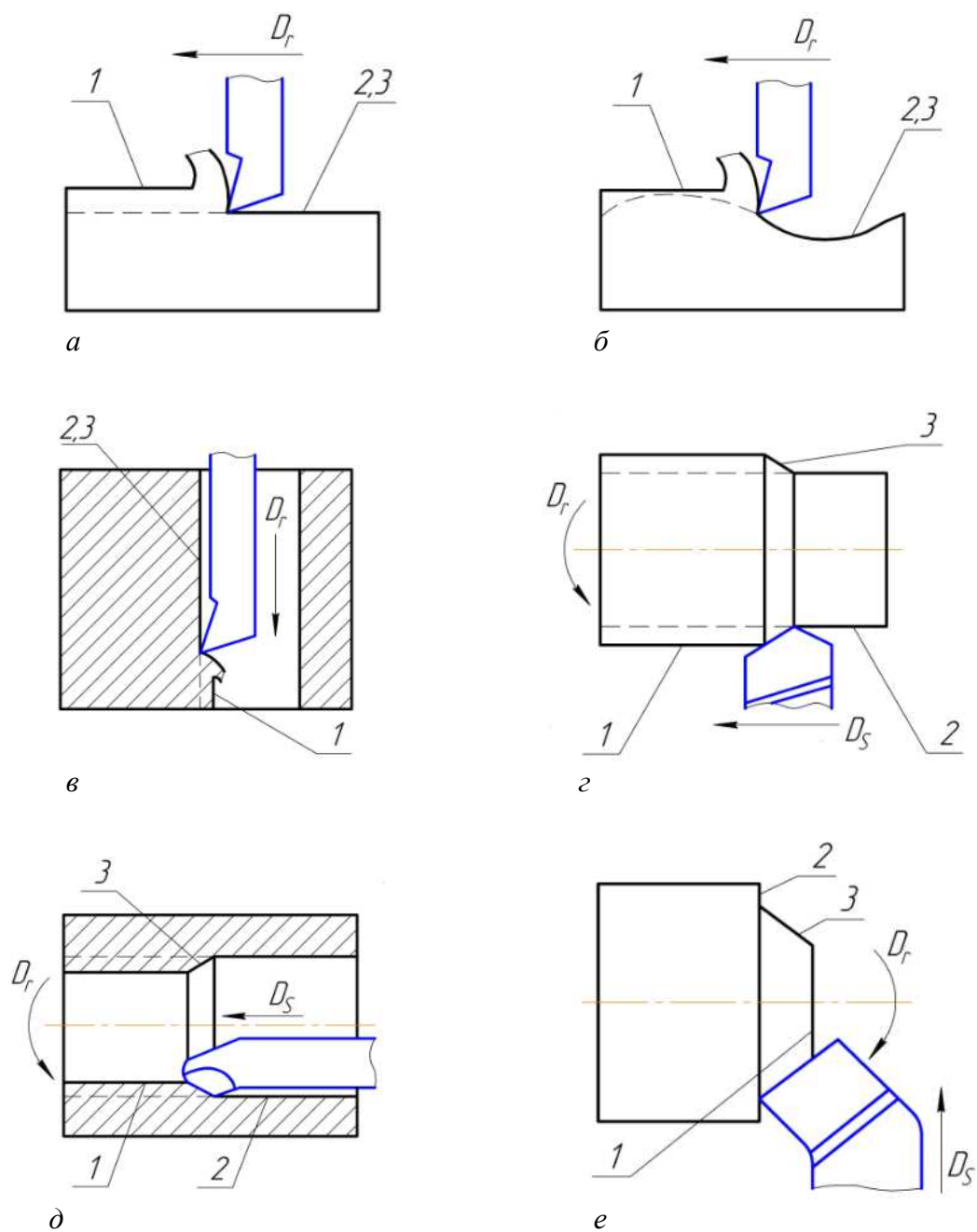


Рисунок 1.2. – Схемы видов лезвийной обработки:
***a* – строгание; *б* – строгание по копиру; *в* – долбление; *г* – обтачивание;**
***д* – растачивание; *е* – подрезание;**
1 – обрабатываемая поверхность; 2 – обработанная поверхность;
3 – поверхность резания;
 D_r – главное движение; D_s – движение подачи

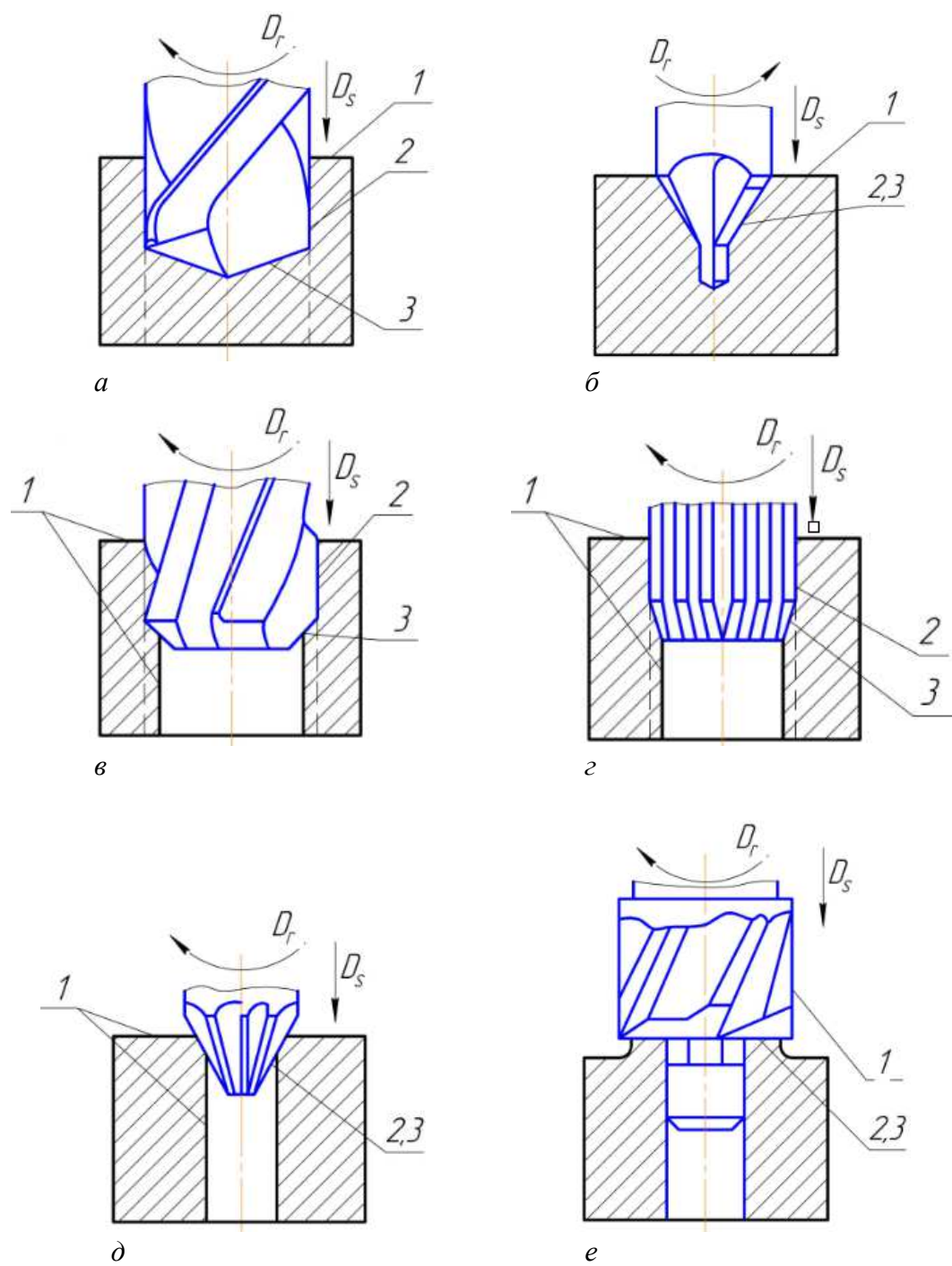


Рисунок 1.3. – Схемы видов лезвийной обработки:
a – сверление; *б* – центрование; *в* – зенкерование; *г* – развертывание;
д – зенкование; *е* – цекование;
 1, 2, 3, D_r , D_s – см. рисунок 1.2

Развертывание предназначено для окончательной (чистовой) обработки предварительно просверленных или расточенных резцом или зенкером цилиндрических и конических отверстий с точностью до 7-го качества и шероховатостью до $R_a = 0,6$ мкм. Процессы зенкерования и развертывания протекают в более благоприятных условиях, чем сверление, т.к. у зенкера и развертки нет поперечной режущей кромки; глубина резания сравнительно небольшая и скорость резания вдоль главных режущих кромок постоянна. Вместе с тем наблюдаются большие силы трения на ленточках вспомогательных режущих кромок и неудовлетворительные условия размещения и отвода стружки.

Зенкование и цекование – осевая обработка соответственно зенковкой и цековкой (см. рисунок 1.3, д, е).

Фрезерование – лезвийная обработка с вращательным главным движением резания при постоянном радиусе его траектории, сообщаемым инструментом, и хотя бы одним движением подачи, направленным перпендикулярно оси главного движения резания.

Выделяют *периферийное* и *торцовое фрезерование* – фрезерование инструментом соответственно с периферийным и торцовым расположением лезвий (рисунок 1.4, а, б). На практике используются: *круговое фрезерование* – фрезерование поверхности вращения цилиндрической или дисковой фрезой (рисунок 1.4, в) и торцовой фрезой (рисунок 1.4, г); *охватывающее фрезерование* – фрезерование инструментом, лезвия которого расположены на внутренней поверхности его корпуса (рисунок 1.4, д); *пазовое фрезерование* – фрезерование паза дисковой или концевой фрезой (рисунок 1.4, е).

В зависимости от направления векторов скоростей главного движения резания и движения подачи различают *попутное* (рисунок 1.4, б, в, д, е) и *встречное* (рисунок 1.4, а, г) фрезерование. При попутном фрезеровании векторы скоростей главного движения и движения подачи в зоне контакта инструмента и заготовки направлены в одну сторону, а при встречном – в противоположные стороны. Встречное и попутное фрезерование различаются целым рядом физических и технологических особенностей. Например, попутное фрезерование – более спокойный процесс в смысле вибраций, более благоприятно с точки зрения действующих на заготовку сил и уменьшения температуры резания, а также устранения явления наклепа.

Фрезерование применяется при обработке плоскостей, пазов с прямолинейным и винтовым направлением, шлицев, тел вращения, разрезки заготовок, образования резьбы, а также для получения фасонных поверхностей. Фрезерованием обеспечиваются 11...9-й качества точности и шероховатость обработанной поверхности с $R_z = 40...3,2$ мкм. К особенностям процесса фрезерования относятся: периодически повторяющееся

чередование рабочего и холостого циклов движения зуба фрезы; переменность толщины срезаемого слоя и рабочей длины лезвия, что приводит к переменному силовому и тепловому воздействию на лезвие инструмента.

Протягивание – обработка многолезвийным инструментом с поступательным или вращательным главным движением резания, распространяемая на всю обрабатываемую поверхность без движения подачи.

Внутреннее протягивание – протягивание внутренней замкнутой поверхности и ее элемента (рисунок 1.5, а). *Наружное протягивание* – протягивание наружной или незамкнутой внутренней поверхности (рисунок 1.5, б). *Круговое протягивание* – протягивание поверхности детали протяжкой с расположением лезвий на периферии по спирали. Производительность этого процесса в 5...10 раз выше фрезерования и в 10...15 раз – зенкерования и развертывания, несмотря на низкие скорости резания (до 0,2...0,3 м/с). Применяется в массовом и серийном производствах при получении отверстий, обработке плоских и цилиндрических наружных поверхностей с точностью до 9...7-го квалитетов и шероховатостью $R_z = 6,3...0,8$ мкм. К особенности протягивания относится срезание припуска большим количеством зубьев.

Ротационное резание – обработка ротационным лезвийным инструментом, при котором главное движение сообщается заготовке, а инструменту – движение подачи и касательное движение (рисунок 1.5, в). Разновидностью ротационного резания является *фрезеточение* – обработка многолезвийным вращающимся режущим инструментом (рисунок 1.5, г). При фрезеточении может быть реализована как схема точения, когда скорость вращения инструмента меньше скорости вращения детали, так и схема фрезерования, когда скорость вращения инструмента больше скорости вращения детали. При этом обеспечивается надежное стружкодробление, разделение припуска между лезвиями и, в зависимости от соотношения скоростей вращения инструмента и детали, получение как гладкой, так и рельефной поверхностей детали. Ротационное резание применяется для обработки плоских, наружных и внутренних цилиндрических поверхностей. За счет периодической смены участков режущей кромки в процессе резания стойкость ротационного инструмента в десятки раз выше стойкости, например, токарного резца. При этом обеспечивается высокая производительность и качество обработки.

Резьбонарезание внутренней резьбы чаще всего производится метчиком (рисунок 1.5, д), наружной резьбы – плашкой (рисунок 1.5, е). Также нарезают резьбу резцом, фрезой, резьбонарезными «вихревыми» головками. Для резьбонарезания характерны различные схемы срезания слоев материала, «стесненность» условий резания и отвода стружки.

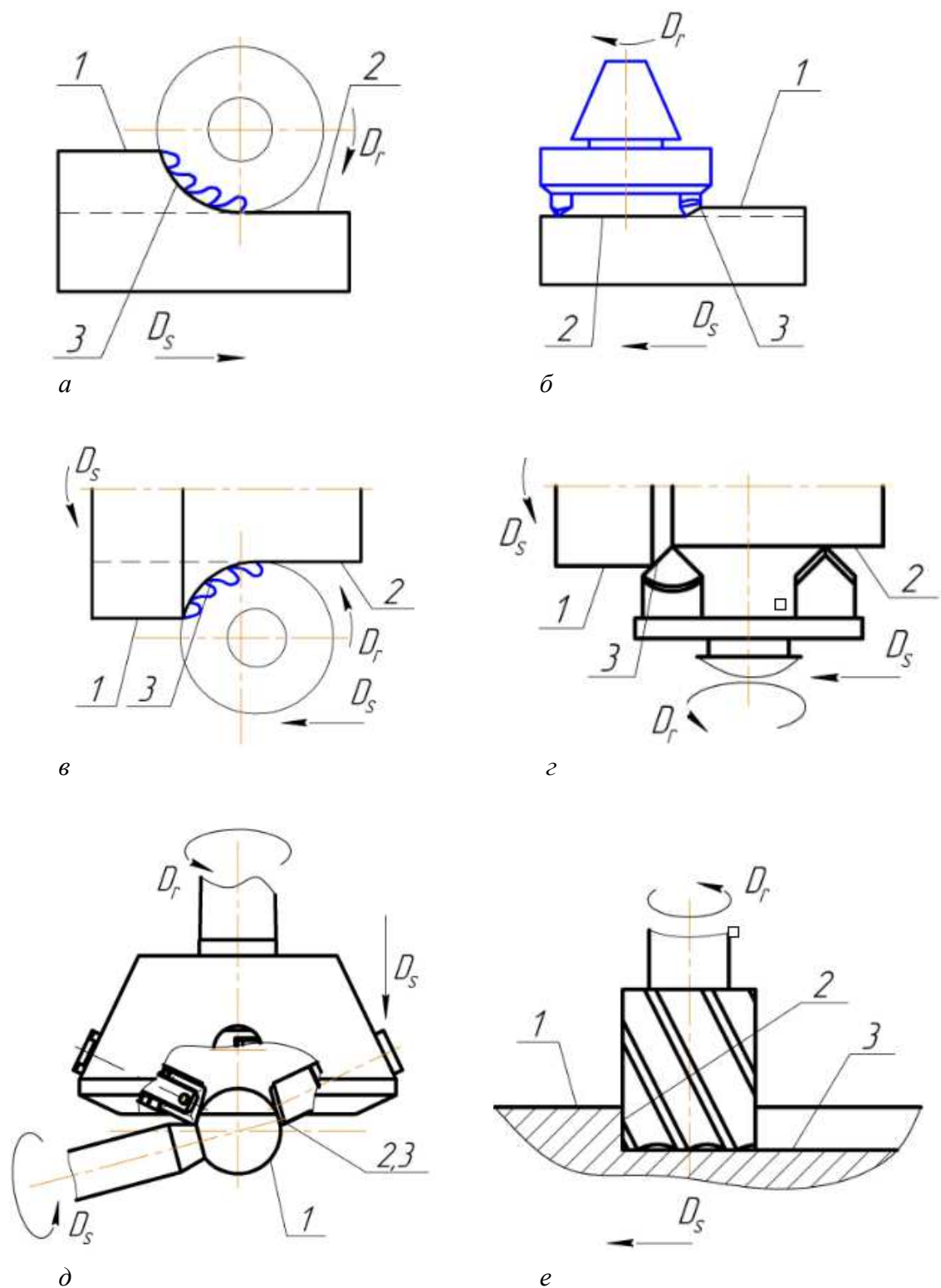


Рисунок 1.4. – Схемы видов лезвийной обработки:
***a* – периферийное фрезерование; *б* – торцовое фрезерование;**
***в, г* – круговое фрезерование соответственно дисковой и торцовой фрезой;**
***д* – охватывающее фрезерование; *е* – пазовое фрезерование;**
1, 2, 3, D_r , D_s – см. рисунок 1.2

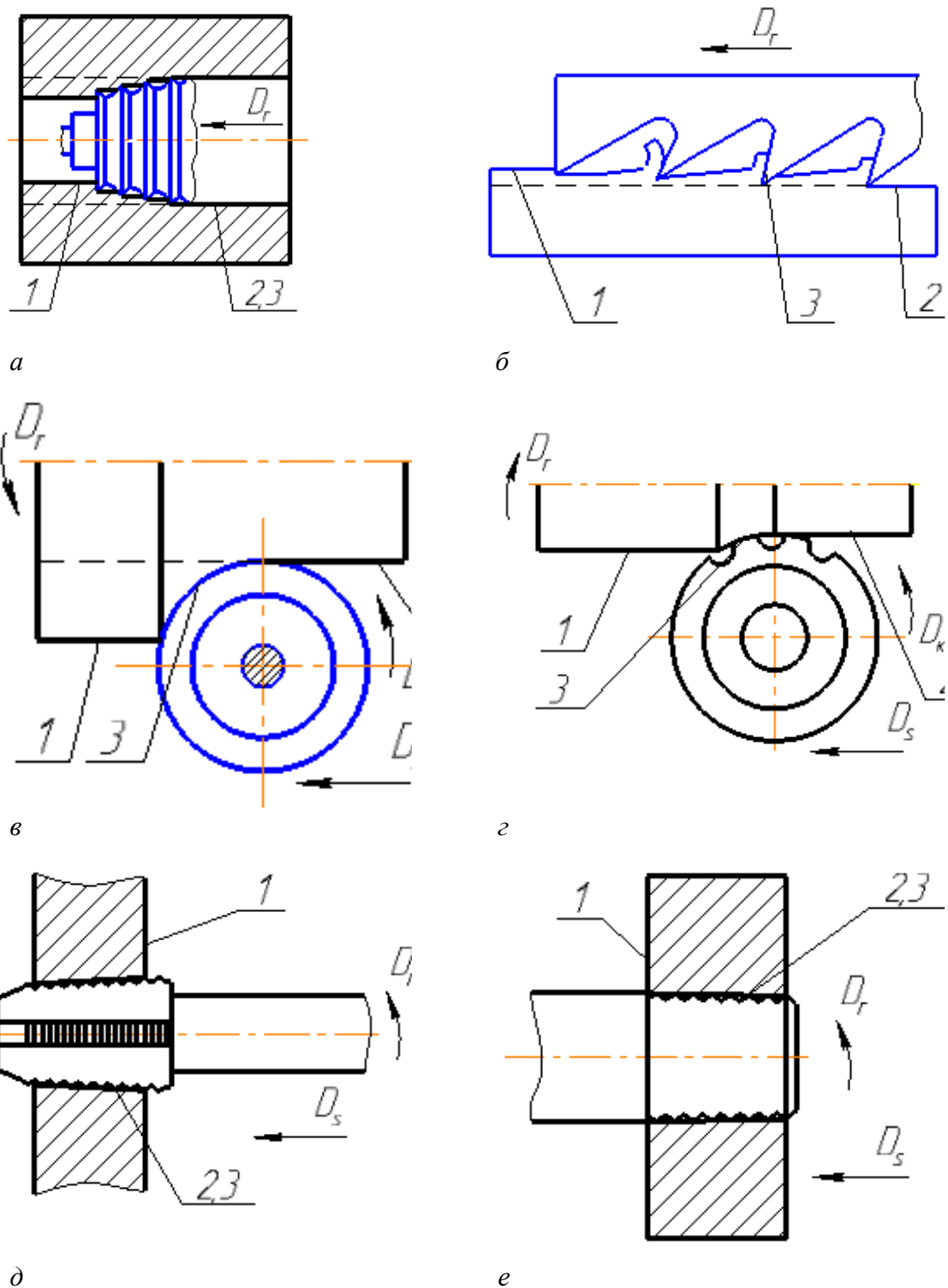


Рисунок 1.5. – Схемы видов лезвийной обработки:
а – внутреннее протягивание; *б* – наружное протягивание;
в – ротационное точение; *г* – фрезеточение;
д – резьбонарезание внутренней резьбы метчиком;
е – резьбонарезание наружной резьбы плашкой;
 1, 2, 3, D_r , D_s – см. рисунок 1.2

Зубонарезание может осуществляться копированием и обкатом. При первом способе обработки профиль инструмента (рисунок 1.6, а, б) определяется профилем впадины нарезаемого колеса и осуществляется пальцевыми и дисковыми модульными фрезами. Нарезание зубчатых колес по способу обката производится червячными модульными фрезами, строгальными резцами, долбяками и другими инструментами по определенной кинематической схеме (рисунок 1.6, в...е).

Особенности зубонарезания: изменяется сечение срезаемого слоя за время обработки одним зубом; одновременно участвуют в резании несколько зубьев; различные участки лезвия неодинаково нагружаются из-за различного сечения среза и имеют различную скорость резания; затруднено обеспечение оптимальной геометрии лезвия из-за его сложной формы и наличия нескольких движений.

К видам *абразивной обработки* относятся: плоское шлифование периферией и торцом круга (рисунок 1.7, а, б), круглое и внутреннее шлифование (рисунок 1.7, в, г), бесцентровое шлифование (рисунок 1.7, д), профильное шлифование (рисунок 1.8, а), резьбошлифование (рисунок 1.8, б), зубошлифование, шлицешлифование, отрезное шлифование, заточка лезвия инструмента (рисунок 1.8, е), ленточное шлифование (рисунок 1.8, в), хонингование (рисунок 1.8, г), суперфиниширование (рисунок 1.8, д), доводка и притирка (рисунок 1.8, е), полирование.

Шлифование – вид абразивной обработки, при котором абразивный инструмент совершает главное вращательное движение резания, а заготовка – движение подачи. Обеспечивает 9...6 качества точности и шероховатость обработанной поверхности $R_a = 0,63...0,04$ мкм. Особенности: многопроходность, высокие скорости резания (30...70 м/с), и температура резания.

Ленточное шлифование – вид абразивной обработки шлифовальной лентой. Шлифовальные ленты применяются для формообразования деталей при круглом, внутреннем и бесцентровом шлифовании, для обработки поверхностей деталей сложной формы, для обдирки, доводки и полирования.

Хонингование – вид абразивной обработки, осуществляемый при одновременно выполняемых вращательном и возвратно-поступательном движениях абразивного инструмента. При этом абразивные бруски имеют возможность установочного перемещения в радиальном направлении.

Суперфиниширование – вид абразивной обработки, осуществляемый при одновременно выполняемых колебательном и вращательном движениях абразивного инструмента. Особенностью процесса является колебательное движение брусков с частотой 500...5000 дв. ход/мин и амплитудой 2...5 мм. Получают поверхность шероховатостью до $R_a = 0,16...0,08$ мкм с минимальной огранкой (0,5 мкм).

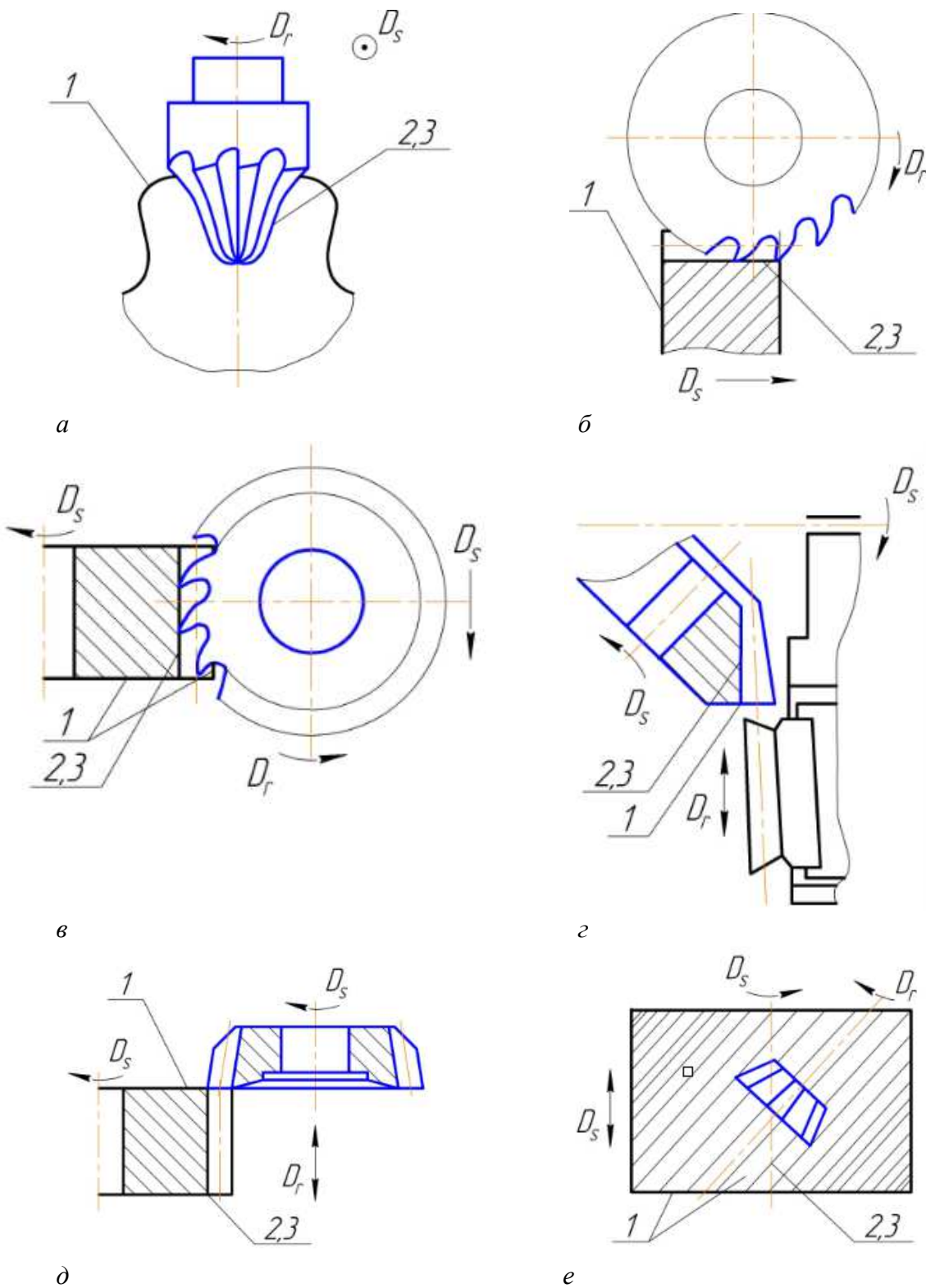


Рисунок 1.6. – Схемы зубонарезания:
a – модульной пальцевой фрезой; *б* – модульной дисковой фрезой;
в – зубофрезерование модульной червячной фрезой; *г* – зубострогание;
д – зубодолбление; *е* – зуботочение долбяком;
 1, 2, 3, D_r , D_s – см. рисунок 1.2

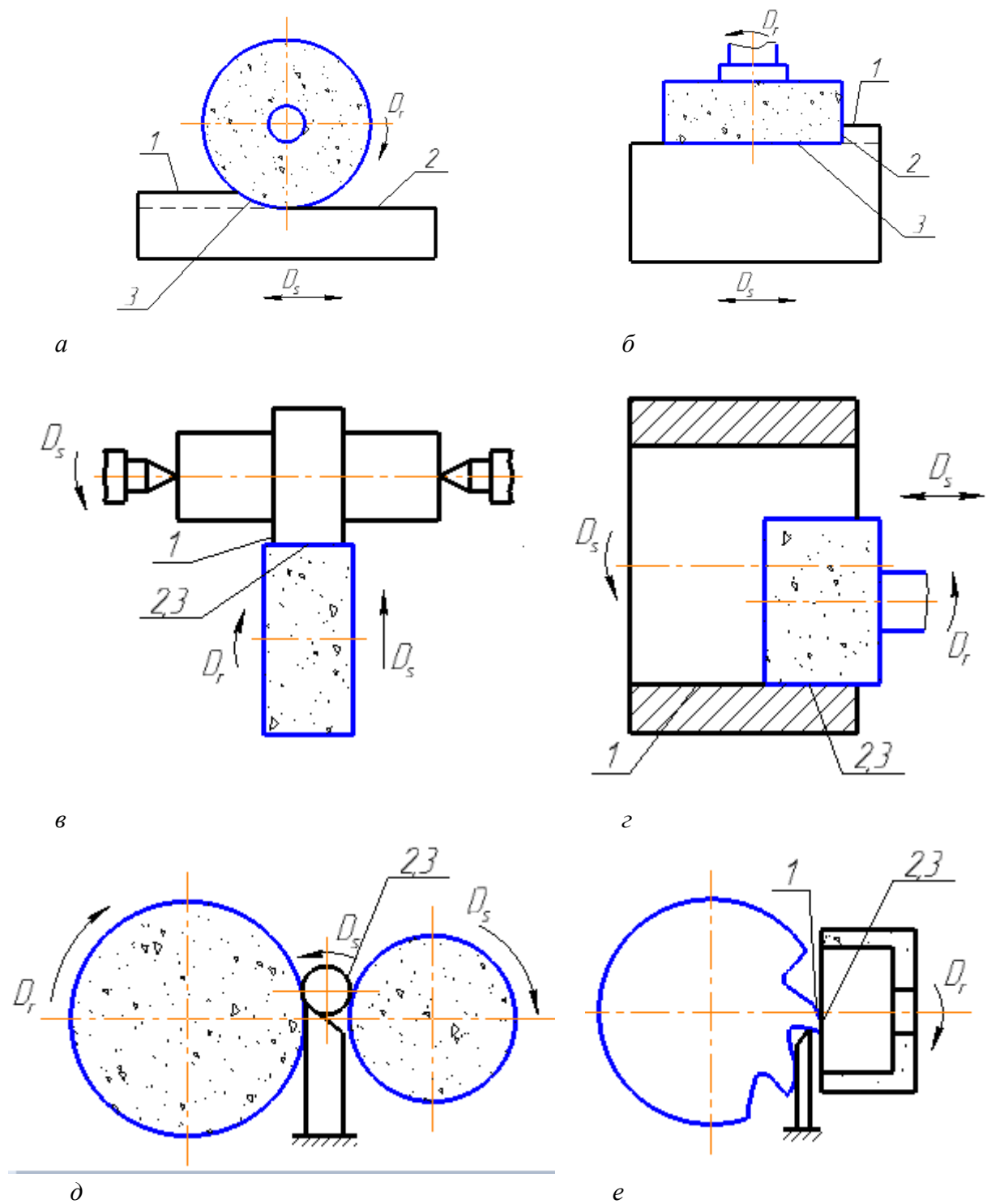


Рисунок 1.7. – Схемы абразивной обработки:
***a, б* – плоское шлифование соответственно периферией и торцом круга;**
***в* – круглое наружное шлифование; *г* – внутреннее шлифование;**
***д* – бесцентровое шлифование; *е* – заточка лезвия фрезы;**
 D_r, D_s – см. рисунок 1.2

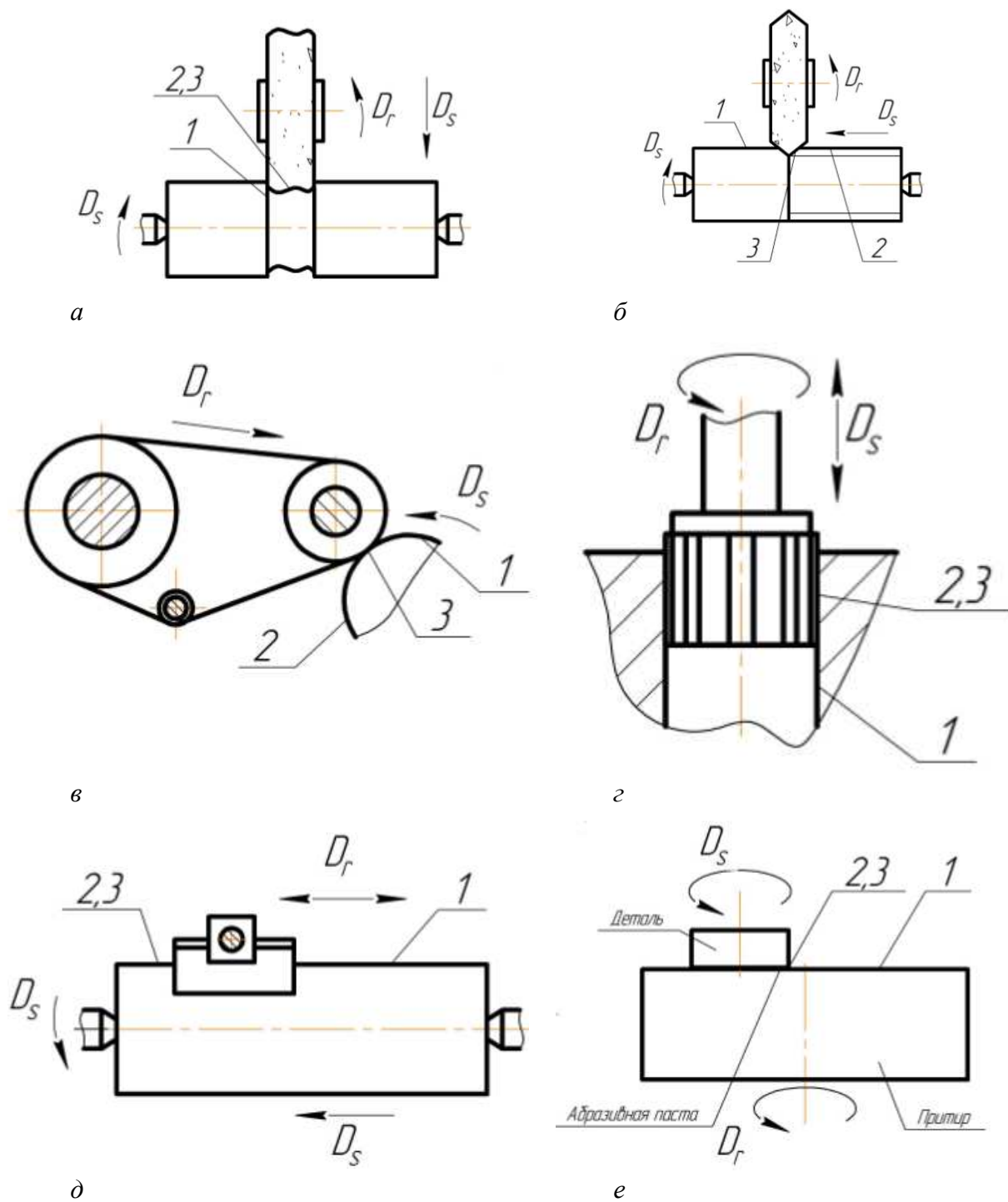


Рисунок 1.8. – Схемы абразивной обработки:
a – профильное шлифование; ***б*** – резьбошлифование; ***в*** – ленточное шлифование;
г – хонингование; ***д*** – суперфиниширование; ***е*** – доводка и притирка;
 1, 2, 3, D_r , D_s – см. рисунок 1.2

Доводка и притирка – вид абразивной обработки при относительном перемещении детали и абразивного инструмента (притира), например, по схеме 2.10, е, и введении в зону обработки абразивной пасты. В качестве притиров могут использовать абразивные круги и ленты, чугунные плиты и т.д.

Полирование – абразивная обработка, предназначенная для уменьшения шероховатости обрабатываемой поверхности и увеличения зеркального отражения. Достигается шероховатость поверхности $R_a = 0,02 \dots 0,16$ мкм.

2.3. Комбинированные виды обработки резанием

Виды комбинированной обработки резанием классифицируют по таким признакам, как схема формообразования (кинематическая схема резания); вид энергии и способ ее подвода; вид физико-химического воздействия. Вид энергии: механическая, электрическая, химическая, тепловая и ядерная; способ подвода энергии определяется взаимным расположением инструмента и заготовки; вид физико-химического воздействия: пластическое деформирование с последующим разрушением, плавление, испарение, анодное растворение, эрозия.

Исходя из этого различают:

- резание с дополнительным механическим (М) воздействием, например, пластическим деформированием – М;
- вибрационное резание с наложением колебаний (К), а также с использованием химических (Х) сред – М + К, М + К + Х;
- высоко- и сверхскоростное резание, характеризующееся механическим воздействием с хрупким разрушением материала – М;
- резание в специальных средах, например, химических – М + Х;
- резание с нагревом (Т) – (М + Т);
- резание с электротоком (Э) – М + Э (тепловое);
- электроконтактную обработку – М + Э Т + Э (тепловое и эрозионное);
- анодно-механическую обработку – М + Э (Т + Х + Э);
- электрохимическую обработку – Э_х;
- электроэрозионную обработку – Э_э;
- электронно-лучевую обработку – Э_т;
- лазерную обработку – Э_т;
- плазменную обработку – П;
- плазменно-механическую обработку – П + М;
- магнитно-абразивную обработку – Э + М;
- струйно-абразивную обработку – Х + М.

Рассмотрим некоторые разновидности комбинированной обработки.

Резание с опережающим пластическим деформированием (ОПД) предусматривает совмещение двух процессов – ОПД и процесса резания (рисунок 1.9, а).

При этом часть работы пластического деформирования при резании выполняется дополнительным устройством. Это обеспечивает снижение силы и температуры резания, повышение стойкости режущего инструмента и производительности обработки. Воздействие деформирующего инструмента может быть оказано на поверхность резания или на обрабатываемую поверхность. ОПД может осуществляться с помощью рифленого ролика, что обеспечивает надежное стружкодробление. При этом рифленый ролик может быть самовращающимся (от вращающейся детали) и принудительно вращающимся (от отдельного привода). Резание с опережающим пластическим деформированием применяется при точении, ротационном точении, фрезеровании, протягивании, абразивной обработке.

При *резании с последующим пластическим деформированием (ППД)* деформирующий элемент располагается за режущим инструментом в направлении, обратном направлению подачи. Деформирующий элемент играет роль «выглаживателя». В этом случае осуществляется упрочнение и повышение качества обработанной поверхности.

Резание с вибрациями, или вибрационное резание, заключается в том, что на обычно принятую для данной операции кинематическую схему резания накладывается дополнительное движение инструмента относительно заготовки.

В этом случае реализуются положительные свойства вибраций в виде надежного дробления стружки и улучшения обрабатываемости, прежде всего, труднообрабатываемых материалов. Физические особенности этого процесса состоят в кратковременном изменении скорости и углов резания, цикличности нагрузки, снижении сил трения, повышении эффективности проникновения смазочно-охлаждающих средств в зону резания.

Вибрационное резание подразделяют по виду вибраций режущего инструмента или заготовки и типу вибропривода. По частоте колебаний различают вибрации низко- (до 200 Гц) и высокочастотные (от 200 до 15 000 Гц), а также ультразвуковые (свыше 15 000 Гц). Вибрации малой частоты могут быть линейными или угловыми (рисунок 1.9, б).

Низко- и высокочастотные колебания в основном применяются для дробления стружки. Ультразвуковые колебания способствуют ликвидации нароста, уменьшению зоны первичной деформации и, как следствие, снижению сил резания и шероховатости обработанной поверхности, а также повышению в 1,3 раза производительности резания.

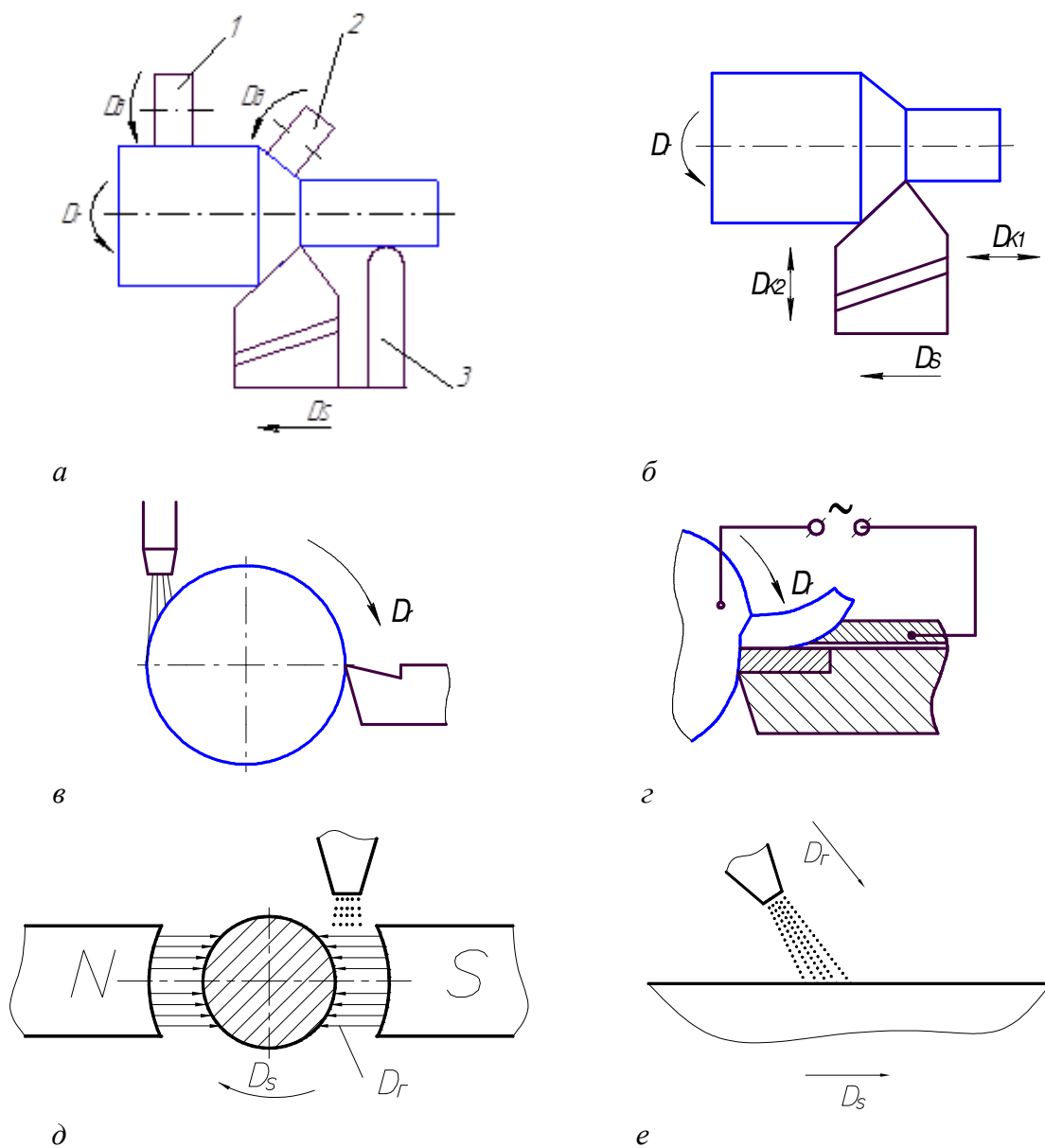


Рисунок 1.9. – Схемы комбинированных видов обработки резанием:
***a* – с пластическим деформированием поверхности элементом опережающим 1, параллельным 2 и последовательным 3 воздействием;**
***б* – с вибрациями; *в* – с плазменным подогревом; *г* – с электроподогревом;**
***д* – с магнитно-абразивным воздействием;**
***е* – со струйно-абразивным воздействием**

В качестве виброприводов используют гидравлические, электрические и механические приводы, а также их комбинации.

Высоко- и сверхскоростное резание осуществляется в диапазоне скоростей более 10 000 м/мин, основывается на уменьшении области пластической деформации и способствует хрупкому разрушению металла. При сверхскоростном резании наблюдается снижение температуры резания и обеспечивается повышение производительности обработки. Высоко- и сверхскоростное резание реализуется на современных станках с частотой вращения до 60 000 мин⁻¹ и установках с использованием взрывчатых веществ (ракеты, пушки, ружья), электромагнитных полей и ускорения свободного падения (копры).

Резание с нагревом срезаемого слоя применяется, прежде всего, при обработке труднообрабатываемых материалов (см. рисунок 1.9, в, г). Резание с нагревом может осуществляться как по схеме последовательного совмещения основного воздействия с тепловым, так и по схеме параллельного воздействия обоих факторов. Наиболее распространен первый метод. В этом случае дополнительное воздействие осуществляется нагревом всей заготовки в печах или путем использования тепла предыдущей операции. Используют нагрев поверхностного слоя заготовки токами высокой частоты (ТВЧ), инфракрасным излучением, электрической дугой, струей плазмы или лучом лазера. Нагрев снижает механические показатели и повышает пластичность обрабатываемого материала. При температуре $\theta = 780 - 860$ °С сила резания снижается на 20...25 %. Например, при точении титанового сплава ВТЗ-1 с нагревом $\theta = 500$ °С контактное давление на инструмент из твердого сплава ВК8 в два раза ниже, чем при обработке без нагрева.

При *резании с низкотемпературным охлаждением* заготовки или инструмента в зону обработки подается антифризная жидкость с добавлением глицерина (–10 °С) или жидкий азот. При этом повышается теплоотвод, изменяются физико-механические свойства материалов, снижаются показатели деформации срезаемого слоя и качество обработки, возрастает в 1,5 раза стойкость инструмента.

В *электрохимических и электроэрозионных видах обработки* используется электрическая энергия через химическое, тепловое и механическое воздействие. Механизм съема металла при электрохимической обработке основан на электролизе – процессе окисления (растворения) и восстановления (осаждения) поверхности электродов, помещенных в токопроводящий раствор – электролит. Один из электродов, например,

заготовка, присоединяется к положительному полюсу и является анодом, а второй, например, инструмент, – к отрицательному и является катодом. В результате взаимодействия катода и анода происходит растворение последнего и удаление растворенной части инструментом. При этом взаимодействие инструмента и заготовки может происходить по кинематической схеме отрезания, точения, прошивания, шлифования, заточки, полирования, доводки, суперфиниширования. Наиболее эффективна электрохимическая обработка в случае обработки труднообрабатываемых материалов и для исключения нагрева заготовки.

Электроэрозионная обработка заключается в изменении формы, размеров, шероховатости и свойств поверхности заготовки под воздействием электрических разрядов в результате электрической эрозии (ГОСТ 25331-82). Возникающий между электродом-инструментом и электродом-заготовкой импульс электрической энергии преобразуется в тепловую, за счет чего происходит нагрев, расплавление и испарение материала. При этом кинематическая схема реализации электроэрозионной обработки, как и при электрохимической, может быть различной. Наибольший эффект достигается в случае обработки труднообрабатываемых материалов, отверстий и полостей сложной формы и малых размеров. Разновидностью электроэрозионной обработки является *электроконтактная обработка*, которую классифицируют по напряжению и характеру разряда на контактную, контактно-дуговую и дуговую. Кинематические схемы электроконтактной обработки отверстий, пазов, плоских поверхностей и резки заготовок разнообразны, как и при электроэрозионной обработке.

Электронно-лучевая обработка основана на воздействии на материал заготовки пучка электронов, кинетическая энергия которого, преобразуясь в рабочей зоне в тепловую, вызывает нагрев, плавление и испарение обрабатываемого материала.

При *светолучевой обработке* воздействие на материал заготовки оказывает сфокусированное поли- или монохроматическое излучение. В последнем случае процесс называется лазерной обработкой.

При *плазменной обработке* происходят процессы, при которых в результате воздействия низкотемпературной плазмы ($\theta = 3 \cdot 10^3 \dots 3 \cdot 10^4$ °C) возникают изменения химического состава, структуры или физического состояния обрабатываемого материала.

Применение этих видов обработки зачастую сочетается с механическими видами (см. рисунок 1.9, в, г).

Магнитно-абразивная обработка – обработка заготовки ферромагнитным порошком (абразивными зернами) (см. рисунок 1.9, д). Под воздействием магнитного поля зерна располагаются вдоль магнитных полей, а перемещение изделия поперек полей обеспечивает обработку с высоким качеством его поверхности.

Струйно-абразивная обработка – процесс отделки поверхностей смесью жидкости с абразивными зернами, подающимися на заготовку со скоростью до 50 м/с под углом 25...40° (см. рисунок 1.9, е). Достижимый параметр шероховатости $R_a = 0,16$ мкм.

2.4. Кинематические схемы и траектории резания

Для упрощения анализа разновидностей обработки резанием вводится понятие кинематической схемы резания.

Кинематической схемой резания называется условное графическое изображение количества, вида и взаимного расположения элементарных движений резания. Кинематическую схему изображают в определенной системе координат XYZ. Ось OX этой системы направлена вдоль оси главного вращательного движения, ось OY – по радиусу главного вращательного движения, ось OZ – по направлению вектора скорости главного движения. Эта координатная система общая для всех видов резания. Классификация кинематических схем резания предложена впервые профессором Г.И. Грановским и включает восемь групп, основывающихся на сочетании прямолинейного и вращательного движений: I – одно прямолинейное движение; II – два прямолинейных движения; III – одно вращательное движение; IV – одно вращательное и одно прямолинейное движения; V – два вращательных движения; VI – два прямолинейных и одно вращательное движения; VII – два вращательных и одно прямолинейное движения; VIII – три вращательных движения.

Кинематические схемы по числу элементарных движений можно разделить на одноэлементные (рисунок 1.10, а, б), двухэлементные (рисунок 1.10, в...и), трехэлементные (рисунок 1.11, а...е), четырехэлементные и т.д.

Анализ этих схем показывает, что все кинематические схемы резания можно свести к некоторой обобщенной (единой) кинематической схеме, состоящей из пяти элементарных движений, из которой путем наложения соответствующих дополнительных условий можно получить кинематическую схему для любой разновидности обработки. Такая обобщенная кинематическая схема приведена на рисунке 1.12.

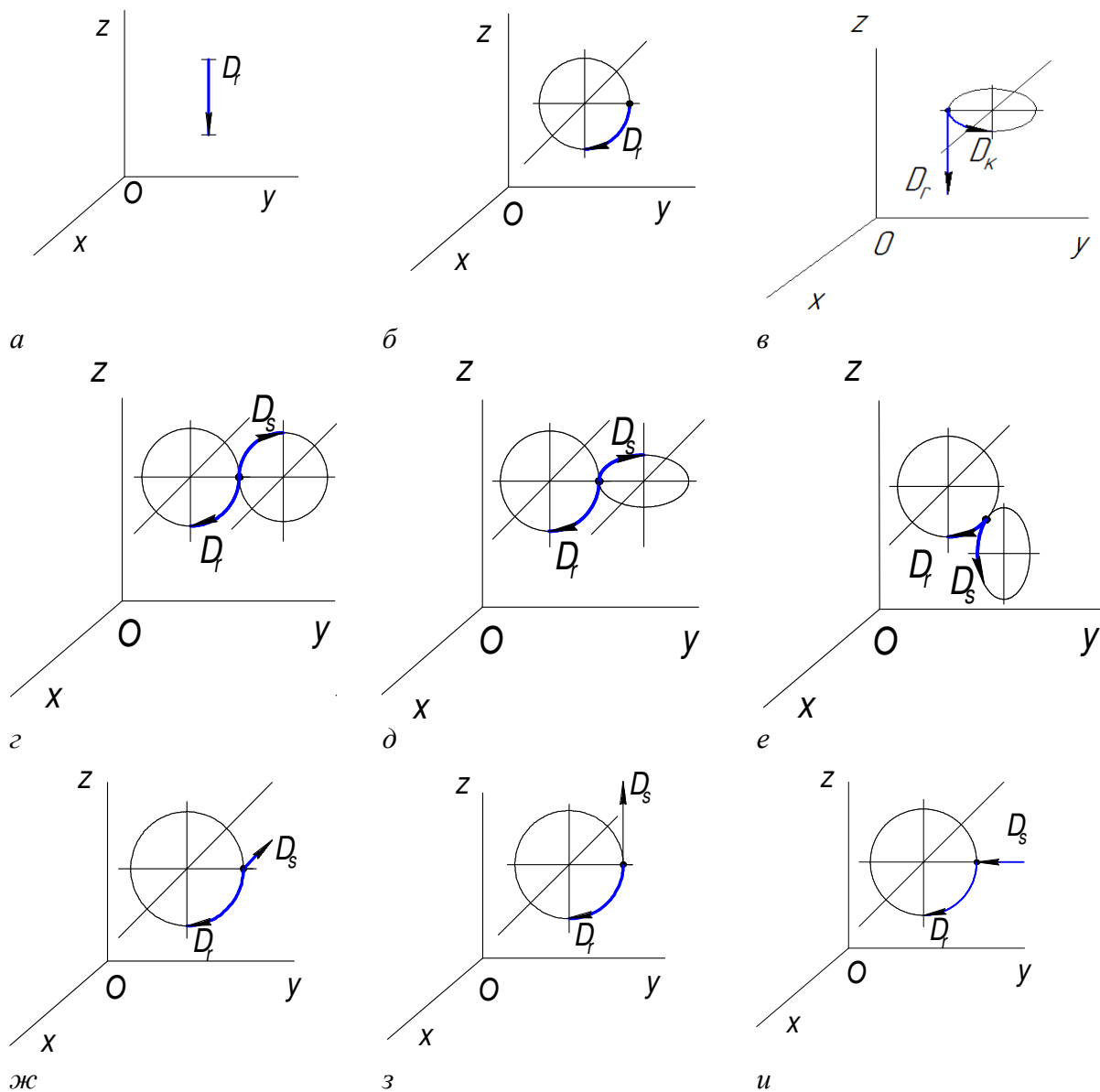


Рисунок 1.10. – Одно- и двухэлементные кинематические схемы резания:
***a* – строгание, долбление, протягивание;**
***б* – круговое протягивание с остановленной деталью; *в* – ротационное строгание;**
***г* – круглое шлифование; *д* – зубофрезерование червячной фрезой;**
***е* – круговое фрезерование, шлифование торцом чашечного круга;**
***ж* – обтачивание, осевая обработка, резьбонарезание, хонингование;**
***з* – плоское шлифование, фрезерование; *и* – отрезание, подрезание, фрезерование;**
***Dr* – главное движение; *Ds* – движение подачи; *Dk* – касательное движение**

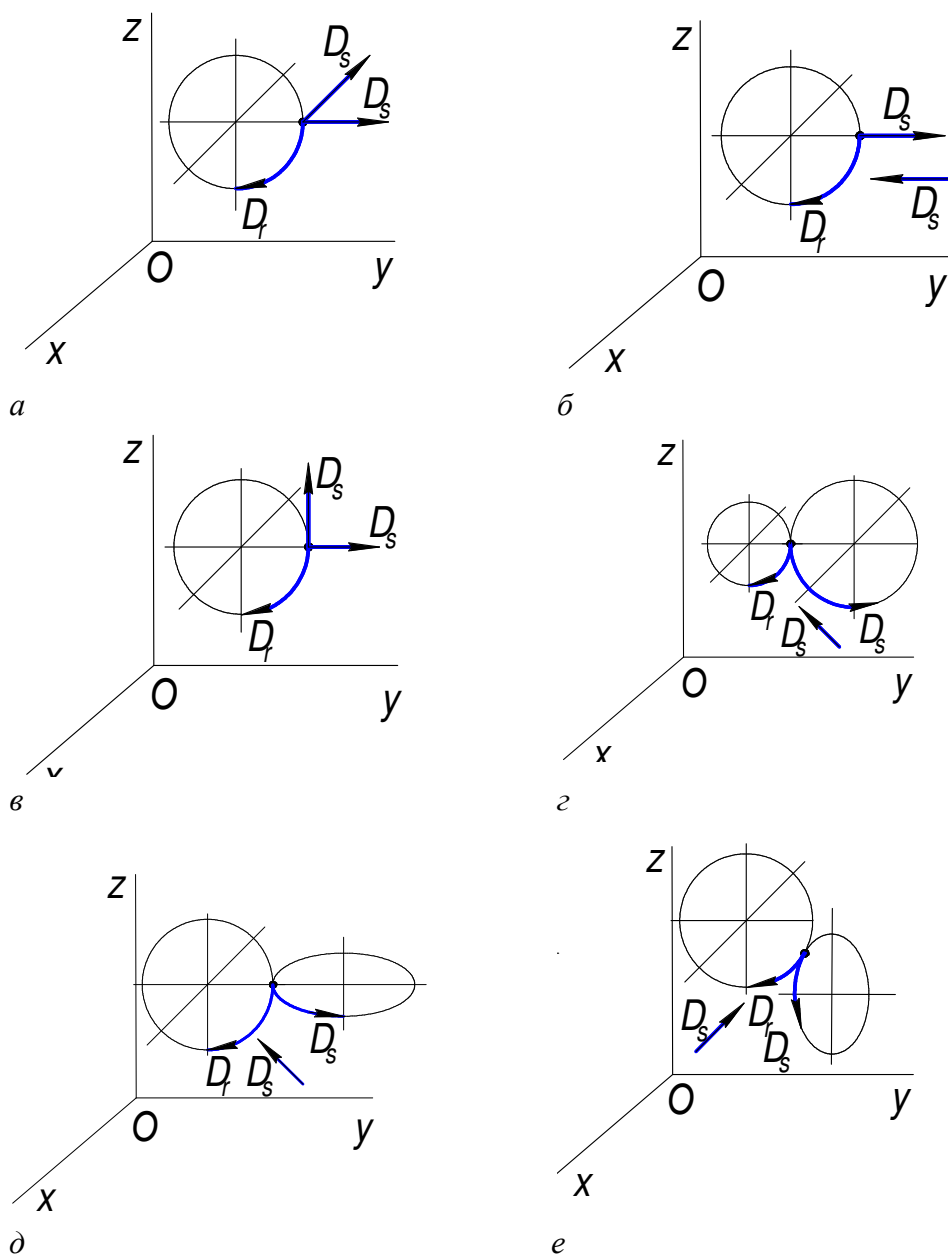


Рисунок 1.11. – Трехэлементные кинематические схемы резания:

***a* – обтачивание конуса, затылование червячных фрез,
копировальное фрезерование;**

***б* – затылование круговых протяжек; *в* – копировальное фрезерование**

***г* – круговое фрезерование, вихревое резьбонарезание, круглое шлифование;**

***д* – зубофрезерование червячной фрезой, ротационное точение;**

***е* – ротационное точение, шлифование торцом круга;**

***Dr, Ds* – см. рисунок 1.10**

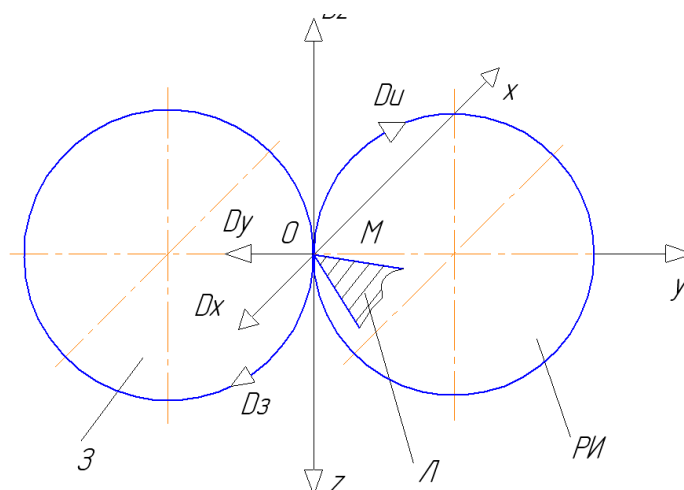


Рисунок 1.12. – Обобщенная кинематическая схема обработки резанием

Схема включает движения D_x , D_y и D_z . Для единообразия на этой схеме лезвию Л инструмента И придано определенное положение в правой нижней четверти пространства (плоскости YZ), а всем движениям, кроме вращательного движения вокруг оси заготовки З, сообщено направление от инструмента в сторону заготовки. При этом подразумевается также, что каждое из этих пяти движений может иметь обратное направление, т.е. может быть приложено к другому компоненту резания, например, не к инструменту, а к заготовке.

Дополнительными условиями, с использованием которых можно обобщенную кинематическую схему резания привести к любой схеме той или иной разновидности обработки, являются:

- 1) принятие любого из трех движений, направления скоростей которых параллельны координатной оси OZ , главным движением резания;
- 2) исключение из обобщенной кинематической схемы тех движений, которые не реализуются в данной разновидности резания;
- 3) изменение расположения схемы (окружности) неглавного вращательного движения путем ее поворота относительно точки М до установки оси этого движения в положение, параллельное той координатной оси, относительно которой задан угол взаимной установки инструмента и заготовки;
- 4) корректировка направлений элементарных движений с учетом места их приложения в конкретной разновидности резания;
- 5) установление соотношения величин скоростей элементарных движений резания.

Траекторией резания называется кривая, описываемая рассматриваемой точкой режущей кромки в движении резания. Форма траектории

зависит от кинематической схемы резания, от того, какое движение совершают инструмент или деталь, и может быть самой разнообразной. Каждая сложная траектория может быть представлена как сочетание простейших кривых: прямой линии, окружности, винтовой линии, архимедовой спирали, циклоиды. Все траектории можно подразделить на плоские (рисунок 1.13, *a...д*) и пространственные (рисунок 1.13, *е*), а в зависимости от количества элементарных движений – на одно- (рисунок 1.13, *а, б*), двух- (рисунок 1.13, *в...е*) и трехэлементные.

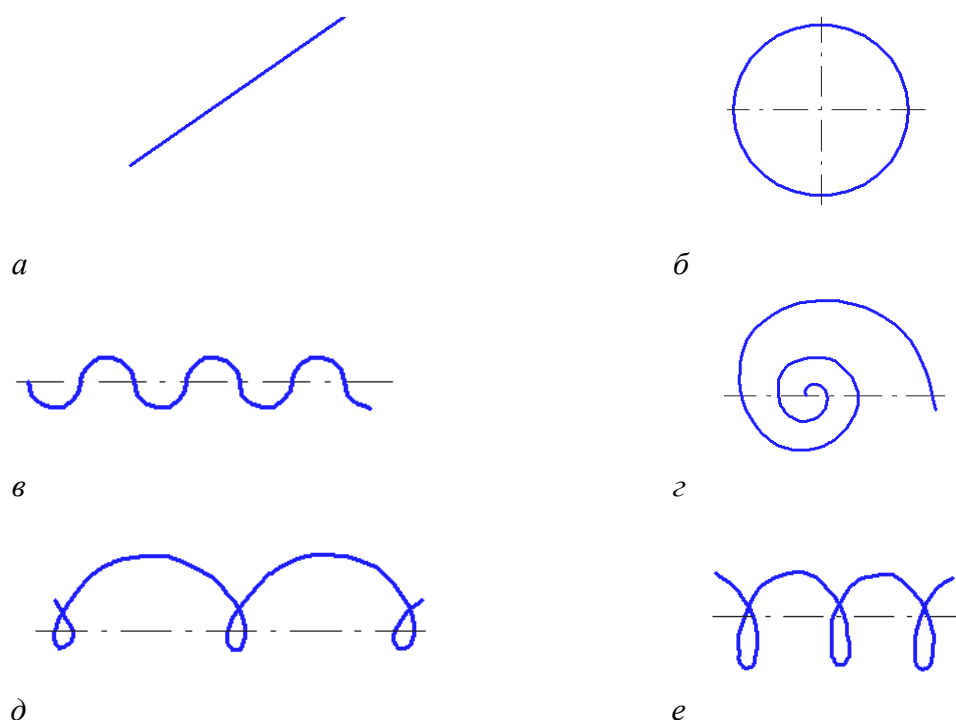


Рисунок 1.13. – Траектории резания:

***а* – прямая при долблении, строгании, протягивании;
б – окружность при круговом протягивании с остановленной деталью;
в – кривая линия при строгании по копиру; *г* – спираль Архимеда при отрезании, подрезании; *д* – циклоида при фрезеровании; *е* – винтовая линия при точении, осевой обработке, хонинговании, протягивании винтовых пазов**

Траектории резания могут быть описаны сложными кривыми. Например, профессор Г.И. Грановский выделяет такие разновидности, как удлиненная циклоида (трохоида) при резании дисковыми фрезами; перекошенная винтовая линия на поверхности эллиптического цилиндра при фрезеровании канавок эллиптического сечения; перекошенная винтовая линия на поверхности кольца круглого сечения при зубофрезеровании зубьев на конических шестернях червячными фрезами и т.п. Реализация

этих траекторий на трех -, четырех-, пятиосевых станках с ЧПУ привело к таким видам обработки, как *трохоидальное резание* – резание с двумя поступательными движениями подачи D_{s1} , D_{s2} и вращательным главным D_r движением режущего инструмента, обеспечивающими срезание слоя материала по трохойдальной траектории (рисунок 1.14, а). Трохóида – общее название циклоидальных кривых, которые описывает точка, находящаяся внутри или вне круга, катящегося без скольжения по направляющей (рисунок 1.14, б).

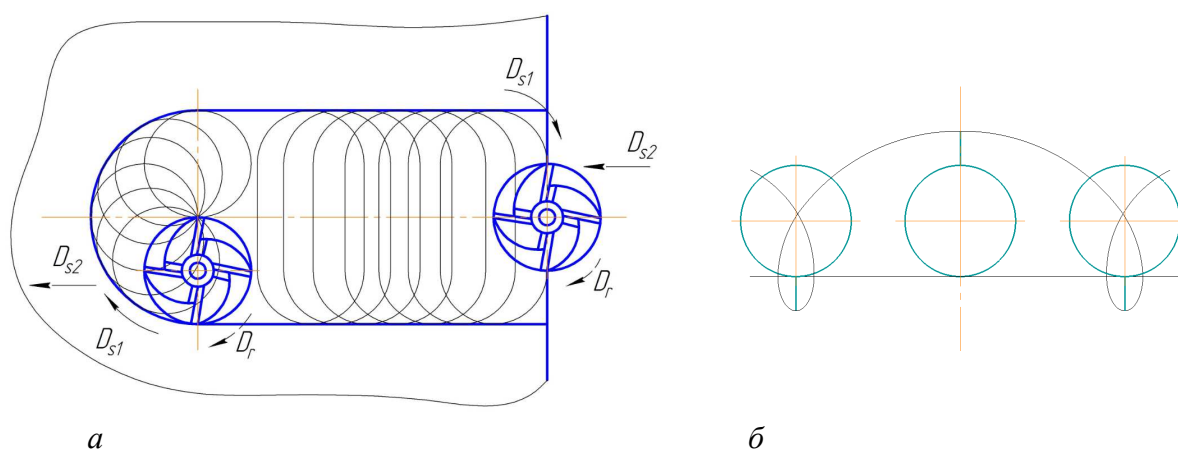


Рисунок 1.14. – Трохоидальное резание:
а – схема резания; б – трохоида

Плунжерное резание – резание концевой фрезой с главным движением резания D_r и осевой подачей D_s , а также установочным движением D_y на очередной ход подачи фрезы (рисунок 1.15).

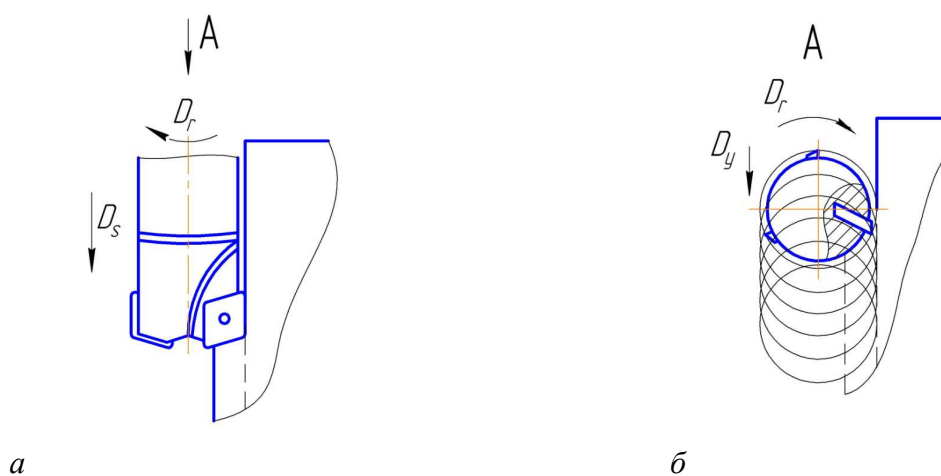


Рисунок 1.15. – Плунжерное резание:
а – схема резания; б – вид сверху

Трохоидальное и плунжерное резание обеспечивают более высокую производительность обработки по сравнению с традиционным фрезерованием.

2.5. Поверхности заготовки и детали и их элементы

К поверхностям заготовки и детали и их элементам относятся обрабатываемая и обработанная поверхности, поверхность резания, припуск, снимаемый и срезаемый слой и их размеры.

Обрабатываемой поверхностью называется поверхность, подлежащая воздействию в процессе обработки. *Обработанной поверхностью* называется требуемая поверхность, полученная в результате действия режущего инструмента. Обрабатываемая поверхность определяет величину припуска, длительность процесса обработки, производительность. Обработанная поверхность определяет качество и долговечность детали.

Поверхность резания – поверхность, образуемая режущей кромкой в результирующем движении резания. В случае когда скорость движения подачи или касательного движения значительно меньше, чем скорость главного движения, то можно говорить о *поверхности главного движения* – поверхности, образуемой режущей кромкой в главном движении резания. Для отдельных видов обработки, например, для строгания и протягивания, поверхность резания совпадает с обработанной поверхностью.

Припуск – слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности.

Снимаемый слой – часть объема заготовки, удаляемая за один проход инструмента в движении подачи.

Срезаемым слоем называется часть объема снимаемого слоя, удаляемая за один оборот или двойной ход главного движения резания (рисунок 1.16).

Фигура, образованная при рассечении срезаемого слоя основной плоскостью, называется *сечением срезаемого слоя*. Срезаемый слой характеризуется длиной l , шириной b и толщиной a . Длина l измеряется в направлении непрерывного движения точки режущей кромки по траектории резания за один цикл главного движения. Ширина b – это размер сечения срезаемого слоя, измеряемый по поверхности резания (линейный размер наибольшей стороны сечения срезаемого слоя). Толщина a – это линейный размер сечения срезаемого слоя в рассматриваемой точке режущей кромки в направлении нормали к поверхности резания. Примеры поверхностей и геометрических элементов заготовки для некоторых видов обработки резанием представлены на рисунке 1.17.

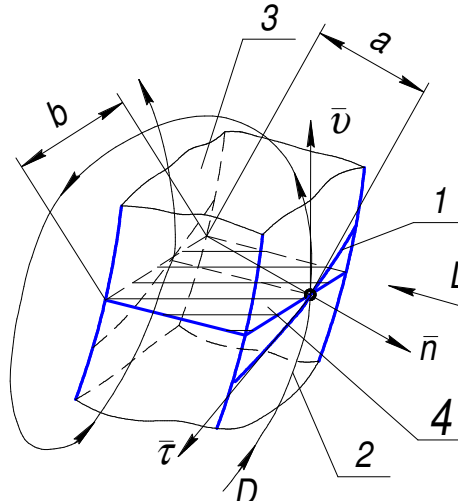


Рисунок 1.16. – Срезаемый слой и сечение срезаемого слоя:
1 – режущая кромка; 2 – траектория резания; 3 – срезаемый слой;
4 – сечение срезаемого слоя;
 a – толщина срезаемого слоя; b – ширина срезаемого слоя

Толщина и ширина среза являются важнейшими характеристиками процесса резания и наряду с технологическими параметрами S , t и v называются *геометрическими параметрами резания*.

Связь геометрических и технологических параметров, например, при обтачивании следующая:

$$a = S_o \cdot \sin \varphi, \quad b = \frac{t}{\sin \varphi}. \quad (1.3)$$

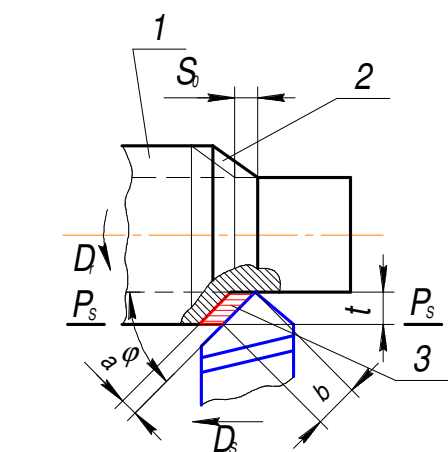
При фрезеровании толщина срезаемого слоя переменна и зависит от угла контакта зуба фрезы с заготовкой μ :

$$a_\mu = S_o \cdot \sin \mu, \quad (1.4)$$

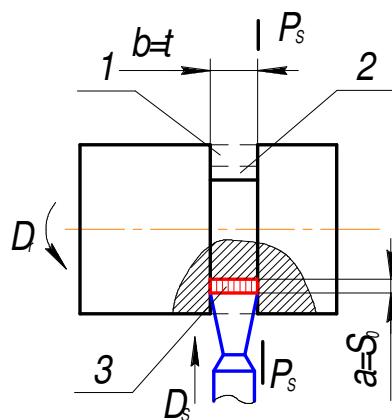
Пользуются также понятием *площади сечения срезаемого слоя*, которая определяется по формуле

$$f = a \cdot b = S_o \cdot t. \quad (1.5)$$

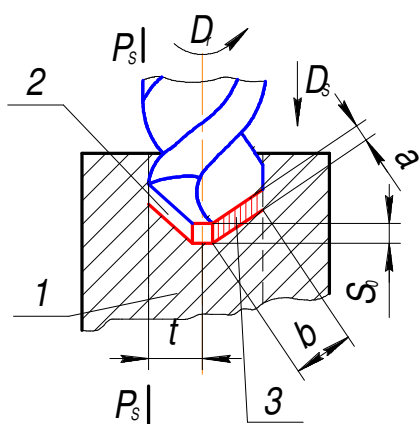
Таким образом, площадь сечения срезаемого слоя определяется величинами подачи на оборот и глубины резания и не зависит от формы режущей кромки лезвия инструмента.



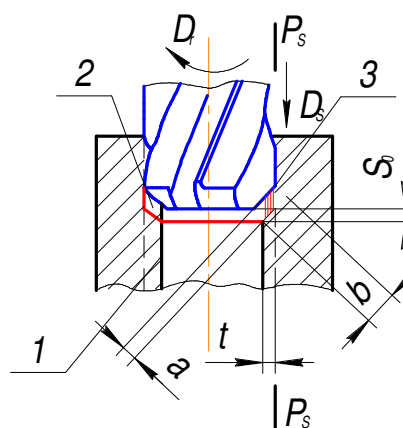
a



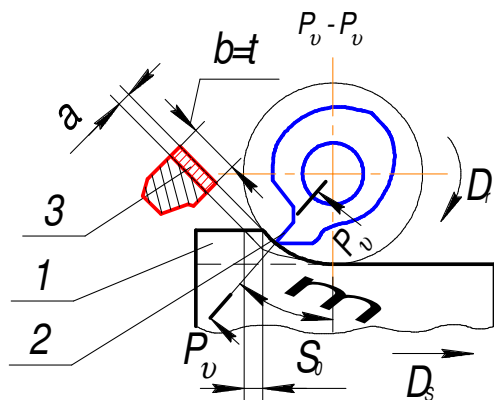
б



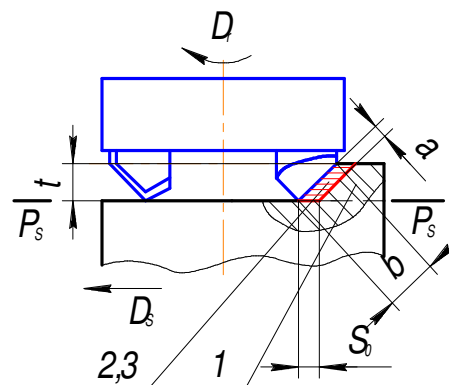
в



г



д



е

Рисунок 1.17. – Геометрические элементы и параметры заготовки:
a – при обтачивании; б – отрезании; в – сверлении; г – зенкеровании;
д – периферийном фрезеровании; е – торцовом фрезеровании;
1 – снимаемый слой; 2 – срезаемый слой; 3 – сечение срезаемого слоя

3. МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

1. Сталь 45 ГОСТ 1050, Сталь 40Х ГОСТ 4543.
2. Металлорежущее оборудование.
3. Инструмент измерительный (штангенциркуль, микрометр, нутромер, образцы шероховатости поверхности, профилометр).

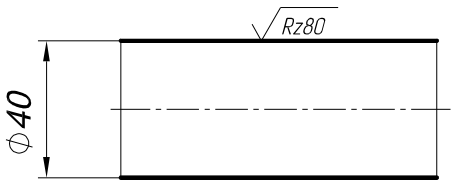
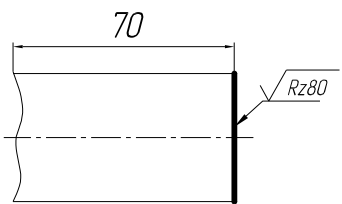
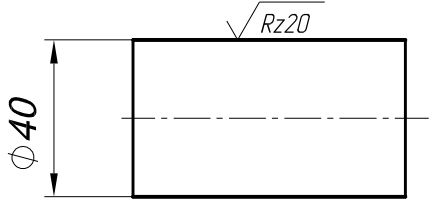
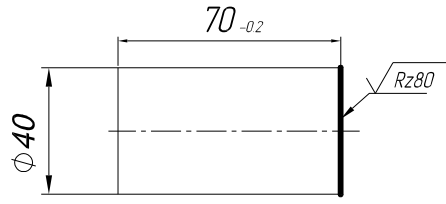
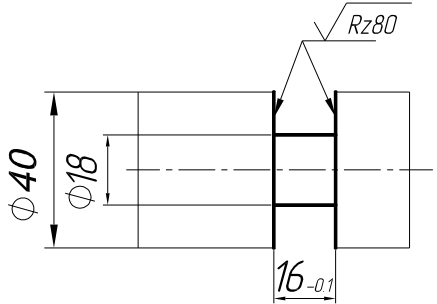
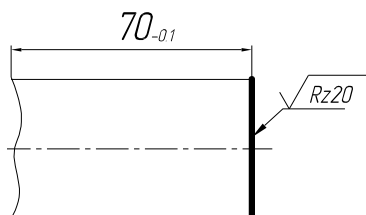
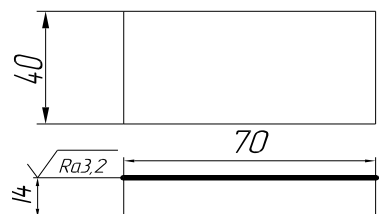
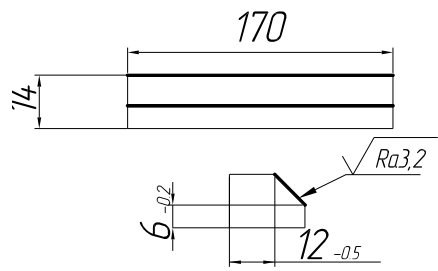
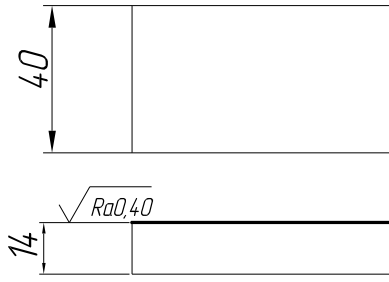
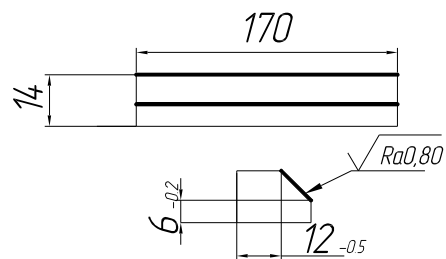
4. СТРУКТУРА ОТЧЕТА

1. Название, цель и порядок выполнения лабораторной работы.
2. Краткие сведения о видах обработки резанием, движении резания и его элементах, кинематических схемах и траекториях резания, поверхностях детали и элементах срезаемого слоя (примеры: по 2–3 несовпадающих с заданием рисунка из каждого раздела).
3. Схема обработки поверхностей детали инструментом с указанием элементов движения резания, обрабатываемой и обработанной поверхностей и поверхности резания, элементов снимаемого и срезаемого слоя.
4. Кинематическая схема и траектория резания согласно заданию.
5. Протокол исследования видов обработки резанием.
6. Выводы.

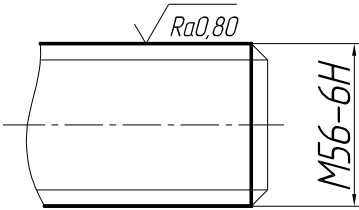
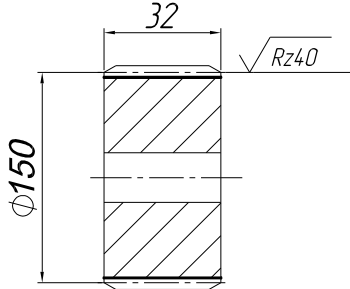
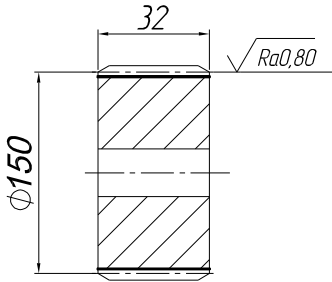
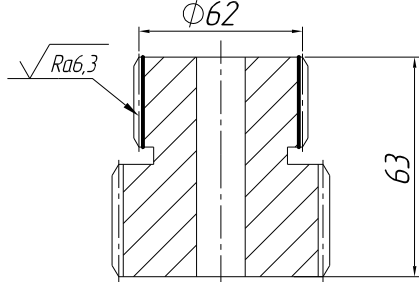
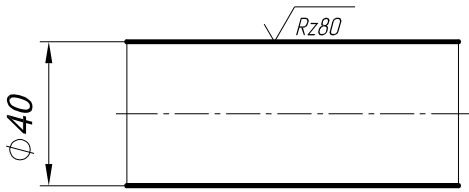
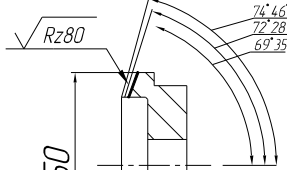
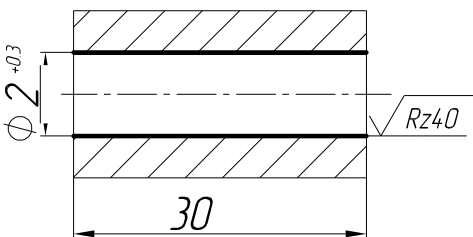
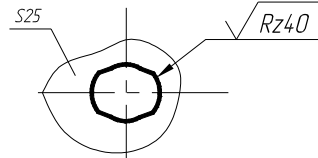
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова цель и порядок выполнения работы?
2. Какие виды обработки резанием вы знаете?
3. Дайте определение видов обработки резанием.
4. Что называется движением резания? Какие элементарные движения оно включает?
5. Дайте определение элементарных движений резания.
6. Запишите формулу для расчета скорости резания, подачи и глубины резания.
7. Что называется кинематической схемой резания? Какие кинематические схемы резания вы знаете?
8. Что называется траекторией резания? Какие траектории резания вы знаете?
9. Какие поверхности заготовки и детали и их элементы вы знаете? Дайте им определение и покажите на примерах.
10. Назовите технологические параметры режима резания и запишите формулы для расчета параметров сечения срезаемого слоя.

Таблица 1.1 – Варианты заданий

1	2	3	4
1		2	
3		4	
5		6	
7		8	
9		10	

1	2	3	4
11		12	
13		14	
15		16	
17		18	
19		20	
21		22	

1	2	3	4
23		24	 Степень точности 8-С; $m=3$ мм
25	 Степень точности 8-С; $m=3$ мм	26	 Степень точности 8-С; $m=2,5$ мм
27	 Диаметр заготовки $D=80$ мм	28	 Степень точности 8-С; $m=1,5$ мм
29	 Твердость материала HRC э 60...65	30	 Твердость материала HRC э 60...65

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

1. ЦЕЛЬ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Цель работы – практическое закрепление знаний студентом об основных конструктивных элементах и геометрических параметрах лезвия режущих инструментов, координатных плоскостях, конструкциях угломеров и приемов измерения углов лезвия режущего инструмента.

Рекомендуется выполнять работу в следующем порядке:

1. Получить у преподавателя вариант задания и выбрать соответствующий режущий инструмент.
2. Изобразить эскиз режущего инструмента с необходимыми сечениями и размерами, показать основные углы лезвия режущего инструмента.
3. Измерить углы лезвия режущего инструмента с помощью угломеров. Полученные значения занести в протокол.
4. Сделать общий вывод о соответствии измеренных значений углов лезвия режущего инструмента требуемым.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Конструктивные элементы и геометрические параметры токарного резца

Режущие инструменты предназначены для обработки резанием и подразделяются на лезвийные и абразивные.

Лезвийный инструмент – режущий инструмент с заданным числом лезвий установленной формы.

Абразивный инструмент – инструмент из абразивного материала.

Токарный резец (рисунок 2.1) состоит из лезвия, корпусной и крепёжной частей.

Лезвие – клинообразный элемент режущего инструмента для проникновения в материал заготовки и отделения слоя материала. Лезвие включает в себя переднюю и задние поверхности, режущие кромки и вершину.

Передняя поверхность – это поверхность, контактирующая в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой.

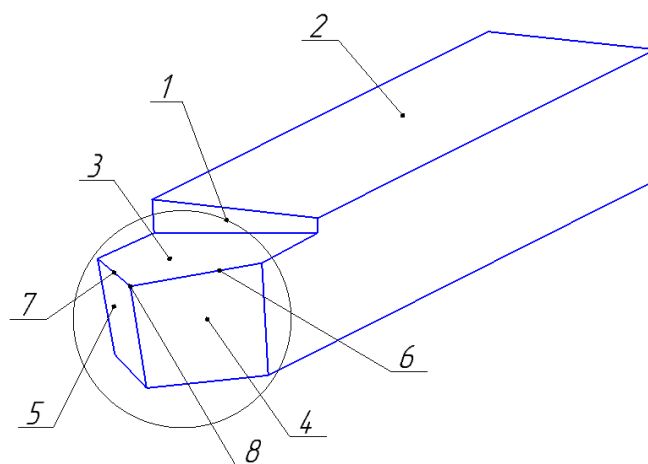


Рисунок 2.1. – Режущий инструмент (токарный резец) и его элементы:

**1 – лезвие; 2 – корпусная и крепежная части; 3 – передняя поверхность лезвия;
4 – главная задняя поверхность лезвия; 5 – вспомогательная задняя поверхность лезвия; 6 – главная режущая кромка; 7 – вспомогательная режущая кромка;
8 – вершина лезвия**

Задняя поверхность – это поверхность, контактирующая в процессе резания с поверхностью резания, обрабатываемой и обработанной поверхностями заготовки.

Режущая кромка – это кромка лезвия, образуемая пересечением передней и задней поверхностей лезвия.

Вершина – это участок режущей кромки в месте пересечения двух задних поверхностей или участок режущей кромки, имеющий максимальное внедрение в материал заготовки. У проходного токарного резца и сверла вершиной является участок или точка лезвия в месте пересечения главной и вспомогательных режущих кромок.

Главной режущей кромкой называется часть режущей кромки, формирующая большую сторону сечения срезаемого слоя.

Вспомогательная режущая кромка – это часть режущей кромки, формирующая меньшую сторону сечения срезаемого слоя.

К геометрическим параметрам режущего инструмента относятся углы лезвия. Углы лезвия резцов измеряются в различных координатных плоскостях. Для определения углов режущего инструмента установлены следующие координатные плоскости:

1) основная плоскость (P_0) – координатная плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению скорости главного или результирующего движения резания в этой точке;

2) плоскость резания (P_n) – это координатная плоскость, проведенная касательно к поверхности резания в рассматриваемой точке режущей кромки инструмента или касательно к главной режущей кромке и перпендикулярно основной плоскости;

3) главная секущая плоскость (P_τ) – это координатная плоскость, проведенная через векторы скорости резания или главного движения резания и нормаль к поверхности резания или главного движения резания в рассматриваемой точке режущей кромки инструмента;

4) рабочая плоскость (P_s) – плоскость, в которой расположены векторы скоростей главного движения и движения подачи.

Главные углы. Главные углы лезвия токарного резца рассматриваются в главной секущей плоскости $P_\tau - P_\tau$ (рисунок 2.2).

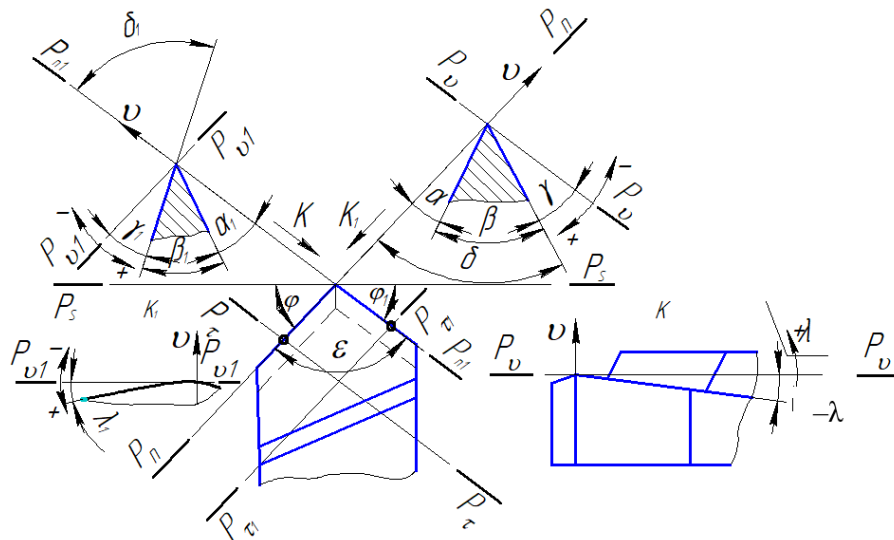


Рисунок 2.2. – Геометрические параметры лезвия режущего инструмента (токарного резца)

Передний угол γ – это угол в главной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и основной плоскостью.

Задний угол α – это угол в главной секущей плоскости между задней поверхностью и плоскостью резания.

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

Угол резания δ – это угол в главной секущей плоскости угол между передней поверхностью лезвия и плоскостью резания.

Передний угол γ может иметь как положительное, так и отрицательное значение. Передний угол считается положительным в том случае, когда

передняя поверхность в сечении главной секущей плоскостью расположена ниже основной плоскости, и отрицательным – когда выше.

Передний угол γ имеет большое значение в процессе образования стружки. С увеличением переднего угла улучшается врезание резца в металл, уменьшается деформация срезаемого слоя, облегчается сход стружки, уменьшаются сила резания и расход мощности. Вместе с тем увеличение переднего угла приводит к уменьшению угла β и снижению прочности режущего клина, что вызывает увеличение износа резца. Поэтому при обработке твердых и хрупких металлов выбирают меньшее значение переднего угла, чем при обработке мягких и вязких металлов. При обработке закаленных сталей твердосплавным инструментом, а также при ударной нагрузке (прерывистое резание) следует для увеличения прочности режущей кромки применять отрицательные значения передних углов. На практике величину переднего угла выбирают в пределах от -10° до $+30^\circ$.

Задний угол α служит для уменьшения трения между задней поверхностью резца и поверхностью резания. С уменьшением трения уменьшается нагрев резца, а, следовательно, и его износ со стороны задней поверхности, снижаются силы резания. Однако большие значения заднего угла могут привести к разрушению лезвия режущего инструмента. При выборе заднего угла учитывают свойства материалов детали и инструмента, а также условия резания. При обработке мягких и вязких металлов значения заднего угла лезвия резца выбирают большими, чем при обработке твердых и хрупких металлов. На практике величину заднего угла выбирают в пределах $6...12^\circ$.

Между углами существуют следующие зависимости:

$$\gamma + \alpha + \beta = 90^\circ;$$

$$\alpha + \beta = \delta;$$

$$\delta + \gamma = 90^\circ;$$

$$\delta = 90^\circ - \gamma.$$

Вспомогательные углы. Вспомогательные углы рассматриваются во вспомогательной секущей плоскости $P_{\tau 1} - P_{\tau 1}$.

Вспомогательный передний угол γ_1 – это угол во вспомогательной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и основной плоскостью.

Вспомогательный задний угол α_1 – угол во вспомогательной секущей плоскости между вспомогательной задней поверхностью резца и вспомогательной плоскостью резания.

Вспомогательный угол заострения β_1 – это угол во вспомогательной секущей плоскости между передней и вспомогательной задней плоскостью резца.

Вспомогательный угол резания δ_1 – это угол во вспомогательной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и вспомогательной плоскостью резания.

Углы в плане. Углы в плане рассматриваются в основной плоскости.

Угол в плане φ – это угол в основной плоскости между плоскостью резания, касательной к главной режущей кромке и рабочей плоскостью.

Вспомогательный угол в плане φ_1 – это угол в основной плоскости между плоскостью резания, касательной к вспомогательной режущей кромке и рабочей плоскостью.

Угол при вершине ε – это угол в основной плоскости угол между плоскостями резания, касательными к главной и вспомогательной режущим кромкам резца.

Углы в основной плоскости связаны соотношением

$$\varphi + \varphi_1 + \varepsilon = 180^\circ.$$

Значение главного угла в плане φ , как правило, изменяется в пределах от 0° до 90° , а для стандартных резцов составляет 45° . Угол φ оказывает значительное влияние на качество обработанной поверхности – уменьшение этого угла приводит к снижению шероховатости обработанной поверхности. При этом увеличивается активная длина режущей кромки, что улучшает условия теплоотвода и уменьшает износ режущего инструмента. Но с уменьшением главного угла в плане возрастает отжим резца от заготовки, возникают вибрации, что может привести к ухудшению качества обработанной поверхности и увеличению износа инструмента.

Значения вспомогательного угла φ_1 лежат в диапазоне от 0° до 45° . Вспомогательный угол в плане φ_1 служит для уменьшения трения вспомогательной задней поверхности об обработанную поверхность и оказывает влияние на шероховатость обработанной поверхности. Для получения большей стойкости резца и меньшей шероховатости обработанной поверхности детали угол φ_1 выбирают возможно меньшим, учитывая жесткость технологической системы. На практике угол φ_1 выбирают в пределах $10...30^\circ$.

Угол наклона режущей кромки. Угол в плоскости резания между режущей кромкой и основной плоскостью называется *углом наклона режущей кромки λ* .

Угол λ считается положительным, когда режущая кромка расположена выше основной плоскости, и отрицательным – когда ниже ; λ равен нулю, если главная режущая кромка совпадает с основной плоскостью осью (рисунок 2.3). Значение угла λ находятся в пределах от -5° до $+5^\circ$.

Угол наклона режущей кромки λ оказывает влияние на направление схода стружки. При отрицательном значении угла λ стружка сходит по направлению движения подачи. При положительном значении угла λ стружка сходит противоположно направлению движения подачи. При угле $\lambda = 0$ стружка сходит вдоль корпуса резца.

Положительное значение угла наклона главной режущей кромки λ оказывает влияние на упрочнение режущей кромки резца, что особенно важно при ударном (прерывистом) резании, при работе по корке и при работе с неравномерным припуском. Отрицательное значение угла λ рекомендуется применять для чистовой обработки поверхностей деталей.

2.2. Измерение углов лезвия токарного резца

Углы лезвия токарных резцов измеряют с помощью угломеров (универсального или маятникового) или специального прибора Всесоюзного научно-исследовательского института инструмента (ВНИИИ).

Прибор ВНИИИ имеет основание (рисунок 2.3), на котором укреплен поворотный стол 2 и стойка 3 с измерительной частью. Измерительная часть закреплена на кронштейне 4, который перемещается по стойке и может фиксироваться винтом 5. К кронштейну крепится шкала 6 с ценой деления 1° . На оси 7, проходящей через центр шкалы, находится шаблон 8 с указательной риской.

При измерении резец укладывается опорной (при измерении γ , α , λ) или боковой (при измерении ϕ) поверхностями на стол. Поворачивая стол и перемещая резец по поверхности стола, добиваются необходимого положения плоскости шкалы и ребра шаблона по отношению к резцу.

При измерении переднего угла γ плоскость шкалы должна быть перпендикулярна главной режущей кромке, а ребро шаблона располагаться без просвета на передней поверхности (рисунок 2.4, а).

При измерении угла λ плоскость шкалы располагают параллельно главной режущей кромке и ребро ложится без просвета на кромку (рисунок 2.4, б).

Для контроля заднего угла α измерительную часть опускают вниз так, чтобы ось находилась на 2–3 мм ниже главной режущей кромки резца (рисунок 2.4, в). Затем плоскость шкалы располагают перпендикулярно главной режущей кромке и добиваются контакта без просвета ребра I шаблона с задней поверхностью резца.

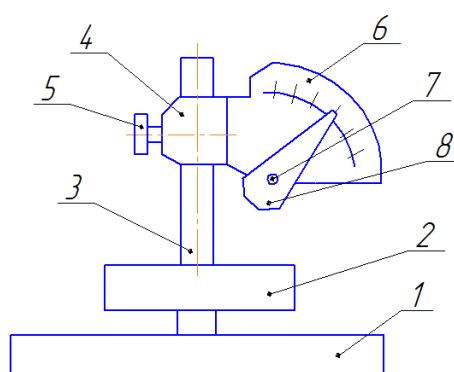


Рисунок 2.3. – Конструкция прибора ВНИИИ

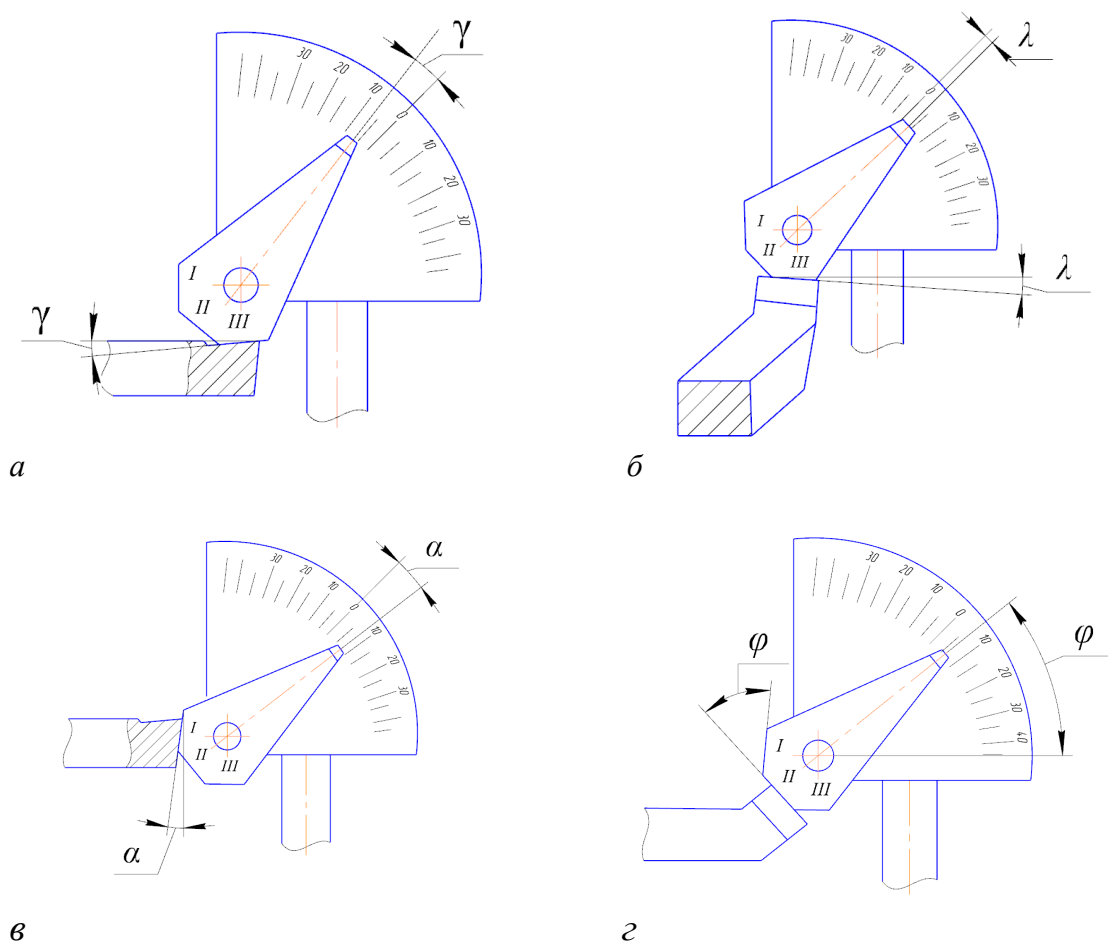


Рисунок 2.4. – Схемы измерения углов лезвия резцов на приборе ВНИИИ:
а – переднего угла; *б* – угла наклона режущей кромки; *в* – заднего угла;
г – угла в плане

При измерении углов в плане добиваются контакта без просвета ребра II шаблона с режущей кромкой (рисунок 2.4, з). Отсчет производится следующим образом: если риска шаблона отклоняется вправо от нуля, то проверяемый угол равен 45° минус показание риски шаблона. Если влево – проверяемый угол будет равен 45° плюс показание риски шаблона. Углы в плане меньше 45° можно измерять так же, как задние углы при помощи ребра I шаблона.

В основу конструкции маятникового угломера положен принцип отвеса. Стрелка угломера связана с грузом, поэтому всегда устанавливается вертикально. Для измерения углов лезвия резец следует положить опорной или боковой поверхностью на горизонтальную поверхность контрольной плиты, точно установленной по уровню. Соответствующее положение резца обеспечит измерение углов в инструментальной главной секущей и основной плоскостях. Лекальную линейку прикладывают к измеряемой поверхности и, нажимая на кнопку, отпускают тормоз. Установленная вертикально стрелка укажет на циферблате величину угла. Схема измерения углов лезвия резца с помощью маятникового угломера показан на рисунке 2.5.

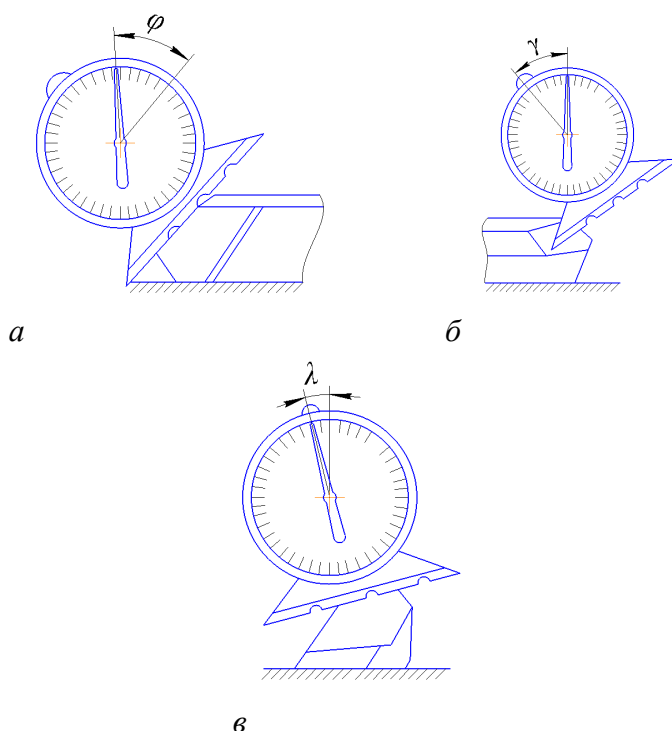


Рисунок 2.5. – Схема измерения углов лезвия резца маятниковым угломером:

а – угла в плане; б – переднего угла; в – угла наклона режущей кромки

Для измерения угла в плане φ ребро линейки маятникового угломера прикладывают к задней поверхности параллельно главной режущей кромке (рисунок 2.5, а), при измерении переднего угла γ – к передней поверхности в главной секущей плоскости (рисунок 2.5, б), угла наклона режущей кромки λ – к режущей кромке в плоскости резания (рисунок 2.5, в). После наложения ребра линейки на соответствующую поверхность нажимают на кнопку тормоза и фиксируют величину отсчета.

Универсальный угломер (рисунок 2.6) применяется для измерения углов в плане. Универсальный угломер состоит из сектора с угловой шкалой 1, подвижного нониуса 2 и двух измерительных планок 3, 4.

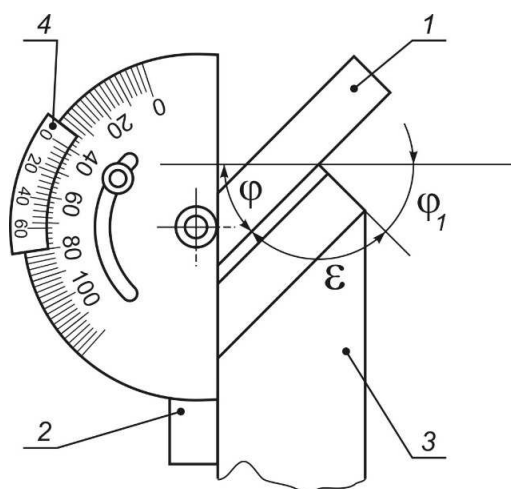


Рисунок 2.6. – Схема измерения угла в плане универсальным угломером

При измерении главного угла в плане φ прямого проходного токарного резца одну из планок совмещают с боковой поверхностью корпуса резца, другую – с главной режущей кромкой. Значения угла φ считывают с угловой шкалы и нониуса. Нониус позволяет определить значения угла с точностью до минуты. Использование нониуса аналогично использованию нониуса штангенциркуля.

2.3. Измерение углов лезвий сверл и фрез

Спиральные сверла состоят из следующих основных частей: режущей, калибрующей или направляющей, хвостовой и соединительной (рисунок 2.7).

Режущая и калибрующая части сверла составляют его рабочую часть. На рабочей части сверла имеется пять режущих кромок: две главные (1-2 и 1'-2'), две вспомогательные (1-3, 1'-3') и перемычка (2-2'). Сверло имеет две вершины (1 и 1').

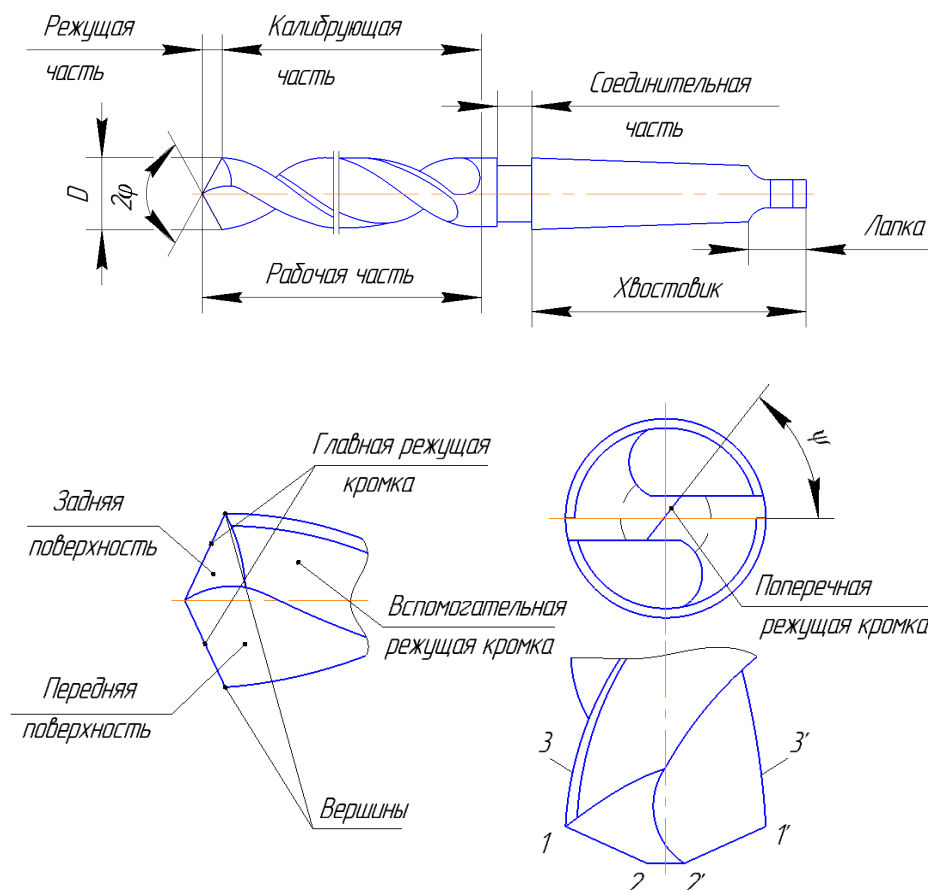


Рисунок 2.7. – Конструктивные элементы спирального сверла

Сверло характеризуется следующими основными углами (рисунок 2.8): передним углом γ , задним углом α , углом наклона винтовой канавки ω , углом наклона поперечной кромки ψ и углом при вершине резца 2φ .

Передний угол γ и задний угол α рассматривают в главной секущей плоскости $P_\tau - P_\tau$. В каждой точке режущего лезвия в плоскости $P_\tau - P_\tau$ угол γ имеет различную величину и определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \gamma_x = \frac{r_x}{R} \operatorname{tg} \omega, \quad (2.1)$$

где r_x – радиус окружности, на которой расположена рассматриваемая точка;

R – радиус сверла.

Наибольшее значение передний угол имеет у периферии сверла и составляет $18-33^\circ$ (в зависимости от диаметра сверла), а по мере приближения к оси уменьшается до отрицательного значения.

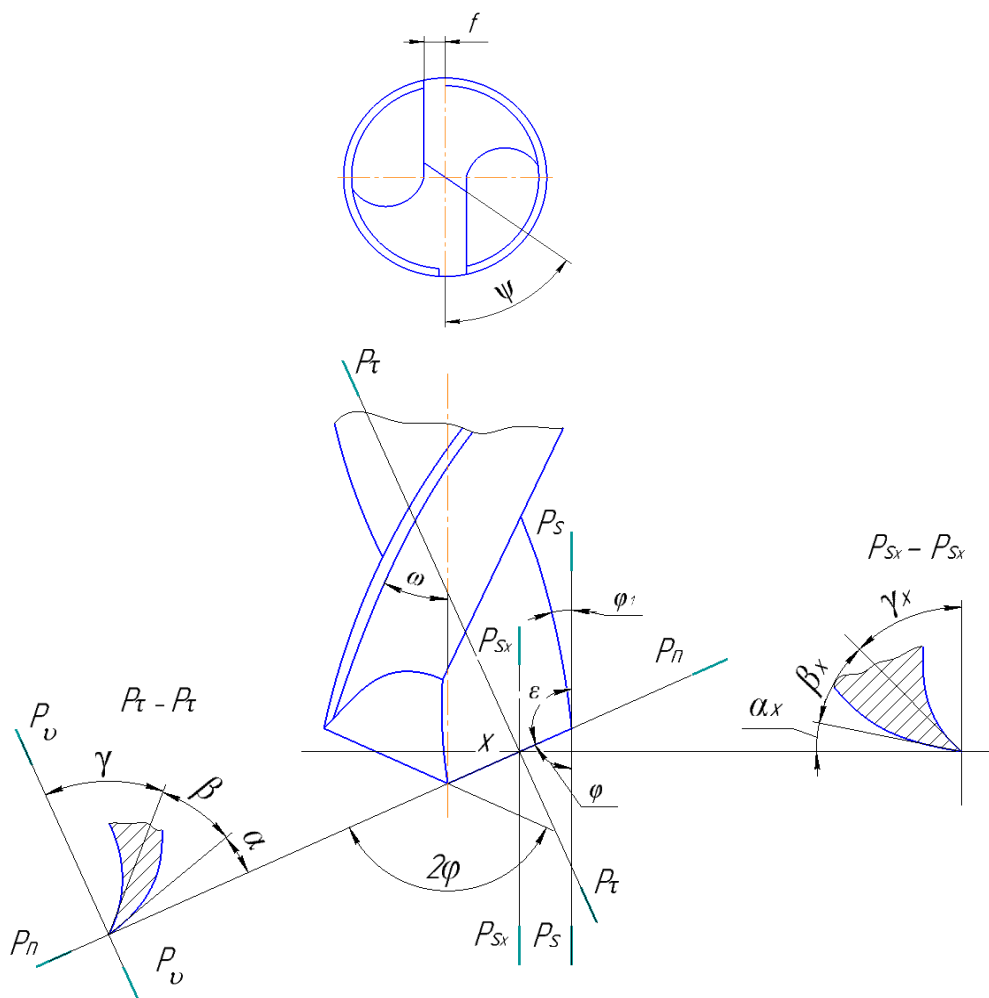


Рисунок 2.8. – Геометрические параметры лезвия спирального сверла

Передний угол γ и задний угол α лезвия можно измерять в осевом сечении в плоскости О-О, параллельной оси сверла. Для того чтобы иметь практически одинаковое сечение лезвия сверла вдоль всей длины режущей кромки, задний угол делается так же, как и передний, переменным. Задняя поверхность сверла формируется так, что на периферии угол α имеет минимальное значение.

Задний угол α лезвия сверла в разных точках режущей кромки можно измерить координатным методом (рисунок 2.9) при помощи делительной головки и индикатора. Наконечник индикатора при этом должен быть установлен поворотом сверла в точку, возможно более близкую к режущей кромке. В таком положении стрелка индикатора должна быть поставлена на нуль. После этого сверло поворачивают на угол η , вращая шпиндель делительной головки. При этом наконечник индикатора скользит по задней поверхности сверла, показывая величину ее падения K . Фиксируют показания индикатора, соответствующие повороту сверла на каждые 5° .

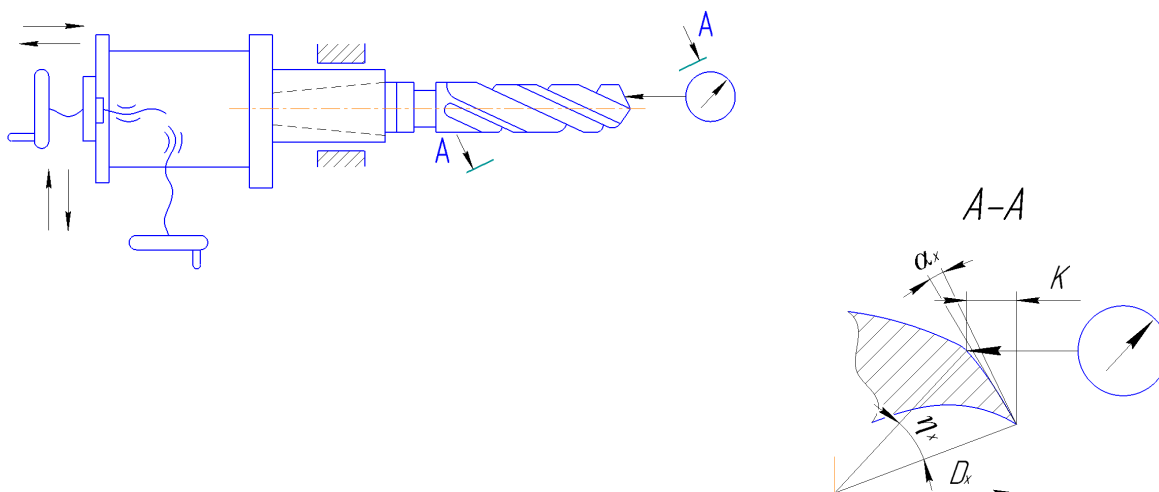


Рисунок 2.9. – Схема измерения заднего угла α_x лезвия сверла координатным методом

Задний угол в некоторой точке лезвия определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_x = \frac{K}{x}, \quad (2.2)$$

где K – величина падения задней поверхности лезвия на угле поворота сверла η_x ;

x – длина окружности, соответствующая углу поворота сверла η_x , мм,

$$x = \frac{\pi D_x \eta_x}{360}. \quad (2.3)$$

D_x – диаметр сверла, соответствующий рассматриваемой точке режущей кромки сверла.

С учетом формул (2.2) и (2.3)

$$\operatorname{tg} \alpha_x = 360^\circ \frac{K}{\pi D_x \eta_x}. \quad (2.4)$$

Угол наклона винтовой канавки или угол наклона вспомогательной режущей кромки ω – это угол в плоскости резания между режущей кромкой и основной плоскостью. Чем больше угол наклона канавок, тем лучше отводится стружка, но меньше жесткость сверла и прочность режущих кромок, т.к. на длине рабочей части сверла увеличивается объем канавки. Значение угла наклона зависит от обрабатываемого материала и диаметра сверла (чем меньше диаметр, тем меньше ω). Для сверл из быстрорежущей стали угол ω назначается в зависимости от их диаметра в пределах от 18 до 30°.

Угол наклона поперечной режущей кромки лезвия (перемычки) ψ – угол в плоскости резания между поперечной кромкой и основной плоскостью. Угол наклона поперечной режущей кромки лезвия можно измерить с помощью универсального угломера (рисунок 2.10). Этот угол обычно принимается равным 55° .

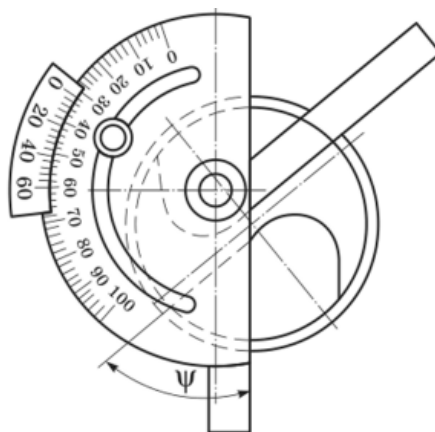


Рисунок 2.10. – Схема измерения угла наклона поперечной режущей кромки лезвия сверла ψ универсальным угломером

Углы в плане ϕ , ϕ_1 , ϵ сверла рассматриваются в основной плоскости. От величины угла ϕ зависит ширина и толщина срезаемого слоя, условия теплоотвода, прочность режущей части сверла. Вспомогательный угол в плане ϕ_1 обеспечивается за счет обратного конуса рабочей части сверла чтобы избежать защемления сверла в просверленном отверстии. Например, сверла диаметром свыше 18 мм уменьшают по диаметру на 0,05–0,12 мм на каждые 100 мм длины рабочей части. Угол ϕ_1 определяется по следующей формуле

$$\phi_1 = \arctg \frac{D - D_1}{2L},$$

где D и D_1 – диаметр сверла соответственно в начале и в конце рабочей части сверла;

L – длина рабочей части.

Иногда рассматривают угол 2ϕ – угол между плоскостями резания, касательными к двум главным режущим кромкам. Значение угла 2ϕ зависит от обрабатываемого материала. Для мягких металлов $2\phi = 80...90^\circ$. Для сталей и чугунов $2\phi = 116...118^\circ$. Для очень твердых металлов $2\phi = 130...140^\circ$.

Измерение угла 2φ можно производить универсальными угломерами (рисунок 2.11, *а*), либо с помощью шаблона, общий вид которого представлен на рисунке 2.11, *б*.

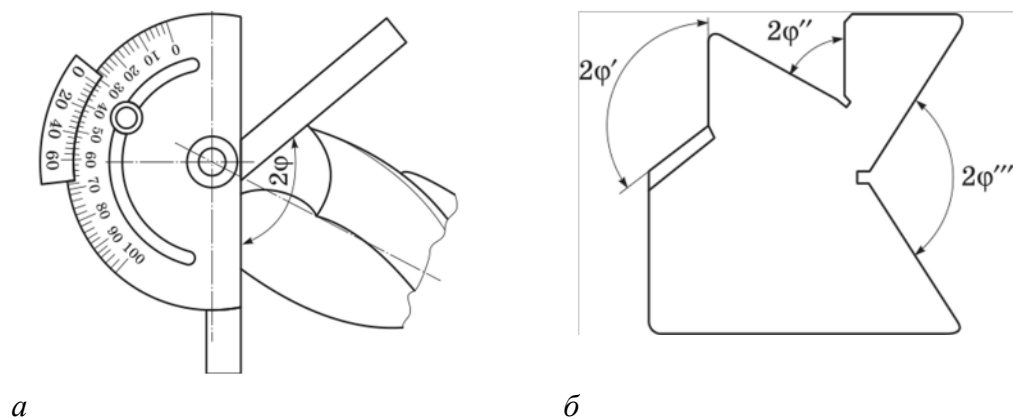


Рисунок 2.11. – Схема измерения угла 2φ сверла:
а – универсальным угломером; *б* – общий вид шаблона

Точные измерения углов 2φ , ω и ψ сверла могут производиться на инструментальном микроскопе БМИ или видеоизмерительном микроскопе NORGAU NVM-4030D (рисунок 2.12).

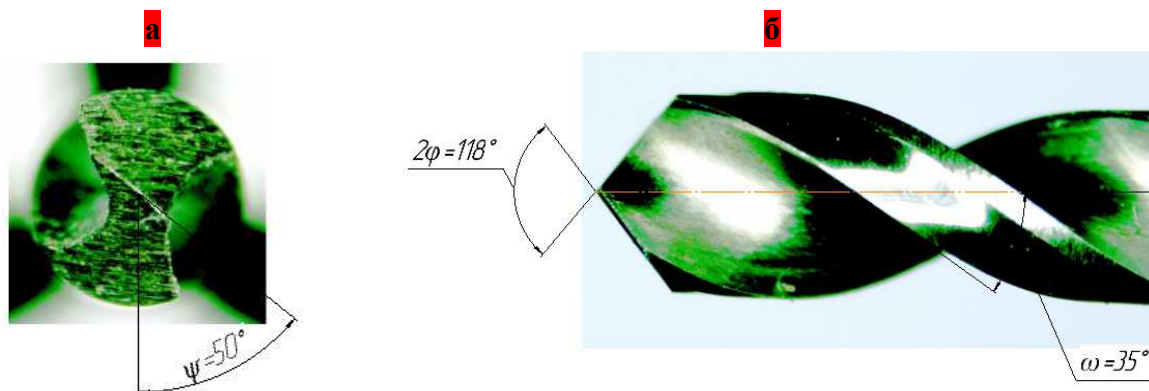


Рисунок 2.12. – Схема измерения угла наклона поперечной режущей кромки ψ (*а*), угла 2φ и угла наклона винтовой канавки ω (*б*) на видеоизмерительном микроскопе NORGAU NVM-4030D

Геометрические параметры концевой и торцевой фрез представлены на рисунках 2.13, 2.14. Определение углов лезвия фрез аналогично выше-рассмотренному для токарного резца (см. рисунок 2.2).

Для измерения передних и задних углов фрез используется угломер конструкции Бабчициера 2УРИ (рисунок 2.15).

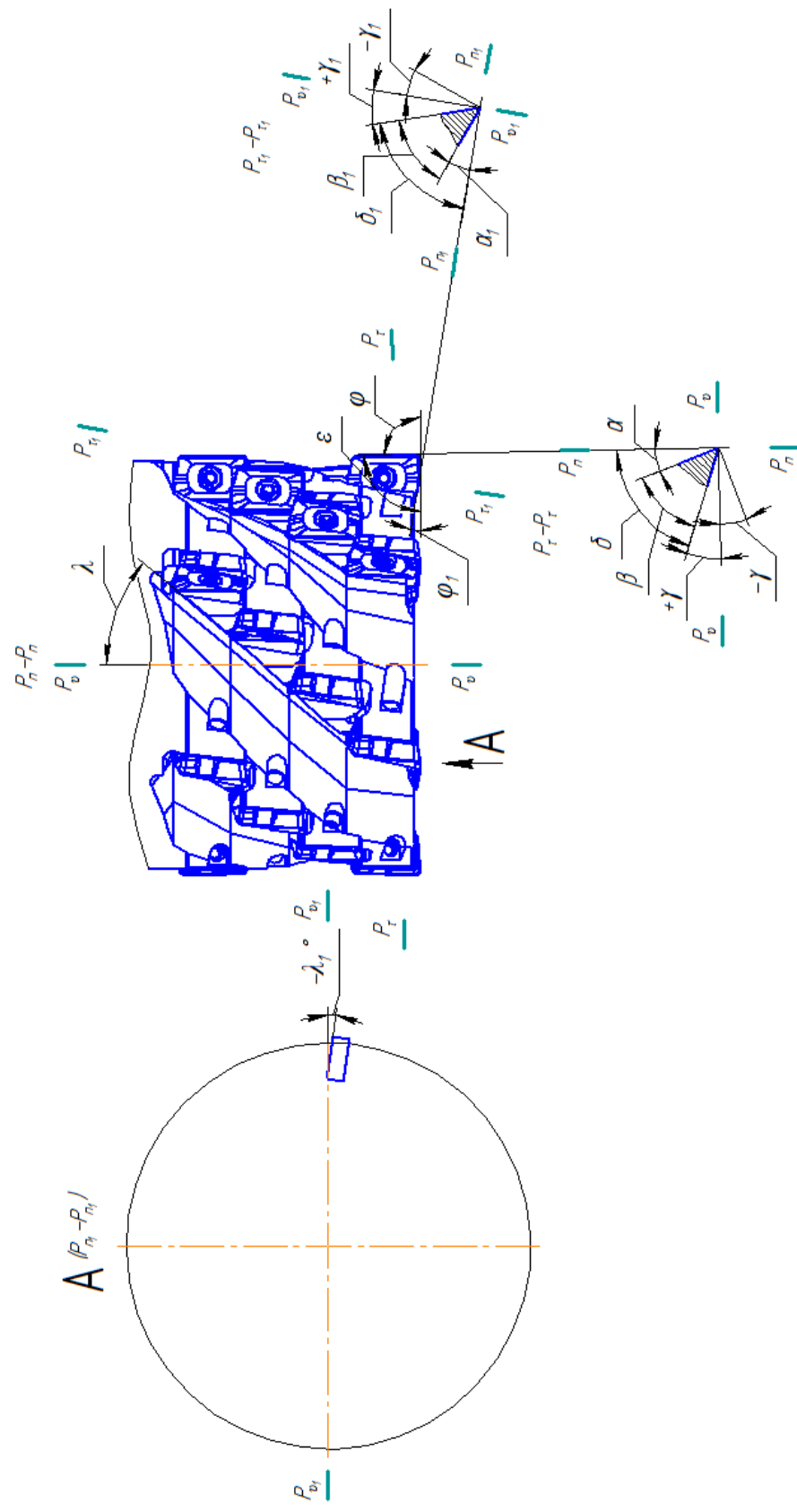


Рисунок 2.13. – Геометрические параметры лезвия фрезы концевой

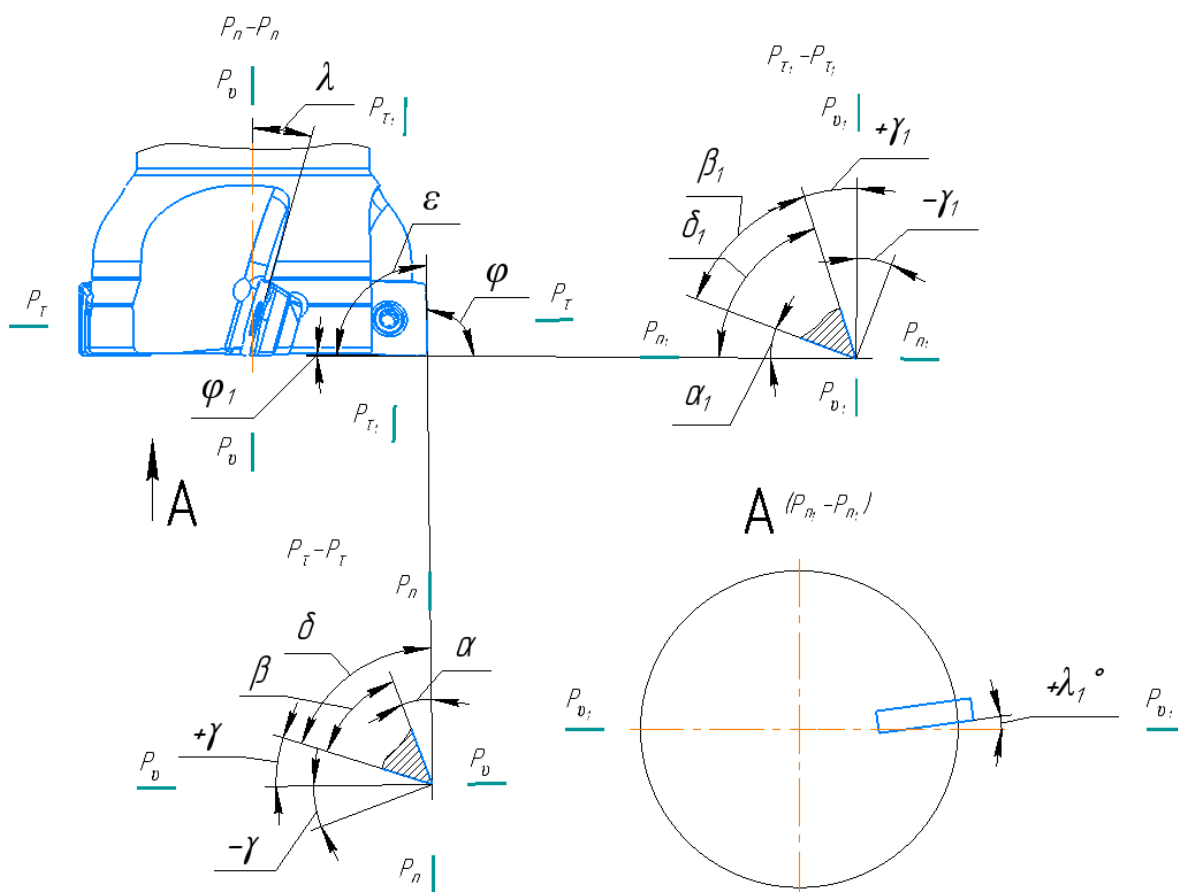


Рисунок 2.14. – Геометрические параметры лезвия фрезы торцовой

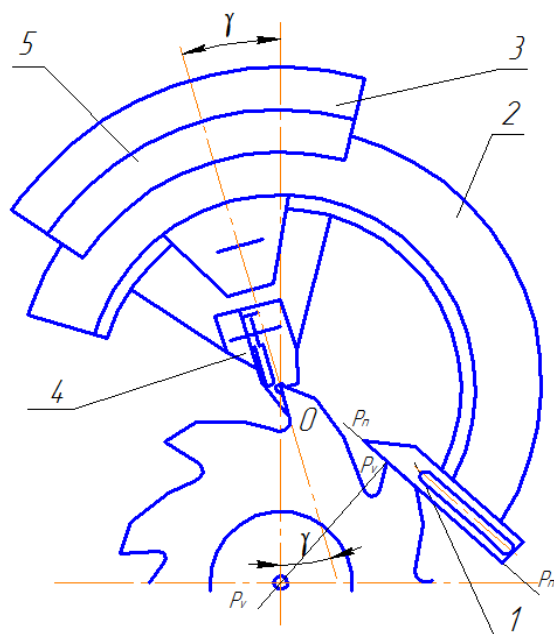


Рисунок 2.15. – Схема измерения переднего угла γ лезвия фрезы угломером конструкции Бабчиничера 2УРИ

При измерении переднего угла лезвия фрезы линейка 1 устанавливается на режущую кромку одного из зубьев. По дуге 2 перемещается сектор 3 и производится совмещение одной из взаимно перпендикулярных плоскостей указателя 4 с передней поверхностью рядом расположенного зуба. Против шкалы 2 с числом зубьев производится отсчет угла на шкале 5. Аналогично производится измерение заднего угла, причем с задней поверхностью зуба совмещается другая плоскость указателя 4.

3. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

1. Режущий инструмент.
2. Угломер универсальный настольный.
3. Угломер конструкции Бабчиницера 2УРИ.
4. Угломер маятниковый 3УРИ-М.
5. Инструментальный микроскоп БМИ.
6. Видеоизмерительный микроскоп NORGAU NVM-4030D.

4. СТРУКТУРА ОТЧЕТА

1. Название, цель работы.
2. Краткие сведения об основных конструктивных элементах и геометрических параметрах режущих инструментов, способах измерения и измерительном инструменте.
3. Эскиз режущего инструмента с необходимыми сечениями и размерами.
4. Протокол измерения углов лезвия режущего инструмента.
5. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы цель и порядок выполнения работы?
2. Что называется режущим инструментом?
3. Из каких основных конструктивных элементов состоит инструмент?
4. Что такое лезвие инструмента?
5. Из каких элементов состоит лезвие?
6. Что такое основная и главная секущая плоскости, плоскость резания?
7. Дайте определения углов лезвия.
8. Какова математическая связь между углами лезвия?
9. Назовите приборы для измерения углов лезвия и их основные конструктивные особенности.
10. Назовите порядок и основные приемы измерения углов лезвия.

Протокол измерения углов лезвия режущего инструмента

Углы лезвия режущего инструмента	
Главные углы	
Передний угол, γ	
Задний угол, α	
Угол заострения, β	
Угол резания, δ	
Угол наклона поперечной режущей кромки лезвия, ψ	
Угол наклона винтовой канавки, ω	
Вспомогательные углы	
Передний угол, γ_1	
Задний угол, α_1	
Угол заострения, β_1	
Угол резания, δ_1	
Углы в плане	
Главный угол в плане, ϕ	
Вспомогательный угол в плане, ϕ_1	
Угол при вершине, ε (2ϕ)	
Угол наклона режущей кромки	
Угол наклона главной режущей кромки, λ	
Угол наклона вспомогательной режущей кромки, λ_1	

Лабораторная работа № 3 ДЕФОРМАЦИЯ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ

1. ЦЕЛЬ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Цель работы – экспериментальным путем установить влияние на усадку стружки элементов режима резания.

Рекомендуется выполнять работу в следующем порядке:

1. Изучить теоретический материал.
2. Провести три серии опытов по определению влияния скорости резания v (м/мин), глубины резания t (мм) и подачи S_o (мм/об) на коэффициенты усадки стружки:

I серия. Исследование влияния глубины резания t на усадку стружки.

Для исследования зависимости усадки стружки от глубины резания t необходимо сформировать четыре комплекта стружки, изменяя глубину резания t и сохраняя постоянными частоту вращения шпинделя n и подачу S_o . Стружку улавливают в совок-накопитель, поднося его к зоне резания со стороны схода стружки. Далее из каждого комплекта выбираются три стружки, измеряются их геометрические параметры и определяется вес стружки. Полученное среднее значение заносится в таблицу протокола. Параметры сечения срезаемого слоя рассчитываются по приведенным формулам.

II серия. Исследование влияния подачи S_o на усадку стружки.

Формируется четыре комплекта стружки с изменением подачи S_o и постоянными значениями глубины резания t и частоты вращения шпинделя n . Измеренные геометрические параметры и вес стружки заносятся в таблицу протокола (как в первой серии опытов).

III серия. Исследование влияния скорости резания v на усадку стружки.

Для исследования зависимости усадки стружки от скорости резания v необходимо сформировать четыре комплекта стружки, изменяя частоту вращения шпинделя n и сохраняя постоянными глубину резания t и подачу S_o . Измеряются геометрические параметры и определяется вес стружки. Рассчитываются параметры срезаемого слоя.

3. Рассчитать значения K_a , K_b , K_l , ε и заполнить протокол исследования деформации срезаемого слоя.

4. По полученным результатам построить графики зависимостей K_a , K_b , K_l , $\varepsilon = f(t)$; K_a , K_b , K_l , $\varepsilon = f(S)$; K_a , K_b , K_l , $\varepsilon = f(v)$.

5. Выводы.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Механика стружкообразования

Процесс *пластического деформирования* срезаемого слоя является основным процессом при обработке резанием. Большую роль в изучении этого процесса играет *стружка* – деформированный и отделенный в результате обработки поверхностный слой материала заготовки (рисунок 3.1). Раздел теории резания, изучающий закономерности превращения срезаемого слоя в стружку, называется *механикой стружкообразования*.

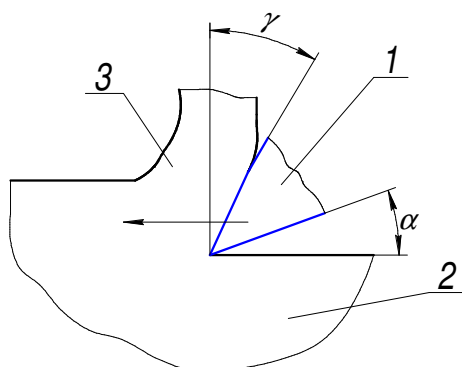


Рисунок 3.1. – Схема стружкообразования:
1 – инструмент; 2 – заготовка; 3 – стружка

При изучении пластического деформирования и стружкообразования используются следующие *методы*:

1) визуальный, заключающийся во внешнем осмотре стружки с определением показателей процесса деформирования и стружкообразования по очевидным качествам. Например, виду и форме стружки, цвету стружки, наличию или отсутствию нароста и следов износа и т. п;

2) скоростной кино- и видеосъемки – заключающийся в фотографировании срезаемого слоя и стружки скоростной кино- или видеокамерой с частотой до 10 000 кадров в секунду. Это позволяет наблюдать быстропротекающий процесс стружкообразования в замедленном виде;

3) делительной сетки, заключающийся в нанесении на боковую поверхность образца краской, травлением, царапанием и т.п. прямоугольников, квадратов или окружностей, которые при резании теряют правильную форму, и по их искажению на стружке судят о пластической деформации. Для сопоставления нанесенной сетки на образце и искаженной на стружке с помощью специальных приспособлений для «мгновенного» прекращения

процесса резания получают так называемый корень стружки. *Корень стружки* – это фиксированный объем срезаемого слоя с неотделенным участком стружки;

4) микротвердости, заключающийся в измерении твердости в различных точках корня стружки на приборе ПМТ – 3 с последующим построением изосклер (линий постоянной твердости), по которым судят о пластической деформации и напряжениях;

5) металлографический, заключающийся в изготовлении шлифов боковой поверхности корня стружки с последующим изучением его структуры под микроскопом;

6) механический, заключающийся в последовательном удалении с поверхностей образца детали тонких слоев материала и измерении с помощью тензометрических датчиков величин деформации, по которым судят о величине и знаке напряжений первого рода;

7) рентгенографический, заключающийся в стравливании поверхностного слоя образца детали и съеме рентгенограмм, по которым изучаются напряжения второго рода, действующие внутри кристаллического зерна;

8) поляризационно-оптический основан на том, что прозрачные изотропные тела при действии на них сил становятся анизотропными, и если их рассматривать в поляризованном свете, то интерференционная картина позволяет определить величину и знак действующих напряжений. Метод дает точные величины напряжений только в упругой области и при резании образцов из оптически активных материалов, например, органического стекла.

2.2. Виды стружки

В зависимости от условий резания заготовок образуются различные виды стружек. Вид стружки определяется видом надрезцовой стороны стружки.

Все образующиеся при резании стружки можно условно разделить на три вида: сливную, элементную и надлома.

Сливная стружка. На надрезцовой стороне сливной стружки имеются нечетко выраженные следы пластической деформации в виде мелких заостренных выступов (рисунок 3.2, *а*). Сливная стружка образуется при резании вязких и пластичных материалов с большими скоростями резания и малыми подачами, т.е. при небольших толщинах среза, при больших положительных передних углах инструмента.

Стружка элементная имеет на надрезцовой стороне четко выраженные элементы, прочно связанные друг с другом (рисунок 3.2, б). Элементная стружка образуется при обработке пластичных материалов при большой толщине среза, относительно небольшой скорости резания и небольшом переднем угле режущего инструмента

Стружка надлома имеет вид отдельных, произвольной формы элементов, не связанных друг с другом (рисунок 3.2, в). Стружка надлома образуется при обработке малопластичных и хрупких материалов, например, чугуна и бронзы, при работе с малыми скоростями резания, большими подачами и малыми передними углами.

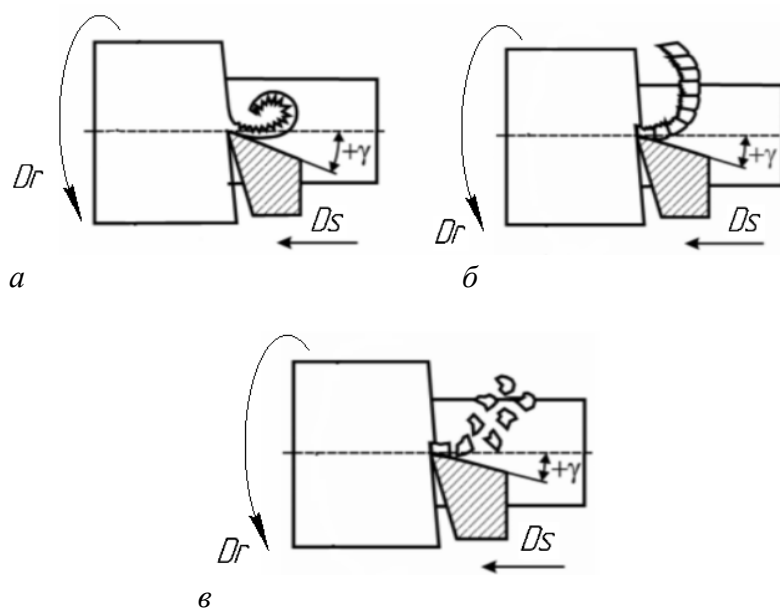


Рисунок 3.2. – Виды стружки:
а – сливная; б – элементная; в – надлома

В зависимости от условий обработки одних и тех же материалов может образовываться как сливная, так и элементная стружки. Например, при уменьшении скорости резания и переднего угла лезвия, при увеличении подачи, а также при обработке без охлаждения и обработке вязких материалов образующаяся сливная стружка переходит в элементную. Как правило, образование элементной стружки и стружки надлома приводит к вибрациям в процессе резания и ухудшению качества обработки. Поэтому при чистовой обработке нужно стремиться к образованию сливной стружки.

Стружку также классифицируют: по форме (например, ленточная, спутанная, винтовая, спирально-винтовая, завитковая, осколочная), размерам; степени и направлению скручивания, цвету и т.д. Такая классифика-

ция стружки важна для оценки резания с точки зрения эффективного дробления, удаления и переработки стружки, автоматизации производственного процесса, силовой и тепловой напряженности в зоне резания, качества обработанной поверхности детали.

На производстве всегда стремятся получить компактную и короткую по форме стружку. Для этого используются различные *способы* и *устройства для дробления стружки* в процессе резания, в частности:

- подбор геометрии лезвия инструмента;
- подбор режима резания;
- выполнение уступов и лунок на передней поверхности лезвия;
- использование накладных стружколомов на передней поверхности лезвия;
- кинематическое дробление стружки за счет прерывания подачи, наложения вибраций и колебаний на зону резания;
- нанесение канавок и рисок на обрабатываемую поверхность или поверхность резания;
- термическое дробление стружки путем расплавления или пережигания импульсами электрического тока.

2.3. Механизм образования сливной стружки

В образовании сливной стружки можно выделить три переходящие друг в друга этапа: образование элемента смятия, разрушение этого элемента и формирование стружки (рисунок 3.3).

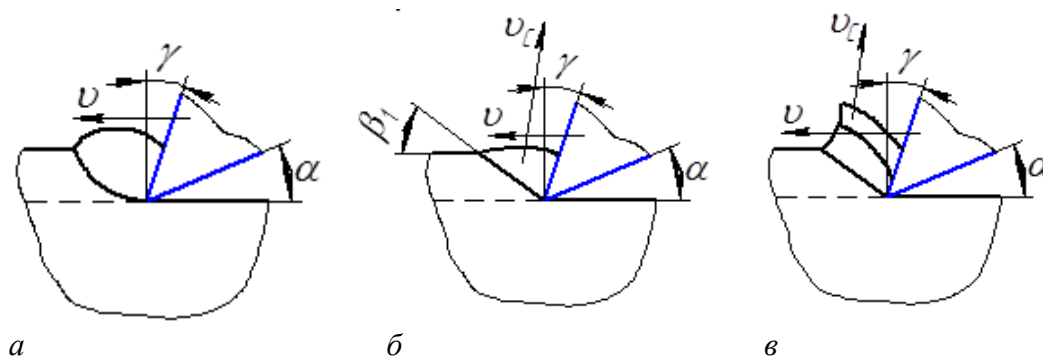


Рисунок 3.3. – Основные этапы стружкообразования:
а – образование элемента смятия; б – разрушение элемента смятия;
в – формирование стружки

1 этап. При воздействии лезвия инструмента на срезаемый слой (рисунок 3.3, а) впереди него создается упругопластическая зона, сконцентрированная в ограниченной области обрабатываемого материала и прилегающая к передней поверхности лезвия инструмента. Образующийся в результате пластической деформации смятия элемент срезаемого слоя увеличивается в объеме. В нем возрастают пластические напряжения смятия вплоть до величины предела прочности материала.

2 этап. В некоторой области деформированного элемента напряжения смятия превосходят предел прочности обрабатываемого материала и этот элемент разрушается путем пластического сдвига по некоторой *поверхности или плоскости сдвига* (рисунок 3.3, б). Угол наклона этой плоскости к направлению вектора скорости резания называется *углом сдвига* β_1 . Угол β_1 является комплексной характеристикой напряженного состояния *зоны стружкообразования* и его величина зависит от свойств обрабатываемого материала, геометрии инструмента, режима резания и других условий обработки.

В момент разрушения сопротивление элемента сдвигу снижается, а продолжающееся движение инструмента приводит к формированию нового элемента и повторению первого этапа. Сдвинутый элемент имеет тенденцию перемещаться по направлению перпендикулярному плоскости сдвига. Однако, встречая сопротивление со стороны передней поверхности инструмента, элемент стружки изменяет свое направление по вектору скорости движения стружки v_c .

3 этап. Элемент стружки, перемещаясь вдоль передней поверхности инструмента, испытывает в приконтактных слоях большое давление, которое приводит к дополнительному пластическому деформированию этих слоев (рисунок 3.3, в). По этой причине стружка завивается и отрывается от передней поверхности инструмента. При этом для новых элементов совершаются первые два этапа стружкообразования.

2.4. Зона стружкообразования

Рассмотрим схему образования сливной стружки (рисунок 3.4). Лезвие инструмента, воздействуя на срезаемый слой толщиной a , создает в нем область упругой деформации, переходящей на линии OA в пластическую. По представлению И.А. Тиме пластические деформации сдвига происходят в одной плоскости по линии OE , наклонной к вектору скорости резания v под углом β_1 . Однако А.А. Брикс, а позднее Н.Н. Зорев предположили и доказали, что пластические сдвиги происходят в семействе

плоскостей или поверхностей, ограниченном областью OAB , называемой *зоной первичной деформации*. Линия OB – это поверхность или плоскость, по которой осуществляется последняя сдвиговая деформация. Левее линии OA находятся еще недеформированные структурные зерна кристаллической решетки материала срезаемого слоя толщиной a , а правее линии OB – структурные зерна материала стружки толщиной a_1 . Форма структурных зерен материала в зоне первичной деформации претерпевает изменения в виде вытянутости в поперечном по отношению к скорости их движения v и v_c направлению. Это приводит к формированию *поперечной текстуры стружки*.

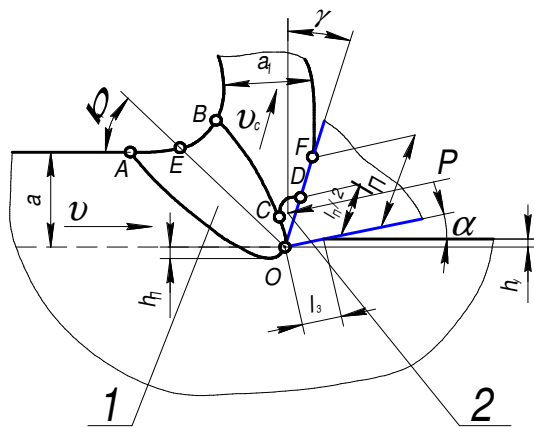


Рисунок 3.4. – Зона стружкообразования:

1 – зона первичной деформации; 2 – зона вторичной деформации

Стружка, перемещаясь по передней поверхности инструмента, из-за неровностей контактируемых поверхностей и других причин на участке OF длиной l затормаживается, и отдельные ее элементы или волокна на участке OD , длиной примерно $l_n/2$ могут вообще остановиться. Это приводит к дополнительной деформации элементов стружки, изменению направления образования структуры стружки с поперечного на продольное (вдоль скорости движения стружки v_c) и формированию *продольной текстуры стружки*. Зона, в которой происходят эти процессы, называется *зоной вторичной деформации*, или *застойной зоной*. Участок OF – это участок контакта стружки с передней поверхностью лезвия; он включает участки пластического контакта OD и упругого контакта DF .

Длина контакта заготовки с задней поверхностью лезвия характеризуется величиной l_3 . Наличие зон деформации приводит к пластическому h_n и упругому изменению h_y поверхностных слоев заготовки и детали.

2.5. Коэффициенты утолщения, укорочения и уширения стружки

Пластическая деформация срезаемого слоя характеризуется *углом сдвига* β_1 , *усадкой стружки* и *относительным сдвигом* ε .

Усадка стружки – это изменение геометрических размеров стружки по сравнению с размерами срезаемого слоя. Она проявляется в том, что длина стружки получается меньше длины поверхности резания заготовки, а толщина и ширина стружки – больше толщины и ширины срезаемого слоя. Усадка стружки характеризуется тремя коэффициентами: коэффициентом утолщения $K_a = a_1/a$, коэффициентом уширения $K_b = b_1/b$ и коэффициентом укорочения $K_l = l/l_1$, где a_1 , b_1 , l_1 – соответственно толщина, ширина и длина стружки; a , b , l – соответственно толщина, ширина и длина срезаемого слоя.

Согласно условию равенства объемов срезаемого слоя и стружки: $a_1 b_1 l_1 = a b l$, связь между коэффициентами утолщения, укорочения и уширения сливной стружки выражается зависимостью: $l/l_1 = a_1/a = b_1/b$. В большинстве случаев резания коэффициент уширения близок к единице, поэтому обычно принимают $K_l = K_a$.

Коэффициент K_l для сливных и элементных стружек, как правило, имеет величину большую единицы. Однако при обработке малопластичных материалов, например, титановых сплавов и некоторых видов пластмасс, коэффициент может иметь величину меньшую единицы. Это явление называется «отрицательной» усадкой стружки.

Значения коэффициента усадки стружки и скорости резания позволяют определить величину скорости перемещения стружки:

$$v_c = \frac{v}{K_l}. \quad (3.1)$$

Как видно из формулы, скорость стружки меньше скорости резания и увеличивается с уменьшением коэффициента усадки стружки.

При известном значении переднего угла γ и экспериментально установленном значении коэффициента усадки стружки можно определить значение угла сдвига β_1 и относительный сдвиг ε :

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{\cos \gamma}{K_L - \sin \gamma}, \quad (3.2)$$

$$\varepsilon = \frac{K_L^2 - 2K_L \sin \gamma + 1}{K_L \cos \gamma}. \quad (3.3)$$

Значения угла сдвига и относительного сдвига используются в теоретических расчетах сил и напряжений в зоне резания.

2.6. Влияние элементов режима резания и условий обработки на коэффициент продольной усадки стружки K_l

Коэффициент укорочения или усадки стружки K_l дает возможность количественной оценки степени пластической деформации. Чем меньше усадка, тем с меньшими пластическими деформациями протекает процесс резания, тем, следовательно, более благоприятные условия для стружкообразования, меньший удельный расход мощности на обработку данной детали.

Коэффициент усадки стружки позволяет качественно оценить разные условия резания с точки зрения действующих сил, энергонапряженности процесса, температуры.

На величину усадки стружки K_l влияют следующие условия резания: свойства обрабатываемого материала, элементы режима резания, геометрия режущего лезвия.

Свойства обрабатываемого материала

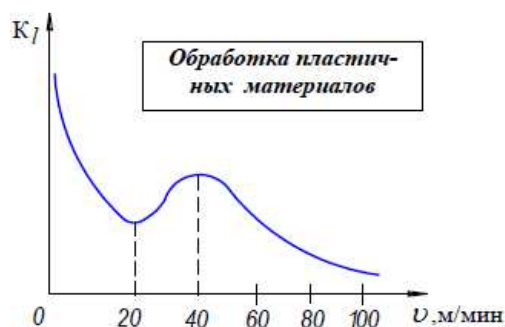
Чем пластичнее металл, т.е. чем больше его вязкость и меньше твердость, тем больше степень пластической деформации ($СмПД$) при резании и больше величина K_l

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

Элементы режима резания

v – скорость резания

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



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

Если $v = 5 \dots 20$ м/мин

$v \uparrow \rightarrow H_n \uparrow \rightarrow \gamma_n \uparrow \rightarrow \text{СтПД} \downarrow \rightarrow l_c \uparrow \rightarrow K_l \downarrow$

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

Если $v = 20 \dots 40$ м/мин

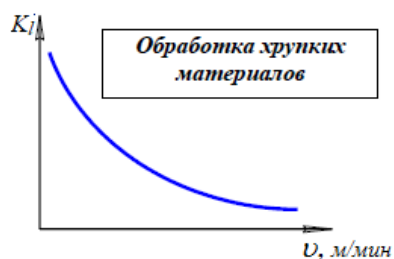
$v \uparrow \rightarrow H_n \downarrow \rightarrow \gamma_n \downarrow \rightarrow \text{СтПД} \uparrow \rightarrow l_c \downarrow \rightarrow K_l \uparrow$

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

Если $v > 40$ м/мин

$v \uparrow \rightarrow \text{СтПД} \downarrow \rightarrow l_c \uparrow \rightarrow K_l \downarrow$

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



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

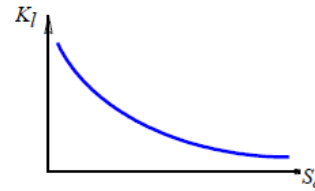
$v \uparrow \rightarrow \text{СтПД} \downarrow \rightarrow l_c \uparrow \rightarrow K_l \downarrow$

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

S_o – подача

Увеличение подачи S_o в свою очередь связано с увеличением толщины срезаемого слоя a , что вызывает уменьшение степени пластической деформации в срезаемом слое и приводит к уменьшению величины K_l . Чем толще стружка, тем меньше она пластически деформируется.

$$S_o \uparrow \rightarrow a \uparrow \rightarrow C_{mПД} \downarrow \rightarrow l_c \uparrow \rightarrow K_l \downarrow$$



t – глубина резания

Увеличение глубины резания t приводит к увеличению ширины срезаемого слоя b и снижению степени пластической деформации, что влечет за собой удлинение стружки и уменьшение величины K_l . Отмеченная зависимость характерна для резания с малыми сечениями среза, т.е. для чистовых и получистовых операций.

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

K_l в формуле

Геометрия режущего лезвия

Передний угол γ

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

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

Угол в плане ϕ

Увеличение главного угла в плане (ϕ) приводит к увеличению толщины срезаемого слоя a и уменьшению степени его пластической деформации, что влечет за собой уменьшение величины K_l .

$$\phi \uparrow \rightarrow a \uparrow \rightarrow C_{mПД} \downarrow \rightarrow l_c \uparrow \rightarrow K_l \downarrow$$

2.7. Экспериментальные методы определения усадки стружки

Для экспериментального определения усадки стружки существует несколько методов – метод непосредственного измерения параметров стружки и весовой метод.

Измерение толщины и ширины стружки производится в зависимости от требуемой точности с помощью инструментального микроскопа, микрометра или штангенциркуля. Длину стружки измеряют с помощью гибкой проволоки или нити по ее прирезцовой стороне. Толщина и ширина срезаемого слоя определяется по известным формулам. Например, при точении:

$$a = S_o \cdot \sin \varphi, \quad (3.4)$$

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}, \quad (3.5)$$

где S_o – подача, мм/об;
 t – глубина резания, мм;
 φ – угол в плане.

Длина срезаемого слоя

$$l = \frac{\pi \cdot d}{2} - e, \quad (3.6)$$

где d – диаметр обрабатываемой заготовки, мм;
 e – ширина продольного паза на заготовке, мм.

Измеренные параметры стружки позволяют по приведенным в п. 2.5 формулам рассчитать коэффициенты K_a , K_b , K_l .

Весовой метод основан на равенстве объемов стружки и срезаемого слоя. При этом замеряют длину произвольно выбранного элемента стружки, определяют его массу $Q_{стр}$ взвешиванием на аналитических весах. По формуле определяют коэффициента усадки стружки:

$$K_l = \frac{Q_{стр}}{S \cdot t \cdot L_{стр} \cdot \rho}, \quad (3.7)$$

где $Q_{стр}$ – масса стружки, мг;
 S_o – подача, мм/об;
 t – глубина резания, мм;
 $L_{стр}$ – длина элемента стружки, подлежащего взвешиванию, мм;
 ρ – плотность обрабатываемого материала, мг/мм³.

3. МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

1. Заготовка прокат: Сталь 45 ГОСТ 1050, Сталь 40Х ГОСТ 4543.
2. Станок токарно-винторезный модели JET GH-1840ZX.
3. Резцы токарные.
4. Весы аналитические модели ВЛА-200г-М.
5. Гибкая проволока или нить.
6. Штангенциркуль ШЦ-1:0,05мм.
7. Микрометры МК-50.
8. Микроскоп инструментальный БМИ-01.

4. СТРУКТУРА ОТЧЕТА

1. Название, цель.
2. Краткие сведения о механике стружкообразования, видах стружки, характеристиках пластической деформации срезаемого слоя.
3. Протокол исследования деформации срезаемого слоя.
4. Графики зависимостей K_a , K_b , K_l , $\varepsilon = f(t)$; K_a , K_b , K_l , $\varepsilon = f(S)$; K_a , K_b , K_l , $\varepsilon = f(v)$.
5. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое пластическая деформация и какими величинами она определяется в резании?
2. Дайте определения стружки и механики стружкообразования.
3. Назовите основные методы изучения пластического деформирования и стружкообразования.
4. Назовите виды стружек и дайте им определения.
5. Опишите механизм образования сливной стружки.
6. Охарактеризуйте зону стружкообразования.
7. Что такое усадка стружки и относительный сдвиг?
8. Напишите формулы для расчета показателей деформации.
9. Как изменяется деформация материала с изменением элементов режима резания и в чем причина такого изменения?
10. Назовите методы определения усадки стружки и охарактеризуйте их.

Протокол исследования деформации срезаемого слоя

№ опыта	Серия опытов	Режимы резания				Диаметр заготовки d , мм	Метод непосредственного измерения параметров стружки										Весовой метод	
		t , мм	S_o , мм/об	n , мин ⁻¹	v , м/мин		Параметры		Коэффициенты усадки и относительный сдвиг				Вес стружки, коэффициент укорочения стружки					
							Сечения срезаемого слоя		Стружки		K_a	K_b		K_l	ε			
							a , мм	b , мм	l , мм	a_l , мм						b_l , мм		l_l , мм
1	$K_i, \varepsilon = f(t)$																	
2																		
3																		
4																		
5	$K_i, \varepsilon = f(S_o)$																	
6																		
7																		
8																		
9	$K_i, \varepsilon = f(v)$																	
10																		
11																		
12																		

Станок: модель –
 Прибор измерительный: модель –
 Заготовка: материал –
 Режущий инструмент: тип –
 Материал режущего лезвия –
 Геометрия режущего лезвия –
 Ширина паза на заготовке $l =$

Лабораторная работа № 4

СТРУЖКООБРАЗОВАНИЕ И СТРУЖКОДРОБЛЕНИЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ РОТАЦИОННЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

1. ЦЕЛЬ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Цель работы – ознакомиться с методом ротационного резания, изучить способы дробления стружки при этом методе, экспериментально определить форму и усадку стружки при различных способах ротационной обработки.

Рекомендуется выполнять работу в следующем порядке:

1. Изучить способы дробления стружки при ротационном резании.
2. Изучить методику исследования формы и усадки стружки при ротационном резании.
3. Определить вид и форму стружки при различных способах ротационной обработки.
4. Определить усадку стружки при различных способах ротационной обработки.
5. Определить зависимость формы и усадки стружки от элементов режима резания.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Особенности ротационного резания

Широкое применение в технике получили труднообрабатываемые материалы: жаропрочные и коррозионностойкие стали и сплавы, титановые сплавы и др. Для эффективной их обработки необходимо использовать режущие инструменты повышенной стойкости и производительности. Возможности традиционных методов повышения стойкости, основанных на усовершенствовании конструкции и оптимизации геометрических параметров режущей части инструментов, применении охлаждения в значительной мере ограничены. Поэтому применение способов обработки с касательным движением режущей кромки, обеспечивающих увеличение длины активного участка лезвия, улучшение теплоотвода из зоны резания и снижение температуры, является перспективным. Один из этих способов – ротационное резание круглыми вращающимися резцами – позволяет также уменьшить скорость скольжения режущего лезвия инструмента относительно стружки и обрабатываемой поверхности, что также способствует повышению стойкости инструмента.

Вращение круглого резца может осуществляться как от специального привода (принудительно вращающийся резец), так и в результате взаимодействия с заготовкой (самовращающийся резец). Самовращение резца возможно при определенных параметрах его установки.

Круглые вращающиеся резцы используются при точении, фрезеровании и строгании. Чаще их выполняют в виде режущей конической чашки, причем передней поверхностью резца может быть либо торцовая поверхность чашки – первая схема резания, (рисунок 4.1, *а*), либо ее боковая поверхность – вторая схема резания (рисунок 4.1, *б*).

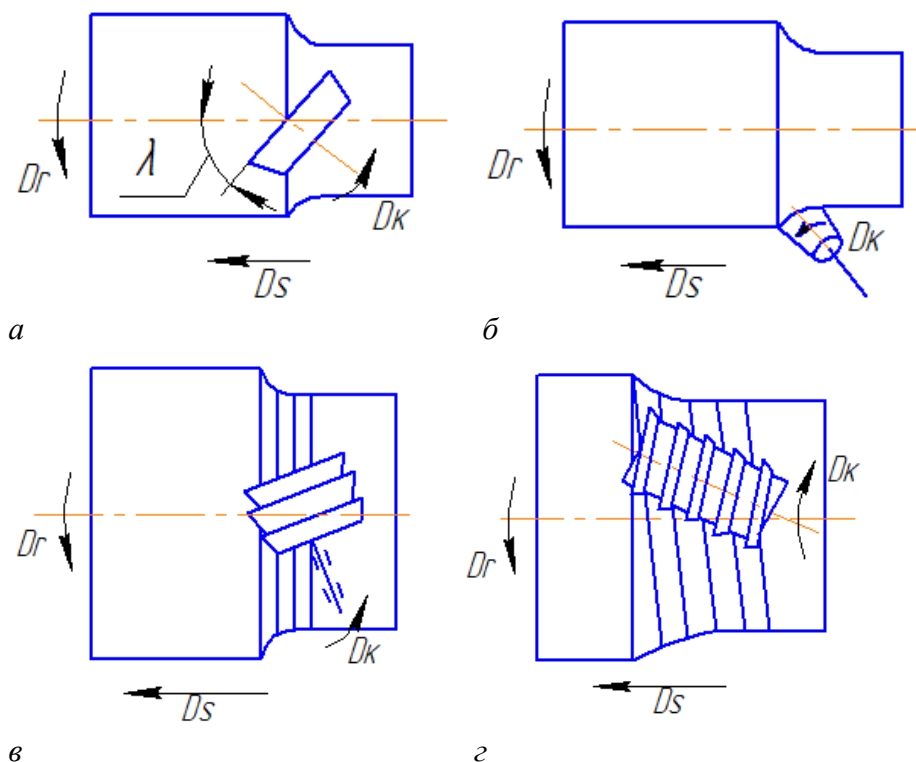


Рисунок 4.1. – Схемы ротационного точения:

***а* – резцом с торцовой передней поверхностью;**

***б* – резцом с боковой передней поверхностью; *в* – многолезвийным резцом;**

***г* – резцом с винтовой режущей кромкой**

Для каждой схемы резания возможны прямая и обратная схемы установки резца: прямая схема имеет место при наклоне оси вращения резца по направлению подачи (рисунок 4.1, *а*); обратная схема характеризуется противоположным направлением наклона оси (рисунок 4.1, *б*). При обратной схеме установки стружка сходит в сторону обработанной поверхности, а при прямой – в противоположном направлении.

Для обработки по первой схеме резания применяются также многолезвийные резцы, состоящие из нескольких режущих чашек, что позволяет увеличить толщину срезаемого слоя металла (рисунок 4.1, в). Используются также резцы с винтовой передней поверхностью и установкой по первой схеме резания (рисунок 4.1, г). Наибольшее практическое применение нашли круглые резцы, как более простые в изготовлении.

Для обработки принудительно вращающимися резцами обычно используется первая схема резания (см. рисунок 4.1, а) при угле наклона режущей кромки $\lambda = 0$. Точение самовращающимися резцами осуществляют как по первой, так и по второй схемам резания. В первом случае резец устанавливают в положение, при котором $\lambda < 0$ (рисунок 4.1, а) (прямая схема) или $\lambda > 0$ (обратная схема). Устойчивое самовращение резца достигается при $\lambda > 35^\circ$. При обработке по второй схеме ось вращения резца устанавливают под непрямыми углами к вектору подачи и вектору главного движения в точке контакта резца с обработанной поверхностью.

Точение круглыми принудительно или самовращающимися резцами по классической схеме сопровождается образованием непрерывной стружки в виде ленты или спирали. Такая стружка ухудшает безопасность труда, затрудняет ее уборку, транспортировку и переработку, исключает возможность многостаночного обслуживания, что существенно ограничивает область применения этого способа обработки. В этой связи практическое значение имеет обеспечение надежного стружкодробления непосредственно в процессе точения.

Кинематические и геометрические особенности ротационного точения позволяют осуществить стружкодробление специфическими для данного вида обработки способами:

- неравномерным вращением резца;
- вращением резца вокруг оси, не совпадающей с его геометрической осью;
- применением резцов с переменными параметрами режущей части (переменным передним углом) и углом наклона режущей кромки;
- применением резцов с прерывистой режущей кромкой;
- обеспечением неравномерности толщины слоя, срезаемого каждым режущим лезвием многолезвийного инструмента.

Надежное стружкодробление обеспечивают инструменты с прерывистой режущей кромкой. На рисунке 4.2, а изображена схема точения таким инструментом, содержащим круглый резец 1 с непрерывной режущей

кромкой и установленный над ним многозубый инструмент 2. Устройство для принудительного вращения инструмента крепится на суппорте станка вместо резцедержателя. Возможна также обработка таким инструментом в режиме самовращения.

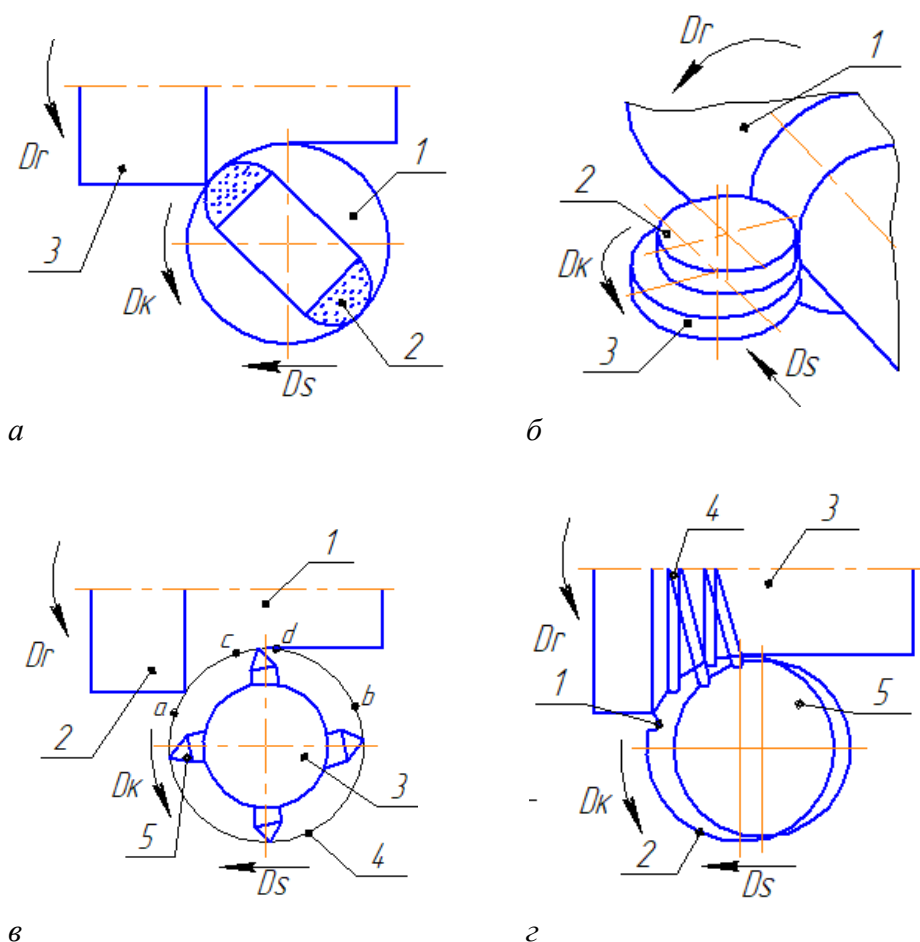


Рисунок 4.2. – Схемы ротационной обработки:

***а* – резцом с накладным многозубым инструментом; *б* – двумя эксцентрично расположенными круглыми резцами; *в* – многолезвийным инструментом; *г* – резцом с прерывистой режущей кромкой**

В процессе обработки заготовке 3 сообщается вращательное движение, а инструменту – продольная подача и непрерывное вращение с частотой и направлением, обеспечивающими максимальную его стойкость. Режущие элементы 2 верхнего инструмента вступают в работу периодически и срезают металл на некотором угле поворота заготовки одновременно с резцом 1, причем большая часть толщины срезаемого слоя приходится на верхний инструмент, а меньшая на круглый резец, который на участках совместной работы лишь калибрует цилиндрическую поверхность. В результате на этих участках, по сравнению с остальны-

ми, толщина срезаемого слоя, приходящаяся на резец 1, уменьшается практически до нуля, благодаря чему обеспечивается устойчивое дробление стружки.

Эксцентричная установка круглого резца с торцовой передней поверхностью обеспечивает надежное стружкодробление, однако исключает возможность формообразования цилиндрической поверхности в связи с непрерывным изменением расстояния от оси вращения детали до режущей кромки резца.

Этот недостаток устраняется при использовании двух круглых резцов (рисунок 4.2, б), верхний 2 из которых установлен эксцентрично, а нижний 3 – концентрично относительно оси вращения. В процессе обработки заготовке 1 сообщается вращение со скоростью главного движения, а резцам – вращение по направлению схода стружки вокруг оси нижнего резца и движение подачи вдоль образующей цилиндрической, конической или фасонной обрабатываемой поверхности.

Вследствие эксцентричной установки верхнего резца, толщина слоя, срезаемого каждым резцом в отдельности, непрерывно изменяется от максимального значения до нуля или любого заданного из условия стружкодробления значения, обусловленного величиной эксцентриситета и диаметрами резцов.

Недостатком схемы обработки многолезвийным режущим инструментом, особенно если его зубья не спрофилированы по окружности и расположены с большим окружным шагом, является увеличение шероховатости обработанной поверхности по сравнению с обычным и ротационным точением. Этот недостаток обусловлен тем, что вершины режущих зубьев инструмента контактируют с прямолинейной образующей поверхности лишь в отдельных точках, поэтому на обработанной поверхности образуются гребни.

На рисунке 4.2, в изображена схема обработки многолезвийным вращающимся инструментом по способу, исключающему возможность образования на обработанной поверхности гребней.

Для обработки цилиндрической поверхности 2 заготовке 1 и многолезвийному режущему инструменту 3 сообщаются вращательные движения вокруг взаимно перпендикулярных осей и относительное движение подачи вдоль оси заготовки. Одновременно на участке $a-b$ траектории 4 вершин режущих зубьев 5 им сообщается радиальное перемещение, функционально связанное с поворотом инструмента 3 так, что его вершина зуба перемещается на некотором отрезке cd его траектории по прямолинейной, образующей поверхности детали.

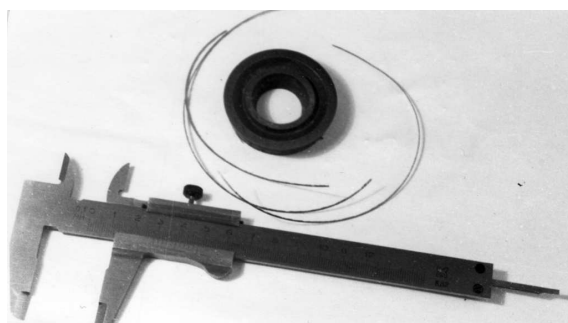
При использовании круглого резца с прерывистой режущей кромкой, разделенной равномерно расположенными на задней поверхности канавками, а также многолезвийного инструмента с равномерно расположенными режущими зубьями, при определенном соотношении угловых скоростей заготовки и инструмента создаются условия формообразования на обработанной поверхности винтовых выступов, что недопустимо. Один или несколько винтовых выступов образуются на обработанной поверхности, если за время одного оборота заготовки инструмент поворачивается соответственно на угол между двумя соседними зубьями или на кратную ему величину, а также на близкий к этим значениям угол.

Образование выступов устраняется при неравномерном вводе режущих зубьев инструмента в зону резания. Практически это может быть осуществлено конструктивно (применением инструментов с неравномерно расположенными режущими зубьями или инструментов с различной длиной режущих кромок зубьев) и кинематически (сообщением инструменту неравномерной подачи или заготовке и инструменту вращательных движений с переменным передаточным отношением их угловых скоростей). На последнем из этих приемов основан способ точения, схема которого изображена на рисунке 4.1, *г*. Заготовке 3 сообщают равномерное, а инструменту 5 – неравномерное вращение.

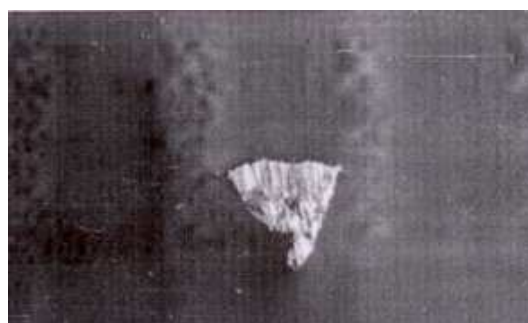
При обработке на поверхности резания образуются винтовые выступы 4 по форме впадин 1 режущей кромки 2. Однако, вследствие переменности передаточного отношения угловых скоростей, винтовые выступы и траектории перемещений режущих лезвий имеют различные направления, благодаря чему обеспечивается срезание выступов с поверхности резания и исключается возможность образования греблей на обработанной поверхности.

Описанные способы обработки могут быть применены на любом токарном станке, оснащенном устройством для ротационного точения.

Результаты исследования рассмотренных кинематических и геометрических особенностей ротационного резания позволяют управлять и получать различные по форме и сечению стружки – от сплошной и треугольной (рисунок 4.3, *а–г*) до прерывистой с различной длиной и формой сечения (рисунок 4.3, *д–ж*). При правильно подобранных режимах резания и параметрах геометрии лезвия режущего инструмента стружка завивается, например, в форме логарифмической спирали (рисунок 4.3, *з*).



a



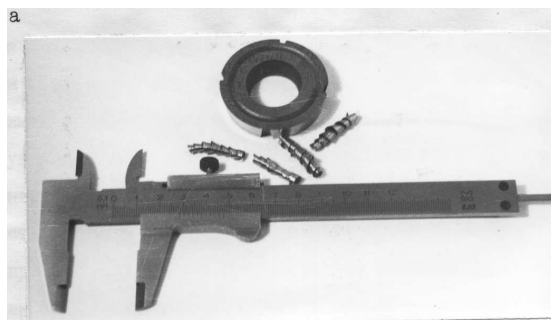
б



в



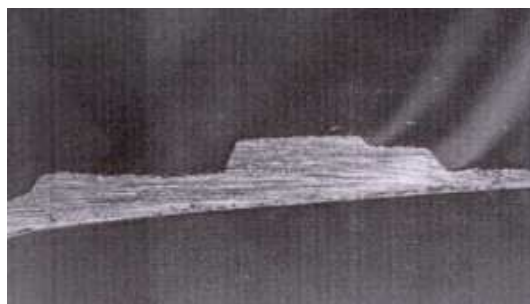
г



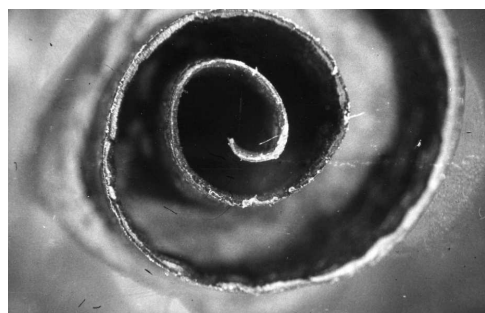
д



е



ж



з

Рисунок 4.3. – Вид стружки:

a, б – при ротационном резании в режиме самовращения;

в, г – то же, в режиме принудительного вращения;

д–ж – то же, с прерывистой режущей кромкой с числом режущих лезвий 4 и 6;

з – то же, с непрерывной режущей кромкой;

обрабатываемый материал – сталь 45, $v = 100$ м/мин, $v_p = 50$ м/мин,

$S_o = 0,3$ мм/об, $t = 1$ мм

2.2. Методика исследования формы и усадки стружки

При исследовании вопросов стружкообразования наиболее доступными и вместе с тем наглядными оценочными параметрами являются форма образующейся при резании стружки, и её усадка. По внешнему виду стружки, её форме можно судить как о силах, температуре в зоне резания, износе режущего инструмента и т.п., так и об уровне техники безопасности, качестве обработки и трудоемкости удаления стружки из зоны резания. В свою очередь изменение усадки стружки при варьировании условий обработки позволяет дать указанным выше основным характеристикам процесса резания, а также степени деформирования срезаемого с заготовки слоя материала качественную и количественную оценку.

Опыты проводятся на токарном станке мод.16K20 с использованием установки для ротационного резания при обработке образцов из углеродистой конструкционной стали и сплава баббита В83 и свинца С4. Форма и усадка получаемой после обработки стружки исследуются визуально и с помощью инструментального микроскопа БМИ-1, при этом несложные измерения параметров стружки осуществляются с помощью Штангенциркуля и микрометра.

Рассмотрим методику исследования формы и усадки стружки на примере ротационного точения резном с прерывистой режущей кромкой (см. рисунок 4.1, з).

При изучении формы стружки визуально фиксируются:

- 1) физическое состояние – стружка надлома, элементная и сливная;
- 2) степень скручивания – прямая стружка, стружка неправильной формы, стружка спиральная;
- 3) шаг – стружка с перекрытием витков, плотно навитая, неплотно навитая;
- 4) состояние наружной поверхности стружки – гладкая, шероховатая, сильно сжатая;
- 5) состояние прирезцовой поверхности стружки – поверхность зеркального блеска, поверхность зеркального блеска со следами истирания, тусклая (мелкоистертая) поверхность, истертая поверхность;
- 6) цвет стружки – серебристо-белый, коричневый, с фиолетовым оттенком, синий, пепельный.

Определение коэффициентов усадки стружки по длине $K_l = \frac{l}{l_c}$, ши-

рине $K_a = \frac{a_c}{a}$ и толщине $K_b = \frac{b_c}{b}$ производится методом непосредственных

измерений и весовым методом. При этом длина l , ширина b и толщина a срезаемого слоя определяются по формулам:

$$l = \frac{d_p \tau v}{2000 v_p}, \quad (4.1)$$

$$b = \frac{d_l}{2} \sin \tau, \quad (4.2)$$

$$a = S_o \sin \tau, \quad (4.3)$$

где $\tau = \arccos \left(1 - \frac{2t}{d_p} \right)$ – угол контакта резца с деталью, рад;

d_p – диаметр резца, м;

t – глубина резания, м;

v – скорость главного движения, м/с;

v_p – окружная скорость вращения резца, м/с;

S_o – подача резца за 1 оборот заготовки, м.

Для упрощения процесса измерения параметров стружки предусматривается техническое моделирование процесса ротационного резания образцов из сплава баббита Б83 и свинца С4. Стружка, подучаемая после обработки этих образцов, легко деформируется и позволяет изучать закономерности её закручивания как в свернутом, так и в развернутом состояниях. При измерении длины развернутой стружки, полученной после обработки резцом с прерывистой режущей кромкой, фиксируются длины l'_c и l''_c для двух крайних точек 1 и 2 режущей кромки, которые оставляют на надрезцовой стороне стружки характерные метки на входе и выходе их из зоны резания, а также полная длина l_c стружки (рисунок 4.3, а). Длина развернутой стружки, полученной после резания резцом с непрерывной режущей кромкой, измеряется по характерным рискам (траекториям резания), на надрезцовой стороне стружки (рисунок 4.3, б). Длина стальной стружки l_c замеряется с помощью гибкой проволоки по её прирезцовой стороне.

При определении коэффициента усадки стружки K_l весовым способом используется следующая формула:

$$K_l = \frac{Q 10^3}{l_c \gamma S_o t}, \quad (4.4)$$

где Q – масса стружки, кг;

γ – удельный вес обрабатываемого материала, кг/м³.

3. МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

1. Заготовка прокат: Сталь 45 ГОСТ 1050, Сталь 40Х ГОСТ 4543.
2. Станок токарно-винторезный модели JET GH-1840ZX.
3. Резцы ротационные.
4. Весы аналитические модели ВЛА-200г-М.
5. Гибкая проволока или нить.
6. Штангенциркуль ШЦ-1:0,05мм.
7. Микрометр МК-50.
8. Микроскоп инструментальный БМИ-01.

4. СТРУКТУРА ОТЧЕТА

1. Название лабораторной работы.
2. Цель и порядок выполнения работы.
3. Краткие сведения о методе ротационного резания и способах стружкодробления.
4. Описание методики исследования форм и усадки стружки.
5. Описание и рисунки формы стружки.
6. Протокол исследования и графики зависимости коэффициентов усадки стружки от элементов режима резания.
7. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова цель и порядок выполнения работы?
2. В чем преимущества ротационного резания по сравнению с другими способами обработки?
3. Назовите основные виды ротационного резания.
4. Почему необходимо дробить стружку при ротационном резании?
5. Каковы недостатки существующих способов дробления стружки и преимущества предложенных?
6. Какие параметры стружки характеризуют деформацию срезаемого слоя, силу и температуру резания, износ инструмента?
7. Как определяется усадка стружки при ротационном резании?
8. Опишите порядок определения зависимости формы и усадки стружки от элементов режима резания.
9. Запишите формулы для определения параметров срезаемого слоя при ротационном резании.
10. Объясните характер изменения формы и усадки стружки при изменении элементов резания и схемы обработки.

Лабораторная работа № 5 СИЛЫ РЕЗАНИЯ

1. ЦЕЛЬ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Цель работы – изучить схему действия сил резания на инструмент, аппаратуру для измерения сил резания, экспериментальным путем установить влияние элементов режима резания на составляющие силы резания, научиться определять постоянные коэффициенты и показатели степени при элементах режима резания в эмпирических формулах.

Рекомендуется выполнять работу в следующем порядке:

1. Изучить схему действия сил резания на инструмент.
2. Ознакомиться с аппаратурой для измерения сил резания.
3. Экспериментальным путем замерить численные значения составляющих силы резания P_z , P_x , P_y и силы тока I при изменении скорости главного движения v (м/мин), скорости движения подачи S_o (мм/об) и глубины резания t (мм).
4. Используя метод графического логарифмирования, определить эмпирические зависимости P_z , P_x , P_y от скорости резания v , подачи S_o , и глубины резания t .
5. Заполнить протокол измерения составляющих сил и мощности резания.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Сила резания и ее составляющие

В связи с возникающими в зоне резания деформациями, трением и напряжениями инструмент испытывает сопротивление резанию, выражаемое действием на него сил резания. Знание сил резания необходимо, во-первых, для объяснения других явлений процесса резания и, во-вторых, для расчета инструментов, приспособлений и станков при их проектировании.

В процессе резания на переднюю и заднюю поверхности лезвия инструмента действуют нормальные силы давления N_n и N_z и F_n и F_z , которые рассматриваются при рассечении зоны резания главной секущей плоскостью (рисунок 5.1). Если сложить эти силы геометрически, то получим равнодействующую силу сопротивления резанию P . Экспериментально измерить силы N_n , N_z , F_n , F_z и P затруднительно, потому что в общем случае они являются внутренними силами системы резания и имеют неопределенное пространственное расположение.

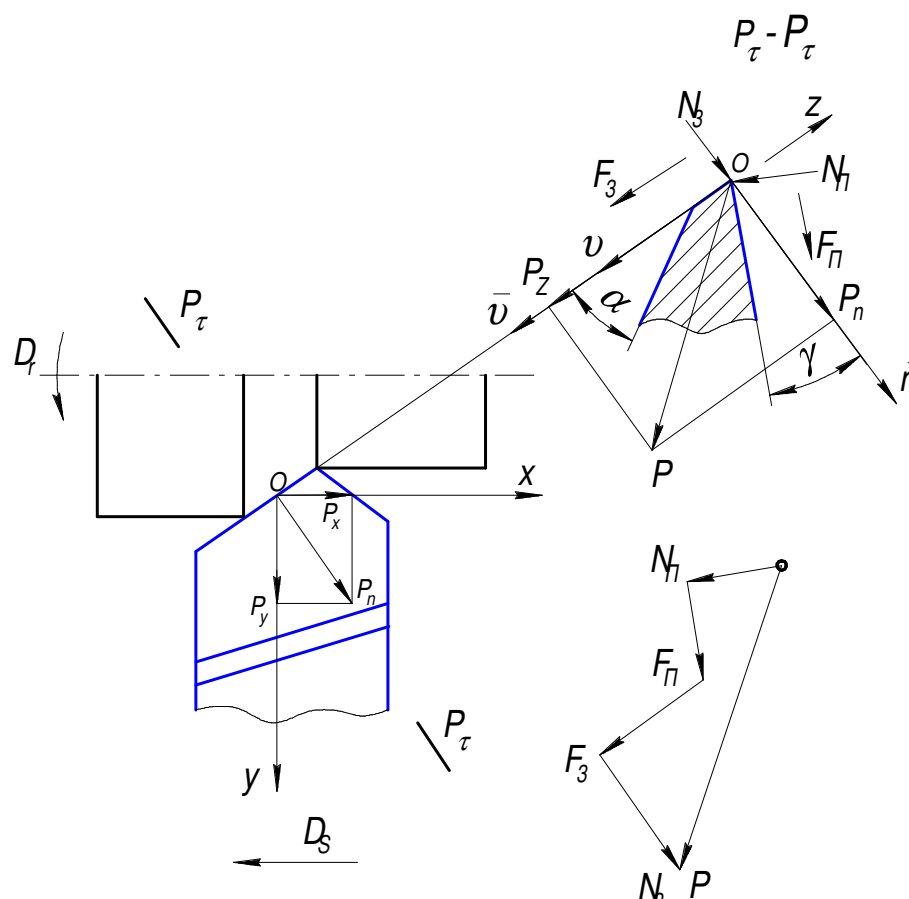


Рисунок 5.1. – Схема действия силы резания и ее составляющих

Для облегчения экспериментального определения сил резания равнодействующую силу P раскладывают на составляющие по осям, направление которых определено кинематической схемой резания. В главной секущей плоскости силу P раскладывают на главную (тангенциальную) составляющую P_z , действующую по направлению оси OZ вдоль вектора скорости главного движения v , и на нормальную составляющую P_n по нормали n к поверхности резания. В основной плоскости составляющую P_n раскладывают на осевую составляющую P_x , действующую вдоль оси главного вращательного движения OX , и радиальную составляющую P_y вдоль оси OY по радиусу главного вращательного движения.

При этом каждая составляющая силы P получает определенный технологический смысл:

- P_z – главная (тангенциальная) составляющая силы резания. Действует при точении на резец в направлении главного движения (D_r) по касательной к поверхности резания заготовки;

- P_y – радиальная составляющая силы резания. Направлена по радиусу к оси главного вращательного движения. Эта сила отжимает резец

и учитывается при расчете прочности инструмента и механизма поперечной подачи станка. Стремится оттолкнуть резец от заготовки и изогнуть его в горизонтальном направлении;

– P_x – осевая составляющая силы резания. Действует вдоль оси главного вращательного движения и направлена навстречу движению подачи (D_s). Эта сила при продольном точении стремится отжать резец в сторону задней бабки. Учитывается при определении допустимой нагрузки на резец и механизмы станка при продольной подаче.

Составляющую P_z называют главной, т.к. она действует по направлению вектора скорости главного движения и имеет наибольшее значение при лезвийной обработке, она определяет основную работу резания. По силе резания P_z производят расчет крутящего момента M (Н·м), который нужно приложить к шпинделю станка (момент сопротивления резанию M):

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

где D – диаметр заготовки, м.

Так же по силе P_z производят расчет мощности, затрачиваемой на резание (эффективной мощности),

$$N = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 10^3}, \text{ кВт,}$$

где v – скорость резания, м/мин.

Сила P_z имеет наибольшее численное значение, например, при лезвийной обработке численные соотношения между составляющими силы резания следующие: $P_x = (0,2 \dots 0,5) P_z$; $P_y = (0,3 \dots 0,6) P_z$.

Величина равнодействующей силы P рассчитывается в соответствии со значениями всех трех ее составляющих:

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

2.2. Влияние элементов режима резания и условий обработки на составляющие силы резания

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

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

На величину усадки стружки K_l влияют следующие условия резания: свойства обрабатываемого материала, элементы режима резания, геометрия режущего лезвия.

Свойства обрабатываемого материала

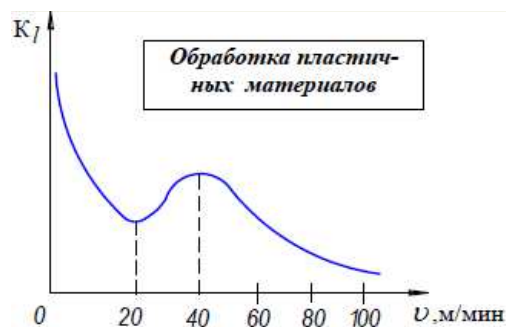
Чем больше у обрабатываемого материала предел прочности на разрыв (σ_B) и твердость (HB), тем больше величины P_z, P_x, P_y .

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

Элементы режима резания

v – скорость резания

Влияние скорости резания на P_z, P_x, P_y зависит от свойств обрабатываемого материала. Если обрабатывается пластичный материал (например, сталь 40Х), характеризующийся образованием сливной стружки, то зависимость P_z, P_x, P_y от скорости резания имеет неоднозначный характер в различных интервалах скоростей.



При увеличении скорости резания до 20–25 м/мин при обработке стали 40Х силы резания уменьшаются, что связано с появлением нароста (H_n) на передней поверхности инструмента, который увеличивает фактический передний угол инструмента (γ_n), снижается степень пластической деформации ($СтПД$) и облегчается процесс резания.

Если $v = 5 \dots 20$ м/мин

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

Увеличение скорости более 20–25 м/мин приводит к уменьшению высоты нароста, т.к. фактический передний угол уменьшается, степень пластической деформации увеличивается, что приводит к увеличению сил резания.

Если $v = 20 \dots 40$ м/мин

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

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

При дальнейшем увеличении скорости резания степень пластической деформации и силы резания P_z , P_x , P_y уменьшаются, т.к. растет температура резания, что уменьшает коэффициент трения между стружкой и режущим лезвием.

При обработке хрупких материалов (например, чугунов) и материалов, не склонных к наростообразованию (например, меди, жаропрочных и нержавеющей сталей и сплавов, титановых сплавов), характеризуемых образованием элементной стружки, коэффициент усадки стружки уменьшается при увеличении скорости резания во всех интервалах значений скорости. Это объясняется отсутствием нароста при обработке хрупких и твердых материалов.

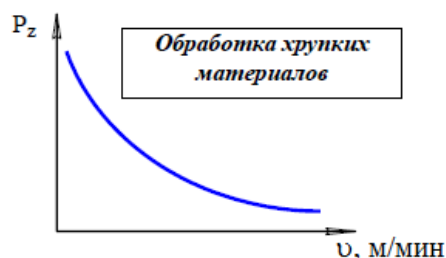
t – глубина резания

S_o – подача

Увеличение глубины резания t и подачи S_o приводит к увеличению площади сечения срезаемого слоя ($f = a \cdot b$), что вызывает большее сопротивление обрабатываемого материала резанию и приводит к увеличению P_z , P_x , P_y . Увеличение t в большей степени влияет на рост сил резания, чем увеличение S_o , т.к. увеличивается ширина срезаемого слоя b и соответственно нормальное давление и сила трения по задней поверхности режущего лезвия.

Если $v \geq 40$ м/мин

$v \uparrow \rightarrow C_{mПД} \downarrow \rightarrow P_z, P_x, P_y \downarrow$



$v \uparrow \rightarrow C_{mПД} \downarrow \rightarrow P_z, P_x, P_y \downarrow$

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

Геометрия режущего лезвия

Передний угол γ

При увеличении γ облегчается врезание лезвия в заготовку, улучшается сход стружки, уменьшается степень пластической деформации обрабатываемого материала, а следовательно уменьшаются составляющие силы резания.

$$\gamma \uparrow \rightarrow C_{\text{мПД}} \downarrow \rightarrow P_z, P_x, P_y \downarrow$$

Задний угол α

С увеличением α уменьшается контакт задней поверхности инструмента с поверхностью заготовки, что приводит к уменьшению сил трения и резания.

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

Угол в плане ϕ

С увеличением угла в плане ϕ уменьшается ширина срезаемого слоя b и величина угла при вершине ϵ и ухудшается теплоотвод, что приводит к увеличению силы P_x .

$$\phi \uparrow \rightarrow b \downarrow \rightarrow P_x \uparrow$$

$$\phi \uparrow \rightarrow a \uparrow \rightarrow C_{\text{мПД}} \downarrow \rightarrow P_z, P_y \downarrow$$

При этом увеличивается толщина срезаемого слоя a , что уменьшает степень его пластической деформации и влечет за собой уменьшение величин P_z и P_y .

2.3. Аппаратура для измерения силы резания

Аппаратура для измерения силы резания называется динамометрами. По количеству измеряемых составляющих силы резания динамометры подразделяют на одно-, двух-, и трехкомпонентные; по принципу действия применяемых в них датчиков – на механические, гидравлические и электрические. Конструктивно динамометры состоят из датчика, воспринимающего нагрузку, деформацию или перемещение и электрический параметр, приемника, регистрирующего нагрузку, и звеньев, связывающих датчик и приемник.

В механических динамометрах (рисунок 5.2, *а*) в качестве датчика используется пружина, упругая пластина и т.п., по величине прогиба которых судят о величине составляющей силы резания. Прогиб измеряется индикатором часового типа. Эти динамометры просты по конструкции, надежны, но в силу большой инерционности применяются при небольших скоростях резания (2...3 м/мин).

В гидравлических динамометрах (рисунок 5.2, *б*) используются гидравлические месдозы (глицерин). О величине силы резания судят по давлению на манометре, создаваемому силой давящей на поршень гидравлической месдозы. Эти динамометры, так же как и механические, просты по конструкции и надежны в работе. К недостаткам следует отнести большие габаритные размеры, невысокую точность, большую инерционность. Применяются эти динамометры при скоростях резания до 80 м/мин.

Наибольшее распространение получили электрические динамометры, в которых используются электрические датчики, преобразующие деформацию или перемещение упругих элементов в электрический сигнал. В качестве датчиков используются емкостные (рисунок 5.2, *в*) индуктивные (рисунок 5.2, *г*), пьезоэлектрические, магнитоупругие и тензодатчики. Эти динамометры облетают высокой точностью, жесткостью, малой инерционностью, компактны и применяются практически при любых скоростях резания.

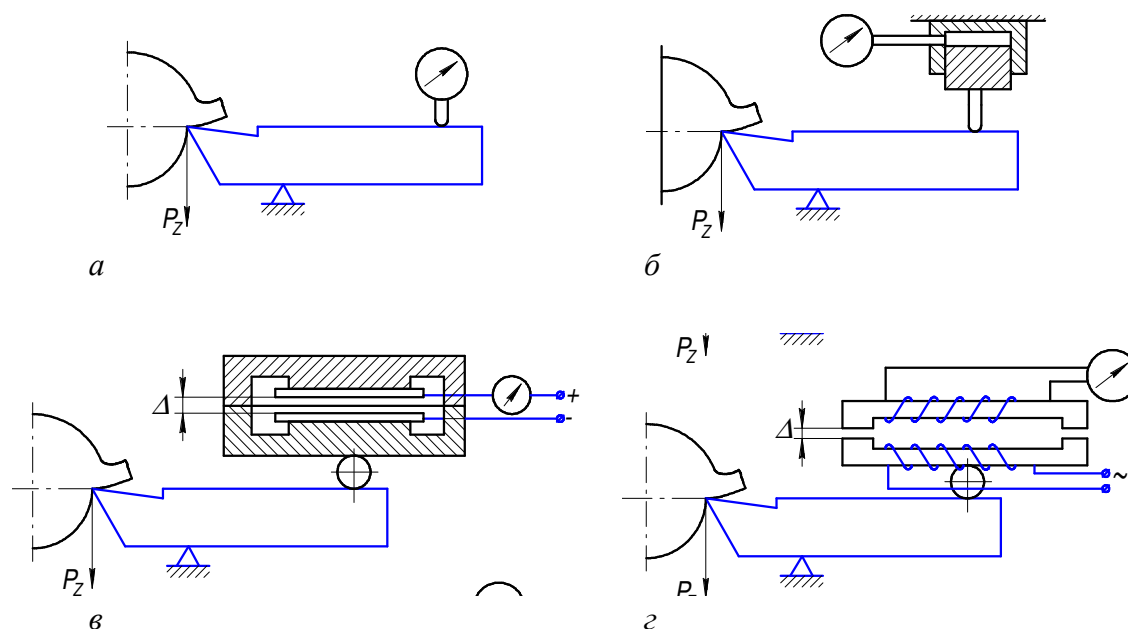


Рисунок 5.2. – Схемы динамометров:
а – механический; *б* – гидравлический; *в* – емкостный; *г* – индуктивный

Примером электрических динамометров может служить универсальная динамометрическая установка (рисунок 5.3), которая состоит из динамометра датчика 1, усилителя электрических сигналов 2, приборного щита 3 и осциллографа 4.

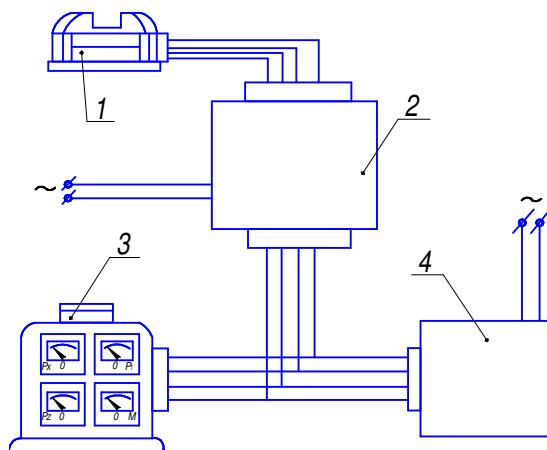


Рисунок 5.3. – Схема динамометрической установки

Динамометр-датчик включает жесткую плиту 1, на которой монтируется держатель для инструмента или детали 2. Плита установлена на шестнадцати горизонтально и вертикально расположенных опорах 3, представляющих собой тонкостенные втулки на ножках-шарнирах (рисунок 5.4).

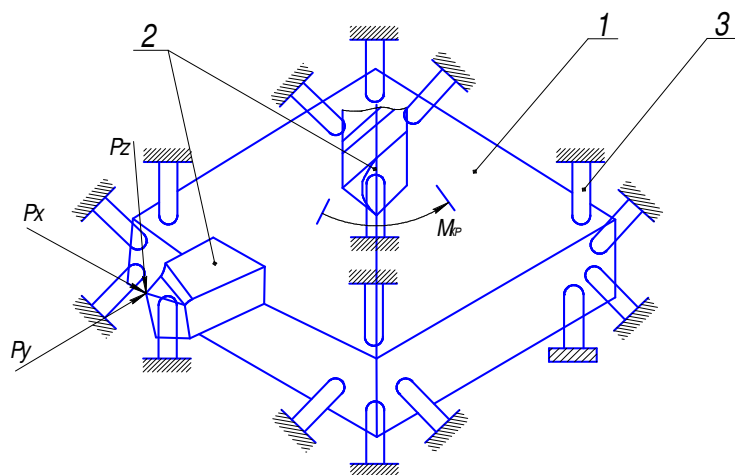


Рисунок 5.4. – Схема тензометрического динамометра

Такая конструкция опор обеспечивает восприятие нагрузки только вдоль оси опоры, а их количество и расположение позволяют фиксировать составляющие силы резания P_x , P_y , крутящий момент в горизонтальной плоскости и составляющую P_z в вертикальной плоскости. На образующие

втулок опор наклеены электросопротивления (тензодатчики), соединенные в соответствующие электрические схемы и имеющие выводы на усилитель 2, приборный щит 3 и осциллограф 4 (см. рисунок 5.3).

При резании действующие на инструмент или заготовку силы деформируют опоры как наименее жесткие детали динамометра. Наклеенные на них тензодатчики также деформируются, что приводит к изменению их сопротивления и величины проходящего тока. Этот сигнал с измерительной схемы поступает на усилитель 2, усиливается и затем передается на микроамперметры приборного щита 3 и осциллограф 4, с помощью которых регистрируются показания динамометра-датчика 1.

Для перевода величины электрического сигнала в единицы силы необходимо провести тарирование динамометра. Тарирование проводится с использованием стандартного динамометра путем нагружения через него динамометра-датчика силой, имитирующей действие составляющих силы резания P_x , P_y , P_z и крутящего момента $M_{кр}$, с помощью, например, механизма подачи станка или специального устройства.

2.4. Экспериментальное определение составляющих силы резания

Для определения составляющих силы резания P_x , P_y , P_z наибольшее распространение получили эмпирические зависимости, имеющие, например, при точении следующий вид:

$$P_x = C_{P_x} \cdot t^{X_{P_x}} \cdot S^{Y_{P_x}} \cdot v^{Z_{P_x}} \cdot K_{P_x},$$

$$P_y = C_{P_y} \cdot t^{X_{P_y}} \cdot S^{Y_{P_y}} \cdot v^{Z_{P_y}} \cdot K_{P_y},$$

$$P_z = C_{P_z} \cdot t^{X_{P_z}} \cdot S^{Y_{P_z}} \cdot v^{Z_{P_z}} \cdot K_{P_z},$$

где $C_{P_x}, C_{P_y}, C_{P_z}$ – коэффициенты, зависящие от вида обрабатываемого материала и других условий резания;

t, S, v – глубина, подача и скорость резания;

X_P, Y_P, Z_P – показатели степени при соответствующих переменных;

$K_{P_x}, K_{P_y}, K_{P_z}$ – коэффициенты, учитывающие отличия условий обработки от тех, при которых были получены данные формулы.

Численные значения коэффициентов и показателей степеней в этих формулах приводятся в справочной литературе. Однако в ряде случаев при изменении условий обработки их необходимо уметь определять экспериментально, используя метод графического логарифмирования. Для этого строят

ся графики зависимостей составляющих силы резания P_z , P_x , P_y от элементов режима резания в логарифмической системе координат (рисунок 5.5).

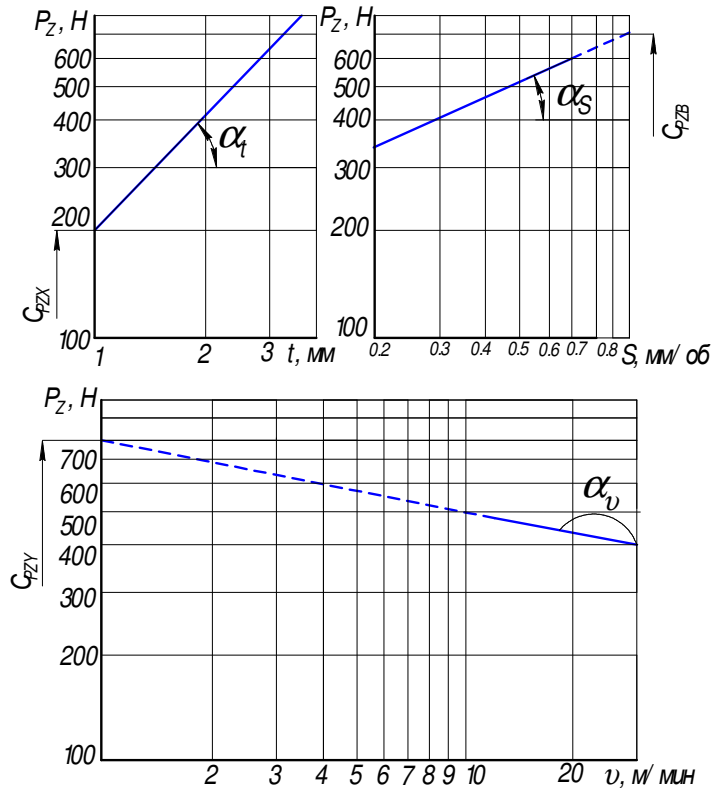


Рисунок 5.5. – Зависимости составляющей силы резания P_z от глубины резания t , подачи S и скорости резания v

В каждой серии опытов формулы для расчета P_z будут иметь частный вид:

- для серии глубины $P_{Zt} = C_{P_{Zt}} \cdot t^{X_{P_z}}$ где $C_{P_{Zt}} = C_{P_z} \cdot S^{Y_{P_z}} \cdot v^{Z_{P_z}}$;
- для серии подачи $P_{Zs} = C_{P_{Zs}} \cdot S^{Y_{P_z}}$ где $C_{P_{Zs}} = C_{P_z} \cdot t^{X_{P_z}} \cdot v^{Z_{P_z}}$;
- для серии скорости $P_{Zv} = C_{P_{Zv}} \cdot v^{Z_{P_z}}$ где $C_{P_{Zv}} = C_{P_z} \cdot t^{X_{P_z}} \cdot S^{Y_{P_z}}$.

Логарифмирование этих формул приводит к уравнениям прямой:

$$\lg P_{Zt} = \lg C_{P_{Zt}} + X_{P_z} \cdot \lg t,$$

$$\lg P_{Zs} = \lg C_{P_{Zs}} + Y_{P_z} \cdot \lg S,$$

$$\lg P_{Zv} = \lg C_{P_{Zv}} + Z_{P_z} \cdot \lg v.$$

Определяем угол наклона полученных прямых и его тангенс, который будет равен показателю степени при соответствующих переменных:

$$X_{P_z} = \operatorname{tg} \alpha_t, \quad Y_{P_z} = \operatorname{tg} \alpha_s, \quad Z_{P_z} = \operatorname{tg} \alpha_v.$$

Коэффициент C_{P_z} можно определить по этим же графикам при значении переменной, равном единице (см. рисунок 5.5):

- при $t = 1$ $C_{P_{zt}} = P_{zt}$;
- при $S_o = 1$ $C_{P_{zs}} = P_{zs}$;
- при $v = 1$ $C_{P_{zv}} = P_{zv}$.

Коэффициент C_p можно определить также из общих зависимостей для опыта с одинаковыми значениями t , S_o , v в каждой серии:

$$C_{P_{zt}} = \frac{P_{zt}}{C_{P_z} \cdot S^{Y_{PZ}} \cdot v^{Z_{PZ}}},$$

$$C_{P_{zs}} = \frac{P_{zs}}{C_{P_z} \cdot t^{X_{PZ}} \cdot v^{Z_{PZ}}},$$

$$C_{P_{zv}} = \frac{P_{zv}}{C_{P_z} \cdot t^{X_{PZ}} \cdot S^{Y_{PZ}}}.$$

Окончательные значения постоянной C_{P_z} определяется как среднее арифметическое трех значений:

$$C_{P_z} = \frac{C_{P_{zt}} + C_{P_{zs}} + C_{P_{zv}}}{3}.$$

Значения коэффициентов K_{PX} , K_{PY} , K_{PZ} принимаются равными 1, т.е. условия обработки не отличаются от тех условий, при которых были получены формулы для расчета P_z , P_x , P_y .

После нахождения коэффициентов и показателей степеней следует записать уравнение для составляющих силы резания в конкретном для данных условий виде, где вместо символьных обозначений коэффициентов и показателей степеней будут подставлены их численные значения, а элементы режима резания останутся в символьном выражении как независимые переменные.

3. МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

1. Сталь 45 ГОСТ 1050, Сталь 40Х ГОСТ 4543.
2. Станок токарно-винторезный модели JET GH-1849ZX.
3. Универсальная динамометрическая установка УДМ 600.

4. СТРУКТУРА ОТЧЕТА

1. Название, цель.
2. Краткие сведения о схеме действия сил резания на инструмент, аппаратуре для измерения сил резания, влиянии элементов режима резания и условий обработки на составляющие силы резания.
3. Протокол измерений составляющих силы резания.
4. Графики зависимостей составляющих силы резания P_z , P_x , P_y от изменения элементов режима резания в логарифмической системе координат.
5. Расчет эмпирических зависимостей P_z , P_x , P_y методом графического логарифмирования.
6. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Опишите цель и порядок выполнения лабораторной работы.
2. Для чего необходимо знать силы резания?
3. Какие силы действуют на режущий инструмент в зоне резания?
4. Объясните схему действия сил резания.
5. Запишите формулы для определения силы резания, работы и мощности резания.
6. Каково соотношение значений составляющих силы резания при лезвийной обработке?
7. Виды динамометров и их принципиальное устройство.
8. Принцип действия динамометрической установки.
9. Как определяются коэффициенты и показатели степени в формулах для расчета силы резания?
10. Оцените и объясните степень влияния элементов режима резания на составляющие силы резания.

Протокол измерения составляющих силы резания

№ опыта	Серия опытов	Режим резания				Диаметр d , мм	Составляющие силы резания					
		t , мм	S , мм/мин	n , мин ⁻¹	v , м/мин		Осевая P_x		Радиальная P_y		Тангенциальная P_z	
							mV	МПа	mV	МПа	mV	МПа
1	$P=f(t)$											
2												
3												
4												
1	$P=f(S)$											
2												
3												
4												
1	$P=f(v)$											
2												
3												
4												

Станок: модель –
 Прибор измерительный: модель –
 Заготовка: материал –
 Режущий инструмент: тип –
 Материал режущего лезвия –
 Геометрия режущего лезвия –

Лабораторная работа № 6
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ
НА ЛЕНТОЧНОПИЛЬНЫХ СТАНКАХ

1. ЦЕЛЬ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Цель работы – изучить и исследовать процесс резания на ленточно-пильном станке, в частности, освоить принципы расчета режимов резания, научиться определять вид стружки, силу резания и установить влияние на них элементов режима резания.

Рекомендуется выполнять работу в следующем порядке:

1. Ознакомиться с элементами режима резания на ленточнопильном станке и порядке их назначения.

2. Провести серию опытов по определению фактического значения скорости движения подачи и рассчитать подачу на зуб ленточной пилы:

– первая серия опытов производится при скорости главного движения резания $v = 35$ м/мин, с применением СОЖ, предварительно приработанной пилой. Лимб переключения скорости движения подачи устанавливается в 4 различные положения. Секундомером замеряется время одного реза при каждом из 4-х значений положения лимба;

– вторая серия опытов проводится точно так же, но при скорости главного движения $v = 70$ м/мин.

3. Рассчитать фактические значения скорости движения подачи и подача на зуб пилы S_z . Заполнить протокол «Измерение подачи на зуб».

4. Изучить виды стружек. Провести три серии опытов с последовательным изменением одного из параметров режима резания: скорости движения подачи и скорости главного движения резания, а также конструктивного параметра инструмента – шага зубьев пилы. Визуально определить вид стружки, получаемый при каждой серии опытов. Заполнить протокол «Исследование формы стружки».

5. Сделать выводы о выборе режимов резания и конструктивных параметров ленточной пилы исходя из вида полученной стружки, определить диапазон рациональных подач.

6. Изучить схему действия сил резания на ленточную пилу. Экспериментальным путем определить фактические действующие усилие резания через определение потребляемой мощности ленточнопильного станка в трех сериях опытов:

– первая серия опытов проводится с изменением величины скорости движения подачи;

- вторая серия опытов проводится с изменением величины скорости главного движения;
- третья серия опытов проводится и с изменением шага зубьев пильного полотна.

Усилия резания определяются косвенно по показаниям цифрового амперметра клещевого типа. В каждой серии замерить силу тока I . Определить мощность, потребляемую станком и рассчитать главную составляющую силы резания. Результаты эксперимента занести в протокол «Измерение мощности и силы резания». Построить графики зависимости сил резания от изменения параметров режима обработки.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Общие сведения об обработке заготовок на ленточнопильных станках

В современных заготовительных производствах около 80% заготовок разрезают при помощи ленточнопильных технологий, которые относятся к высокотехнологичным, высокопроизводительным энерго- и ресурсосберегающим процессам. Ленточнопильные технологии позволяют разрезать заготовки в широком диапазоне размеров их сечений – от листов толщиной 0,5 мм до проката толщиной 1,5 м. Отрезка заготовок на станках осуществляется ленточной пилой, устанавливаемой на двух дисках, один из которых приводной, а другой натяжной. Ленточная пила позволяет обеспечить минимальные отходы металла (ширина реза 0,6–2 мм), при этом достигается высокая производительность процесса и малый расход энергии. Зубья ленточной пилы участвуют в процессе резания только во время контакта с обрабатываемым материалом по линии реза. Следовательно, распиловка ленточной пилой – один из наиболее эффективных способов резания с точки зрения распределения теплоты и усилия резания.

Шероховатость поверхности при отрезании на ленточнопильных станках соответствует $R_z = 40 \dots 80$ мкм, а отсутствие заусенцев и высокая точность реза позволяют исключить технологическую операцию дополнительного торцевания и сократить припуски до минимума.

Для ленточных пил применяют следующие виды материалов: инструментальные стали, быстрорежущие стали, твердый сплав, искусственные алмазы. Возможность использования специальных пил, оснащенных твердым сплавом или алмазной кромкой, позволяет резать стальные блоки, сортовой прокат, труднообрабатываемые стали, сплавы

на основе никеля и титана цветные металлы и их сплавы, гранит, бетон и другие материалы различных форм и размеров. Процесс резания прост в реализации и его легко автоматизировать.

К основным конструктивным и геометрическим параметрам ленточной пилы относятся: ширина и толщина ленточного полотна, форма и шаг зубьев, разводка зубьев (вправо, влево), количество зубьев на один дюйм, радиус основания канавки, расстояние от вершины зуба до дна впадины канавки, передний и задний углы режущего зуба. Причем шаг зубьев пилы является важным фактором, оказывающим влияние на процесс обработки. Шаг зубьев выбирается исходя из следующих условий: он должен быть таким, чтобы объем впадины был достаточен для размещения в ней срезаемой стружки и в тоже время обеспечивал требуемую по условиям шероховатости поверхности и прямолинейности реза подачу на зуб S_z . При выборе шага учитываются следующие рекомендации:

- при обработке тонкостенных деталей, например труб, листов и т.п., рекомендуются пилы с мелким шагом зубьев, в противном случае существует риск повреждения или разрушения зуба;

- большие поперечные сечения заготовок следует резать пилой с крупным шагом, т.е. с меньшим числом зубьев;

- чем меньше зубьев вовлечено в обрабатываемую заготовку, тем выше режущая способность. Дело в том, что проникающая способность каждого отдельного зуба выше, если давление подачи пилы распределяется на меньшее число зубьев;

- крупный шаг увеличивает производительность и обеспечивает большую стружечную канавку;

- при обработке мягких материалов, например, алюминия и бронзы, рекомендуется применение пил с большими стружечными канавками;

- крупный шаг предотвращает образование и скопление стружек в углублениях между зубьями пилы, что может ухудшить распиловку и повредить полотно.

- при обработке в заготовке должно находиться не менее 3 зубьев; оптимальное количество зубьев в заготовке – 10...12; максимальное количество зубьев – 22.

Существующие станки и ленточные пилы обеспечивают различные потребности резки: контурное пиление, отрезка под углами, резка пакетов заготовок различного профиля. Площади поперечного сечения могут достигать более 1 м², при этом ленточное пиление обеспечивает минимальное отклонение реза от перпендикулярности.

2.2. Определение элементов режима резания

Пиление ленточной пилой основано на принципиальной кинематической схеме, предусматривающей главное движение резания V_r и движение подачи V_s (рисунок 6.1).

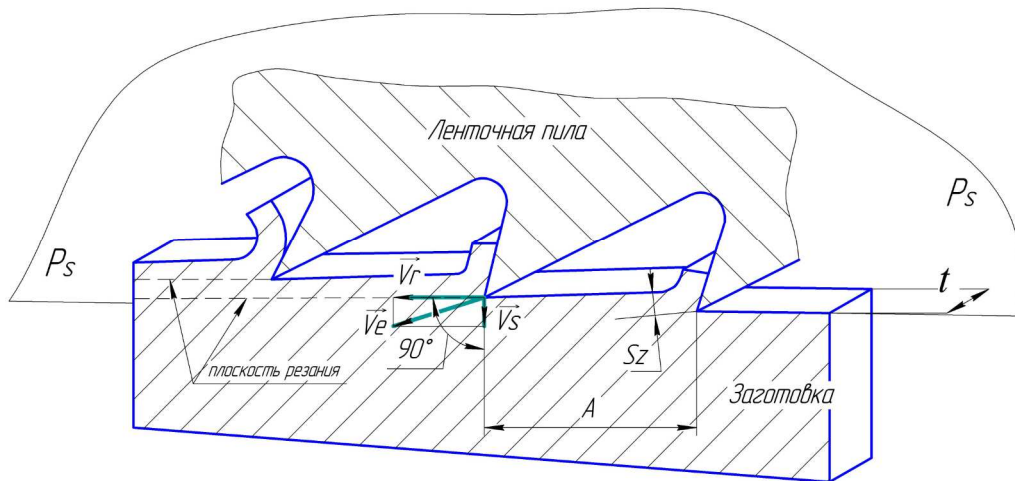


Рисунок 6.1. – Схема резания ленточной пилой

Рассмотрим определения основных элементов режима резания:

Результирующая скорость резания v_e (м/мин) – это скорость движения пилы с учетом скоростей главного движения резания и движения подачи.

Скорость главного движения резания v (м/мин) – это скорость режущего лезвия инструмента относительно заготовки в направлении главного движения в единицу времени. В ленточном пилении скорость главного движения резания – скорость продольного или вращательного движения полотна пилы.

$$v = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{z A n}{1000} = \frac{L \cdot k \cdot 60}{T_{\text{рез}}}, \quad (6.1)$$

где D – диаметр шкива ленточнопильного станка, а для фрезерования и пиления дисковыми пилами диаметр окружности, проходящий через вершины зубьев, мм;

A – шаг зубьев пилы, т.е. расстояние между смежными главными режущими кромками (лезвиями) по окружности резания или окружности шкива ленточнопильного станка, мм;

z – число зубьев, врезающихся на один оборот шкива, $z = \frac{\pi D}{A}$;

n – частота вращения пилы, мин⁻¹;

L – длина полотна пилы, мм;

k – количество оборотов метки за время $T_{рез}$, с.

Скорость главного движения резания зависит от твердости, формы и площади поперечного сечения заготовки. Чем выше прочность материала заготовки, тем более низкая скорость резания должна быть выбрана. Заготовки с меньшей площадью поперечного сечения могут отрезаться с большей скоростью, чем заготовки с большим сечением. Трубы и профили отрезаются с низкой скоростью резания, при этом очень важное значение имеет постоянство подачи. При возникновении вибраций необходимо изменить скорость резания на минимально возможную величину.

Скорость главного движения резания назначают по соответствующим нормативным таблицам в зависимости от материала заготовки (согласно рекомендациям фирмы-производителя ленточного полотна), а также в зависимости от габаритов заготовки (пакета заготовок) и типа применяемого оборудования.

Скорость движения подачи v_s (мм/мин) – скоростью перемещения (опускания) пильной рамы.

Фактическая подача рассчитывается следующим образом:

$$v_s = \frac{D(h)}{T_{рез}}, \quad (6.2)$$

где $D(h)$ – диаметр (высота) пропила, мм;

$T_{рез}$ – время резания одной заготовки (пакета заготовок), мин,

$$T_{рез} = \frac{P}{Q}, \quad (6.3)$$

где P – площадь поперечного сечения заготовки (пакета заготовок), мм².

Для круглого сечения $P = \frac{\pi d^2}{4}$;

Q – производительность процесса пиления, мм²/мин. Это площадь поверхности заготовки, разрезанной пилой за одну минуту, г/мм³.

Производительность зависит от материала, формы и габаритов заготовок, типа пилы, оборудования, режимов резания. Фактическая производительность может быть выбрана по таблицам.

При выборе величины подачи ориентируются на следующие рекомендации:

- чем меньше коэффициент обрабатываемости материала, тем меньшей должна быть подача;
- режущая кромка зуба должна соотноситься со скоростью подачи пилы: зуб из углеродистой стали – наименьшая подача, из твердого сплава – наивысшая;
- вибрации и шум при резании разрушают режущую кромку. Если они возникают, следует увеличить подачу;
- если пиление выполняется без охлаждающей жидкости, то подачу следует уменьшить на 50–75%;
- для устранения наклепа необходимо уменьшить подачу или увеличить скорость, а также увеличить подачу охлаждающей жидкости в зону резания.

Дополнительным параметром, характеризующим процесс резания, является подача на зуб S_z , мм/зуб:

$$S_z = \frac{A \cdot v_s}{v_r}, \quad (6.4)$$

Глубина резания t (мм) – это размер снимаемого слоя, измеренный по нормали к рабочей плоскости $P_s - P_s$. По существу, это ширина пропила.

2.3. Исследование вида стружки

При выборе величины подачи ориентировочно можно воспользоваться видом образующейся стружки, изменяющейся при увеличении подачи (рисунок 6.2).

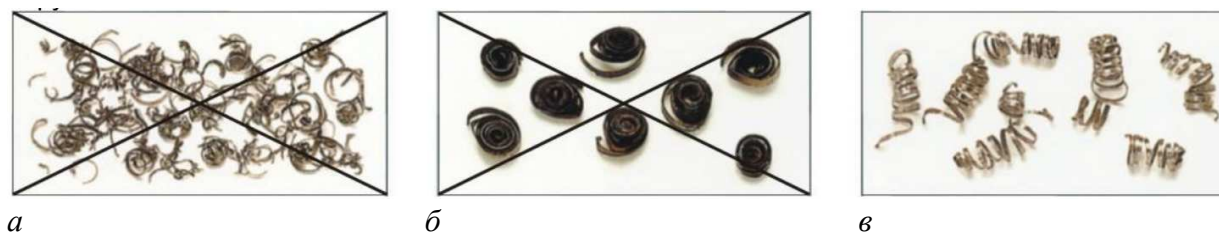


Рисунок 6.2. – Виды стружек в зависимости от элементов режима резания

a – очень тонкая и мелкая стружка указывает на то, что зуб не успевает врезаться и поэтому стружка не получается завитой. В этом случае

следует постепенно увеличивать подачу консоли или уменьшить скорость ленточной пилы до образования стружки типа «в».

б – толстая или крупная стружка голубого цвета указывает, что ленточная пила перегружена, т.е. зуб врезается слишком глубоко, тем самым значительно увеличивается нагрузка на режущие зубья и снижается ресурс ленточной пилы. Работа в таком режиме может привести к скалыванию нескольких зубьев, а если это произошло, то через некоторое время все остальные зубья также придут в негодность из-за возникших ударных нагрузок в зоне, где выкрошились зубья. Следует уменьшить подачу консоли или увеличить скорость ленточной пилы до образования стружки типа «в».

в – стружка короткая спиралевидная, средней толщины и имеет светлый металлический цвет, указывает на правильные параметры резки.

Отличительной особенностью процесса обработки на ленточнопильных станках является тонкий слой стружки, удаляемый каждым зубом пилы. Экспериментальные исследования показывают, что величина подачи на зуб, при обработке конструкционных сталей, должна лежать в пределах интервала от 0,007 до 0,0085 мм/зуб, тогда образуется тонкая, вьющаяся и упругая стружка. При меньших подачах процесс резания затрудняется, стружка становится тонкой и порошкообразной, вместо резания начинает происходить процесс пластического деформирования. При увеличении S_z стружка толстая, появляются цвета побежалости.

2.4. Исследование силы резания

При внедрении в материал режущего инструмента на каждый зуб фрезы, находящийся в пределах угла контакта, действует своя сила сопротивления срезаемого слоя. На переднюю и заднюю поверхности режущего лезвия действуют нормальные силы N_1 , N_2 и силы трения F_1 , F_2 (рисунок 6.3).

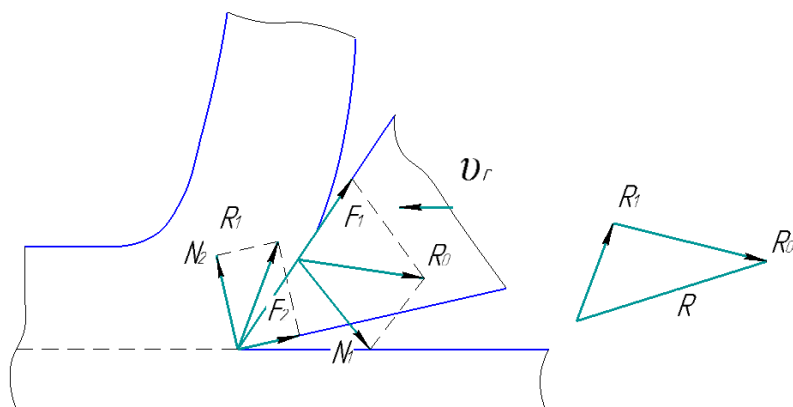


Рисунок 6.3. – Схема сил резания, действующих на режущее лезвие

Считая клин абсолютно жестким телом, можно после сложения всех сил получить общую равнодействующую силу R , являющуюся силой сопротивления резанию. Учитывая сложности определения нормальных сил и сил трения, для удобства расчета технологических параметров процесса резания силу R раскладывают в трехосной системе координат X - Y - Z на две составляющие (рисунок 6.4):

- P_z – тангенциальная или главная составляющая силы резания (действует на режущий клин в направлении главного движения D_r по касательной к поверхности резания заготовки);

- P_y – радиальная составляющая силы резания (направлена вдоль движения подачи).

При наличии угла наклона режущей кромки на лезвии пилы будет действовать осевая составляющая силы резания P_x , которая направлена по касательной к режущей кромке.

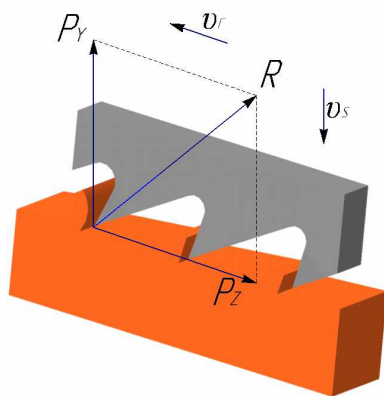


Рисунок 6.4. – Разложение равнодействующей силы R на составляющие

Наиболее важной из перечисленных сил является главная составляющая силы резания P_z . Она влияет на мощность, необходимую для осуществления процесса резания. Величина ее зависит от ряда факторов: ширины и толщины среза, свойств обрабатываемого материала, глубины резания и подачи, износа инструмента. Главная составляющая силы резания P_z при заданных режимах резания определяется экспериментально косвенным методом (по мощности привода).

Станок «PEGAS» 250x315 SHI-LR оснащен асинхронным трехфазным электродвигателем переменного тока. Трехфазным током называют систему, состоящую из трех однофазных токов одинаковой частоты, сдвинутых по фазе на одну треть периода друг относительно друга и протекающих

по трем проводам. Трехфазный ток получают в трехфазном генераторе, создающем три электродвижущие силы, сдвинутые по фазе на угол 120° (одну треть периода). Основной величиной при электрических расчетах является средняя или активная мощность:

$$N = I_\phi \cdot U_\phi \cdot \cos \varphi, \text{ Вт}, \quad (6.5)$$

где I_ϕ – фазное значение тока, А;

U_ϕ – фазное значение напряжения, В;

φ – угол сдвига фаз между током и напряжением.

При равномерной нагрузке трехфазной системы мощность, потребляемая каждой фазой, одинакова, поэтому мощность всех трех фаз

$$N = 3 \cdot I_\phi \cdot U_\phi \cdot \cos \varphi, \text{ Вт}. \quad (6.6)$$

Активную мощность трехфазного переменного тока при соединении звездой и треугольником определяют по формуле

$$N = \sqrt{3} \cdot I_\Delta \cdot U_\Delta \cdot \cos \varphi, \text{ Вт}. \quad (6.7)$$

Поскольку фазы потребителя или генератора при таком соединении подключаются непосредственно к линейным проводам, фазные напряжения их равны линейным, т.е. $U_\phi = U_\Delta$, а линейные токи по абсолютной величине больше фазных в 1,73 раза при одинаковой нагрузке фаз.

Подключив электродвигатель в сеть и контролируя напряжение, поочередно в цепь каждой из обмоток статора включают амперметр и замеряют потребляемый ток. Потребляемую мощность определяют по формуле (6.7).

Зная мощность, потребляемую двигателем станка, можно определить силу резания по формуле

$$P_z = N / v, \text{ Н}. \quad (6.8)$$

3. МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

1. Сталь 45 ГОСТ 1050, Сталь 20Х13 ГОСТ 5949.
2. Станок ленточнопильный консольный полуавтомат модели «PEGAS» 250x315 SHI-LR.
3. Амперметр клещевого типа.
4. Ленточное полотно (в зависимости от задания).

4. СТРУКТУРА ОТЧЕТА

1. Название, цель.
2. Краткие сведения об особенностях процесса резания на ленточно-пильных станках, элементах режима резания, видах стружки, силах резания.
3. Протоколы исследований параметров режима резания, вида стружки и измерения силы резания.
4. Выводы и графики.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите цель и порядок выполнения лабораторной работы.
2. Назначение ленточнопильных технологий.
3. Ленточнопильные технологии и их особенности.
4. Режимы резания, особенности назначения.
5. Выбор скорости резания и подачи.
6. Основные конструктивные и геометрические характеристики ленточных пил.
7. Виды стружки, влияние элементов режима резания на вид получаемой стружки.
8. Схема действующих на режущее лезвие сил резания.
9. Определение мощности ленточнопильного станка и силы резания.
10. Зависимость силы резания от изменения параметров режима обработки.

Протокол измерения подачи на зуб

№ опыта	Скорость главного движения резания v , м/мин	Диаметр заготовки d , мм	Число зубьев на дюйм	Шаг зубьев пилы A , мм	Положение тумблера переключения подачи	Время резания T , мин	Скорость движения подачи v_s , мм/мин	Подача на зуб S_z , мм/зуб
1					1			
2					2			
3					3			
4					4			
5					1			
6					2			
7					3			
8					4			

Заготовка: материал –

Режущий инструмент: тип, основные параметры (материал, ширина, толщина, длина режущего полотна) –

Протокол исследования формы стружки

№ опыта	Число зубьев на дюйм	Шаг зубьев пилы A , мм	Положение тумблера переключения подачи	Режимы резания		Диаметр заготовки d , мм	Вид стружки		
				v_s , мм/мин	v , м/мин		вид a	вид b	вид c
1			1						
2			2						
3			3						
4			4						
5			1						
6			2						
7			3						
8			4						

Протокол измерения мощности и силы резания

№ опыта	Серия опытов	Число зубьев на дюйм	Шаг зубьев пилы A , мм	Положение тумблера переключения подачи	Режимы резания		Диаметр заготовки d , мм	Сила тока на холостом ходу I , А	Мощность холостого хода N , кВт	Сила тока I , А	Мощность резания N , кВт	Сила резания P_z , Н
					v_s , мм/мин н	v , м/мин						
1	$P_z = f(S)$			1								
2				2								
3				3								
4				4								
5	$P_z = f(S)$			1								
6				2								
7				3								
8				4								

Параметры электродвигателя:

Лабораторная работа № 7

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ РЕЗАНИЯ

1. ЦЕЛЬ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Цель работы – ознакомиться с методами измерения температуры в зоне резания, приобрести навыки определения температуры в зоне резания, обработки экспериментальных данных и получения эмпирических зависимостей; установить влияние на среднюю контактную температуру зоны резания скорости, подачи и глубины резания.

Рекомендуется выполнять работу в следующем порядке:

1. Ознакомиться с принципом измерения температуры, с оборудованием и аппаратурой, используемыми в работе.
2. Экспериментально измерить температуру при изменении глубины резания t , подачи S и скорости резания v . Результаты занести в протокол исследований.
3. Построить графики зависимости температуры резания от глубины резания t , подачи S и скорости резания v в логарифмической сетке координат.
4. Обработать экспериментальные данные графическим способом и получить формулу для расчета температуры резания.
5. Оформить отчет и сформулировать выводы по лабораторной работе.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Способы и средства измерения температуры и тарирования термопар

В технике известно большое количество способов и средств измерения температуры. Самым распространенным способом является измерение температуры термопарами. Термопарой называется два разнородных проводника A и B , имеющих спай или прочное механическое соединение (рис. 7.1).

Если этот спай нагревать, а к свободным концам термопары подключить чувствительный регистрирующий прибор, например, гальванометр, потенциометр или милливольтметр, то в цепи появится электрический ток, напряжение которого составляет тысячные доли вольта (милливольты). В этом случае измерение температуры сводится к измерению силы или напряжения электрического тока цепи, составленной из термопары и прибора. Следует иметь в виду, что термопара регистрирует разность потенциалов нагретых и холодных спаев, т.е. разность температур этих спаев.

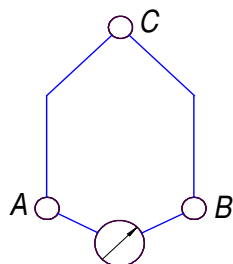


Рисунок 7.1. – Принципиальная схема термопары

Термопары, используемые при резании, принято делить на три группы: искусственные, полуискусственные (полуестественные) и естественные (рисунок 7.2).

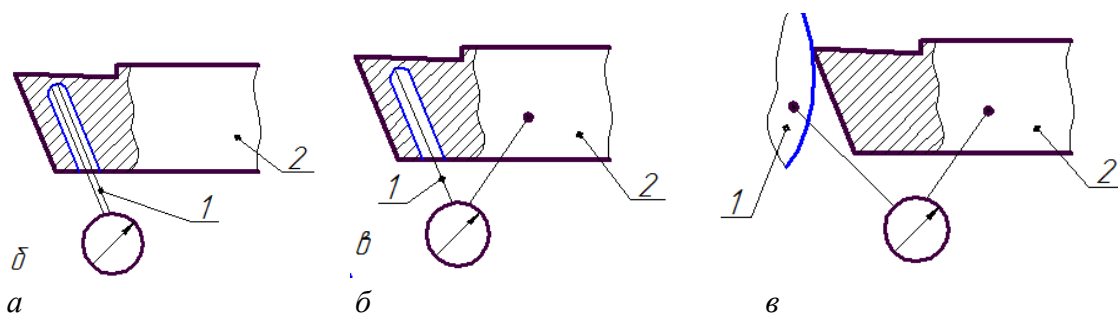


Рисунок 7.2. – Схемы термопар:

***a* – искусственной; *б* – полуискусственной; *в* – естественной;**

1 – проводник; 2 – инструмент

К искусственным относят термопары, представляющие собой спай двух проводников (рисунок 7.2, *a*). Для этих термопар в резце или заготовке обычно сверлятся глубокие отверстия таким образом, чтобы спай термопары был размещен предельно близко к зоне резания.

У полуискусственной, или полуестественной, термопары одним из электродов служит проводник (рисунок 7.2, *б*). В качестве второго термоэлектрода используется непосредственно резец или заготовка. Спай такой термопары образуется либо путем сварки проводника с резцом или заготовкой, либо его зачеканкой в отверстии.

Естественная термопара представляет собой резец и заготовку, которые выполняются, как правило, из различных материалов и имеют в процессе резания надежный контакт (рисунок 7.2, *в*). Этот контакт и является термочувствительным спаем естественной термопары. Главное преимущество естественной термопары – простота.

Недостаток – невозможность в процессе тарирования точно воспроизвести реальные условия работы термопары. Кроме того, естественная термопара усредняет температуру на всей площади контакта.

Схема измерения температуры естественной термопарой, используемой в лабораторной работе, приведена на рисунке 7.3.

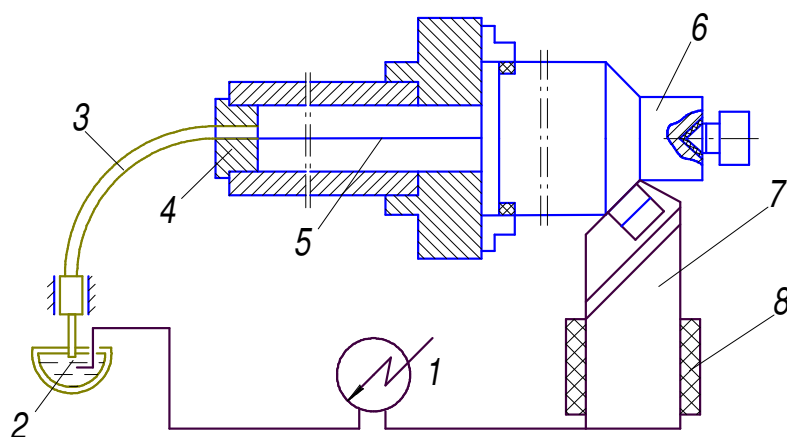


Рисунок 7.3. – Схема измерения температуры резания естественной термопарой:

- 1 – миллиамперметр; 2 – ртутная ванна; 3 – гибкий контакт;**
4 – изолирующая заглушка; 5 – токопровод; 6 – заготовка;
7, 8 – изолирующие прокладки

Место контакта резца 7 со стружкой и заготовкой 6 является спаем термопары. Термоэлектродвижущая сила от вращающейся детали передается на милливольтметр 1 через медный проводник 5, пропущенный в шпиндель станка, гибкий валик (тросик) 3 и ртутный скользящий контакт 2. Последний необходим для того, чтобы не было скручивания проводников. Резец имеет электрическую изоляцию 8 и медным проводом соединяется с милливольтметром 1.

Для перевода электрических показаний в градусы используются специальные переводные таблицы или графики, называемые тарировочными. Тарировочные таблицы и графики определяются из специального эксперимента, процесс выполнения которого называется тарированием.

Наиболее часто применяемый на практике метод тарирования заключается в следующем. В газовой или электрической муфельной печи (рис. 7.4.) располагают графитовый тигель с жидким металлическим сплавом 2 (конкретный состав сплава тигельной ванны зависит от рабочего интервала температур резания). В тигель погружают термометр 4 и удлиненные образцы материалов заготовки 3 и инструмента 5, представляющие собой в контакте с жидким металлом естественную термопару.

1

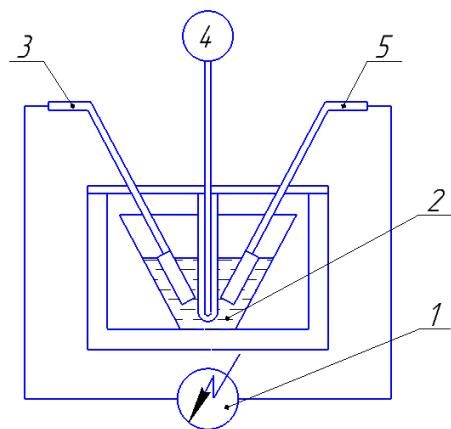
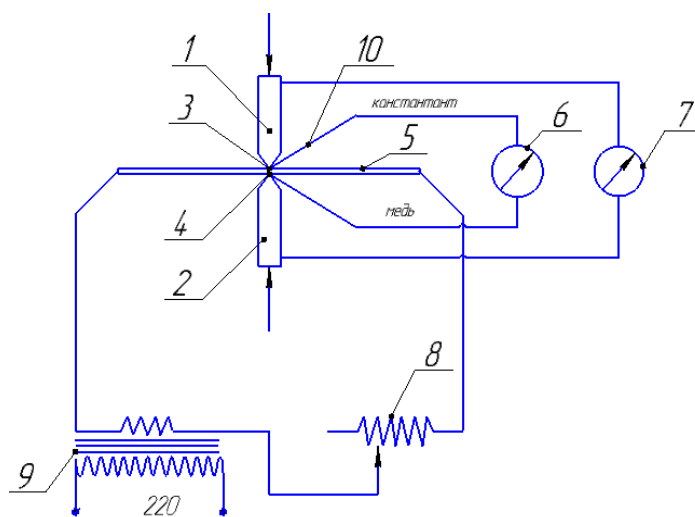


Рисунок 7.4. – Схема тарирования естественной термопарой в муфельной печи

Нагревая (охлаждая) тигель в печи до определенной температуры, находят соответствие между температурой (термометр 4) и термоЭДС (милливольтметр 1) и строят по этим данным тарировочный график.

Тарирование можно также произвести электроконтактным методом. Для тарирования изготавливаются стержни из материала детали 1 и материала режущей части инструмента 2 (рисунок 7.5).



**Рисунок 7.5. – Схема тарирования естественной термопары
электронным методом**

Стержни в специальном приспособлении с определенной силой P прижимаются к нагревательной нихромовой пластине 5. На участке сжатия стержней к нихромовому нагревателю 5 с обеих его сторон приварены пластинки 3 и 4, представляющие собой расплюснутые концы константанового и медного проводов. Эти пластинки являются полуголовками контрольной искусственной термопары 10 медь–константан, соединенной с прибором 6. К свободным концам исследуемых стержней присоединяется милливольтметр 7.

Нагрев нихромовой пластины 5 осуществляется переменным электрическим током от сети напряжением 220 в через трансформатор 9. Регулирование степени нагрева производится реостатом 8. Задавая, таким образом, разную температуру нагрева пластины и торцов тарированных стержней, получают на приборе 7 различные значения термоэлектродвижущей силы в милливольты. Снимая показания контрольной термопары 10 по прибору 6, который может быть проградуирован в градусах Цельсия, составляет тарировочную таблицу. По данным тарировочной таблицы строится тарировочный график в координатах милливольты–градусы.

2.2. Экспериментальное определение температуры резания

Формулу, определяющую зависимость температуры резания от элементов режима, часто представляют в виде степенного выражения, полученного на основании экспериментальных данных:

$$\theta = C_{\theta} \cdot t^{X_{\theta}} \cdot S^{Y_{\theta}} \cdot v^{Z_{\theta}} \cdot K_{\theta}, \quad (7.1)$$

где θ – температура резания, °С;

C_{θ} – коэффициент, зависящий от материалов заготовки и рабочей части инструмента, а также от других условий;

t – глубина резания, мм;

S – подача на оборот, мм/об;

v – скорость резания, м/мин;

X_{θ} , Y_{θ} , Z_{θ} – показатели степеней, зависящие от материалов заготовки и резца, а также от условий резания;

K_{θ} – коэффициент, учитывающий отличие заданных условий от условий, в которых производились эксперименты.

Если опыты проводятся при неизменных прочих условиях резания, то коэффициент K_{θ} можно принять равным единице ($K_{\theta} = 1$). Тогда

$$\theta = C_{\theta} \cdot t^{X_{\theta}} \cdot S^{Y_{\theta}} \cdot v^{Z_{\theta}}. \quad (7.2)$$

С целью определения показателей X_θ , Y_θ , Z_θ и коэффициента C_θ в формуле (7.2) проводятся опыты по измерению температуры резания при различных режимах обработки (t , S , v).

Исследовать влияние на температуру сразу всех элементов режима резания невозможно, поэтому опыты выполняются по сериям. В каждой серии изменяется лишь один из элементов режима резания (в первой серии, например, изменяется глубина резания t). Остальные параметры (подача и скорость резания) в этой серии остаются неизменными. Затем, во второй серии, за переменную величину берется другой параметр (например, подача S). Неизменными же в данной серии остаются глубина t и скорость v . В третьей серии изменяется скорость резания.

В каждой серии опытов берется не менее четырех значений переменного параметра. Во всех опытах измеряется температура, результаты измерения по сериям заносятся в протокол исследования.

Очевидно, что формула (7.2) применительно к каждой серии может быть записана в более простой форме:

- для серии глубин $\theta_t = C_{\theta_t} \cdot t^{X_\theta}$,
- для серии подач $\theta_S = C_{\theta_S} \cdot S^{Y_\theta}$,
- для серии скоростей $\theta_v = C_{\theta_v} \cdot v^{Z_\theta}$,

(7.3)

где множители C_{θ_t} , C_{θ_S} , C_{θ_v} , называемые коэффициентами в частных зависимостях, включают в себя величины, постоянные в данной серии, т. е.

$$\begin{aligned} C_{\theta_t} &= C_\theta S^{Y_\theta} v^{Z_\theta}, \\ C_{\theta_S} &= C_\theta t^{X_\theta} v^{Z_\theta}, \\ C_{\theta_v} &= C_\theta t^{X_\theta} S^{Y_\theta}. \end{aligned} \quad (7.4)$$

Показатели степеней X_θ , Y_θ , и Z_θ , коэффициенты в частных зависимостях C_{θ_t} , C_{θ_S} , C_{θ_v} , а также коэффициент C_θ в общей зависимости определяются по следующей методике.

Установлено, что эти степенные зависимости в определенных диапазонах изменения t , S , v могут быть приведены к прямолинейным путем их логарифмирования:

- для глубины резания $\lg \theta_t = \lg C_{\theta_t} + X_\theta \lg t$;
- для подачи $\lg \theta_S = \lg C_{\theta_S} + Y_\theta \lg S$;
- для скорости резания $\lg \theta_v = \lg C_{\theta_v} + Z_\theta \lg v$.

(7.5)

Графическая интерпретация этих зависимостей для конкретных условий обработки представлена на рисунке 7.6. Степень влияния элементов режима резания на температура резания θ °С оценивается по тангенсу угла наклона полученных прямых графиков:

$$X_{\theta} = \operatorname{tg} \alpha_t, Y_{\theta} = \operatorname{tg} \alpha_s, Z_{\theta} = \operatorname{tg} \alpha_v. \quad (7.6)$$

С ростом глубины резания t или ширины среза b прямо пропорционально растет сила, работа резания и количество выделяющейся теплоты. Во столько же раз увеличивается и длина активной части режущего лезвия, а соответственно и отвод тепла. Поэтому с увеличением b температура резания θ °С изменяется незначительно и характеризуется показателем $X_{\theta} \approx 0,1$ (рисунок 7.6, а).

С увеличением подачи S или толщины среза a сила резания P_z растет примерно в степени 0,75; возрастают также работа резания и количество выделяемого тепла. Одновременно растет площадь контакта стружки с передней поверхностью резца. Это улучшает условия отвода тепла, поэтому рост θ °С отстает от роста a , и показатель степени составляет $Y_{\theta} \approx 0,2...0,3$ (рисунок 7.6, б).

Анализ зависимости на рисунке 7.6, в показывает, что с увеличением v возрастает количество тепла в зоне резания, а также температура нагрева заготовки, стружки и инструмента. Однако рост температуры в зоне резания отстает от роста скорости резания. Это отставание особенно усиливается в зоне высоких скоростей и характеризуется показателем степени $Z_{\theta} < 1$.

С ростом прочности, твердости и пластичности обрабатываемого материала (коэффициент C_{θ}) возрастает температура резания. Чем выше теплопроводность обрабатываемого материала, тем ниже θ , т.е. отвод тепла более интенсивен.

Влияние свойств обрабатываемого материала на температуру резания определяется для повторяющегося в каждой серии опыта с одинаковыми значениями t , S и v по следующим формулам:

$$\begin{aligned} - \text{ для серии глубин } C_{\theta t} &= \frac{\theta_t}{t^{X_{\theta}} S^{Y_{\theta}} v^{Z_{\theta}}}; \\ - \text{ для серии подачи } C_{\theta s} &= \frac{\theta_s}{t^{X_{\theta}} S^{Y_{\theta}} v^{Z_{\theta}}}; \\ - \text{ для серии скоростей } C_{\theta v} &= \frac{\theta_v}{t^{X_{\theta}} S^{Y_{\theta}} v^{Z_{\theta}}}, \end{aligned} \quad (7.7)$$

$$\text{и в конечном итоге } C_{\theta} = \frac{C_{\theta t} + C_{\theta s} + C_{\theta v}}{3} ..$$

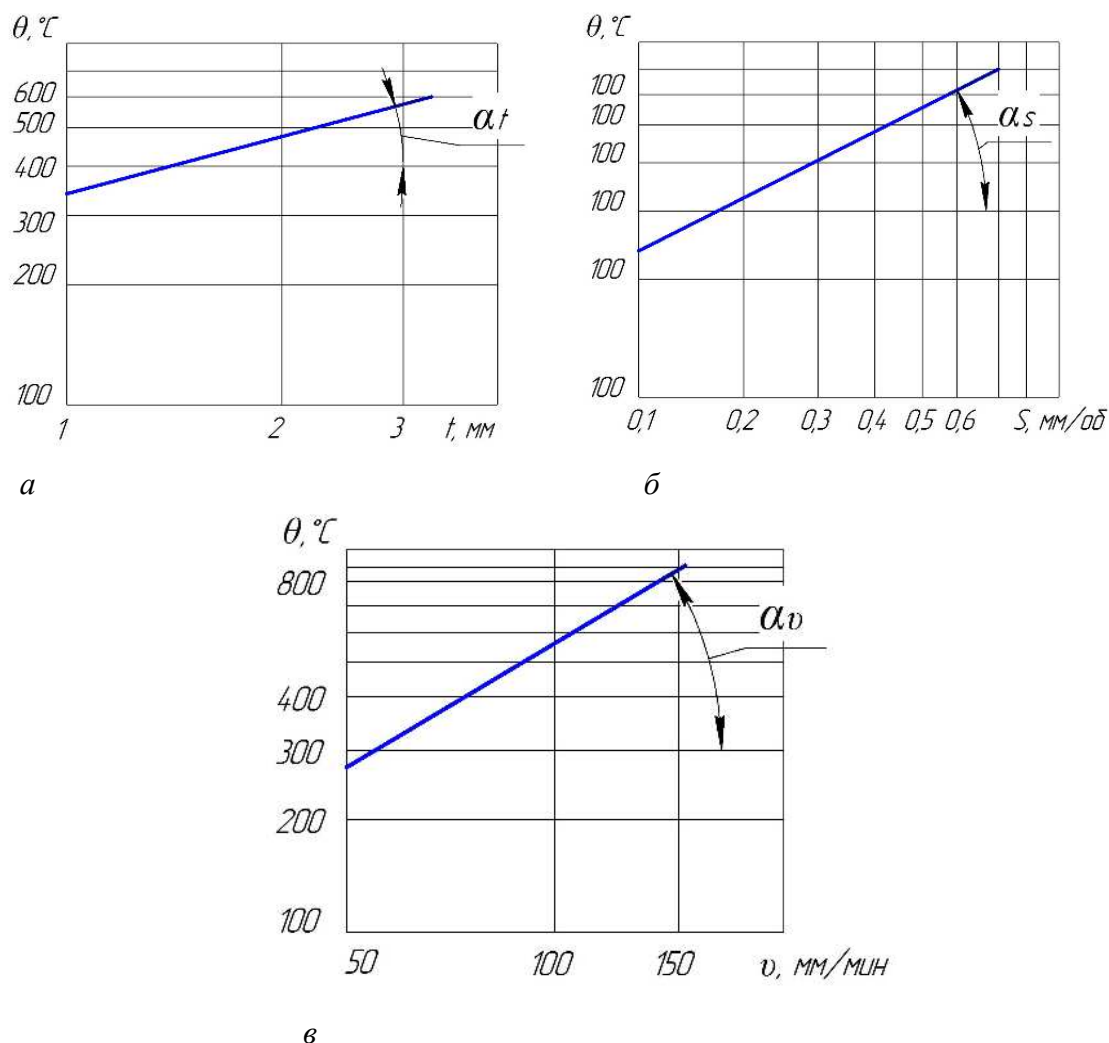


Рисунок 7.6. – Зависимости температуры резания θ °C:
а – от глубины резания; б – от подачи

В заключение формула (7.2) записывается в конкретном виде, т.е. вместо величин X_θ , Y_θ , Z_θ и C_θ в ней должны стоять численные значения, полученные в результате графической обработки опытных данных. Элементы режима резания остаются в буквенном выражении.

Сопоставление численных значений показателей в полученной формуле позволяет сделать заключение о степени влияния отдельных элементов режима резания на контактную температуру инструмента. Чем больше показатель степени при какой-то переменной, тем значительнее влияет эта переменная на температуру.

Основываясь на формуле (на анализе показателей), можно рекомендовать пути снижения температуры резания и повышения стойкости инструмента, не снижая при этом производительности обработки.

3. МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

1. Сталь 45 ГОСТ 1050, Сталь 40Х ГОСТ 4543.
2. Станок токарно-винторезный модели JET GH-1849ZX.
3. Термопары.
4. Устройство для тарирования термопар.
5. Миллиамперметр Э536.

4. СТРУКТУРА ОТЧЕТА

1. Название, цель лабораторной работы.
2. Описание схем измерения температуры резания и устройств для тарирования термопары.
3. Результаты обработки данных опытов с графиками и формулами.
4. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается суть работы?
2. Назовите основные методы, способы и приборы для измерения температуры резания.
3. На чем основан метод измерения температуры в зоне резания термопарой?
4. Назовите и опишите разновидности используемых термопар при резании.
5. Объяснить схему измерения температуры естественной термопарой.
6. Объяснить принципиальную схему тарирования.
7. Запишите формулу для расчета температуры резания.
8. Каков порядок проведения опытов по определению температуры резания?
9. Как производить обработку опытных данных?
10. Как влияют элементы режима резания t , S и v на температуру резания, что влияет значительно больше всего?

Протокол исследования температуры резания

№ опыта	Серия опытов	Режим резания				Диаметр заготовки d , мм	Температура резания	
		t , мм	S , мм/об	n , мин ⁻¹	v , м/мин		mA	θ °C
1	$\theta = f(t)$							
2								
3								
4								
1	$\theta = f(S)$							
2								
3								
4								
1	$\theta = f(v)$							
2								
3								
4								

Станок: модель –

Прибор измерительный: модель –

Заготовка: материал –

Режущий инструмент: тип –

Материал режущего лезвия –

Геометрия режущего лезвия –

Лабораторная работа № 8
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ
И ТЕМПЕРАТУР В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПИРОМЕТРА МОДЕЛИ
«OPTRIS LAZER SIGHT»

1. ЦЕЛЬ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Цель работы – изучить теплообмен излучением, ознакомиться с методами бесконтактного измерения температуры в зоне резания, измерить температуру объекта технологической системы с использованием пирометра модели «Optris LS».

Рекомендуется выполнять работу в следующем порядке:

1. Изучить теплообмен излучением, методы пирометрии, конструкции и принципы работы пирометров.
2. Подготовить для эксперимента заданную технологическую систему согласно варианту задания.
3. Настроить пирометр модели «Optris LS» на коэффициент излучения измеряемого материала (таблица 8.1).
4. Измерить температуру заданного объекта в технологической системе в соответствии с предварительно выбранными режимами обработки.
5. Произвести оценку измеренных значений температуры.
6. Заполнить протокол экспериментального определения температуры в детали при различных режимах резания и составить отчет по работе.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Понятие теплового излучения

Для измерения температуры твердых тел можно использовать их тепловое излучение, т.к. известно, что различные свойства (параметры) теплового излучения нагретых тел зависят от их температуры.

Тепловое излучение – излучение, возникающее в результате теплового возбуждения частиц вещества (атомов, молекул). Тепловое излучение носит электромагнитный характер, т.е. представляет собой совокупность электромагнитных волн или фотонов. Иначе говоря, энергия поступательного, вращательного и колебательного движения атомов и молекул за счет неупругих столкновений передается их валентным электронам и преобра-

зуется в энергию электромагнитного излучения. При обычных температурах тепловое излучение не воспринимается человеческим глазом.

Это излучение свойственно всем телам, температура которых выше абсолютного нуля $T_0 = -273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$, и характеризуется сплошным спектром, положение максимума которого зависит от температуры. При высоких температурах максимум интенсивности смещен в видимую и ультрафиолетовую область электромагнитных волн (например, если раскалить кусок металла, тепловое излучение становится видимым, т.е. тело начинает светиться), а при низких (комнатных) – в инфракрасную область спектра.

Инфракрасное излучение имеет две важные характеристики: длину волны (частоту) излучения и интенсивность излучения. Интенсивность инфракрасного излучения наряду с температурой также зависит от материала и свойств поверхностей объекта измерения. Каждый материал имеет определенную способность испускать инфракрасное излучение. Способность излучения характеризуется постоянной материала – коэффициентом излучения ε (таблица 8.1).

Коэффициент излучения ε (называемый иногда степенью черноты) характеризует способность поверхности тела излучать инфракрасную энергию. Этот коэффициент определяется как отношение энергии, излучаемой конкретной поверхностью при определенной температуре к энергии излучения абсолютно черного тела при той же температуре. Черное тело поглощает все падающее на него излучение независимо от длины волны этого излучения, направления падения и его поляризации, поэтому излучение абсолютно черного тела зависит только от его температуры. Такие тела в природе не встречаются, приближением к ним являются различные виды сажи.

Величина коэффициента излучения ε может быть в диапазоне от 0 (зеркало) до 1 (абсолютно черное тело).

Для абсолютно черного тела (которое поглощает 100% падающего на него излучения) характерны следующие закономерности теплового излучения:

- при повышении температуры тела возрастает спектральная энергетическая яркость и светимость на всех длинах волн;
- при нагревании тела максимум спектральной светимости смещается в сторону более коротких длин волн (закон смещения Вина);
- с ростом температуры тела возрастает полная (интегральная) светимость поверхности объекта.

Данные закономерности положены в основу принципа действия яркостных, цветовых и радиационных пирометров.

2.2. Классификация и устройство пирометров

Методы, основанные на различных принципах преобразования теплового излучения объекта измерения в непосредственно измеряемую физическую величину, называют *бесконтактными*, или *пирометрическими*, методами измерения температуры, а средства измерения, реализующие эти методы – пирометрами. Они позволяют контролировать температуру от 100 до 6000 °С и выше.

Температурные измерения с использованием бесконтактных способов называются *пирометрией*.

Пирометрические методы измерения температуры имеют следующие преимущества:

- высокое быстродействие;
- возможность измерения температуры движущихся объектов и элементов оборудования, находящихся под высоковольтным потенциалом;
- отсутствие искажения температурного поля объекта контроля, что особенно актуально при измерении температуры материалов с низкой теплопроводностью (дерево, пластик и др.);
- отсутствие риска повреждения очень тонких поверхностей и форм в случае мягких (пластичных) объектов;
- возможность измерения высоких температур, при которых применение контактных средств измерения либо невозможно, либо время их работы очень невелико;
- возможность работы в условиях повышенной радиации и температуры окружающей среды.

По принципу действия пирометры делят:

- на инфракрасные или радиационные (односпектральные), использующие радиационный метод для ограниченного инфракрасного волнового диапазона, для точного наведения на цель снабжены лазерным указателем;
- оптические пирометры, работающие в не менее, чем в двух диапазонах: инфракрасного излучения и спектра видимого света. Оптические пирометры в свою очередь делятся:
 - на яркостные односпектральные (пирометры с пропадающей нитью), основанные на эталонном сравнении излучения предмета с величиной излучения нити, сквозь которую пропускается электроток;

– цветные (мультиспектральные), работающие по принципу сравнения энергетических яркостей тела в различных областях спектра, – используется как минимум два детектирующих участка.

Радиационные пирометры. Радиационная пирометрия использует зависимость энергетической яркости (интенсивности) излучения от температуры в ограниченном диапазоне волн – как правило, в инфракрасном диапазоне (соответственно, измерительные приборы, использующие этот метод, называются инфракрасными термометрами, инфракрасными радиометрами или инфракрасными пирометрами).

Принцип, на котором основывается радиационная пирометрия, заключается в прямо пропорциональной зависимости яркости излучения объекта от его температуры, т.е. измерив и пересчитав яркость, можно получить точное значение температуры. Таким образом, ключевым узлом пирометра, использующего данный метод измерения, является датчик, который преобразует тепловую энергию в электрический сигнал (ток или напряжение).

На рисунке 8.1 представлена принципиальная схема радиационного пирометра. Поток теплового излучения фокусируется оптической системой 2 и зеркалами 3 направляется на датчик 4 первичного преобразования тепловой энергии в электрический сигнал с величиной напряжения, прямо пропорциональной инфракрасному излучению.

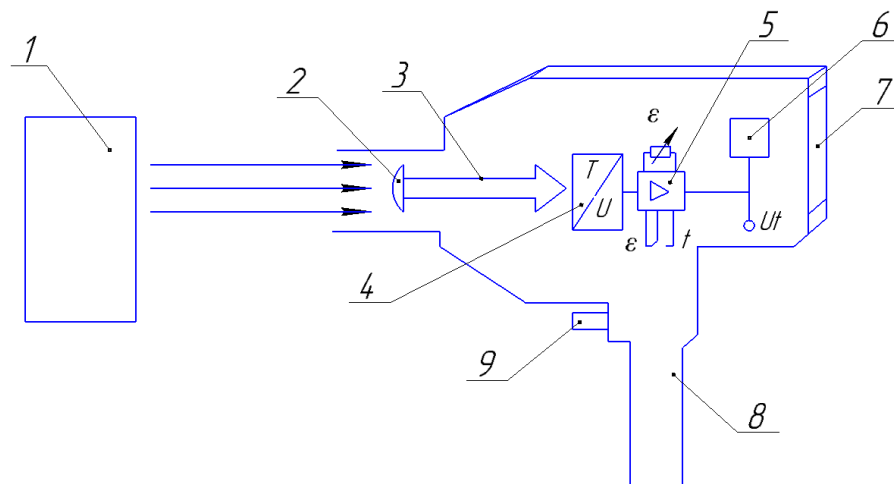


Рисунок 8.1. – Схема радиационного пирометра:

- 1 – излучатель; 2 – оптическая система; 3 – зеркало; 4 – датчик;
5 – электронный преобразователь; 6 – измерительное счетное устройство;
7 – дисплей; 8 – корпус пирометра; 9 – триггер

Вторичное преобразование электрического сигнала происходит в электронном устройстве 5, после которого измерительно-счетный модуль 6 осуществляет вывод информации на дисплей 7, как правило, в цифровом виде.

Яркостные пирометры. Зависимость спектральной энергетической яркости теплового излучения тела от температуры этого тела положена в основу принципа яркостных пирометров, один из вариантов исполнения которых показан на рисунке 8.2.

Изображение излучателя 1 с линзой 2 и диафрагмой 4 объектива пирометра фокусируется в плоскости нити накаливания 5. Оператор через диафрагму 6, линзу окуляра 8, красный светофильтр 7 на фоне раскаленного тела видит нить лампы. Перемещая движок реостата 11, оператор изменяет силу тока, проходящего через лампу, и добивается уравнивания яркостей нити и излучателя. Момент «исчезновения» нити на фоне объекта соответствует равенству яркостей нити и объекта излучения. Регистрирующий прибор 9 фиксирует силу тока, соответствующую этому моменту, и позволяет произвести считывание результата измерения температуры объекта излучения, °С.

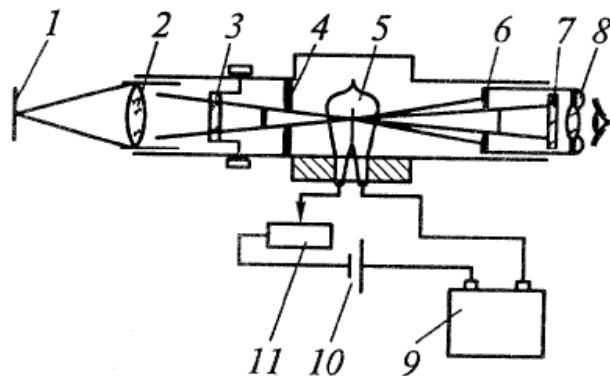


Рисунок 8.2. – Схема яркостного пирометра:

- 1 – излучатель; 2, 3 – линза; 4, 6 – диафрагма; 5 – нить накаливания;
7 – светофильтр; 8 – линза окуляра;
9 – регистрирующий прибор; 10 – источник питания; 11 – реостат

Данный тип пирометров позволяет измерять температуры в интервале 700...8000 °С. Основная допустимая погрешность измерения для интервала температур 1200...2000 °С составляет ± 20 °С.

Достоинством таких приборов является простота и удобство в работе. Недостатком – субъективизм, а также то, что измеряется так называемая яркостная температура, которая отличается от действительной.

Цветовые пирометры. Чем выше температура и интенсивней тепловое движение носителей заряда в теле объекта, тем на более высоких частотах идет излучение. Растет значение спектральной энергетической светимости на всех длинах волн, но преимущественно на коротких. Кривая спектра, поднимаясь, одновременно сдвигается в сторону коротких волн.

Таким образом, при увеличении температуры вместе с ростом интенсивности света, воспринимаемой зрением как яркость, меняется соотношение различных частотных составляющих. Меняется относительное возбуждение различных типов чувствительных клеток сетчатки – колбочек, меняется воспринимаемый зрением цвет. Очень условно можно предполагать, что железная кочерга, нагретая до температуры до 1000 К, излучает только инфракрасное излучение. При дальнейшем увеличении температуры спектр переходит в видимый диапазон, и тело начинает светиться темно-красным цветом (красное каление). Затем свет станет ярче, в спектре появится оранжевый цвет, затем увеличится доля желтого, зеленого, голубого, синего и фиолетового. Цвет перейдет из темно-красного в красно-оранжевый = светло-красный, затем в красно-оранжево-желтый = рыжий, затем красно-оранжево-желто-зеленый = рыже-желтый, затем в красно-оранжево-желто-зелено-голубой = светло-желтый, затем в красно-оранжево-желто-зелено-голубо-синий = очень светло-желтый, затем в спектре будут почти в равном соотношении все цвета радуги, и цвет станет почти белым (белое каление). Температура рыжего пламени свечи – 1900 К, рыже-желтой нити накаливания – 3200 К, светло-желтой поверхности солнца – 5600 К.

Таким образом, цвет нагретого объекта зависит от его температуры. Приборы, основанные на использовании данной закономерности, называются цветовыми пирометрами. Функциональная схема цветового пирометра приведена на рисунке 8.3.

Эти пирометры измеряют цветовую температуру объекта по отношению интенсивностей излучения в двух определенных участках спектра. Основное преимущество таких пирометров заключается в независимости их показаний от излучательной способности объекта, а также от наличия дыма, пыли и испарений в пространстве между объектом и пирометром. Световой поток от объекта измерения 1 прерывается обтюратором 4 с двумя светофильтрами, пропускающими излучение на двух длинах волн λ_1 и λ_2 к фотоэлементу 5, что вызывает появление на выходе фотоприемника переменного сигнала, амплитуда которого пропорциональна отношению спектральных светимостей входных потоков света. Таким образом, ампли-

туда переменной составляющей выходного сигнала зависит от температуры поверхности объекта контроля. Переменная составляющая выходного сигнала фотоприемника усиливается в усилителе 6 и подается на реверсивный двигатель 7, который перемещает уравнивающий фильтр 3 до тех пор, пока не уравниваются интенсивности излучения на обеих длинах волн. В положении равновесия переменная составляющая выходного сигнала фотоприемника исчезает, а перемещение фильтра 3 является мерой измеряемой температуры.

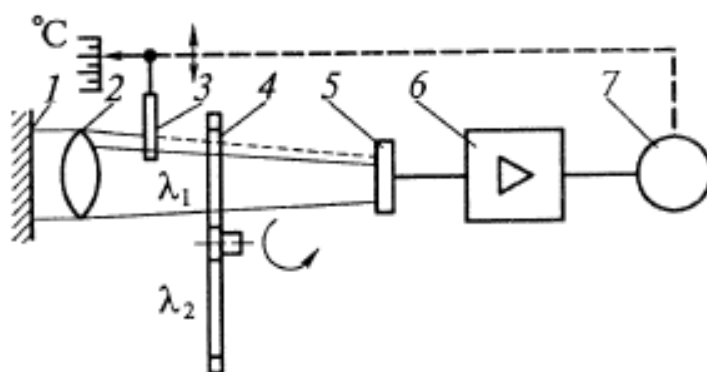


Рисунок 8.3. – Функциональная схема цветового пирометра: 1 – объект измерения; 2 – объектив; 3 – фильтр; 4 – obtюратор; 5 – фотозлемент; 6 – усилитель; 7 – реверсивный двигатель

2.3. Работа с пирометром модели «Optris LS»

Внешний вид пирометра модели «Optris LS» представлен на рисунке 8.4.

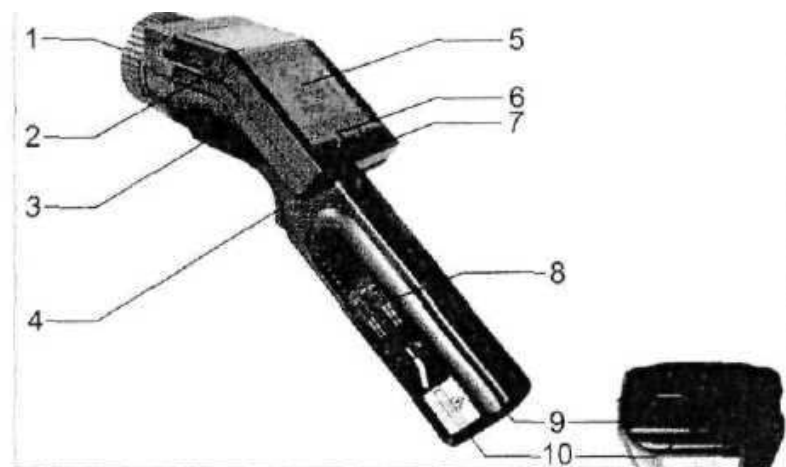


Рисунок 8.4. – Внешний вид пирометра модели «Optris LS»

В состав пирометра входят: 1 – объектив; 2 – переключатель фокуса 5P/CP; 3 – гнездо для штатива; 4 – обтюратор; 5 – триггер; 6 – дисплей; 7 – кнопки Вверх (Up) / Вниз (Down); 8 – клавиши режимов Mode I/II; 9 – рукоятка с отсеком питания; 10 – USB разъем; 11 – гнездо для контактного термометра.

Порядок проведения измерений. Удерживая пирометр, как показано на рисунке 8.5, его наводят на измеряемый объект. После нажатия на триггер 1 включается дисплей и на поверхности измеряемого объекта лазерным указателем визуализируется место расположения и реальный размер пятна измерения, с которого тепловой датчик преобразует тепловую энергию в электрический сигнал. На дисплее 2 появляется значение температуры поверхности объекта.

Пирометр можно использовать в вертикальном положении (направление вниз). В таком положении легко можно измерить элементы электронных плат. Держать прибор необходимо, как показано на рисунке 8.6. При положении переключателя дисплея в режим Auto (по умолчанию) или в On кнопка режима Mode I имеет автоматическую функцию триггера 1, и показания на дисплее 2 поворачиваются на 180°. При вертикальном положении прибора, в связи с переключением дисплея, положение кнопок режима (I и II) будет изменяться.



Рисунок 8.5. – Проведения измерений при горизонтальном положении пирометра

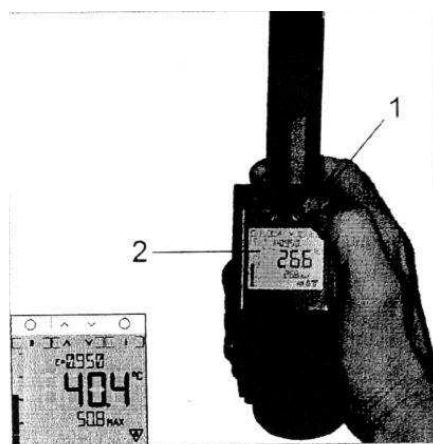


Рисунок 8.6. – Проведения измерений при вертикальном положении пирометра

Измеренная температура (рисунок 8.7) отображается на главном дисплее 1. На верхнем дисплее показана максимальная температура 2, на нижнем дисплее – значение коэффициента излучения 3. Графический дисплей в правой части 4 показывает тренд температуры. Шкала устанавливается автоматически в пределах между минимальным значением и макси-

мальным значением. Значение температуры сохраняется на дисплее в течение 7 с после отпускания триггера. Если после истечения этого времени не было нажато ни одной кнопки, прибор автоматически отключается.

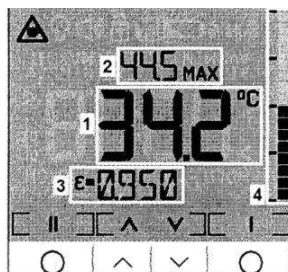
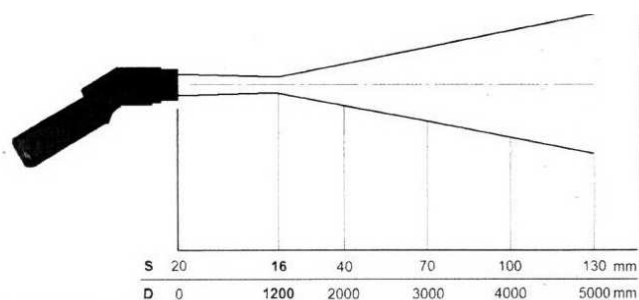


Рисунок 8.7. – Отображение полученной информации после измерения

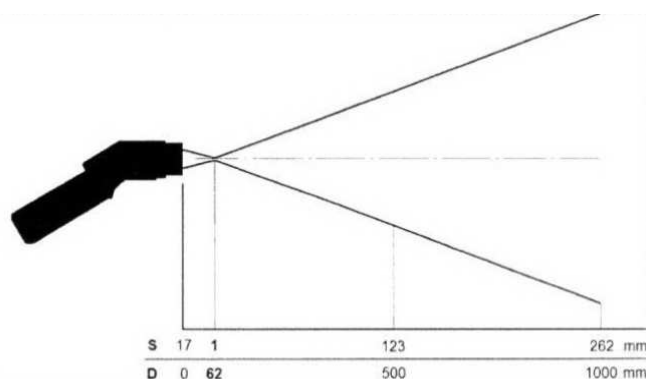
Оптическое разрешение. Пирометр Optris LS оснащен перестраиваемой оптикой. Два возможных режима работы обозначаются как SF (стандартный фокус) и CF (близкий фокус) соответственно (рисунок 8.8).



$D:S$ (в точке фокуса) = 75:1/ 16 мм на 1200 мм

$D:S$ (дальнее поле) - 36:1

a



$D:S$ (в точке фокуса) = 62:1/ 1 мм на 62 мм

$D:S$ (дальнее поле) = 4:1

б

Рисунок 8.8. – Режимы работы пирометра «Optris LS»:
a – режим SF/перекрестный лазер; *б*-режим CF/двухточечный лазер;
D – дистанция до объекта измерения; *S* – размер пятна;

В режиме SF (стандартный режим измерений) могут быть измерены объекты диаметром от 16 мм и более. Лазер с пересекающимися лучами показывает реальный размер измеряемого пятна на поверхности объекта независимо от расстояния до объекта и без параллакса.

В режиме «близкий фокус» CF можно измерять объекты размером от 1 мм (в т.ч. компоненты электронных схем). В этом режиме двухлучевой лазер показывает пятно измерения на объекте. Лучи лазера сходятся в точке фокуса на расстоянии 62 мм от передней плоскости и показывают наименьшее пятно измерения диаметром 1 мм.

Для переключения между режимами «стандартной» и «близкофокусной» оптики необходимо передвинуть переключатель режимов Optic switch, находящийся рядом с дисплеем, в соответствующее положение.

Методы определения неизвестного коэффициента излучения.

1. Определяется действительное значение температуры объекта с помощью контактного датчика – термопары, термометра сопротивления и т.д. Затем измеряется температура при помощи пирометра и подбирается такая степень черноты, чтобы показания пирометра совпали с показаниями контактного датчика (термопары).

2. При сравнительно низких температурах объекта (до 250 °С) на участок поверхности объекта наклеивается лента черного цвета (например, электроизоляционная). Затем измеряется температура ленты при помощи пирометра при установленной степени черноты 0,95. После этого измеряется с помощью пирометра незакрытая лентой часть объекта и подбирается такая степень черноты, чтобы показания пирометра совпали с результатом измерения ленты.

3. Если часть объекта может быть окрашена, дополнительно окрашиваем ее матовой черной краской, которая имеет степень черноты около 0,98. Затем производятся измерения температуры окрашенного участка при помощи пирометра при установленной степени черноты 0,98. После этого измеряется с помощью пирометра неокрашенная часть объекта и подбирается такая степень черноты, чтобы показания пирометра совпали с результатом измерения на окрашенном участке.

3. МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

1. Сталь 45 ГОСТ 1050, сталь 40Х ГОСТ 4543.
2. Станок токарно-винторезный модели JET GH-1849ZX.
3. Станок сверлильный модели 2Н125.

4. Станок вертикально-фрезерный горизонтальный модели 6P11.
5. Пирометр модели «Optris Lazer Sight».

4. СТРУКТУРА ОТЧЕТА

1. Название, цель и порядок выполнения лабораторной работы.
2. Краткие сведения о методах пирометрии и пирометрах.
3. Схема измерения температуры объектов технологической системы пирометром «Optris LS».
4. Протокол назначенных режимов обработки и результатов измерения температуры.
5. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы цель и порядок выполнения работы?
2. Что такое тепловое излучение?
3. Какое влияние на результаты измерения оказывает величина коэффициента излучения измеряемого объекта?
4. Назовите основные методы измерения температуры.
5. Опишите принцип действия радиационного пирометра.
6. Опишите принцип работы яркостного пирометра.
7. Опишите функциональную схему цветового пирометра.
8. Устройство пирометра модели «Optris LS».
9. Порядок работы с пирометром «Optris LS».
10. Как влияют элементы режима резания t , S и v на температуру объекта технологической системы, что влияет значительней всего?

Таблица 8.1. – Коэффициенты излучения для различных материалов

Материал поверхности	Коэффициент излучения ϵ
Глинозем, обработка пламенем	0,8
Алюминиевый лист	0,09
Алюминиевая Фольга	0,04
Алюминий сильно окисленный	0,2–0,31
Алюминий полированный	0,039–0,057
Алюминий грубой обработки	0,07
Сурьма полированная	0,28–0,31
Асфальт	0,93
Базальт	0,72
Бериллий	0,18
Висмут	0,34
Полость черного тела	1,00
Черная оптическая диафрагма	0,95
Черная краска силиконовая	0,93
Черная краска эпоксидная	0,89
Черная краска эмаль	0,80
Медная необработанная пластина	0,22
Латунь полированная	0,03
Латунь, окисленная при 600 °С	0,6
Красный кирпич	0,9
Кирпич, огнеупорная глина	0,75
Кадмий	0,02
Углерод неокисленный	0,81
Углеродистая нить	0,77
Поверхность, обработанная прессованием углеродом	0,98
Чугун после плавки	0,44
Чугун, после плавки и тепловой обработки	0,60–0,70
Хром полированный	0,08–0,36
Бетон	0,85
Бетонные плитки	0,63
Хлопковая ткань	0,77
Слой металла, нанесенный на медь гальваническим способом	0,03
Медь нагретая и покрытая толстым окисным слоем	0,78
Полируемая медь	0,023–0,052
Медно-никелевый сплав полированный	0,059
Стекло	0,92
Чистое золото высокой полировки	0,018–0,035
Гранит	0,45
Гипс	0,85
Лед	0,97

Инконель окисленный	0,71
Железо полированное	0,14–0,38
Железо, пластина, покрытая красной ржавчиной	0,61
Железо, темно-серая поверхность	0,31
Железо, грубый слиток	0,87–0,95
Ламповая сажа	0,96
Свинец чистый неоокисленный	0,057–0,075
Свинец окисленный	0,43
Окись магния	0,20–0,55
Магний полированный	0,07–0,13
Мрамор белый	0,95
Ртуть жидкая	0,1
Мягкая сталь	0,20–0,32
Молибден полированный	0,05–0,18
Никель, полированный	0,072
Никель, окисленный	0,59–0,86
Провод нихромовый	0,65–0,79
Бумага офисная	0,55
Гипс	0,98
Платина, полируемая пластина	0,054–0,104
Фарфор глазурованный	0,92
Пластмассы	0,91
Каучук, твердая глянцевая пластина	0,94
Каучук, мягкий	0,86
Песок	0,76
Опилки	0,75
Кремниевый карбид	0,83–0,96
Серебро полированное	0,02–0,03
Сталь нержавеющая	0,85
Сталь нержавеющая полированная	0,075
Сталь нержавеющая	0,54–0,63
Олово неоокисленное	0,04
Титан полированный	0,19
Вольфрам полированный	0,04
Вольфрамовая нить	0,032–0,35
Вода	0,95–0,963
Дуб	0,91

Протокол экспериментального определения тепловых потоков и температур в технологических системах

№ опыта	Серия опытов	Режимы резания				Температура резания													
		t , мм	S_o , мм/об	n , мин ⁻¹	v , м/мин	Index	Date	Time	Tobj	Tobj Min-	Tobj Max	Tobj Avg	Tobj Diff	Tint	Text	Hi-alarm	Lo-Alarm	Eps	Name
1	$\theta = f(v)$																		
2																			
3																			
4																			

Примечание: Index – порядковый номер измерения; Date – дата измерения; Time – время измерения; TObj – температура объ-екта; TObj Min – минимальная температура объекта; TObj Max – максимальная температура объекта; TObj Avg – средняя темпера-тура объекта; TInt – внутренняя температура пирометра; TExt – температура внешнего датчика (если подключен); Hi-Alarm – значе-ние порога сигнализации по верхнему пределу; o-Alarm – значение порога сигнализации по нижнему пределу; Eps – значение коэф-фициента излучения.

- Станок: модель –
- Прибор измерительный: модель –
- Заготовка: материал –
- Режущий инструмент:
- тип –
- материал режущего лезвия –
- геометрия режущего лезвия –

Лабораторная работа № 9
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ
И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕЗВИЯ
НА ИЗНОС РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

1. ЦЕЛЬ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Цель работы – изучить влияния элементов режима резания и геометрических параметров лезвия на износ различных режущих инструментов.

Рекомендуется выполнять работу в следующем порядке:

1. Изучить основные виды износа и характер изнашивания различных инструментов.
2. Ознакомиться с методикой проведения эксперимента, оборудованием и аппаратурой.
3. Произвести эксперимент по определению влияния элементов режима резания и геометрических параметров лезвия на износ инструмента согласно варианту задания.
4. Обработать результаты эксперимента. Построить графики зависимостей износа инструмента от элементов режима резания и геометрических параметров лезвия.
5. Составить отчет по работе.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Виды изнашивания инструмента

Действующие на инструмент в процессе резания силы напряжения и температура приводят к потере им режущих свойств. Потеря режущей способности инструмента вызывается *изнашиванием* его контактных (передней и задней) поверхностей. Изнашивание проявляется в *износе* лезвия инструмента. Под *износом* понимают величину, характеризующую изменение формы и размеров режущего инструмента (лезвия) вследствие изнашивания при резании.

Инструмент с изношенным режущим лезвием снижает качество обработки, в частности увеличивает шероховатость и ухудшает состояние поверхностного слоя детали. Поэтому важно знать момент снятия инструмента со станка для его восстановления. С точки зрения себестоимости (С) процесса резания существует оптимальное время (τ_0) работы инструмента до восстановления (рисунок 9.1).

До значения τ_0 затраты на инструмент окупаются, а дальнейшая эксплуатация инструмента (после τ_0) приводит к удорожанию процесса обработки.

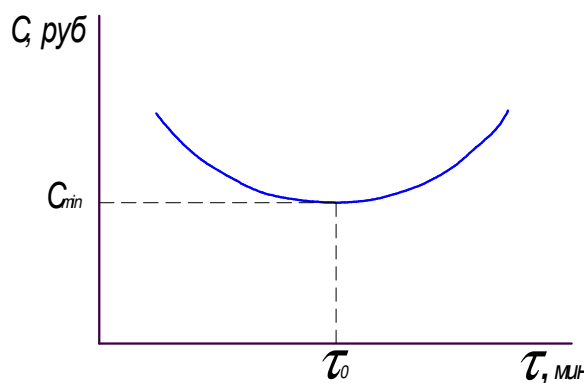


Рисунок 9.1. – Зависимость себестоимости обработки от времени работы инструмента

Результаты исследований изнашивания режущих инструментов основываются на существующих представлениях науки о трении и износе (трибологии). Чаще всего при резании выделяют следующие виды изнашивания инструмента: абразивно-механическое, адгезионно-диффузионное, окислительное, термоусталостное. Рассмотрим механизм проявления этих видов изнашивания.

Абразивно-механическое изнашивание. Модель абразивно-механического изнашивания представлена на рисунке 9.2, а.

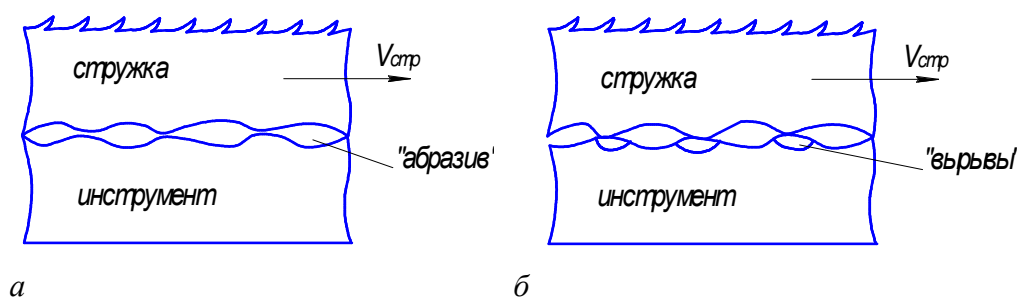


Рисунок 9.2. – Схемы механизмов абразивного (а) и адгезионно-диффузионного (б) изнашивания лезвия инструмента при контакте со стружкой

При движении стружки по передней поверхности инструмента микровыступы приконтактной поверхности стружки взаимодействуют с аналогичными микровыступами передней поверхности. Вследствие большого давления и высокой температуры на площадке контакта происходит разрушение

взаимодействующих микровыступов. Это разрушение проявляется в пластическом деформировании и срезании. Наиболее вероятное срезание выступов имеет место на стружке, однако за счет циклического воздействия на микровыступы передней поверхности инструмента имеют место разрушения инструментального материала. Со временем происходит сглаживание микровыступов инструмента, вследствие чего увеличивается фактическая площадь контакта инструмента со стружкой и заготовкой. Снижается контактное давление, интенсивность изнашивания уменьшается.

Продукты износа, попадая между стружкой и инструментом, измельчаются в порошок и, окисляясь под действием температуры, превращаются в «абразив», который определяет дальнейший износ инструмента.

В зависимости от времени работы различают три этапа изнашивания инструмента (рисунок 9.3):

I этап – интенсивное изнашивание;

II этап – равномерное изнашивание за счет воздействия окислов;

III этап – катастрофическое изнашивание.

Режущий инструмент целесообразно эксплуатировать до наступления катастрофического износа.

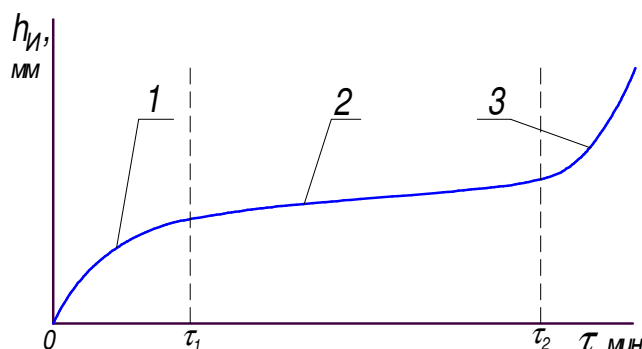


Рисунок 9.3. – Зависимость величины фаски износа лезвия инструмента от времени обработки:

1 – интенсивное изнашивание; 2 – равномерное изнашивание;

3 – катастрофическое изнашивание

Адгезионно-диффузионное изнашивание. Адгезионно-диффузионное изнашивание – это два вида изнашивания (адгезионное и диффузионное), объединенных одновременным воздействием на инструмент в процессе резания.

Адгезией называется молекулярное схватывание взаимодействующих тел под влиянием высокой температуры и большого давления. Под *адгезионным изнашиванием* лезвия понимают отрыв силами адгезии мельчайших

частиц инструментального материала в процессе трения инструмента с обрабатываемым материалом.

Диффузией называется взаимное проникновение атомов двух взаимодействующих тел. Высокие температуры, большие пластические деформации и адгезия в зоне контакта при высоких скоростях резания в сильной степени способствуют взаимному диффузионному растворению инструментального и обрабатываемого материалов. Диффузионное изнашивание проявляется в следующем: 1) в удалении стружкой диффундирующих частиц инструментального материала; 2) в проникновении частиц обрабатываемого материала в инструментальный, что уменьшает прочность инструмента; 3) во взаимном растворении частиц инструментального и обрабатываемого материалов, что увеличивает степень их химического «родства» и влияние адгезии (к адгезии более склонны «родственные» материалы).

Рассмотрим механизм адгезионно-диффузионного изнашивания (рисунок 9.2, б). На взаимодействующих микровыступах передней поверхности инструмента и стружки возникает явление адгезии. Это явление приводит к дополнительным разрушениям в материалах стружки и инструмента при их относительном движении. Разрушения происходят чаще всего в плоскости схватывания и в материале стружки, однако разрушения наблюдаются и в поверхностных слоях лезвия инструмента вследствие циклического воздействия сходящей стружки. В результате адгезионного износа на поверхности инструмента появляются «вырывы». С повышением температуры резания число очагов схватывания увеличивается, что, казалось бы, должно привести к усилению адгезионного износа. Однако «размягчение» обрабатываемого материала уменьшает разрушение инструментального материала. И тем не менее при больших температурах (более 800 °С) наблюдается интенсивное увеличение износа инструмента. Этот износ определяется влиянием диффузии. Диффузия увеличивается с увеличением температуры и времени контакта. Степень влияния температуры на диффузию значительно выше степени влияния времени контакта, поэтому с увеличением скорости резания диффузия резко увеличивается.

2.2. Характер износа различных инструментов

Износ инструмента проявляется в виде лунки на его передней поверхности, фаски на задней поверхности и радиуса закругления режущей кромки. Образование лунки на передней поверхности и ее последующее

развитие несколько увеличивает передний угол и поэтому влечет за собой уменьшение деформации и сил на передней поверхности инструмента. Однако это уменьшение невелико и на технологических характеристиках процесса стружкообразования почти не сказывается.

Увеличение фаски износа на задней поверхности способствует интенсификации на этой поверхности адгезионных процессов, увеличению силы трения и силы нормального давления. При этом возрастают деформация, упрочнение поверхностного слоя изделия, ухудшается качество, повышается температура резания.

Увеличение радиуса закругления режущей кромки ведет к увеличению толщины слоя, подминаемого под заднюю поверхность, что повышает нормальные контактные напряжения и силу. В итоге наблюдаются те же явления, что и при увеличении фаски износа.

В зависимости от условий резания различным оказывается внешний вид изношенного инструмента (рисунок 9.4).

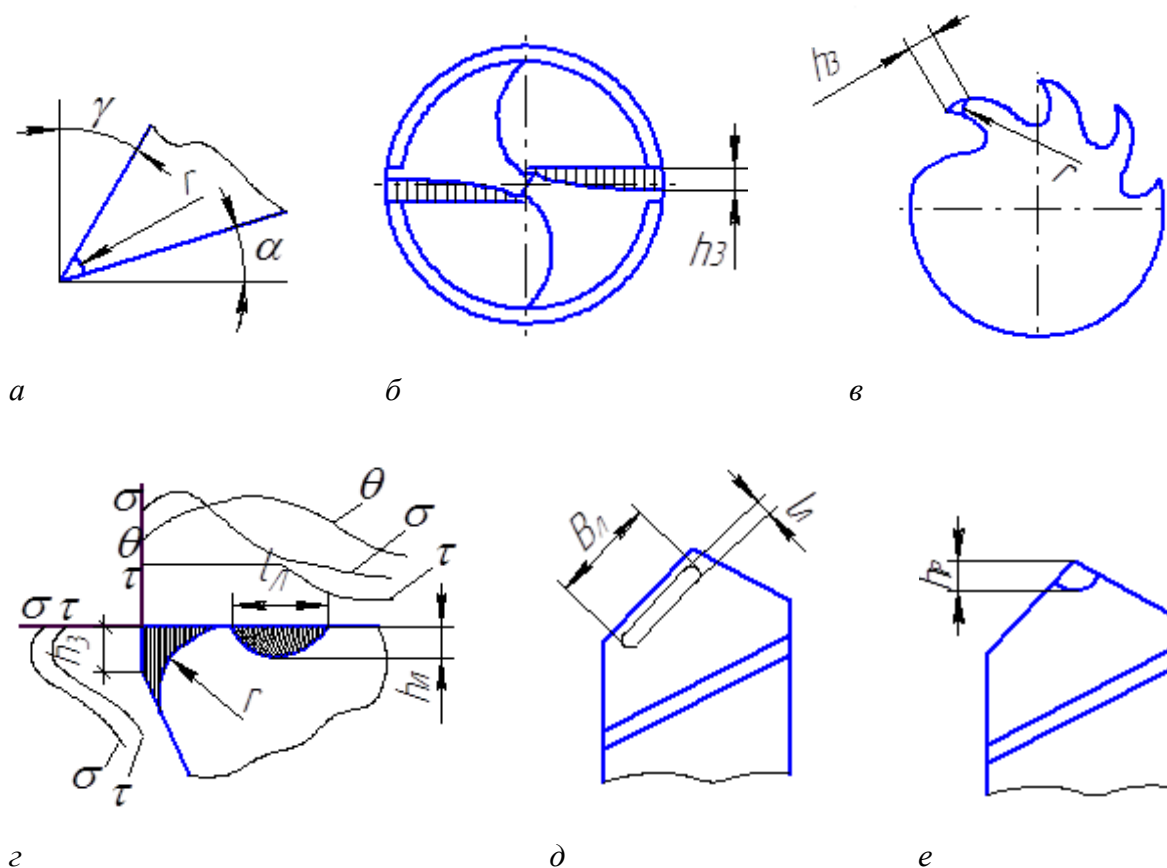


Рисунок 9.4. – Схемы износа инструментов в виде закругления режущей кромки с радиусом r , фаски h_3 , лунки l_3 :
 a – работающие при низких скоростях резания; $б$ – сверла;
 $в$ – фрезы; $г$ – $е$ – токарные резцы

Например, инструменты, работающие при низких скоростях резания (протяжки, фасонные и строгальные резцы), изнашиваются в основном по режущей кромке. Изнашивание сверл наблюдается по задней поверхности (рисунок 9.4, б). Фрезы изнашиваются по режущей кромке и задней поверхности (рисунок 9.4, в).

Высокоскоростной фрезерный инструмент изнашивается в основном за счет абразивно-механического воздействия. Адгезионно-диффузионное изнашивание на фрезах не проявляется, т.к. температура резания при фрезеровании в одинаковых с точением условиях меньше в 2...3 раза.

У токарных резцов изнашивание проявляется в виде радиуса закругления режущей кромки, площадки (фаски) износа по задней поверхности и лунки на передней поверхности (рисунок 9.4, г–е).

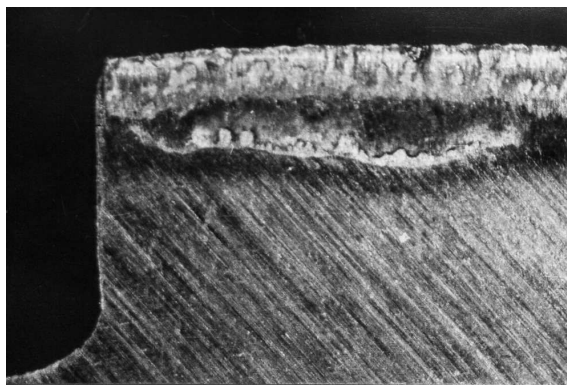
Закругление режущей кромки происходит по причине ее осыпания в результате вибраций в процессе резания и механического изнашивания. Износ по задней поверхности является результатом абразивно-механического изнашивания. Появление лунки обусловлено максимальной температурой на передней поверхности, значения которой могут достигать 1000...1500 °С. Это и приводит к интенсификации адгезионно-диффузионного изнашивания инструмента.

Характерный вид износа с образованием лунки по передней и фаски по задней поверхностям лезвия режущего инструмента из быстрорежущей стали марки Р6М5 со следами нароста при абразивно-механическом изнашивании представлен на рисунке 9.5 и лезвия режущего инструмента из твердого сплава марки Т15К6 при адгезионном изнашивании – на рисунке 9.6. Видны характерные «вырывы» и «сколы» на передней поверхности и режущей кромке из-за «схватывания» материалов лезвия и сходящей стружки.

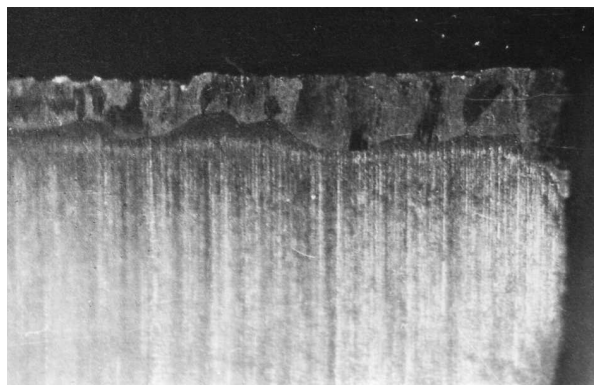
Мерой изношенности инструмента могут служить линейный и массовый износы. Линейный износ оценивается по величине площадки износа на задней поверхности h_u и глубине h_l лунки износа на передней поверхности.

При чистовой обработке наибольший интерес представляет износ инструмента, измеряемый в направлении перпендикуляра к обработанной поверхности. Такой характер износа называется *размерным*. Величина размерного износа определяет увеличение или уменьшение размера обрабатываемой поверхности детали по мере изнашивания инструмента. Критерий линейного износа достаточно надежен при разработке промышленных норм допускаемых износов и норм расхода инструмента на переточки. Для исследования физической природы изнашивания более объективной

характеристикой является *массовый износ*, который определяется как произведение объема изношенной части инструмента на плотность инструментального материала.



a



б

Рисунок 9.5. – Вид износа передней (*a*) и задней (*б*) поверхностей лезвия режущего инструмента при абразивно-механическом изнашивании: быстрорежущая сталь Р6М5, $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 12^\circ$, $v = 2,5$ м/с, $S = 0,3$ мм/об, $t = 1$ мм, обрабатываемый материал – сталь 50



a



б

Рисунок 9.6. – Вид износа по передней поверхности и режущей кромке лезвия с характерными «вырывами» (*a*) и сколами (*б*): твердый сплав Т15К6, $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 12^\circ$, $v = 0,5$ м/с, $S = 0,32$ мм/об, $t = 2$ мм, обрабатываемый материал – титановый сплав ВТ3-1

2.3. Методика проведения экспериментальных исследований

Учитывая трудоемкость экспериментов по определению зависимости износа инструмента от элементов режима резания и геометрических параметров лезвия, целесообразно проводить ускоренный эксперимент на повышенном для данного инструментального материала режиме резания и применить метод планирования эксперимента.

В качестве переменных факторов x выбираются скорость главного движения v , м/с, подача S , мм/об, глубина резания t , мм а также передний угол γ , задний угол α и угол фаски γ_{ϕ} . Выходной параметр – износ инструмента определяется по ширине площадки износа на задней поверхности h_z , мм.

В качестве математической модели описания зависимости износа от элементов режима резания, а также геометрических параметров принимается следующая аппроксимирующая функция:

$$h = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3. \quad (9.1)$$

где b_0, b_1, b_2, b_3 , – коэффициенты регрессии;
 x_1, x_2, x_3 – факторы.

Для получения оценок коэффициентов этого уравнения используется полный факторный эксперимент типа 2^3 . Согласно заданию выбираются основные уровни факторов и интервалы их варьирования и заносятся в таблицу (таблица 9.1).

Эксперименты выполняются в соответствии с матрицей планирования (таблица 9.2). Необходимые значения элементов режима резания в строках матрицы плана устанавливают на станке, а геометрические параметры инструмента получают заточкой согласно заданию. С целью повышения достоверности результатов для каждой строки матрицы опыт повторяется дважды.

Коэффициенты регрессии для зависимости (9.1) можно определить по формулам:

$$b_0 = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8}{8}, \quad (9.2)$$

$$b_1 = \frac{-h_1 + h_2 - h_3 + h_4 - h_5 + h_6 - h_7 + h_8}{8}, \quad (9.3)$$

$$b_2 = \frac{-h_1 - h_2 + h_3 + h_4 - h_5 - h_6 + h_7 + h_8}{8}, \quad (9.4)$$

$$b_3 = \frac{-h_1 - h_2 - h_3 - h_4 + h_5 + h_6 + h_7 + h_8}{8}. \quad (9.5)$$

Для получения уравнения в натуральных значениях факторов $\bar{x}_i$ используются следующие формулы преобразования:

$$x_1 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}}{\Delta x}, \quad (9.6)$$

$$x_2 = \frac{\bar{x}_2 - \bar{x}}{\Delta x}, \quad (9.7)$$

$$x_3 = \frac{\bar{x}_3 - \bar{x}}{\Delta x}. \quad (9.8)$$

По полученному уравнению рассчитывается износ при различных факторах и строятся графики зависимости $h = f(v, S, t)$, $h = f(\gamma, \alpha, \gamma_\phi)$.

3. МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

1. Сталь 50 ГОСТ 1050, сталь 38ХМЮА ГОСТ 4543, титановый сплав ВТ-1 ГОСТ 19807.
2. Станки токарной группы мод. JET GH-1849ZX, 16K20.
3. Станки фрезерной группы мод. 6P11, 6P81.
4. Инструмент режущий с механическим креплением пластинок из твердого сплава.
5. Микроскоп инструментальный БМИ-01.
6. Видеоизмерительный микроскоп NORGAU NVM-4030D.

4. СТРУКТУРА ОТЧЕТА

1. Название, цель и порядок выполнения лабораторной работы.
2. Краткие сведения о видах износа, характере изнашивания различных инструментов.
3. Описание методики исследований, оборудования и аппаратуры.
4. Уровни факторов и интервалы их варьирования (табл. 9.1), матрица плана и результаты эксперимента (табл. 9.2).
5. Обработка результатов эксперимента. Формулы для определения величины износа инструмента при изменении элементов режима резания и геометрических параметров лезвия.
6. Графики зависимостей $h = f(v, S, t)$.
7. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие виды изнашивания вы знаете?
2. Каков механизм абразивно-механического изнашивания лезвия инструмента?
3. Каков механизм адгезионно-диффузионного изнашивания лезвия инструмента?
4. Как зависит износ от времени обработки?
5. В чем проявляется износ инструмента?
6. Как влияют черты характера изнашивания на процесс резания?
7. Как изнашиваются протяжки, фрезы, сверла, токарные резцы?
8. Каким математическим выражением описывается износ инструмента?
9. Как определяются коэффициенты регрессии и факторы в формуле расчета величины износа?
10. Объясните характер зависимостей износа от $v, S, t, \gamma, \alpha, \gamma_\phi$.

Варианты задания

Вариант 1. Точение на станке мод. JET GH-1849ZX. Заготовка из стали 50 (38ХМЮА, титанового сплава ВТ-1 и др.), $D = 50 \dots 100$ мм, $L = 100 \dots 500$ мм. Инструмент – резец проходной с режущей частью из стали Р6М5 (твердого сплава Т15К6, Т5К10, ВК8 и др.). Геометрия режущей части: $\gamma = -10 \dots 10^\circ$, $\alpha = 5 \dots 15^\circ$, $\gamma_\phi = 0 \dots 90^\circ$, $\phi = \phi_1 = 45^\circ$, $\lambda = 0^\circ$. Элементы режима резания: $v = 0,4 \dots 0,8$ м/с, $S = 0,1 \dots 0,6$ мм/об, $t = 0,5 \dots 3$ мм.

Вариант 2. Фрезерование на станке мод. 6М82. Заготовка из стали 50 (38ХМЮА, титанового сплава ВТ-1 и др.), $B = 50 \dots 100$ мм, $L = 100 \dots 500$ мм. Инструмент – дисковые фрезы с режущей частью из стали Р6М5 (твердого сплава Т15К6, Т5К10, ВК8 и др.), $D_\phi = 50$ мм, $B = 10$ мм, $z = 16$, $\gamma = -10 \dots 10^\circ$, $\alpha = 5 \dots 15^\circ$, $\gamma_\phi = 0 \dots 90^\circ$, $\phi = 90^\circ$, $\lambda = 0^\circ$. Элементы режима резания: $v = 0,4 \dots 0,8$ м/с, $S = 0,1 \dots 0,6$ мм/об, $t = 0,5 \dots 3$ мм.

Вариант 3. Фрезеточение на станке мод. 16К62 с устройством для ротационного резания. Заготовка из стали 50 (38ХМЮА, титанового сплава ВТ-1 и др.), $D = 50 \dots 100$ мм, $L = 100 \dots 500$ мм. Инструмент – резец проходной с режущей частью из стали Р6М5 (твердого сплава Т15К6, Т5К10, ВК8 и др.). Геометрия режущей части: $\gamma = -10 \dots 10^\circ$, $\alpha = 5 \dots 15^\circ$, $\gamma_\phi = 0 \dots 90^\circ$, $\phi = \phi_1 = 45^\circ$, $\lambda = 0^\circ$. Элементы режима резания: $v = 0,4 \dots 0,8$ м/с, $S = 0,1 \dots 0,6$ мм/об, $t = 0,5 \dots 3$ мм.

Таблица 9.1 – Уровни факторов и интервалы варьирования

Уровни факторов	Обозначение	$\overline{x_1}$	$\overline{x_2}$	$\overline{x_3}$
Основной	x			
Интервал варьирования	$\Delta \overline{x}$			
Верхний	+1			
Нижний	-1			

Таблица 9.2 – Матрица планирования и результаты эксперимента

№ опыта	Код			Результаты измерений		
	x_1	x_2	x_3	первого измерения	второго измерения	средний
1	-1	-1	-1			
2	+1	-1	-1			
3	-1	+1	-1			
4	+1	+1	-1			
5	-1	-1	+1			
6	+1	-1	+1			
7	-1	+1	+1			
8	+1	+1	+1			

Лабораторная работа № 10

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ

ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ

1. ЦЕЛЬ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Цель работы – изучить физическо-механические характеристики процесса шлифования поверхности детали; ознакомиться с методами измерения шероховатости поверхности детали и функциональными возможностями профилографа-профилометра; исследовать влияние величины продольной подачи на шероховатость поверхности детали.

Рекомендуется выполнять работу в следующем порядке:

1. Изучить физическо-механические характеристики процесса шлифования, его особенности.
2. Ознакомиться с методами определения шероховатости поверхности детали, устройством профилографа-профилометра и порядком измерения шероховатости с его использованием.
3. Провести обработку поверхностей деталей на плоскошлифовальном станке модели 3Г71 или круглошлифовальном станке модели 3В150 с изменением значений величины продольной подачи.
4. Выполнить измерения шероховатости поверхностей деталей.
5. Сделать выводы о влиянии величины продольной подачи на шероховатость обработанной поверхности, оформить отчет по работе.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Особенности процесса шлифования

Качество обработанной поверхности детали характеризуется параметрами ее шероховатости, микротвердости, остаточными напряжениями, наклепом и другими. Значительная роль в их обеспечении принадлежит финишным операциям абразивной обработки, включая шлифование.

Шлифование – вид абразивной обработки, при котором абразивный инструмент совершает главное вращательное движение резания, а заготовка – движение подачи. При этом обеспечивается 9...6 квалитеты точности и шероховатость обработанной поверхности $R_a = 0,63 \dots 0,04$ мкм.

Особенности процесса шлифования:

- 1) многопроходность, способствующая эффективному исправлению погрешностей формы и размеров детали;

2) резание осуществляется большим количеством беспорядочно расположенных абразивных зерен. Эти зерна, образующие прерывистый режущий контур, прорезают мельчайшие углубления, а объем металла, срезаемый в единицу времени, в этом случае значительно меньше, чем при резании лезвийным инструментом. Одним абразивным зерном в единицу времени срезается объем, примерно в 400 000 раз меньший, чем одним зубом фрезы;

3) абразивные зерна расположены в теле круга хаотично, поэтому они могут иметь отрицательные значения передних углов и угол резания больше 90° . Абразивные зерна в процессе резания можно разделить на режущие, давящие или скобящие, если они врезаются на столь малую глубину, что происходит лишь пластическое выдавливание металла без снятия стружки, и нережущие. В реальном процессе шлифования примерно 85...90% всех зерен не режет, а так или иначе пластически деформирует тончайший поверхностный слой, т.е. наклепывает его;

4) процесс срезания стружки отдельным абразивным зерном осуществляется на высоких скоростях резания (30...70 м/с) и в течение тысячных и сотых долей секунды;

5) большие скорости резания и неблагоприятная геометрия режущих зерен способствует развитию в зоне резания высоких температур;

6) управлять процессом шлифования можно только за счет изменения режимов резания, т.к. изменение геометрии абразивного зерна практически трудноосуществимо. Как исключение, алмазные круги с помощью специальной технологии изготовления могут иметь преимущественную (требуемую) ориентировку алмазных зерен в теле круга, что обеспечивает благоприятные условия резания;

7) абразивный инструмент в процессе резания самозатачивается. Это происходит, когда режущие грани некоторых зерен затупляются и под действием возрастающих сил резания вырываются из связки, что приводит к вступлению в работу других абразивных зерен;

8) шлифованная поверхность образуется в результате одновременного действия как геометрических факторов, характерных для процесса резания, так и пластических деформаций, сопровождающих этот процесс.

2.2. Геометрические параметры срезаемого слоя при шлифовании

При круглом шлифовании за один оборот заготовки шлифовальным кругом снимается слой металла с сечением $F = t \cdot S_{np}$. Работу круга характеризует среднее мгновенное сечение слоя, снимаемого в данный момент времени. Определим его величину.

Объем слоя металла, снимаемый за один оборот заготовки:

$$Q = \pi dt S_{np}. \quad (10.1)$$

Путь, пройденный кругом относительно детали за одну минуту, определится, как: $L = \pi D_k \cdot n_k$ (вращение детали не учитываем, т.к. $v_d/v_k \approx \frac{1}{100}$). Путь, пройденный периферийными точками круга за один оборот детали, $l = \frac{\pi D_k n_k}{n_d} = \frac{L}{n_d}$. Среднее мгновенное сечение слоя f , снятого всеми абразивными зернами, будет равно всему снятому объему металла, деленному на путь l , т.е.

$$f = \frac{Q}{l} = \frac{\pi dt S}{\frac{\pi D_k n_k}{n_d}} = \frac{\pi d n_d}{\pi D_k n_k} t S = \frac{v_d}{60 v_k} t S. \quad (10.2)$$

С увеличением скорости вращения заготовки мгновенное сечение среза растет, а следовательно, возрастает и нагрузка на каждое зерно, круг изнашивается быстрее, а шероховатость поверхности увеличивается. Для получения менее шероховатой поверхности следует работать с возможно большей v_k , меньшей v_d и малыми t и S .

2.3. Силы и мощность шлифования

При шлифовании различают суммарную силу резания шлифовальным кругом и силу резания («царапания») одним абразивным зерном. Суммарная сила резания

$$P = P_z + P_y + P_x,$$

где P_z – главная (тангенциальная) составляющая силы резания;

P_y – радиальная составляющая силы резания;

P_x – осевая составляющая силы резания.

$$P_z = C_{pz} v_d^{0,7} S_{np}^{0,7} t^{0,6},$$

$$P_y = (1...3)P_z; P_x = (0,1...0,2)P_z.$$

Превышение радиальной составляющей силы P_y над тангенциальной P_z является следствием того, что удельные силы резания при шлифовании в десятки раз превышают удельные силы резания при точении, сверлении и фрезеровании.

Мощность, необходимая для вращения круга,

$$N_{кр} = \frac{P_z \cdot v_k}{10^3 \cdot \eta_1}. \quad (10.3)$$

Мощность, затрачиваемая на изготовление детали,

$$N_d = \frac{P_z \cdot v_d}{60 \cdot 10^3 \cdot \eta_2}, \quad (10.4)$$

где η_1 и η_2 – КПД механизмов вращения круга и детали.

2.4. Изнашивание и стойкость шлифовальных кругов

Общий износ рабочей части шлифовального круга состоит из износа в процессе шлифования и слоя удаленного при правке круга. В зависимости от свойств круга и условий шлифования работа может проходить либо с затуплением абразивных зерен, либо с самозатачиванием.

Процесс изнашивания рабочей поверхности круга можно разделить на два этапа. Первый этап (период приработки после правки) характеризуется скалыванием и выкрашиванием непрочно укрепленных зерен. Второй – округлением (притуплением) и расщеплением абразивных зерен.

Обычно круги работают с затуплением, а не с самозатачиванием. С самозатачиванием работают мелкозернистые круги, предназначенные для обработки твердых материалов. Если круг работает в режиме затупления абразивных зерен, необходимо периодически проводить его правку.

Время работы круга между двумя его смежными правками при заданных режимах называется *периодом стойкости круга*:

$$T = \frac{C_T \cdot d^{0,6}}{v_d^{1,82} \cdot S^{1,82} \cdot t^{1,1}}, \quad (10.5)$$

$$v_d = \frac{C_v \cdot d^y}{T^m \cdot t^x \cdot S^y}. \quad (10.6)$$

2.5. Тепловые явления

В связи с высокой температурой шлифования на поверхности детали могут образовываться прижоги, трещины и другие дефекты, снижающие эксплуатационные свойства деталей. Почти вся механическая мощность шлифования преобразуется в тепловую:

$$Q = Q_d + Q_{кр} + Q_c + Q_{oc} - \text{тепловой баланс шлифования.}$$

Различают мгновенную температуру θ_m , развивающуюся в зоне микрорезания абразивным зерном; контактную θ_k , устанавливающуюся в зоне контакта круга с заготовкой; среднюю θ_{cp} , устанавливающуюся на всей обработанной поверхности. В связи с интенсивным отводом тепла из зоны шлифования в заготовку $\theta_k \leq \theta_m$. В связи с распространением теплоты по поверхности детали и ее снижением $\theta_k \geq \theta_{cp}$. Средняя температура влияет в основном на точность получаемой детали. При абразивном шлифовании $\theta_{cp} = 20 \dots 350$ °С, $\theta_k = 200 \dots 1100$ °С, θ_m изменяется от 1000 °С до температуры плавления металла.

Существует несколько способов управления тепловым балансом: применение СОЖ, введение в абразивные массы активных наполнителей, пропитка инструмента спецрастворами. В качестве наполнителей применяют как металлы (алюминий, никель, медь и др.), так и неметаллы (асбест, алебастр, криолит, пирит).

2.5. Принцип действия профилографа-профилометра

Наибольшее распространение для определения шероховатости поверхности контактным методом получили щуповые приборы, работающие по методу ощупывания поверхности алмазной иглой. К этой группе приборов относятся:

- профилометры – приборы, автоматически определяющие и непосредственно показывающие значение измеряемого параметра шероховатости на шкале прибора;
- профилографы – приборы, записывающие микропрофиль поверхности на бумагу, фотопленку или в память прибора, что позволяет дополнительно обработать профилограмму и определить все параметры шероховатости;
- профилографы-профилометры – универсальные приборы, сочетающие свойства двух приборов – как профилометров, так и профилографов.

Профилографы-профилометры являются высокочувствительными приборами для определения шероховатости поверхности металлических и неметаллических изделий, а также всевозможных покрытий без повреждения их поверхностей. Данные приборы позволяют измерять параметры шероховатости $R_a = 0,01 \text{--} 250$ мкм и $R_z = 0,02 \text{--} 350$ мкм (рисунок 10.1, а).

Принцип действия профилографа-профилометра основан на ощупывании неровностей измеряемой поверхности щупом – алмазной иглой с малым радиусом закругления (рисунок 10.1, б). Опускаясь во впадины,

а затем, поднимаясь на выступы во время поступательного движения измерительного датчика, щуп приходит в колебание относительно датчика по нормали к направлению его перемещения. Данные вертикальные механические перемещения иглы щупа датчика преобразуются при помощи измерительного преобразователя в колебания электрического напряжения, пропорциональные этим перемещениям. Снятый с измерительного преобразователя полезный сигнал усиливается, оцифровывается, а затем производится измерение его параметров, подобных параметрам шероховатости контролируемой поверхности.

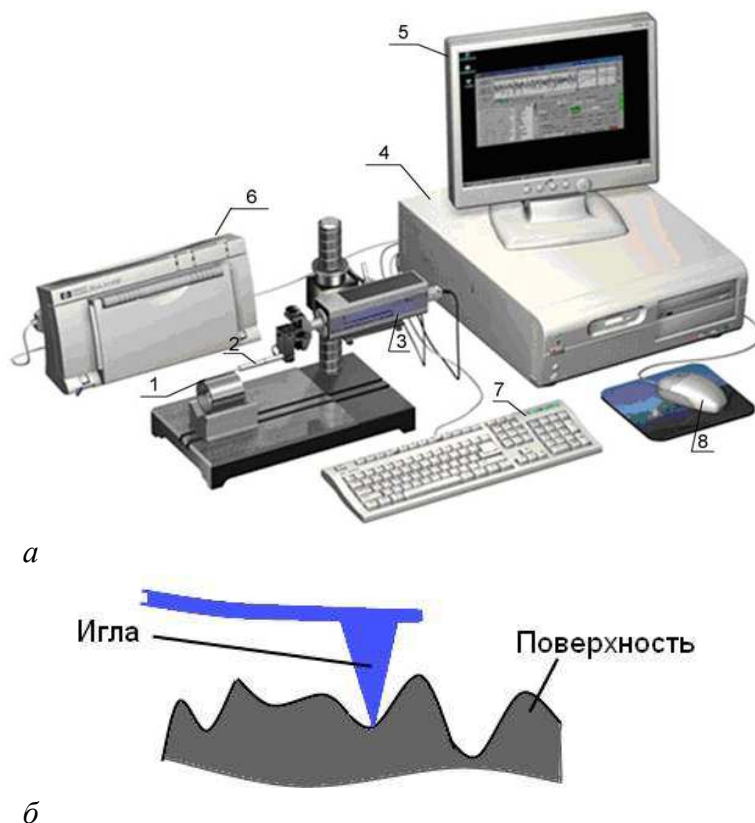


Рисунок 10.1. – Профилограф-профилометр:
а – общий вид: 1 – деталь; 2 – измерительный датчик; 3 – мотопровод;
 4 – системный блок; 5 – монитор; 6 – печатающее устройство;
 7 – клавиатура; 8 – мышь;
б – схема взаимодействия иглы щупа профилографа-профилометра с поверхностью детали в процессе измерения шероховатости

3. МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

1. Сталь 45 ГОСТ 1050, Сталь 40Х ГОСТ 4543.
2. Станок плоскошлифовальный модели 3Г71.
3. Профилограф-профилометр «Abris-PM-7».

4. СТРУКТУРА ОТЧЕТА

1. Название, цель лабораторной работы.
2. Краткие сведения об особенностях абразивной обработки материалов и физико-механическими характеристиками процесса шлифования.
3. Описание методов определения шероховатости поверхности детали, устройства профилографа-профилометра и порядок работы на нем.
4. Протокол исследования процесса шлифования и профилограмма результатов измерения.
5. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите цель и порядок выполнения работы.
2. В чем заключается принципиальное отличие абразивной обработки материалов от лезвийной?
3. Назовите основные виды абразивной обработки.
4. В чем заключаются особенности процесса шлифования?
5. Как определить сечение и объем срезаемого слоя при плоском шлифовании?
6. Запишите формулы для расчета силы и мощности шлифования.
7. Особенности определения износа и стойкости шлифовальных кругов.
8. Запишите формулу теплового баланса при шлифовании.
9. Опишите принцип действия профилографа-профилометра.
10. Как влияют элементы режима резания t , S и v на шероховатость обработанной поверхности, что влияет значительно больше всего?

Протокол исследования процесса шлифования

№ опыта	Серия опытов	Режимы резания					R_a , мкм
		v , м/с	t , мм	$S_{\text{прод.}}$, м/мин	$S_{\text{поп.}}$, мм/дв. ход.	$v_{\text{кр.}}$, мин ⁻¹	
1	$R_a = f(S)$						
2							
3							

Станок: модель –

Прибор измерительный: модель –

Заготовка: материал –

Режущий инструмент: круг шлифовальный (форма, размер, вид абразивного материала, зернистость, твердость, материал связки) –

Лабораторная работа № 11

СКОРОСТНАЯ ОБРАБОТКА СФЕРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

1. ЦЕЛЬ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Цель работы – изучить и исследовать кинематические и физические характеристики скоростной обработки сферических поверхностей деталей машин.

Рекомендуется выполнять работу в следующем порядке:

1. Изучить особенности высокоскоростной обработки материалов и виды механической обработки сферических поверхностей деталей машин.

2. Изучить кинематические особенности скоростной обработки сферических поверхностей деталей вращающимся лезвийным инструментом.

3. Ознакомиться с работой тахометра, токоизмерительных клещей, виброметра, пирометра и измерительной машины.

4. Настроить станок, технологическую оснастку и приборы для обработки сферических поверхностей деталей машин на измерение исследуемых параметров.

5. Провести обработку сферической поверхности детали и измерить исследуемые параметры.

6. Заполнить протокол исследования скоростной обработки сферической поверхности детали.

7. Сделать выводы по результатам исследования.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Особенности высокоскоростной обработки материалов

Исследования процесса высокоскоростной обработки начались в 30-е годы 19 в., когда немецкий изобретатель К. Саломон запатентовал способ обработки материалов резанием. В этом способе было определено, что при некоторой скорости резания, которая в 5...10 раз выше, чем при традиционной механической обработке, теплопередача от стружки к инструменту начинает уменьшаться, а это позволяет вести обработку заготовок на более высоких скоростях резания. В определенном диапа-

зоне скоростей этот способ обработки сопровождается снижением сил резания. Примерно в это же время в отечественных изданиях развернулась дискуссия о преимуществах высокоскоростной обработки закаленных сталей. В 1936 г. немецким ученым В. Рейхелем был сформулирован принцип, что определенному периоду стойкости резца и заданной паре материалов инструмента и детали соответствует одна и та же температура резания, не зависящая от комбинации элементов режима резания. Этот принцип позволил профессору А.Д. Макарову в 1961 году теоретически обосновать и экспериментально доказать следующее положение: оптимальным скоростям резания (для заданного материала режущего лезвия инструмента) при различных комбинациях скорости резания, подачи и глубины резания соответствует постоянная температура в зоне резания (оптимальная температура резания). Эти принципы и положения играют важную роль в объяснении физических явлений при высокоскоростной обработке материала. В этот период проводимые исследования на обычных станках не позволяли получить требуемые скорости резания, что сдерживало развитие высокоскоростной обработки, но на баллистических установках учеными были зафиксированы следующие значения скорости резания: В.Д. Кузнецовым в 1947 г. – 5000 м/мин; М. Кроненбергом в 1958 г. – 72 000 м/мин. Были предложены математические и физические модели, позволяющие объяснить эффект, полученный К. Саломоном.

Распространение высокоскоростной обработки при изготовлении деталей в машиностроении стала возможно только после появления высокоскоростных мотор-шпинделей в середине 70-х годов, позволяющих достигать частоты вращения до 60 000 мин⁻¹.

Практическое применение высокоскоростного фрезерования при скоростях резания до 1980 м/мин введено американскими учеными с 1977 г.

В 1979 году эффект высокоскоростной обработки был реализован профессором Г. Шульцем в Техническом университете Дармштадта (Германия), где с использованием шпинделей на магнитных подшипниках была достигнута скорость резания 4700 м/мин.

В настоящее время в связи с применением высокоскоростных и мощных приводов получила интенсивное развитие высокоскоростная обработка (ВСО). Исследования в этой области ведутся по направлениям дальнейшего уточнения диапазонов скоростей при различных видах обработки различных марок материалов, изучения деформации и стружкообра-

зования, сил и мощности резания, температуры детали, стружки и инструмента, особенностей геометрии инструмента, конструкций технологической оснастки и станков, технологий с использованием высокоскоростной обработки.

К высокоскоростной обработке относится конкретный вид обработки резания со скоростями, в несколько раз большими традиционно применяемых для данной группы обрабатываемых материалов. Например, при чистовом (получистовом) точении углеродистой стали со скоростью 500...600 м/мин вместо рекомендуемых нормативами 150...200 м/мин и со скоростью 2000...3000 м/мин вместо 300...400 м/мин при обработке алюминиевых сплавов. Такое увеличение скорости резания достигается за счет применения не только новых инструментальных материалов и покрытий, конструкций оснастки и станков, но и за счет новой стратегии построения технологического процесса. Исходя из этого, высокоскоростная обработка – это обработка на такой частоте вращения шпинделя или скорости резания, которые являются достаточно высокими для того, чтобы превратить сложный процесс обработки в более простой и гибкий.

Данные по диапазонам скорости резания различных материалов представлены на рисунках 11.1 и 11.2.

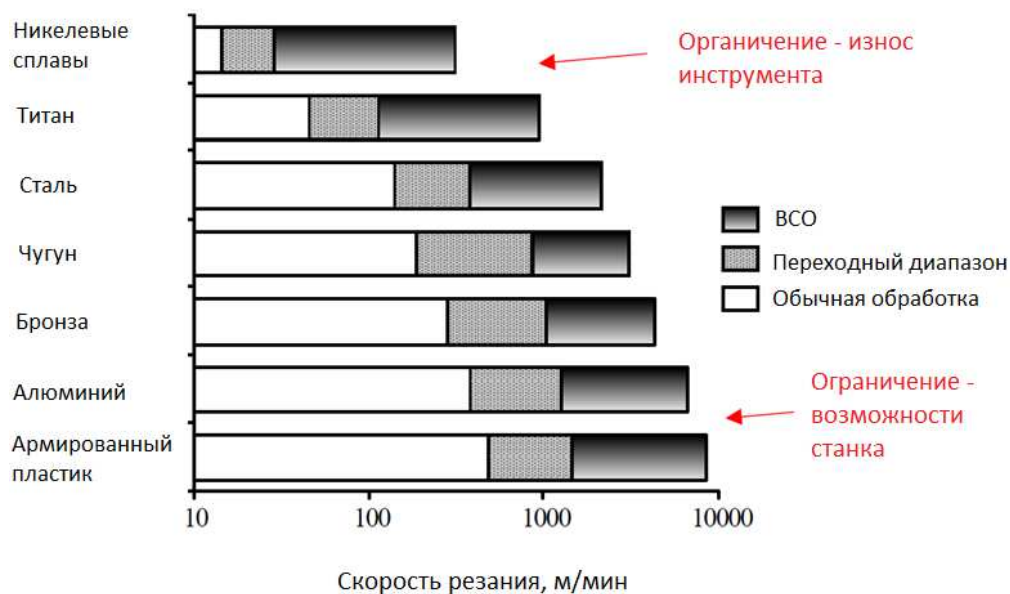


Рисунок 11.1. – Скорость резания при обработке различных материалов

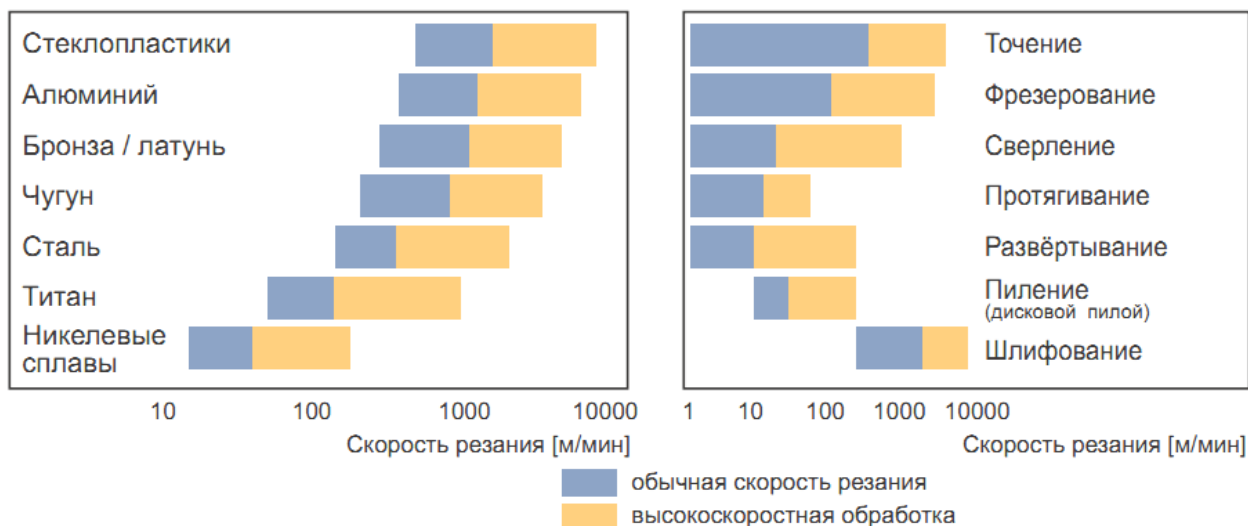


Рисунок 11.2. – Диапазоны скорости резания в зависимости от обрабатываемого материала и вида резания

Например, при обработке стали к ВСО относится обработка при значениях скорости более 600 м/мин. Указывается на некий переходный диапазон (200...600 м/мин) от обычной обработки к ВСО.

2.2. Виды механической обработки сферических поверхностей деталей машин

Рассмотрим способы механической обработки сферических поверхностей деталей и схемы их реализации на станках.

Описание предлагаемых способов обработки:

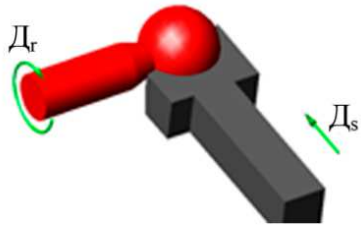
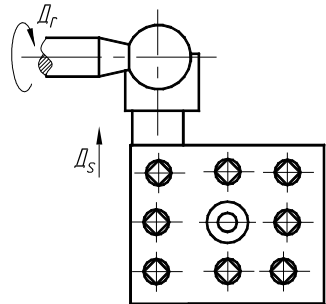
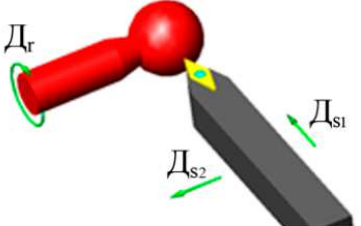
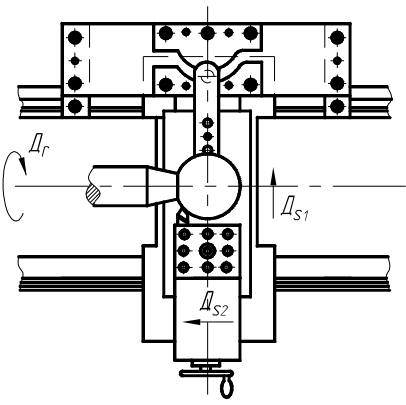
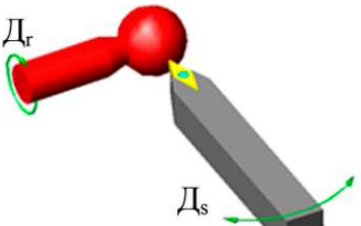
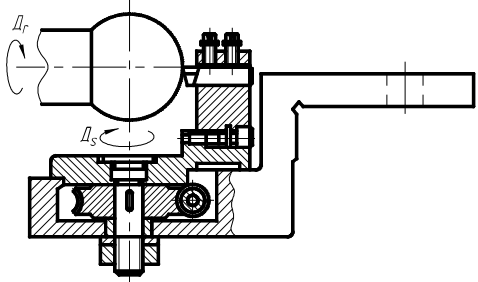
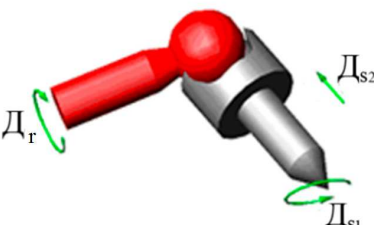
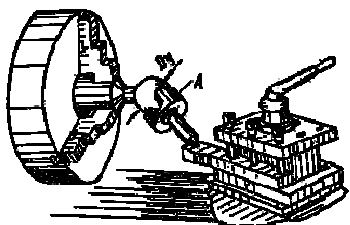
1) фасонными резцами способом врезания (таблица 11.1, поз. 1). Этот способ характеризуется высокой производительностью и хорошим качеством обработки. Обтачивание осуществляют специальными фасонными резцами, форма режущей кромки которых приближена к профилю детали. Этот способ применяется только при серийном производстве деталей.

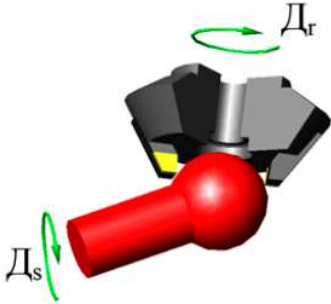
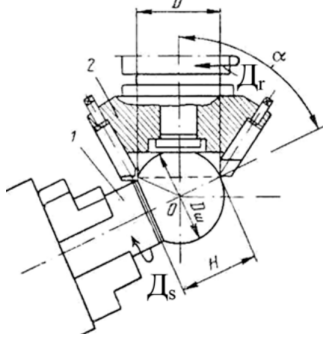
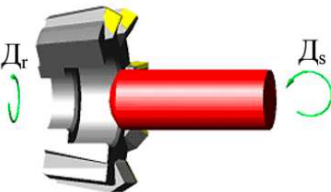
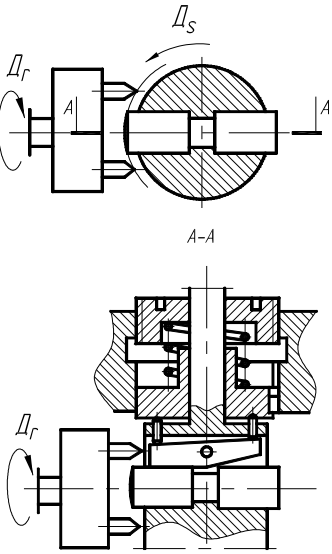
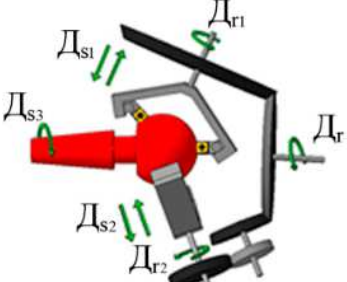
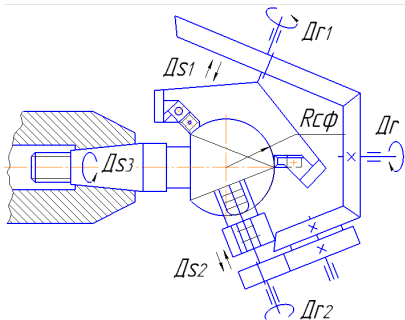
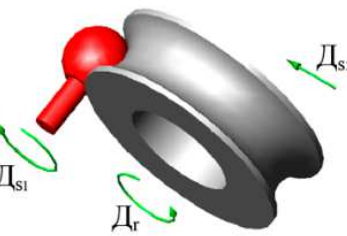
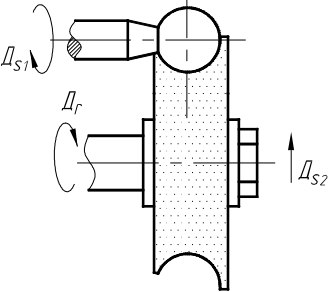
Недостатком обработки фасонными резцами является то, что каждый резец может обработать сферическую поверхность лишь определенного радиуса с малой производительностью;

2) резцом способом совмещения двух подач (продольной и поперечной) (таблица 11.1, поз. 2). Этот способ применяют:

– в серийном производстве на станках с ЧПУ. Сущность способа заключается в том, что управляющая программа обеспечивает сообщение резцу продольного и поперечного перемещения. Качество обработки зависит от дискретности перемещения рабочих органов станка;

Таблица 11.1. – Способы механической обработки сферических поверхностей деталей

Описание способа обработки	Схема обработки	Схема реализации на станке
1	2	3
1. Фасонным резцом врезанием на универ- сальном токарном станке		
2. Резцом при совме- щении двух подач на токарных станках уни- версальном, копи- вальном или станке с ЧПУ		
3. Резцом с помощью поворотных приспособ- лений специальных станков		
4. Вращающимся ре- жущим инструментом при вращении заготовки		

1	2	3
		
5. Фрезерование торцовой фрезой вращающейся заготовки		
6. Точение комбинированной головкой		
7. Шлифовальным кругом врезанием на шлифовальном станке		

– в серийном производстве на копировальных и универсальных станках, оснащенных специальным копиром или гидрокопировальным суппортом. Для настройки станка необходимо изготовить соответствующий копир. В некоторых случаях роль копира выполняет первая (образцовая) деталь. Этим способом можно обтачивать фасонную деталь любой формы, если диаметральные размеры ее увеличиваются в направлении подачи, т.е. от задней бабки к передней. Когда диаметры детали на каком-либо участке уменьшаются в направлении подачи, то ее обработка с помощью гидрокопировального суппорта возможна лишь в том случае, если на любом участке уменьшение диаметра детали не превышает длины этого участка;

– в единичном производстве, когда нет станков с ЧПУ и изготовление фасонных резцов или копиров нерентабельно, а квалификация рабочего высока. Сущность способа заключается в том, что резцу сообщают продольное и поперечное перемещения, ориентируясь на чертеж детали и контролируя свою работу чаще всего с помощью шаблона. Поперечное перемещение резца всегда производится вручную, продольное – иногда автоматически. Качество обработки зависит от квалификации рабочего.

Для получения сферической поверхности правильной формы необходимо, чтобы при установке резца центр его радиусного закругления совпадал с осью детали в вертикальной плоскости;

3) резцом при помощи поворотных приспособлений и специальных станков (см. таблицу 11.1, поз. 3). Часто наружные сферические поверхности обтачивают с помощью поворотных приспособлений, закрепляемых в резцедержателе станка, а иногда вместо резцедержателя. Закрепленному в приспособлении резцу сообщают вращательное движение в горизонтальной плоскости, причем центр вращения находится на линии центров станка. Схема съемного поворотного приспособления для обтачивания наружных сферических поверхностей показана в строке 4. Корпус приспособления устанавливают в резцедержателе станка. В корпусе закреплены салазки резцедержателя, которые могут поворачиваться вокруг оси вала с помощью червяка и червячного колеса. Ось вала пересекает ось вращения шпинделя станка с закрепленной деталью. Перемещая с помощью винта резцедержатель по салазкам, регулируют радиус обрабатываемой сферической поверхности. Вращение сообщается приспособлению с помощью рукоятки, насаженной на ось червяка. Приспособления такого типа позволяют обрабатывать сферические поверхности с высокой точностью. Однако они довольно сложны по конструкции и поэтому реже применяются;

4) вращающимся режущим инструментом при вращении заготовки (см. таблицу 11.1, поз. 4). Формирование шаровой поверхности происходит при взаимном вращательном движении инструмента и детали.

Данный способ может быть реализован на токарном или фрезерном станках при помощи специального кольцеобразного (трубчатого) резца или специальной фрезы;

– в трубчатых резцах режущая кромка образуется пересечением внутренней цилиндрической и торцевой поверхностей. Диаметр отверстия трубчатого резца определяется по формуле

$$D \approx 0,9D_{сф}, \quad (11.1)$$

где $D_{сф}$ – диаметр обтачиваемой сферы; угол наклона оси инструмента к оси детали $\alpha \approx 45^\circ$.

Для обработки этим способом сферических поверхностей необходимо изготовить устройство, сообщаемое вращение инструменту. Это устройство монтируется на поперечном суппорте токарного станка и состоит из шпиндельной бабки с инструментом и электродвигателя, расположенных на одной плите. Обрабатываемая деталь закрепляется в патроне токарного станка, шпинделю которого сообщается медленное вращение. Возможна и другая схема установки: инструмент крепится на шпинделе станка, а обрабатываемая деталь – в шпиндельной бабке устройства. Подача осуществляется поперечным суппортом до упора. Каретка суппорта станка во избежание ее перемещений во время работы закрепляется.

По такой же схеме, как и обтачивание трубчатым резцом, может производиться притирка сферических поверхностей с помощью пасты. Притир в этом случае имеет форму, как и трубчатый резец.

Чистовую обработку целого шара можно осуществить с помощью двух трубчатых резцов одинаковых размеров.

Недостатками обработки кольцеобразным инструментом являются его малая универсальность (каждый резец может обработать сферическую поверхность лишь определенного радиуса, соответствующего диаметру внутренней цилиндрической поверхности резца) и невысокая производительность;

– при обработке сферической поверхности на фрезерном станке специальная фреза имеет 2, 3 и более режущих кромок (в отличие от кольцеобразного инструмента, где одна режущая кромка), что позволяет увеличить подачу, скорость вращения инструмента, а следовательно, и производительность. Еще одно из важнейших преимуществ данного способа меха-

нической обработки сферических поверхностей фрезой методом совмещения двух вращений, по сравнению с остальными, заключается в том, что точность формообразования сферической поверхности определяется не профилем инструмента и точностью поворотного приспособления, а точностью траектории движения заготовки и инструмента, т.е. кинематикой процесса, что позволяет получать сферические поверхности высокого качества и точности;

5) фрезерование торцовой фрезой вращающейся заготовки (см. таблицу 11.1, поз. 5). При обработке сферического торца стержневых деталей заготовкам, установленным в приспособление, сообщают вращение вокруг оси, перпендикулярной к оси вращения инструмента, причем обе оси проходят через центр сферы. В результате обработанная поверхность имеет идеальную сферическую форму. Частота n_1 вращения заготовок должна быть меньше частоты n_2 вращения инструмента. Чем меньше отношение n_1 / n_2 , тем выше качество обработки. Инструменту не требуется придавать сферическую форму, что упрощает его конструкцию и эксплуатацию. Благодаря непрерывности процесса обработки его можно легко автоматизировать.

Внедрение описанного способа обработки позволило отказаться от использования профилированного (фасонного) резца, значительно улучшить качество сферической поверхности толкателя и снизить трудоемкость ее обработки в 5 раз;

6) точение комбинированной головкой (см. таблицу 11.1, поз. 6). Данный способ заключается в том, что заготовке и инструменту сообщают вращательные движения вокруг собственных осей, причем режущему инструменту сообщают движение по окружности, лежащей в плоскости, смещенной относительно центра обрабатываемой сферической поверхности. Для реализации данного способа используется режущий инструмент в виде двух кинематически связанных между собой резцовых головок, имеющих одинаковое количество, но не менее двух, резцов. Резцовые головки, из которых одну настраивают на предварительную черновую обработку, а другую – на окончательную чистовую обработку за счет осевой подачи, располагают друг против друга под определенным углом к плоскости, перпендикулярной оси заготовки и проходящей через центр сферической поверхности с траекторией вращения вершин резцовых головок, имеющих общую точку, расположенную на продольной оси заготовки. Головки вращаются от одного привода с одинаковой частотой для синхронизации движения резцов и последовательно проходят общую точку

поочередно резцами черновой и чистовой головок. Недостатком данного способа является трудоемкость изготовления комбинированной головки для его осуществления. К преимуществу относится совмещение черновой и чистовой обработок сферической поверхности за один установ на одном станке, что улучшает качество и точность получаемой поверхности;

7) обработка сферических поверхностей шлифовальными кругами (см. таблицу 11.1, поз. 7). Точные наружные сферические поверхности обрабатываются шлифовальными кругами.

Один из первых способов шлифования сферических поверхностей – способ обработки фасонным кругом с радиальной подачей на круглошлифовальном станке. Недостатком данного способа являются высокие требования, предъявляемые к точности профиля шлифовального круга. При обработке на бесцентрошлифовальном станке сократилось время на установку и обработку детали. Но недостаток остался тот же.

Данный недостаток был устранен при шлифовании чашечным кругом. Круг, установленный на шпинделе переносной шлифовальной машинки, закрепленной в резцедержателе токарного станка, получает вращение от шпинделя. Одновременно детали сообщается медленное вращение в том же направлении. При работе по этому методу обеспечиваются точность размеров по 3-му классу и шероховатость поверхности в пределах 7-8-го классов.

Таким образом, результаты проведенного анализа показывают, что при обработке сферических поверхностей деталей профильными инструментами, такими как фасонный и трубчатый резцы, точность формы обработанных поверхностей определяется точностью изготовления профиля инструмента. Кроме того, эти способы обладают малой универсальностью, что в свою очередь приводит к повышению себестоимости механической обработки детали вследствие использования большого количества специальных режущих инструментов. Следовательно, использование данных инструментов при изготовлении деталей небольшими сериями и разных типоразмеров с экономической точки зрения нецелесообразно. Обработка непрофильным инструментом, например, контурным резцом, не всегда дает требуемую точность, из-за недостаточной жесткости копировальных станков. Но при обработке на станках с ЧПУ, где дискретность перемещения рабочих органов станка очень мала, данный способ позволяет достичь требуемой точности.

Лишены этих недостатков способы обработки с использованием комбинированной головки и специальной фрезы. Эти способы не только

предполагают возможность настройки на размер, но и исключают влияние погрешностей изготовления инструмента либо поворотного приспособления, т.к. точность формообразования сферической поверхности определяется точностью траектории движения заготовки и инструмента, т.е. кинематикой процесса.

Повышению точности и качества обработки сферической поверхности способствует применение шлифования, но этот вид обработки менее производителен, чем лезвийная обработка.

2.3. Скоростная обработки сферической поверхности детали вращающимся лезвийным инструментом

Из проведенного анализа способов и технологического оснащения для обработки неполных сферических поверхностей деталей наиболее предпочтительным для скоростной обработки является способ обработки вращающимся режущим инструментом при вращении заготовки. Общая схема комбинированной скоростной обработки неполных сферических поверхностей на примере детали «Палец шаровой» представлена на рисунке 11.3. По этой схеме режущий инструмент 1 совершает главное вращательное движение D_r , а заготовка 2 диаметром $D_{сф}$ – вращательное движение подачи $D_{св}$. Заготовке также сообщается поступательное движение $D_{сп}$, которое обеспечивает врезание на заданную глубину резания.

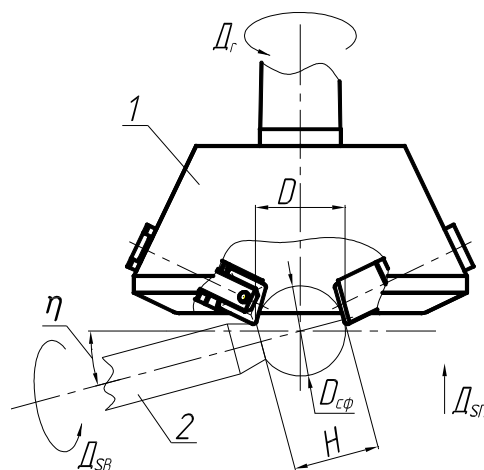


Рисунок 11.3. – Схема обработки сферической поверхности детали

При этом режущие лезвия инструмента 1 настраиваются на диаметр D , а заготовка 2 устанавливается относительно инструмента под углом к оси вращения η . Оси вращения заготовки и инструмента пересекаются. Схема

установки гарантирует получение неполной сферической поверхности высотой H .

Отличия рассматриваемой схемы обработки (см. рисунок 11.3) от ранее представленных в разделе 2.2 состоят в наличии поступательного движения D_{sn} . При этом реализуются переходящие друг в друга этапы врезания, выхаживания и выглаживания обрабатываемой поверхности с циклически изменяющимися значениями скоростей движения инструмента и заготовки, а также значением окружной скорости инструмента, превышающей традиционные (более 200 м/мин), и используется специальный режущий инструмент. Описанные признаки способа позволяют применять термин «комбинированная скоростная лезвийная обработка».

Комбинированную скоростную лезвийную обработку неполной сферической поверхности можно описать функцией F_i :

$$F_i = f(D_{сф}, H, \eta, Rz, r, n_1, n_2, \tau), \quad (11.2)$$

где $D_{сф}$ – диаметр сферической поверхности детали, мм;

H – высота сферической поверхности, мм;

η – угол установки заготовки относительно инструмента, град;

r – радиус закругления вершины лезвия, мм;

Rz – шероховатость сферической поверхности, мм;

n_1 и n_2 – соответственно частота вращения инструмента и заготовки, мин⁻¹;

τ – время, с.

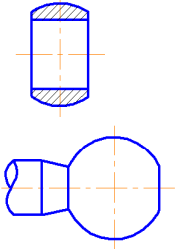
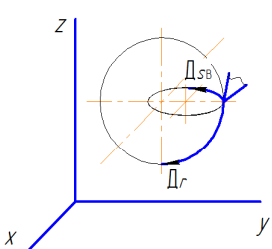
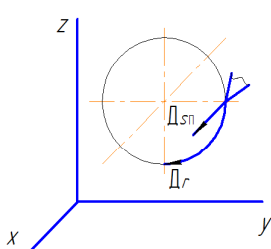
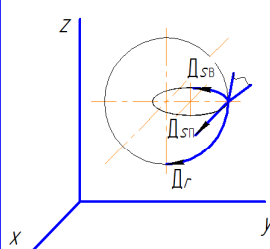
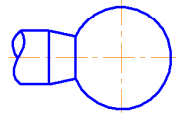
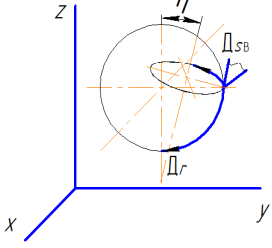
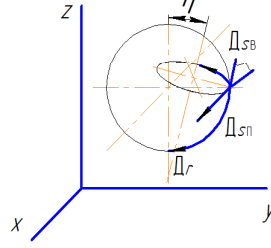
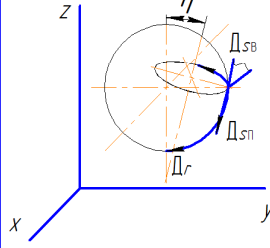
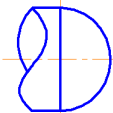
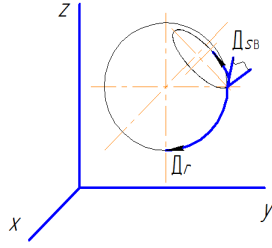
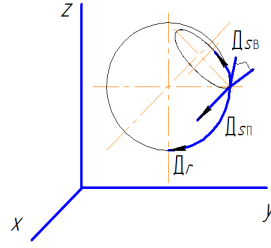
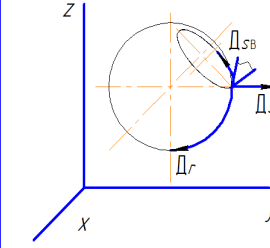
На определенном этапе анализа параметры $D_{сф}$, H , Rz , r , n_1 будут считаться заданными, т.е. постоянными величинами; время τ – переменная величина.

Функциональная связь (11.2) зависит, прежде всего, от реализуемой кинематической схемы резания, различные варианты которой представлены в таблице 11.2.

Кинематическая схема резания может быть двух- (два вращательных движения) и трех- (два вращательных и поступательное движения) элементной, реализуемой на трех переходах операции формообразования неполной сферической поверхности. На первом переходе происходит врезание вращающегося инструмента во вращающуюся заготовку (черновая обработка), причем направление поступательного движения врезания (подача) D_{sn} происходит по оси главного вращательного движения инструмента D_r . Ось вращательного движения подачи заготовки $D_{св}$ направлена

под углом η к оси главного вращательного движения. На втором переходе происходит выхаживание поверхности (получистовая обработка) и реализуется двухэлементная кинематическая схема резания с главным вращательным движением инструмента Δ_r и вращательным движением подачи заготовки Δ_{sv} . На третьем переходе, когда лезвия инструмента выходят на требуемый размер сферы, реализуется выглаживание (чистовая обработка) поверхности сферы. На этих переходах наряду со встречным движением Δ_r и Δ_{sv} возможно осуществление их попутного вращения, что будет способствовать более качественному выглаживанию поверхности.

Таблица 11.2. – Кинематические схемы комбинированной обработки резанием неполных сферических поверхностей деталей

Форма сферической поверхности	Кинематическая схема резания		
	Чистовая обработка	Черновая обработка	
сферический пояс 	двухэлементная схема 	двухэлементная схема 	трёхэлементная схема 
сферический сегмент 	двухэлементная схема 	трёхэлементная схема с продольной подачей (вдоль оси главного движения) 	трёхэлементная схема с поперечной подачей (под углом η к оси главного движения) 
сферический сегмент 	двухэлементная схема 	трёхэлементная схема с продольной подачей (вдоль оси главного движения) 	трёхэлементная схема с поперечной подачей (под углом 45° к оси главного движения) 

При двухэлементной кинематической схеме траектория резания представляет собой циклоиду, наведенную на окружность сферы (рисунок 11.4), при трехэлементной – циклоиду, наведенную на окружности сферы по спирали (рисунок 11.5). В связи с малыми скоростями движений подачи $D_{св}$ и $D_{сп}$ форму одного витка циклоиды можно рассматривать как окружность.

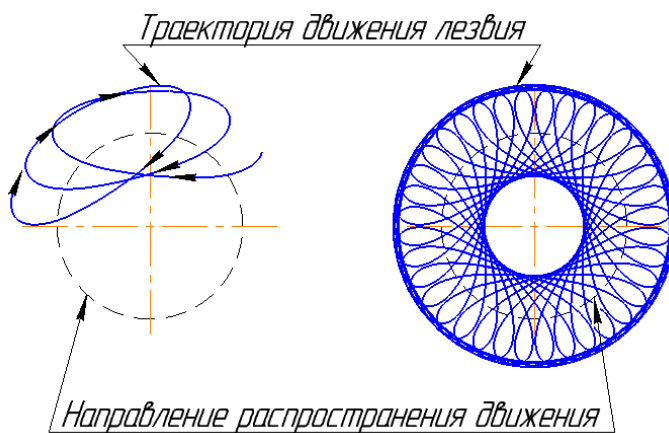


Рисунок 11.4. – Траектория при двухэлементной схеме резания

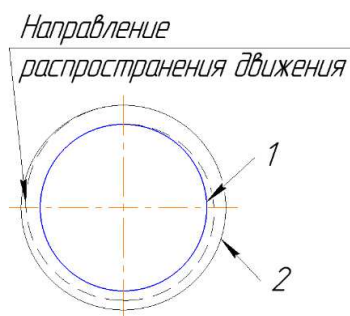


Рисунок 11.5. – Траектория при трехэлементной схеме резания:
1 – поверхность получаемой сферической поверхности;
2 – поверхность заготовки

На рисунке 11.6 представлена развертка сферической поверхности детали на плоскость с длиной окружности $\pi D_{сф}$ и проекция развертки окружности инструмента с длиной πD в плоскости, перпендикулярной оси ее вращения для перехода выхаживания. Показаны направления векторов окружных скоростей инструмента $\overline{v_r}$ и сферы $\overline{v_{св}}$ для случая их встречного направления. При изменении направления одного из вращений будет осуществляться попутное резание. Окружная скорость сферы в различных ее диаметральных сечениях изменяется от максимальных значений при наибольшем диаметре до нуля в полюсах сферы.

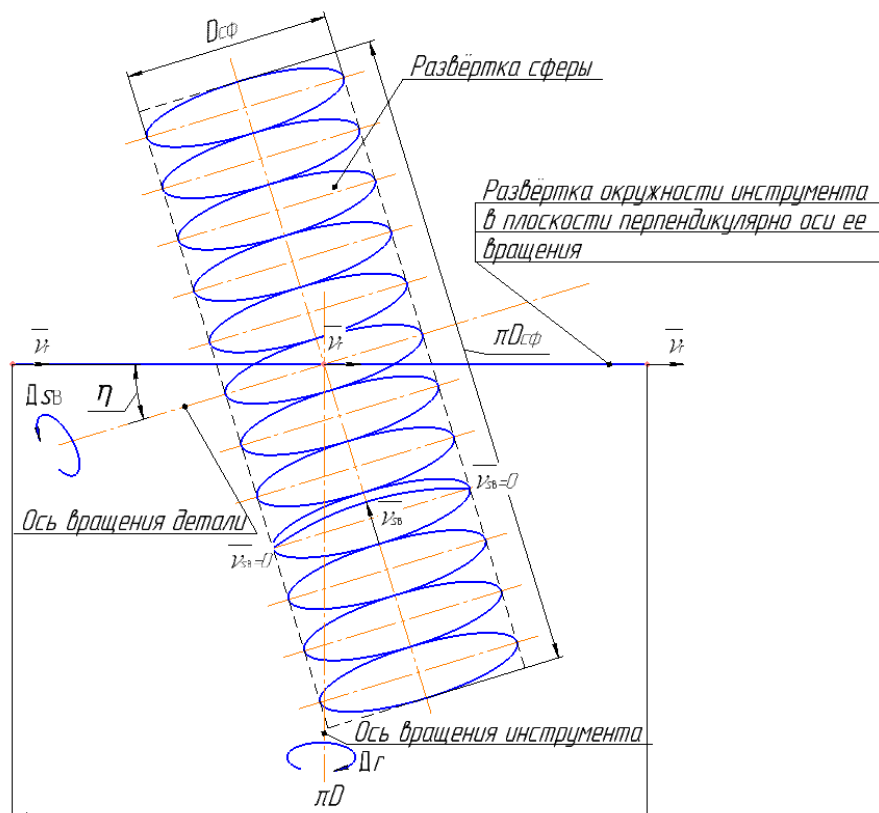


Рисунок 11.6. – Развертка поверхности сферы и окружности инструмента на плоскость

Кроме того, из таблицы 11.2 видно, что от формы неполной сферической поверхности зависят диаметр инструмента и угол установки оси заготовки относительно оси инструмента, которые рассчитываются по формулам:

$$D = \sqrt{D_{сф} H}, \quad (11.3)$$

$$\eta = \arccos \left(\sqrt{\frac{H}{D_{сф}}} \right). \quad (11.4)$$

От точности расчетов диаметра D и угла η будет зависеть точность геометрической формы неполной сферической поверхности, причем угол η будет принимать значение

$$0 \leq \eta \leq \arccos \left(\sqrt{\frac{H}{D_{сф}}} \right). \quad (11.5)$$

3. МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

1. Шлифовально-заточной станок мод. 3М642.
2. Заготовка детали со сферической поверхностью из стали 45 ГОСТ 1050 или из стали 40Х ГОСТ 4543.
3. Режущий инструмент специальный.
4. Пирометр модели «Optris Lazer Sight».
5. Тахометр модели ТЭ-02.
6. Токоизмерительные клещи модели «Mastech M266».
7. Виброметр модели «Октава 101ВМ».
8. Видеоизмерительный микроскоп NORGAU NVM-4030D.

4. СТРУКТУРА ОТЧЕТА

1. Название, цель и порядок выполнения лабораторной работы.
2. Краткие теоретические сведения об особенностях высокоскоростной обработки материалов, видах лезвийной обработки сферических поверхностей деталей, кинематических особенностях скоростной обработки сферических поверхностей деталей вращающимся лезвийным инструментом.
3. Протокол назначенных режимов обработки и результатов измерения исследуемых параметров: мощности резания, вибрации, температуры резания и шероховатости полученной поверхности.
4. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Цель и порядок выполнения работы.
2. Охарактеризуйте особенности высокоскоростной обработки материалов.
3. Назовите виды лезвийной обработки сферических поверхностей деталей.
4. Отметьте кинематические особенности скоростной обработки сферических поверхностей деталей вращающимся лезвийным инструментом.
5. Охарактеризуйте вибрации при скоростной обработке поверхности детали.
6. Как определяется мощность при скоростной обработке поверхности детали?
7. Как определяется температура при скоростной обработке поверхности детали?
8. Как контролируется точность получения сферы?
9. Как измеряется шероховатость обработанной поверхности сферы?
10. Как измеряется износ лезвия инструмента?

Протокол исследования скоростной обработки сферической поверхности
детали машины

№ опыта	Режим резания			Сила тока, А	Вибрации, Гц	Температура, °С	Точность поверхности сферы, мкм
	Частота вращения инструмента, мин ⁻¹	Частота вращения детали, мин ⁻¹	Подача мм/мин				
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
1							
2							

Лабораторная работа № 12

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ НА СТАНКЕ С ЧПУ

1. ЦЕЛЬ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Цель работы – установление зависимостей мощности резания и шероховатости получаемой поверхности детали от режима резания и геометрии лезвия режущего инструмента при нестационарной обработке на металлорежущем станке с ЧПУ.

Рекомендуется выполнять работу в следующем порядке:

1. Изучить теорию нестационарных процессов резания.
2. Произвести обработку поверхности детали на станке с ЧПУ согласно заданию.
3. Измерить мощность резания на холостом и рабочем ходах режущего инструмента.
4. Измерить шероховатость обработанной поверхности детали.
5. Заполнить протокол исследования мощности резания и шероховатости поверхности.
6. Построить графические зависимости мощности резания и шероховатости поверхности от изменяющихся параметров обработки.
7. Сделать выводы о влиянии нестационарности процесса резания на мощность резания и шероховатость обработанной поверхности детали.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Особенности нестационарного процесса резания

К нестационарным процессам резания относятся процессы с изменяющимися элементами режима резания и геометрическими параметрами лезвия режущего инструмента, которые приводят к изменению характеристик процесса резания. Например, изменение скорости резания, подачи и глубины резания, углов в плане лезвия, неравномерность припуска на заготовке изменяют толщину и ширину срезаемого слоя, что, в свою очередь, приводит к изменению силовой нагрузки на лезвие режущего инструмента, теплоотвода из зоны резания, мощности резания и шероховатости обработанной поверхности.

При обработке поверхностей деталей на металлорежущих станках с ЧПУ чаще всего реализуется нестационарный процесс резания. Изучение нестационарности характеристик процесса резания от изменяющихся

режимов резания и геометрических параметров лезвия режущего инструмента позволяет управлять посредством системы ЧПУ качеством и производительностью обработки.

Рассмотрим некоторые случаи нестационарности процесса резания при обработке поверхностей деталей на станках с ЧПУ.

2.2. Влияние линейной скорости резания

Мощность резания определяется по формуле

$$N_p = P_z \cdot v, \text{ кВт}, \quad (12.1)$$

где P_z – главная составляющая силы резания, Н;

v – линейная скорость резания, м/мин.

Мощность резания N_p не должна превышать мощность привода (двигателя) станка N_C , т.е. $N_p < N_C$. С увеличением линейной скорости резания сила резания уменьшается, также с увеличением частоты вращения падает мощность двигателя. Однако уменьшение силы резания и увеличение линейной скорости резания влияют на изменение мощности резания в конкретных условиях обработки неоднозначно. Этот факт требует проведение соответствующих исследований.

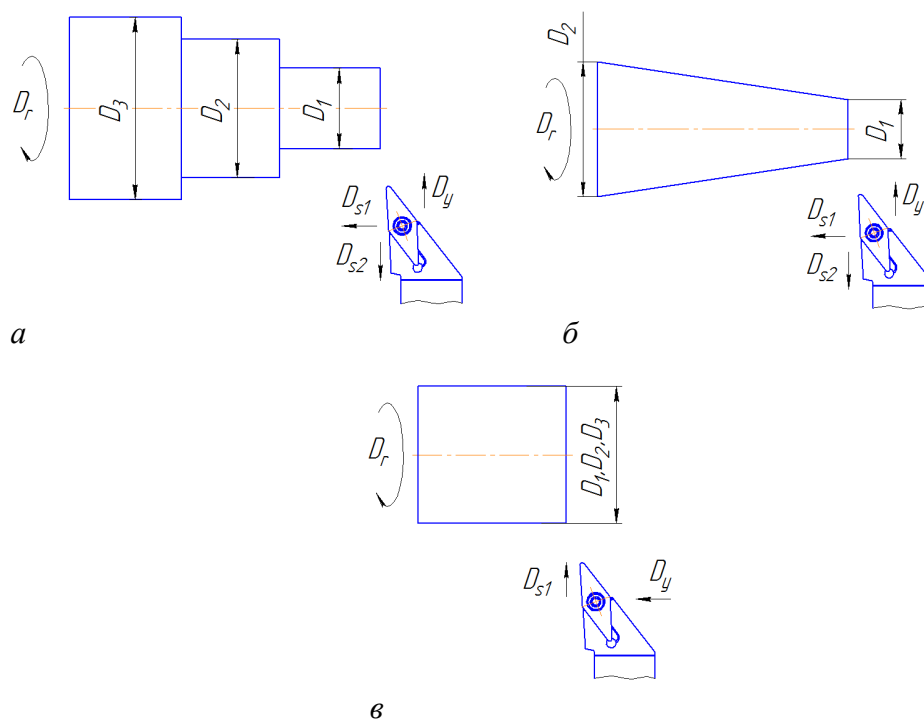


Рисунок 12.1. – Схемы обработки поверхностей детали:
а – ступенчатой; б – конической; в – торцевой

При обработке поверхностей деталей с разными размерами диаметров, например, ступенчатых валов, конической поверхности, отрезание или подрезание торца детали при одной и той же частоте вращения детали линейная скорость будет изменяться (см. рисунок 12.1):

$$v = \frac{\pi \cdot D_i \cdot n}{1000}, \text{ м/мин,} \quad (12.2)$$

где D_i – текущий диаметр обрабатываемой поверхности детали, мм.
Соответственно будет изменять мощность резания

$$N_{Pi} = P_{zi} \cdot v_i.$$

2.3. Влияние изменения направления линейной скорости резания

При врезании режущего инструмента, например, фрезы в заготовку, могут быть выбраны различные направления движения подачи: по нормали, касательной или по дуге к поверхности резания или обрабатываемой поверхности (рис. 12.2). Вектор результирующей скорости резания в каждом из этих случаев будет изменять свое направление, следовательно, будет изменяться положение отсечных для определения геометрии лезвия режущего инструмента кинематических основной плоскости, плоскости резания и главной секущей плоскости. Например, за счет увеличения кинематического угла наклона режущей кромки $\lambda_\kappa = \arctan g \left(\frac{v_s}{v_r} \right)$ будет уменьшаться сила и мощность резания.

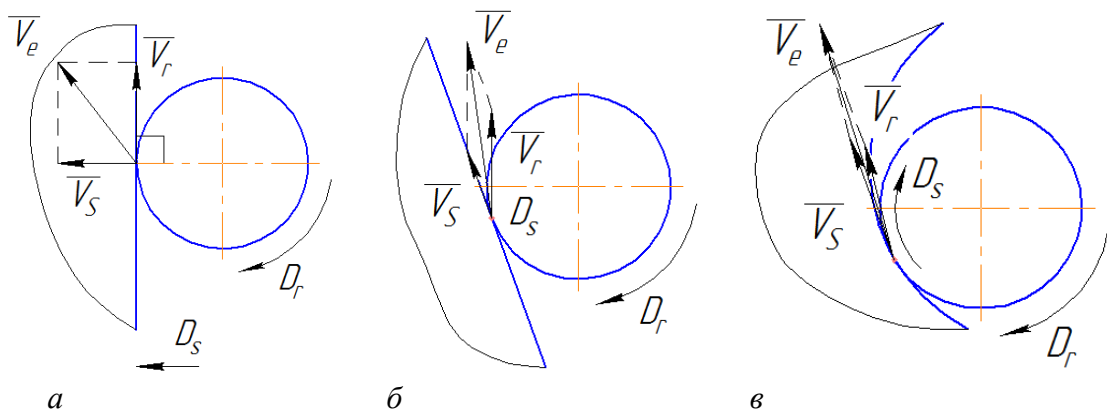


Рисунок 12.2. – Схемы врезания режущего инструмента в заготовку:
а – по нормали; б – по касательной; в – по дуге

2.4. Влияние изменения глубины врезания инструмента в заготовку

При изменении глубины врезания A_i фрезы в заготовку при переменной глубине резания (рисунок 12.3) будет изменяться сила и мощность резания:

$$A_i = k \cdot d_\phi, \text{ мм}, \quad (12.3)$$

где k – коэффициент врезания;
 d_ϕ – диаметр фрезы, мм.

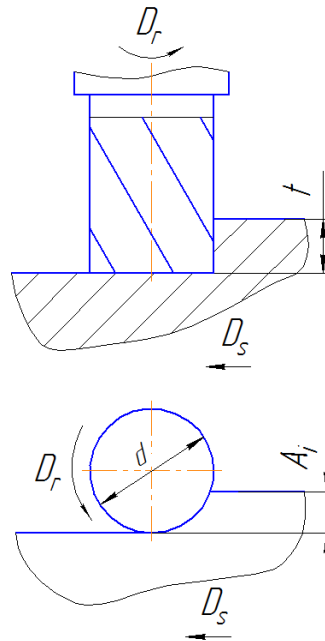


Рисунок 12.3. – Схема резания с изменяющейся глубиной врезания A_i фрезы в заготовку

Коэффициент врезания k может принимать значения в диапазоне $0 < k \leq 1$.

2.5. Влияние изменения кривизны обработанной поверхности детали

При обработке сферической поверхности детали в связи с изменением направления вектора скорости подачи в различных точках (секущих плоскостях) сферы будут изменяться значения главного ϕ и вспомогательного ϕ_1 углов в плане резца (рисунок 12.4) соответственно с 142° и 3° до 0° и 145° .

Надо точно учитывать так называемые «перебеги» резца при его входе в заготовку и выхода из нее, которые изменяют размеры сечения

срезаемого слоя. Эти изменения оказывают существенно влияние на направление схода стружки, явление наростообразования, отведение теплоты из зоны резания, шероховатость обработанной поверхности детали, которая напрямую зависит от главного φ и вспомогательного φ_1 углов в плане:

$$R_{z_i} = S_O \frac{\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi_1}{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_1}, \quad (12.4)$$

где R_z – параметр шероховатости поверхности, мкм;

S_O – подача резца, мм/об;

φ – главный угол в плане лезвия резца;

φ_1 – вспомогательный угол в плане лезвия резца.

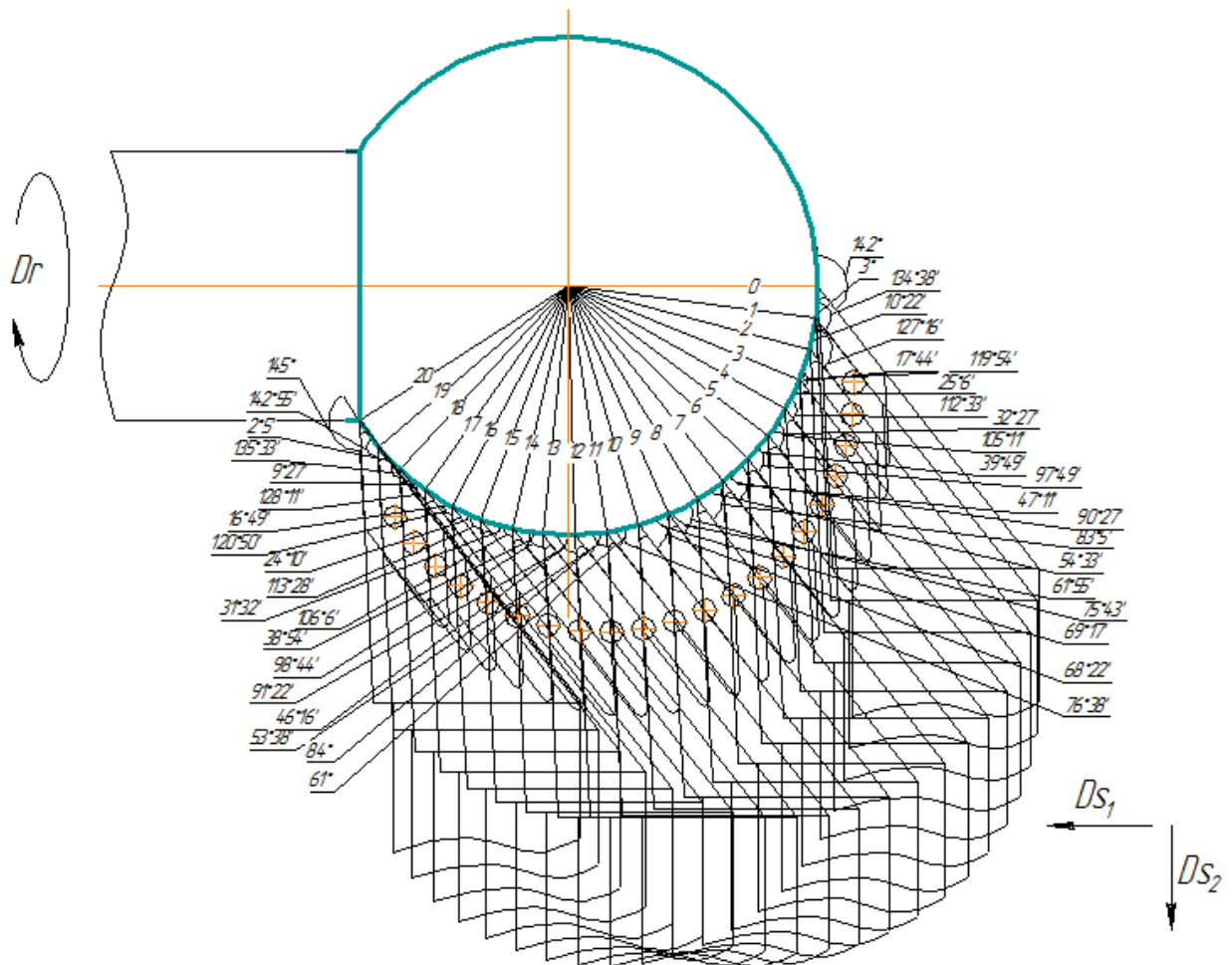


Рисунок 12.4. – Схема изменения главного и вспомогательного углов в плане лезвия резца при обработке сферической поверхности детали

Как видно из формулы (12.4) с увеличением подачи S_o и углов в плане φ_i и φ_{1i} высота неровностей R_{zi} будет возрастать. Но при этом необходимо учитывать, что при обработке различных участков сферической поверхности детали будет изменяться величина линейной скорости вращающейся детали – от нулевого значения по оси вращения детали до максимального на наибольшем размере диаметра детали (см. формулу 12.2).

3. МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

1. Сталь 45 ГОСТ 1050, сталь 40Х ГОСТ 4543.
2. Металлорежущие станки моделей: токарный станок 16К20ФЗ с системой ЧПУ «Siemens Sinumerik 802D», токарный станок Emco Emcoturn S45 с системой ЧПУ «Siemens Sinumerik 828D», вертикальный обрабатывающий центр FANUC Robodrill α -D21iB с системой ЧПУ FANUC 31i-B5.
3. Профилограф-профилометр «Abris-PM-7».
4. Режущий инструмент: резец MVJNR 1616K16 с режущей пластиной VNMG 160408-EM, фреза концевая JS514160D2C.0Z4-NXT.
5. Видеоизмерительный микроскоп NORGAU NVM-4030D.
6. Датчики для измерения силы и мощности резания.

4. СТРУКТУРА ОТЧЕТА

1. Название, цель лабораторной работы.
2. Краткие сведения о нестационарном процессе резания.
3. Протокол исследования.
4. Зависимости мощности резания и шероховатости поверхности от параметров обработки.
5. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите цель и порядок выполнения работы.
2. Что такое нестационарный процесс резания?
3. Назовите основные случаи нестационарности процесса резания?
4. Как определяется мощность резания?
5. Приведите схемы врезания режущего инструмента в заготовку.
6. Как измеряется шероховатость поверхности детали?
7. Как влияет на мощность резания и шероховатость поверхности детали изменение скорости резания?

8. Как влияет на мощность резания и шероховатость поверхности детали изменение глубины врезания?

9. Как влияет на мощность резания и шероховатость поверхности детали изменение углов в плане и наклона режущей кромки лезвия инструмента?

10. Как влияет на мощность резания и шероховатость поверхности детали изменение кривизны обрабатываемой поверхности?

Варианты заданий

Вариант	Диаметр заготовки D_1 , мм	Диаметр заготовки D_2 , мм	Диаметр заготовки D_3 , мм	Глубина резания t , мм	Скорость v , м/мин	Подача S , мм/об	Глубина врезания A , мм	Диаметр режущего инструмента d , мм
1								
2								
3								

Протокол исследования нестационарного процесса резания на станке с ЧПУ

№ опыта	Режимы резания				Диаметр заготовки D , мм	Диаметр режущего инструмента d , мм	Геометрия лезвия		Мощность N , кВт	Шероховатость Ra , мкм
	Скорость v , м/мин	Подача S , мм/об	Глубина резания t , мм	Глубина врезания A , мм			Угол наклона режущей кромки λ , °	Угол в плане φ , °		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Лабораторная работа № 13

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА РЕЗАНИЯ

1. ЦЕЛЬ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Цель работы – практическое закрепление знаний студентом об основных правилах выбора режущего инструмента и освоение аналитического метода определения рационального режима резания на примере токарной обработки.

Рекомендуется выполнять работу в следующем порядке:

1. Выбрать марку инструментального материала и геометрию лезвия токарного резца в соответствии с вариантом задания (таблицы 13.1–13.5).
2. Определить глубину резания.
3. Определить технологически допустимую подачу.
4. Рассчитать скорость резания.
5. Проверить правильность выбора и расчетов режима резания на станке.
6. Сделать выводы по результатам расчета и экспериментов.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Расчет режима резания при точении

Аналитический метод определения рационального (наивыгоднейшего) режима резания основан на определении глубины резания t , подачи S и скорости резания v по таким ограничениям, как прочность механизмов станка, прочность и жесткость инструмента и заготовки, шероховатость обработанной поверхности. Метод осуществляется в следующей последовательности: 1) выбор марки инструментального материала и геометрии режущего лезвия инструмента; 2) определение глубины резания; 3) определение допускаемой подачи; 4) определение скорости резания.

Выбор марки инструментального материала и геометрии лезвия резца производится в зависимости от свойств обрабатываемого материала, вида и характера обработки и требуемой шероховатости поверхности детали по справочникам.

Глубина резания чаще всего определяется как полуразность диаметров в среднем машиностроении, а в тяжелом – как общий припуск, снимаемый за несколько проходов.

При определении наибольшей технологически допускаемой подачи учитываются: а) прочность механизма подачи станка; б) прочность резца;

в) жесткость резца; г) прочность изделия; д) жесткость изделия; е) шероховатость обработанной поверхности.

Подача, допускаемая прочностью механизма подачи станка

В механизме подачи станка слабым звеном является шестерня, входящая в зацепление с рейкой, прикрепленной к станине станка.

Расчетное условие

$$P_x \leq Q_{\text{доп.}},$$

где P_x – осевая составляющая силы резания, Н;

$Q_{\text{доп.}}$ – усилие, допускаемое механизмом подачи станка (шестерней), Н.

Выбирается из паспорта станка (таблица 13.6).

Поскольку скорость неизвестна, то в формулу

$$P_x = C_{px} \cdot t^{x_{px}} \cdot S^{y_{px}} \cdot v^{z_{px}} \cdot K_{px}$$

подставляется поправочный коэффициент на скорость K_{vx} (таблицы 13.7, 13.8). Тогда

$$P_x = C_{px} \cdot t^{x_{px}} \cdot S^{y_{px}} \cdot v^{z_{px}} \cdot K_{px} \cdot K_{vx}, \text{ Н.} \quad (13.1)$$

Отсюда

$$S_1 \leq \sqrt[y_{px}]{\frac{Q_{\text{доп.}}}{C_{px} \cdot t^{x_{px}} \cdot S^{y_{px}} \cdot K_{px} \cdot K_{vx}}}, \text{ мм/мин.} \quad (13.2)$$

Подача, допускаемая прочностью резца (рисунок 13.1)

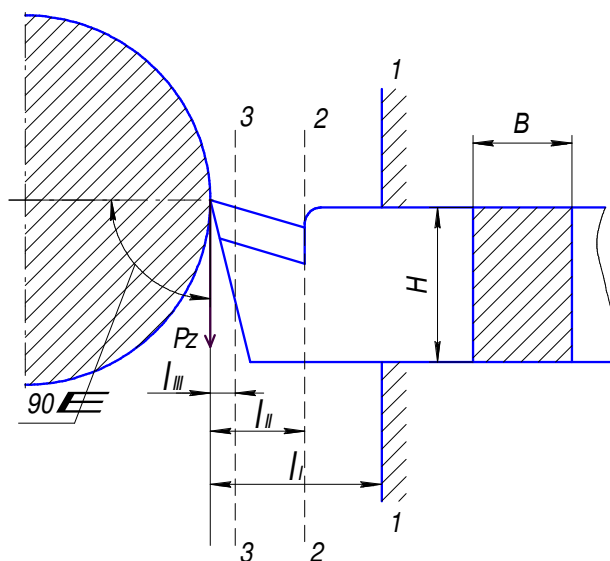


Рисунок 13.1. – Схема для расчета подачи, допускаемой прочностью резца

Расчетное условие

$$M_{из} \leq [M_{из}]_{дон},$$

где $M_{из}$ – изгибающий момент от силы P_z , Н·м;
 $[M_{из}]$ – допускаемый изгибающий момент, Н·м.

$$P_z \cdot l \leq [\sigma]_u \cdot W,$$

где W – момент сопротивления резца изгибу, Н·м,
 или

$$C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot S^{y_{pz}} \cdot K_{pz} \cdot K_{vz} \cdot l \leq [\sigma]_u \cdot \frac{BH^2}{6},$$

Отсюда

$$S_2 \leq \sqrt[3]{\frac{[\sigma]_u \cdot BH^2}{6C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot K_{pz} \cdot K_{vz} \cdot l}}, \text{ мм/мин.} \quad (13.3)$$

Данная формула справедлива как для цельных, так и для составных резцов. В последнем случае, однако, кроме сечения, проходящего на расстоянии l_1 (см. рисунок 13.1), необходимо проверить также и сечение на расстоянии l_2 , ослабленное вследствие выреза в державке для режущей пластины. В случае если пластина изготовлена из твердого сплава, опасным может оказаться и сечение на расстоянии l_3 , зависящее от толщины пластины и угла α .

Подача, допускаемая жесткостью резца

Рассчитывается из условия максимально допускаемой стрелы прогиба резца под действием силы резания P_z .

$$f_{изг.} \leq [f],$$

$$\frac{P_z \cdot l^3}{3EI} \leq [f], \text{ или } \frac{C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot S^{y_{pz}} \cdot k_{pz} \cdot k_{vz} \cdot l^3}{3EI} \leq [f],$$

где $I = \frac{BH^3}{12}$ – момент инерции, мм⁴;

$[f] = 0,1$ мм – при черновом точении;

$[f] = 0,05$ мм – при чистовом точении.

Тогда

$$S_3 \leq \sqrt[3]{\frac{[f] E \cdot B H^3}{4 C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot K_{vz} \cdot K_{pz} \cdot l^3}}, \text{ мм/мин.} \quad (13.4)$$

Подача, допускаемая прочностью заготовки (рисунок 13.2)

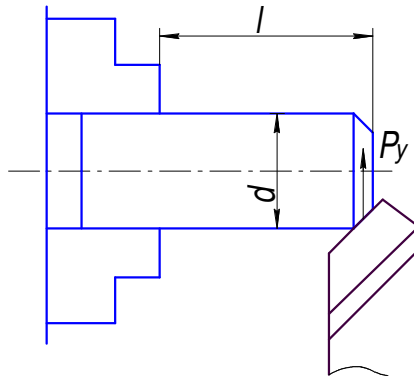


Рисунок 13.2. – Схема для расчета подачи, допускаемой прочностью заготовки, установленной в патроне

Этот расчет производится для нежестких деталей ($\frac{L}{d} > 10$).

Расчетное условие:

$$M_{из} \leq [M_{из}] ,$$

где $M_{из} = k P_y l \rightarrow$ – изгибающий момент в опасном сечении от действия силы P_y , Н·м;

$[M_{из}] = [\sigma]_u \cdot 0,1 \cdot d^3$ – допускаемый изгибающий момент, Н·м;

k – коэффициент, учитывающий способ закрепления обрабатываемой заготовки на станке:

$k = 1$ – заготовка крепится в патроне;

$k = 3/16$ – заготовка крепится в патроне и поддерживается центром задней бабки;

$k = 1/4$ – заготовка обрабатывается в центрах станка.

Тогда

$$S_4 \leq \sqrt[3]{\frac{[\sigma]_u \cdot 0,1 \cdot d^3}{C_{py} \cdot t^{x_{py}} \cdot K_{vy} \cdot K_{py} \cdot k \cdot l}}, \text{ мм/мин.} \quad (13.5)$$

Подача, допускаемая жесткостью изделия (рисунок 13.3)

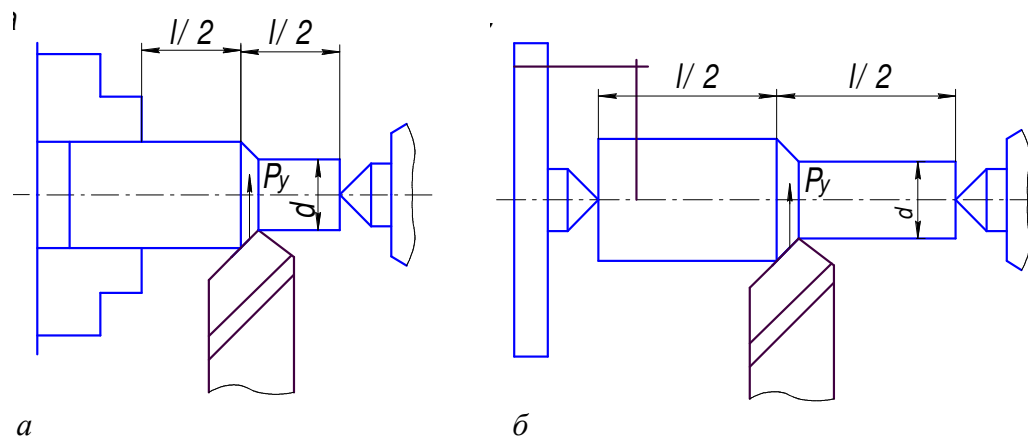


Рисунок 13.3. – Схема для расчета подачи, допускаемой прочностью заготовки, установленной в патроне и центре (а), в центрах (б)

Этот расчет производится при отношениях $\frac{L}{d} \geq 8 \dots 10$. Подача определяется из условия максимально допустимой стрелы прогиба:

$$f \leq [f],$$

$$\frac{P_y \cdot l^3}{kEI} \leq [f].$$

Если данная операция предшествует токарной чистовой операции, то $[f] = 0,1 \dots 0,2$ мм. Если операция является окончательной, то $[f]$ должен быть увязан с допуском δ на точность изготовления:

$$[f] = \left(\frac{1}{7} \dots \frac{1}{8} \right) \delta.$$

Тогда

$$S_5 \leq y_{py} \sqrt{\frac{0,05kEd^4[f]}{C_{py} \cdot t^{x_{py}} \cdot K_{vy} \cdot K_{py} \cdot l^3}}, \text{ мм/мин.} \quad (13.6)$$

Подача, допускаемая шероховатостью обработанной поверхности детали

Расчетное условие

$$h \leq R_z$$

– для острозаточенного резца:

$$S_6 \leq R_z \frac{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \varphi_1}{\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi_1}, \text{ мм/мин}; \quad (13.7)$$

– для резца с радиусом при вершине:

$$S_6 \leq \sqrt{8r \cdot R_z}, \text{ мм/мин}. \quad (13.8)$$

Из полученных шести значений подач выбирается наименьшее и согласовывается с паспортом станка. Эта подача S_0 будет являться рациональной как наибольшая технологически допускаемая подача.

Выбор скорости резания

Скорость резания определяется исходя из заданной стойкости инструмента T и мощности на шпинделе станка N .

По стойкости инструмента:

$$T_1 > T,$$

$$v_1 = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S_o^y} K_v, \text{ м/мин}, \quad (13.9)$$

$$n_1 = \frac{1000 \cdot C_v}{\pi d \cdot T^m \cdot t^x \cdot S_o^y} K_v, \text{ мин}^{-1}. \quad (13.10)$$

По мощности на шпинделе:

$$N_{рез} < N,$$

$$N_{рез} = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 10^2}, \text{ кВт},$$

$$M_{кр} = 716 \ 200 \cdot 1,36 \cdot \frac{N}{n}, \text{ Н·мм},$$

$$M_{рез} = \frac{P_z \cdot d}{2}, \text{ Н·мм},$$

$$n_2 = \frac{716 \ 200 \cdot 1,36 \cdot 2N}{C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot S_o^{y_{pz}} K_{vz} \cdot K_{pz} \cdot d}, \text{ мин}^{-1}. \quad (13.11)$$

Из двух значений частот вращения n_1 и n_2 меньшее значение является лимитирующим, согласовывается с паспортом станка и как рациональное используется в дальнейшем при обработке заготовок.

Производится обработка заготовки на выбранных элементах режима резания и делается вывод о правильности расчетов.

3. СТРУКТУРА ОТЧЕТА

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Схемы расчета значений технологически допускаемых подач.
3. Расчет режима резания.
4. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите цель и порядок выполнения работы.
2. Как выбирается режущий инструмент?
3. Назовите последовательность назначения элементов режима резания.
4. Схема и формулы для расчета подачи, допускаемой прочностью и жесткостью резца.
5. Схема и формулы для расчета подачи, допускаемой прочностью и жесткостью заготовки, установленной в патроне.
6. Схема и формулы для расчета подачи, допускаемой прочностью и жесткостью заготовки, установленной в патроне и центре, в центрах.
7. Как рассчитывается подача, допускаемая шероховатостью обработанной поверхности детали?
8. Как рассчитывается скорость резания исходя из стойкости режущего инструмента?
9. Как рассчитывается скорость резания исходя из мощности резания?
10. Как выбираются окончательные значения подачи и скорости резания?

Таблица 13.1. – Обрабатываемый материал

№ столбца № строки	0–9
0	Сталь 3, $\sigma_B = 460$ МПа
1	Сталь 45, $\sigma_B = 610$ МПа
2	Сталь 40Х, $\sigma_B = 700$ МПа
3	Чугун СЧ 25, HB 200
4	Чугун СЧ 30, HB 220
5	Сталь 3, $\sigma_B = 460$ МПа
6	Сталь 45, $\sigma_B = 610$ МПа
7	Сталь 40Х, $\sigma_B = 700$ МПа
8	Чугун СЧ 25, HB 200
9	Чугун СЧ 30, HB 220

Таблица 13.2. – Длина заготовки

№ столбца № строки	0–4	5–9
0–4	150 мм	200 мм
5–9	250 мм	300 мм

Таблица 13.3. – Диаметры заготовки D_z и детали D_d

№ столбца № строки	0–9	
	D_z	D_d
0	60	50Н12
1	70	62Н11
2	80	74Н11
3	90	86Н10
4	100	98Н10
5	60	50Н9
6	70	62Н9
7	80	74Н8
8	90	86Н8
9	100	98Н8

Таблица 13.4. – Метод крепления заготовки

№ столбца № строки	0–9
0–2	В патроне
3–4	В патроне с поджимом центром задней бабки
5–9	В центрах

Таблица 13.5 – Шероховатость обработанной поверхности детали

№ столбца № строки	0–4	5–9
0–4	$R_z 80$	$R_z 40$
5–9	$R_a 3,2$	$R_a 1,6$

Таблица 13.6. – Паспортные данные токарно-винторезного станка модели 16K20

Мощность двигателя	10 кВт
кпд станка	0,75
Частота вращения шпинделя (мин^{-1})	12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600
Продольные подачи на оборот (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
Поперечные подачи на оборот (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 сила, допускаемая механизмом подачи	6000 Н

Таблица 13.7. – Значения поправочных коэффициентов на скорость резания при точении конструкционных сталей твердыми сплавами Т5К10, Т15К6, Т30К4

№ п/п	Глубина резания t , мм	Значения K_v		
		K_{vx}	K_{vy}	K_{vz}
1	1–3	0,13	0,22	0,47
2	4–8	0,17	0,22	0,5

Таблица 13.8. – Значения поправочного коэффициента на скорость резания K_v при использовании различных марок твердых сплавов

Точение стали	Марка твердого сплава							
	Т30К4	Т15К6	ТТ20К9	Т14К8	ТТ10К8Б	Т15К10	Т5К12В	ТТ7К12
	K_v							
	1,4	1	0,9	0,85	0,75	0,65	0,4	0,4
Точение чугуна	Марка твердого сплава							
	ВК2	ВК3М	ВК4	ВК6М	ВК6	ВК8		
	K_v							
	1,25	1,15	1,05	1,05	1	0,85		

ТЕСТЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Тест № 1

Виды обработки резанием

1. Дайте определение движения резания:

- общее (результатирующее) относительное движение инструмента и заготовки в процессе резания;
- движение резания, происходящее в процессе обработки с наибольшей скоростью;
- движение, предназначенное для распространения отделения слоя материала на всю обрабатываемую поверхность.

2. Для чего предназначено касательное движение:

- для распространения обработки на всю обрабатываемую поверхность;
- для смены контактирующих с заготовкой участков режущей кромки;
- для обеспечения стружкодробления.

3. Какие элементы включает общая схема обработки резанием?

- режущий инструмент и заготовка;
- режущая кромка, инструмент и заготовка;
- режущий инструмент, заготовка и их относительное движение.

4. В чем состоит принципиальное отличие строгания от долбления:

- при строгании установочная база параллельна главному поступательному движению, при долблении – перпендикулярна;
- при строгании установочная база перпендикулярна главному поступательному движению, при долблении – параллельна;
- строгание происходит с большей скоростью резания.

5. Выделите из предложенного перечня осевую обработку:

- строгание;
- долбление;
- развертывание.

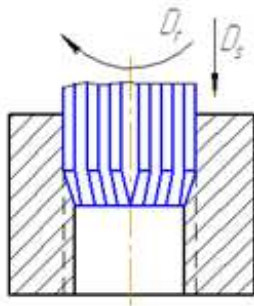
6. Выберите правильное выражение:

- при попутном фрезеровании векторы скорости главного движения резания и движения подачи совпадают по направлению;
- при попутном и встречном фрезеровании векторы скорости главного движения резания и движения подачи направлены перпендикулярно;
- встречное фрезерование происходит с меньшими вибрациями, чем попутное.

7. Имеется ли в процессе фрезерования возможность изменения радиуса траектории резания:

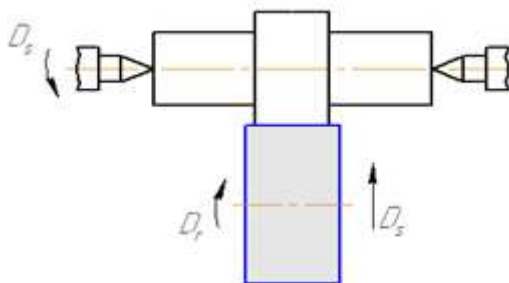
- да;
- нет;
- в некоторых случаях.

8. Назовите вид обработки резанием, изображенный на рисунке.



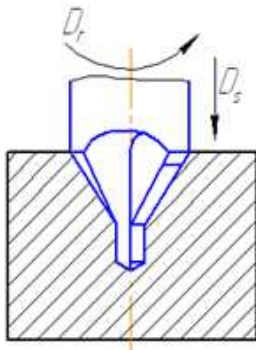
- развертывание отверстий;
- растачивание;
- зенкерование.

9. Назовите вид обработки резанием, изображенный на рисунке.



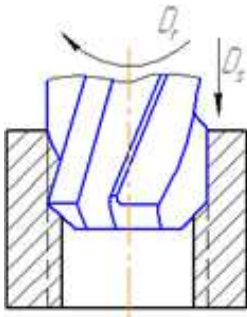
- круглое шлифование;
- цилиндрическое фрезерование;
- торцовое фрезерование.

10. Назовите вид обработки резанием, изображенный на рисунке.



- сверление центровочного отверстия;
- зенкерование;
- цекование.

11. Назовите вид обработки резанием, изображенный на рисунке.



- зенкование;
- развертывание отверстий;
- сверление.

12. К поступательным видам обработки относятся:

- строгание, сверление, точение;
- строгание, долбление, протягивание;
- точение, фрезерование, долбление.

13. Выберите правильное определение:

– протягивание – это обработка многолезвийным инструментом с поступательным или вращательным главным движением резания, без движения подачи;

– протягивание – это обработка многолезвийным инструментом с поступательным или вращательным главным движением резания и движением подачи вдоль оси главного движения резания;

– протягивание – это обработка многолезвийным инструментом с поступательным или вращательным главным движением резания, и движением подачи, направленным перпендикулярно оси главного движения резания.

14. К осевым видам обработки относятся:

- сверление, зенкерование, цекование;
- сверление, протягивание, развертывание;
- сверление, точение, зенкерование.

15. К видам абразивной обработки относятся:

- хонингование, точение, шлифование;
- шлифование, хонингование, доводка;
- шлифование, протягивание, суперфиниширование.

16. Выберите правильное утверждение:

- зенкерование – осевая обработка верхней части отверстия в целях получения фаски либо цилиндрического или конического углубления под потайную головку винта;
- зенкерование – осевая обработка цилиндрических или конических отверстий в деталях с целью увеличения их диаметра, повышения качества поверхности и точности;
- зенкерование – осевая обработка для получения отверстия в сплошном металле.

17. Выберите правильное определение осевой обработки:

- лезвийная обработка с вращательным главным движением резания и движением подачи только вдоль оси главного движения резания;
- лезвийная обработка с вращательным главным движением резания и движением подачи, направленным перпендикулярно оси главного движения резания;
- лезвийная обработка с поступательным главным движением резания и вращательным движением подачи вокруг оси главного движения резания.

18. Выберите правильное утверждение:

- фрезерование – лезвийная обработка с вращательным главным движением резания при постоянном радиусе его траектории, сообщаемым инструменту, и хотя бы одним движением подачи, направленным перпендикулярно оси главного движения резания;
- фрезерование – лезвийная обработка с вращательным главным движением резания при постоянном радиусе его траектории, сообщаемым инструменту, и хотя бы одним движением подачи, направленным вдоль оси главного движения резания;
- фрезерование – лезвийная обработка с вращательным главным движением резания и возможностью изменения радиуса его траектории.

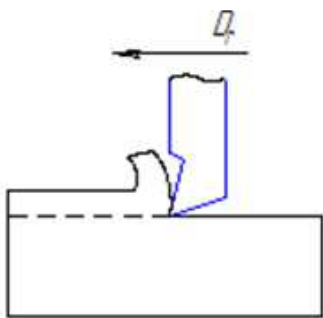
19. Нарезание зубчатых колес по методу обката производится:

- червячными модульными фрезами;
- пальцевыми модульными фрезами;
- дисковыми модульными фрезами.

20. Нарезание зубчатых колес по методу копирования производится:

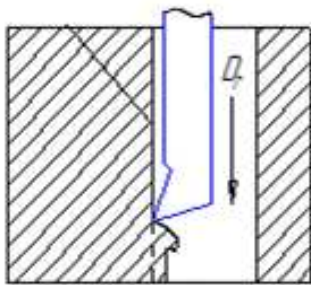
- червячными модульными фрезами;
- пальцевыми модульными фрезами;
- долбьяками.

21. Назовите вид обработки резанием:



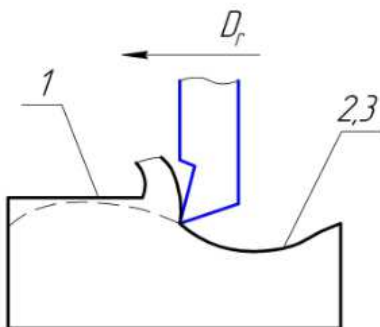
- строгание;
- точение;
- долбление.

22. Назовите вид обработки резанием:



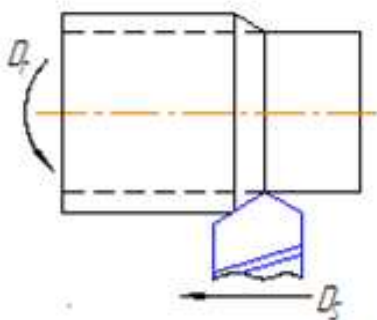
- точение;
- строгание;
- долбление.

23. Назовите вид обработки резанием:



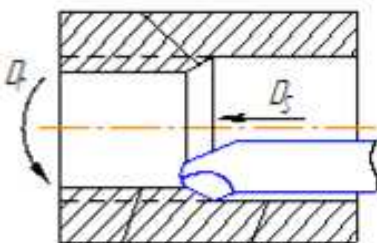
- строгание;
- строгание по копиру;
- долбление.

24. Назовите вид обработки резанием:



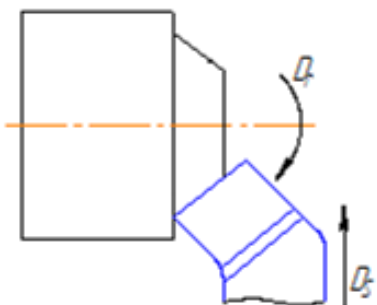
- растачивание;
- обтачивание;
- нарезание резьбы.

25. Назовите вид обработки резанием:



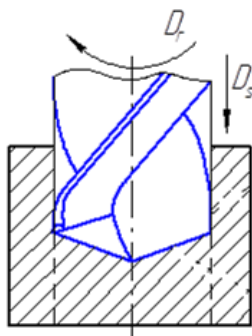
- обтачивание;
- растачивание;
- протягивание.

26. Назовите вид обработки резанием:



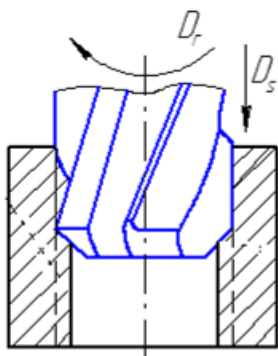
- растачивание;
- подрезание;
- строгание.

27. Назовите вид обработки резанием:



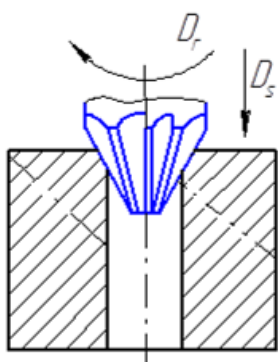
- сверление;
- развертывание;
- зенкерование.

28. Назовите вид обработки резанием:



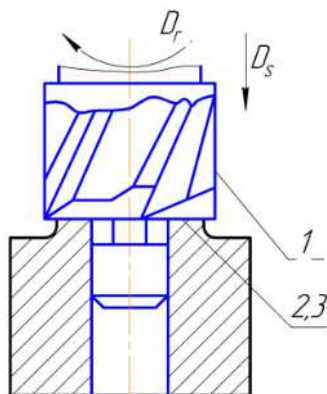
- развертывание;
- зенкование;
- зенкерование.

29. Назовите вид обработки резанием:



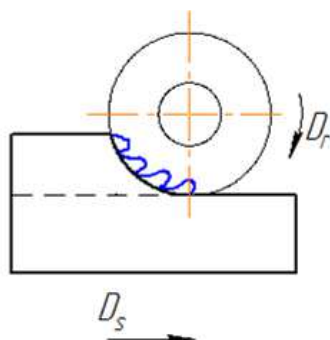
- зенкование;
- цекование;
- зенкерование.

30. Назовите вид обработки резанием:



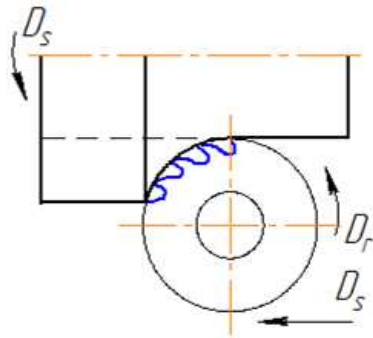
- зенкование;
- зенкерование;
- цекование.

31. Назовите вид обработки резанием:



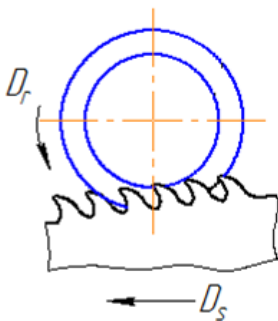
- ротационное точение;
- периферийное фрезерование;
- круговое фрезерование.

32. Назовите вид обработки резанием



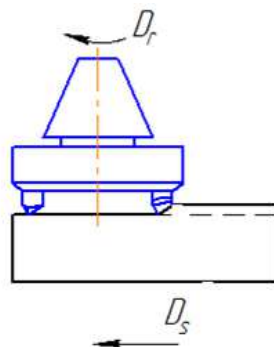
- круговое фрезерование;
- торцовое фрезерование;
- периферийное фрезерование.

33. Назовите вид обработки резанием:



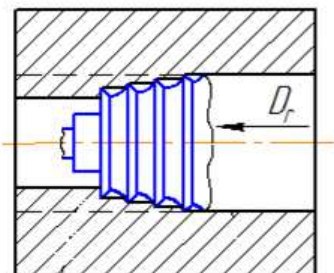
- фрезерование;
- наружное протягивание;
- внутреннее протягивание.

34. Назовите вид обработки резанием:



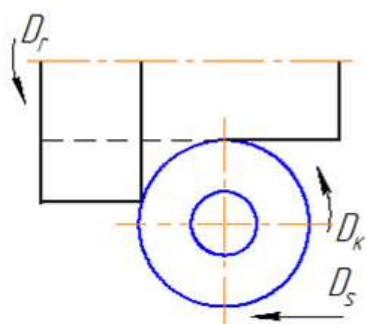
- торцовое фрезерование;
- периферийное фрезерование;
- ротационное точение.

35. Назовите вид обработки резанием:



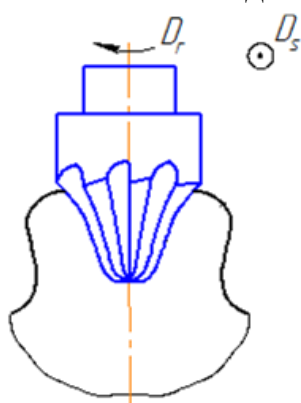
- сверление;
- развертывание;
- протягивание.

36. Назовите вид обработки резанием:



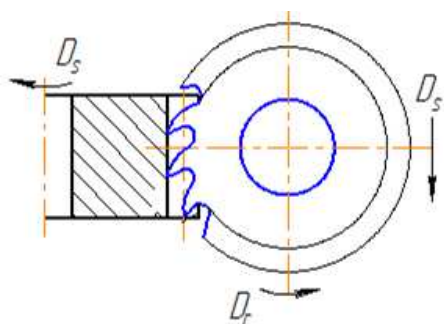
- периферийное фрезерование;
- ротационное точение;
- круглое шлифование.

37. Назовите вид обработки резанием:



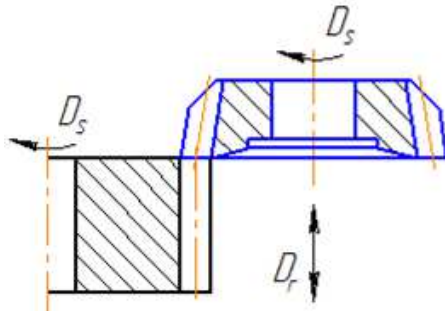
- зубонарезание модульной пальцевой фрезой;
- зубонарезание модульной дисковой фрезой;
- зубонарезание модульной червячной фрезой.

38. Назовите вид обработки резанием:



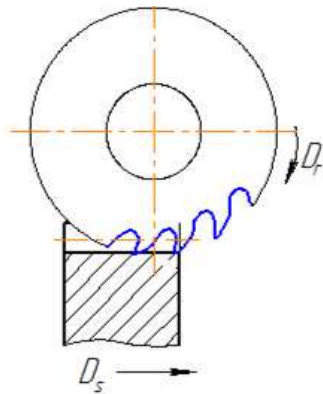
- зубонарезание модульной пальцевой фрезой;
- зубонарезание модульной дисковой фрезой;
- зубонарезание модульной червячной фрезой.

39. Назовите вид обработки резанием:



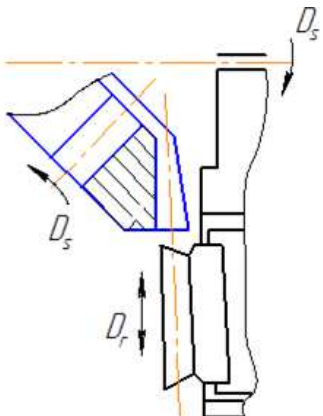
- зубодолбление;
- зубонарезание модульной пальцевой фрезой;
- зубонарезание модульной червячной фрезой.

40. Назовите вид обработки резанием:



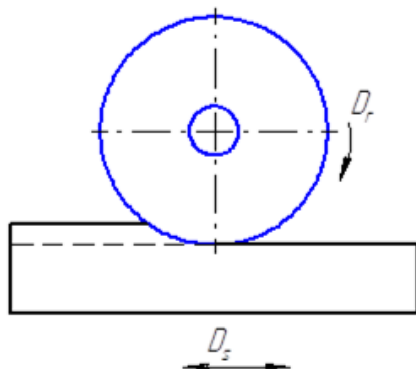
- зубонарезание модульной пальцевой фрезой;
- зубонарезание модульной червячной фрезой;
- зубонарезание модульной дисковой фрезой.

41. Назовите вид обработки резанием:



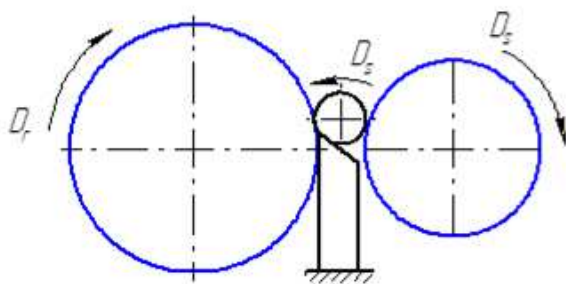
- зубодолбление;
- зубострогание;
- зубонарезание модульной дисковой фрезой.

42. Назовите вид обработки резанием:



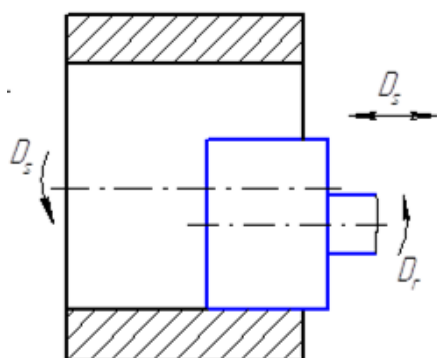
- плоское шлифование периферией круга;
- плоское шлифование торцом круга;
- периферийное фрезерование.

43. Назовите вид обработки резанием:



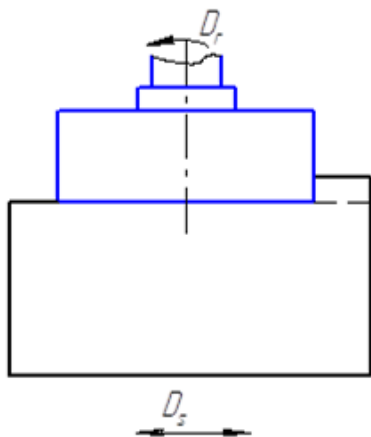
- торцовое шлифование периферией круга;
- заточка лезвия фрезы;
- бесцентровое шлифование.

44. Назовите вид обработки резанием:



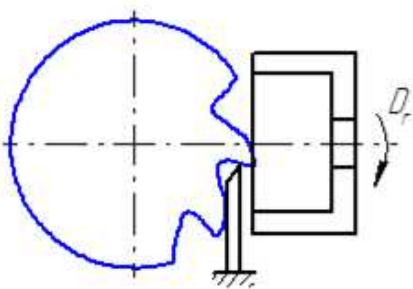
- круглое наружное шлифование;
- внутреннее шлифование;
- плоское шлифование периферией круга.

45. Назовите вид обработки резанием:



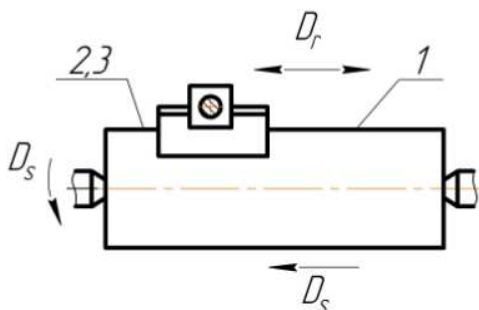
- плоское шлифование периферией круга;
- плоское шлифование торцом круга;
- бесцентровое шлифование.

46. Назовите вид обработки резанием:



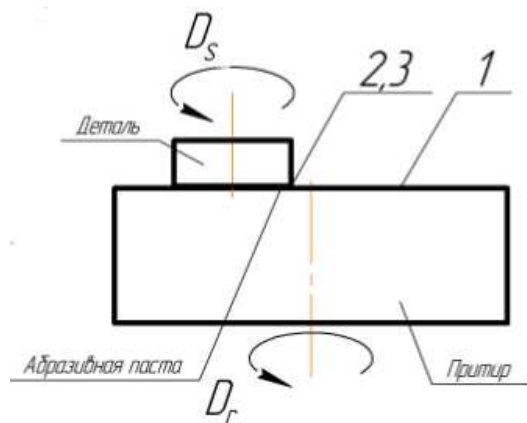
- круглое наружное шлифование;
- внутреннее шлифование;
- заточка лезвия фрезы.

47. Назовите вид обработки резанием:



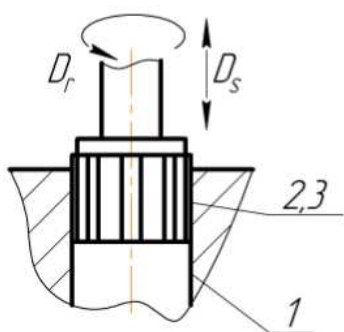
- суперфиниширование;
- хонингование;
- доводка.

48. Назовите вид обработки резанием:



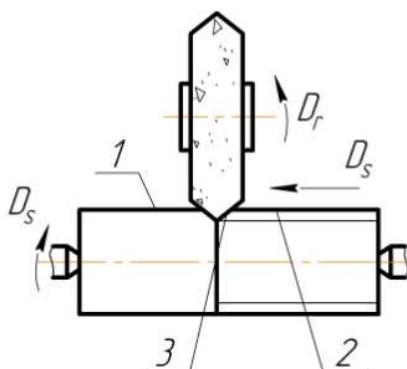
- суперфиниширование;
- шлифование торцем круга;
- доводка.

49. Назовите вид обработки резанием:



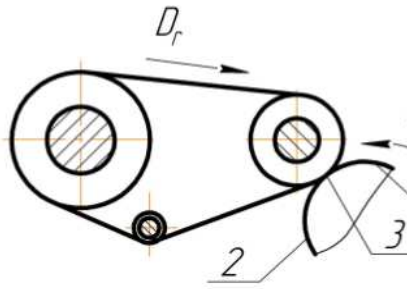
- суперфиниширование;
- хонингование;
- доводка.

50. Назовите вид обработки резанием:



- хонингование;
- резбонарезание;
- резбошлифование.

51. Назовите вид обработки резанием:



- ленточное шлифование;
- зубонарезание;
- резьбошлифование.

52. Хонингование – это:

- вид абразивной обработки, осуществляемый при одновременно выполняемых колебательном и вращательном движениях абразивного инструмента;
- вид абразивной обработки, осуществляемый при одновременно выполняемых вращательном и возвратно-поступательном движениях абразивного инструмента;
- абразивная обработка, предназначенная для уменьшения шероховатости обрабатываемой поверхности и увеличения зеркального отражения.

53. Суперфиниширование – это:

- вид абразивной обработки, осуществляемый при одновременно выполняемых колебательном и вращательном движениях абразивного инструмента;
- вид абразивной обработки при относительном перемещении детали и абразивного инструмента и подачи в зону обработки абразивной пасты;
- вид абразивной обработки шлифовальной лентой.

54. Доводка – это:

- вид абразивной обработки, осуществляемый при одновременно выполняемых колебательном и вращательном движениях абразивного инструмента;
- вид абразивной обработки при относительном перемещении детали и абразивного инструмента и подачи в зону обработки абразивной пасты;
- абразивная обработка, предназначенная для уменьшения шероховатости обрабатываемой поверхности и увеличения зеркального отражения.

55. Полирование – это:

- вид абразивной обработки, осуществляемый при одновременно выполняемых колебательном и вращательном движениях абразивного инструмента;

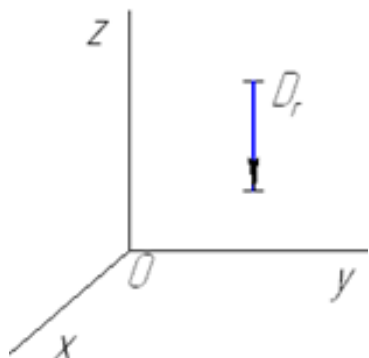
- вид абразивной обработки при относительном перемещении детали и абразивного инструмента и подачи в зону обработки абразивной пасты;

- абразивная обработка, предназначенная для уменьшения шероховатости обрабатываемой поверхности и увеличения зеркального отражения.

Тест № 2

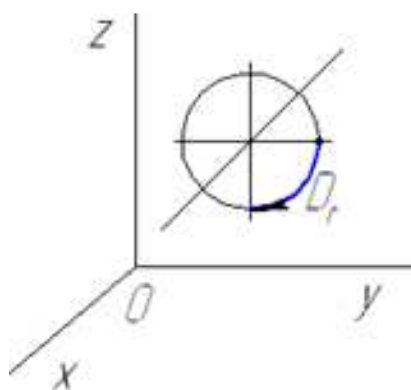
Кинематические схемы резания

1. Выберите (отметьте) соответствующей кинематической схеме вид обработки резанием:



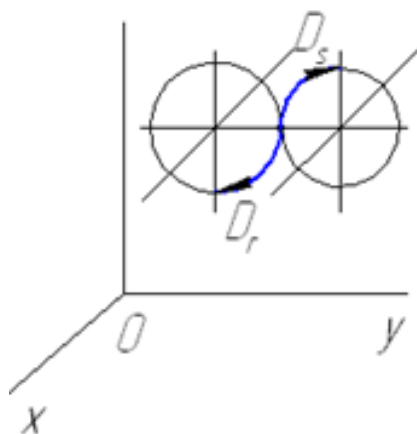
- строгание;
- строгание по копиру;
- сверление.

2. Выберите (отметьте) соответствующей кинематической схеме вид обработки резанием:



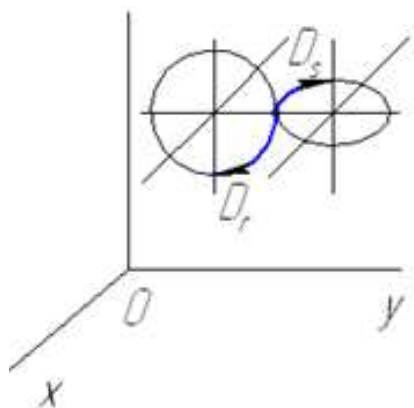
- круговое протягивание;
- долбление;
- шлифование.

3. Выберите (отметьте) соответствующей кинематической схеме вид обработки резанием:



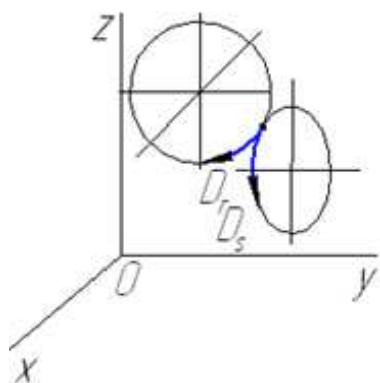
- обтачивание конуса;
- круговое шлифование;
- копировальное фрезерование.

4. Выберите (отметьте) соответствующей кинематической схеме вид обработки резанием:



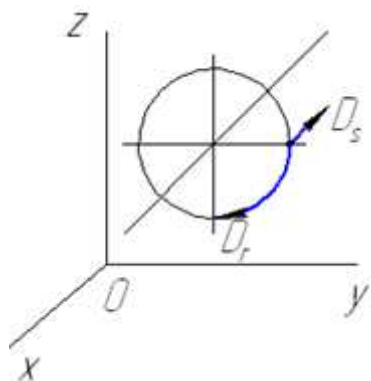
- круглое шлифование;
- копировальное фрезерование;
- зубофрезерование червячной фрезой.

5. Выберите (отметьте) соответствующей кинематической схеме вид обработки резанием:



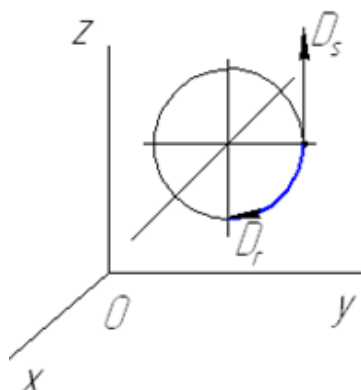
- круговое фрезерование;
- ротационное точение;
- протягивание.

6. Выберите (отметьте) соответствующей кинематической схеме вид обработки резанием:



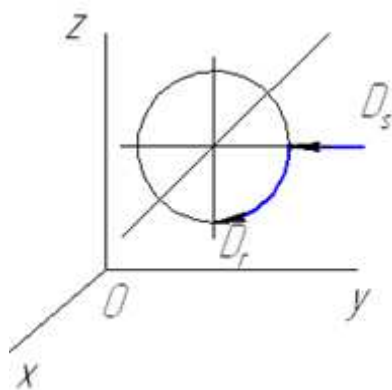
- обтачивание;
- плоское шлифование;
- шлифование торцом круга.

7. Выберите (отметьте) соответствующей кинематической схеме вид обработки резанием:



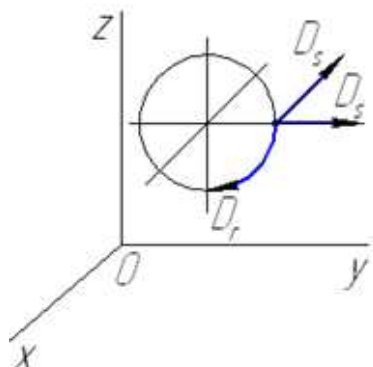
- отрезание;
- осевая обработка;
- плоское шлифование.

8. Выберите (отметьте) соответствующей кинематической схеме вид обработки резанием:



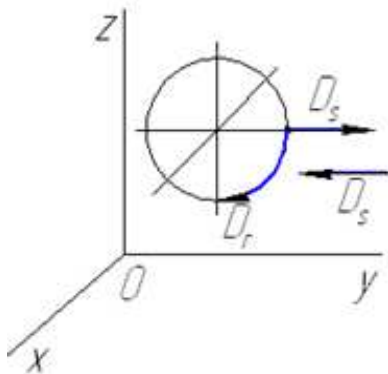
- подрезание торцев;
- зубонарезание модульной фрезой;
- долбление.

9. Выберите (отметьте) соответствующей кинематической схеме вид обработки резанием:



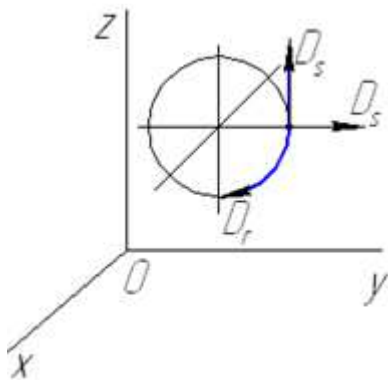
- затылование круговых протяжек;
- ротационное точение;
- затылование червячных фрез.

10. Выберите (отметьте) соответствующей кинематической схеме вид обработки резанием:



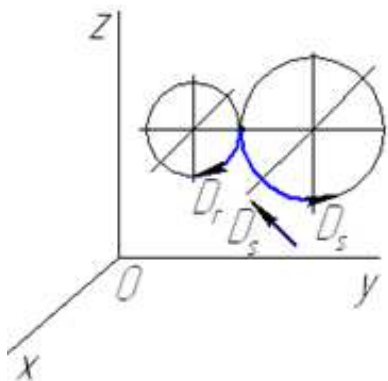
- затылование круговых протяжек;
- затылование червячных фрез;
- копировальное фрезерование.
- .

11. Выберите (отметьте) соответствующей кинематической схеме вид обработки резанием:



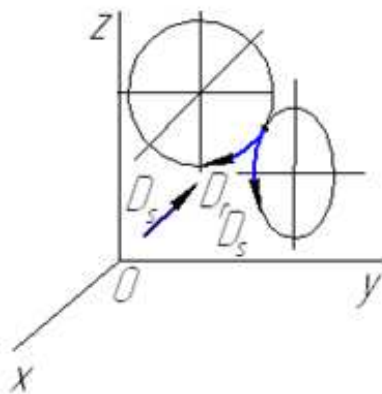
- круговое фрезерование;
- шлифование торцом круга;
- копировальное фрезерование.

12. Выберите (отметьте) соответствующей кинематической схеме вид обработки резанием:



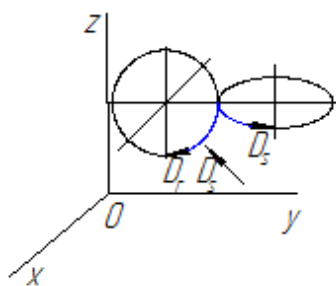
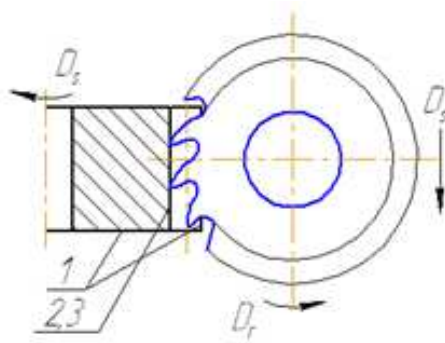
- вихревое резбонарезание;
- ротационное точение;
- зубофрезерование модульной фрезой.

13. Выберите (отметьте) соответствующей кинематической схеме вид обработки резанием:

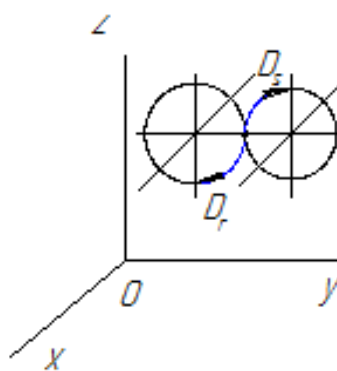


- круговое шлифование;
- шлифование торцом круга;
- плоское шлифование.

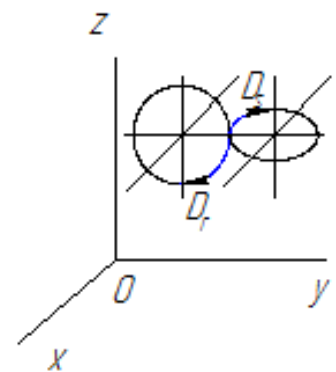
14. Выберите (отметьте) кинематическую схему резания, соответствующую виду обработки резанием:



а

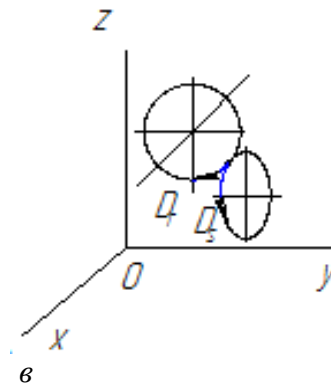
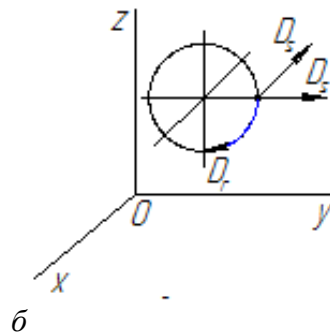
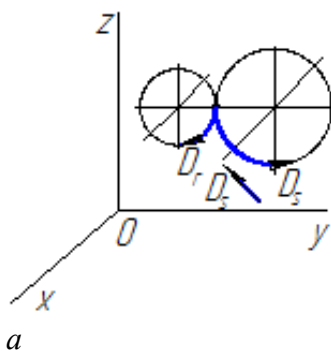
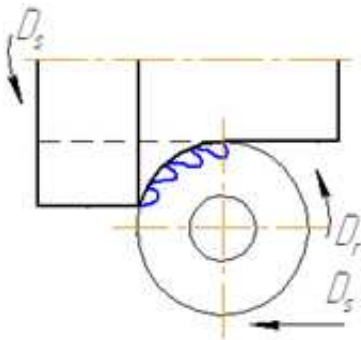


б

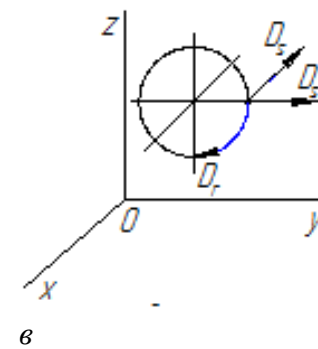
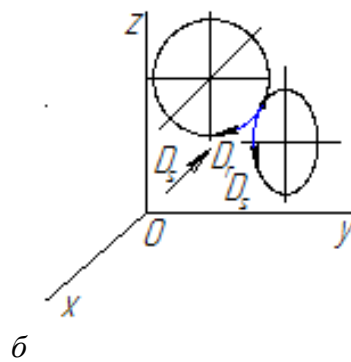
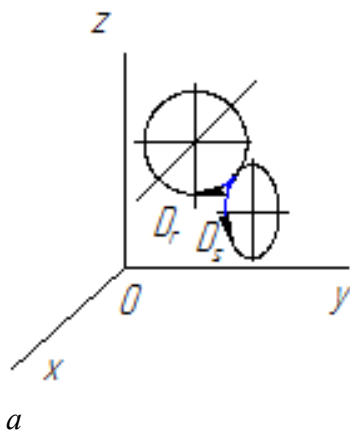
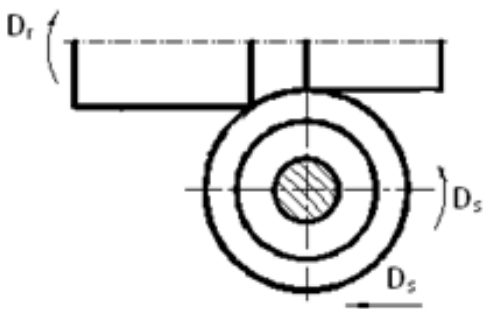


в

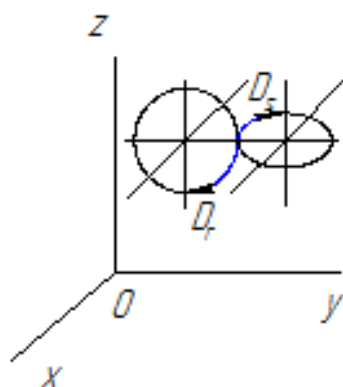
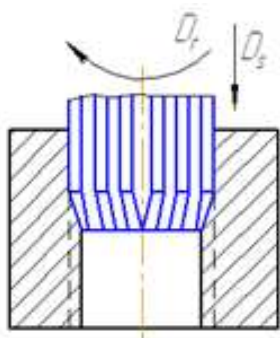
15. Выберите (отметьте) кинематическую схему резания, соответствующую виду обработки резанием:



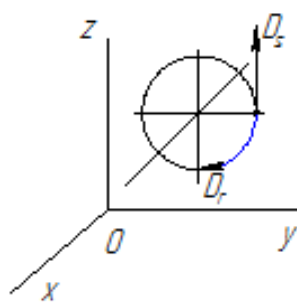
16. Выберите (отметьте) кинематическую схему резания, соответствующую виду обработки резанием:



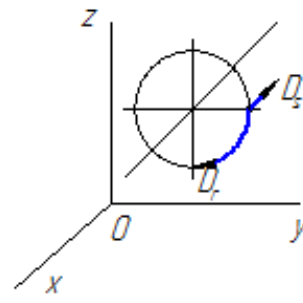
17. Выберите (отметьте) кинематическую схему резания, соответствующую виду обработки резанием:



а

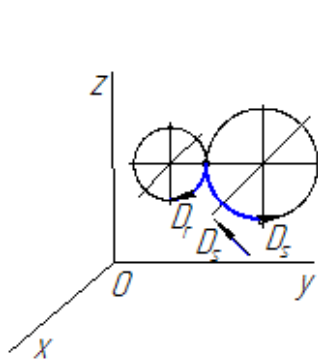
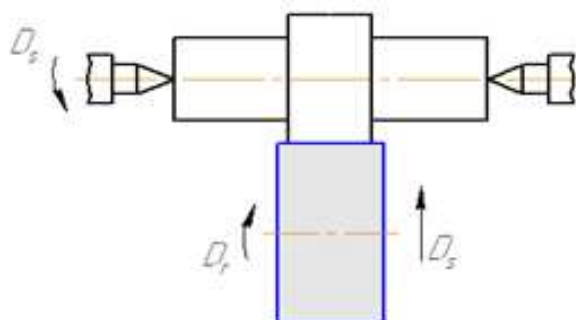


б

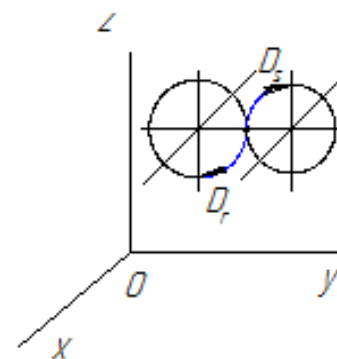


в

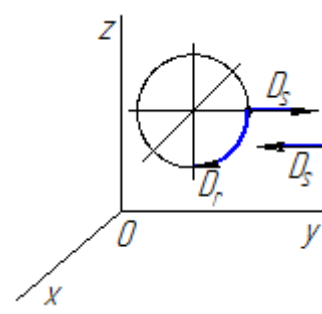
18. Выберите (отметьте) кинематическую схему резания, соответствующую виду обработки резанием:



а

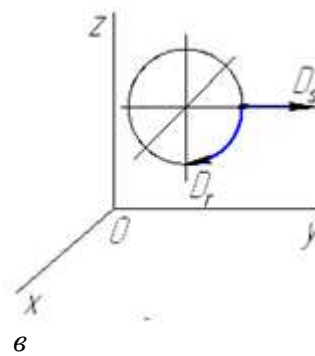
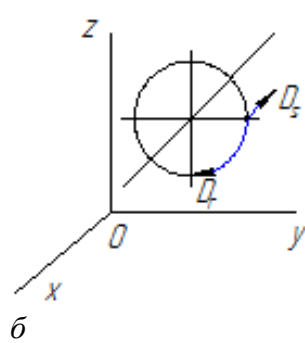
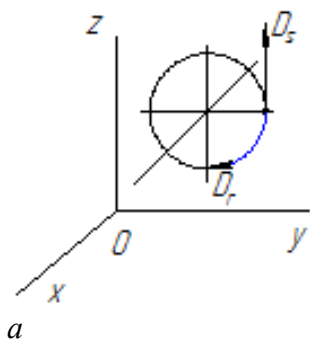
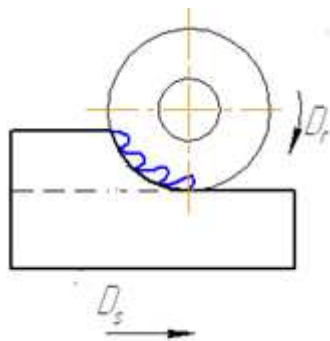


б

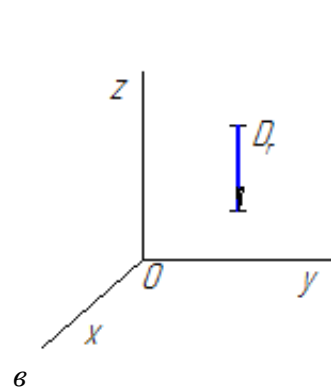
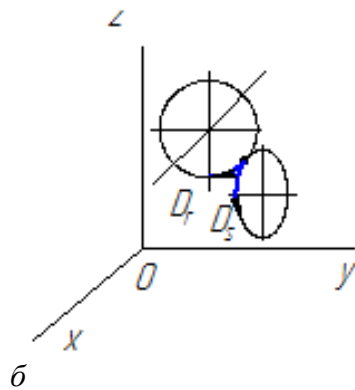
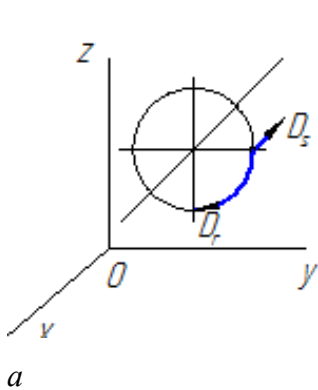
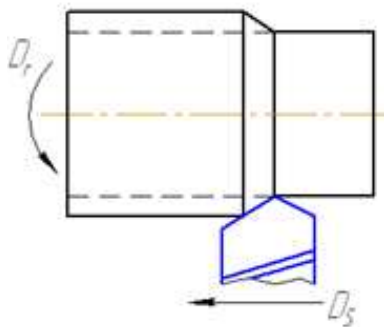


в

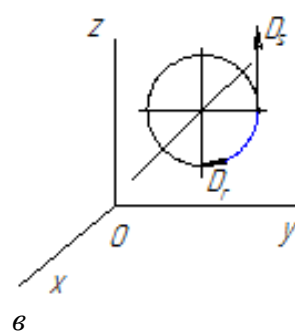
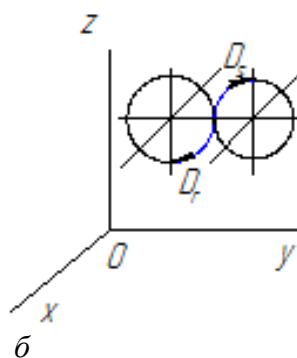
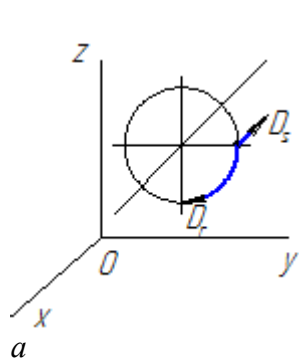
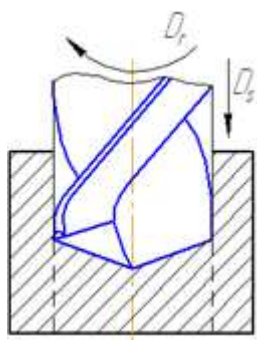
19. Выберите (отметьте) кинематическую схему резания, соответствующую виду обработки резанием:



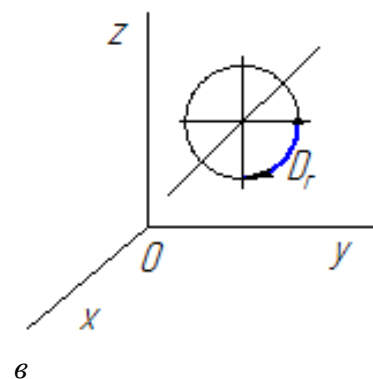
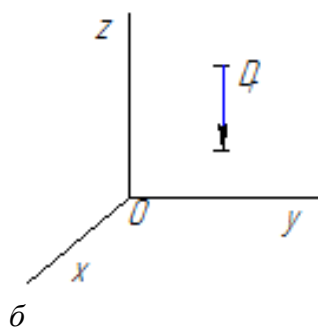
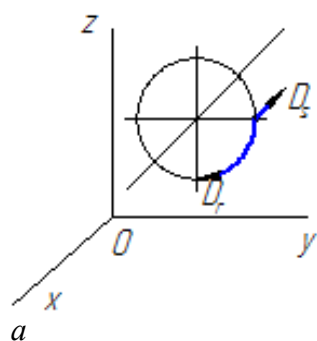
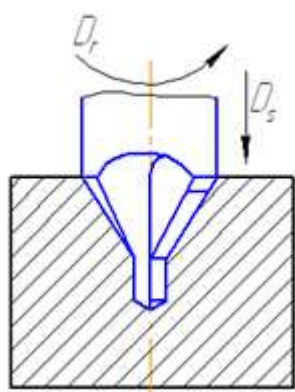
20. Выберите (отметьте) кинематическую схему резания, соответствующую виду обработки резанием:



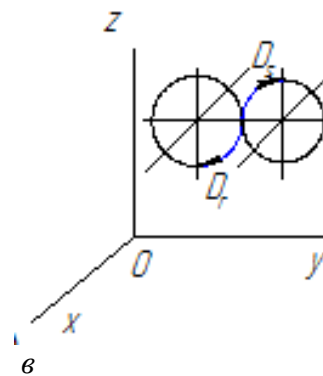
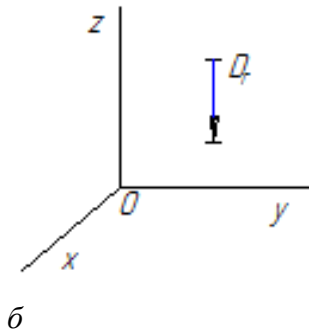
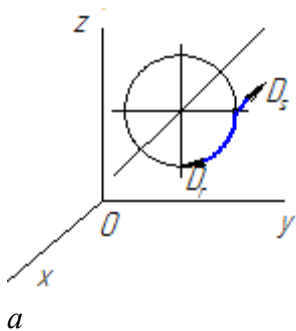
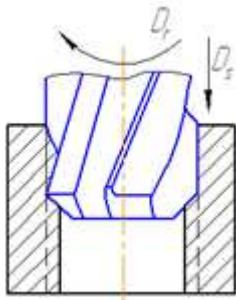
21. Выберите (отметьте) кинематическую схему резания, соответствующую виду обработки резанием:



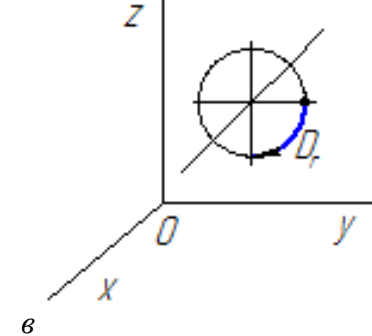
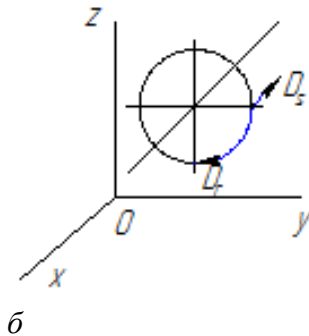
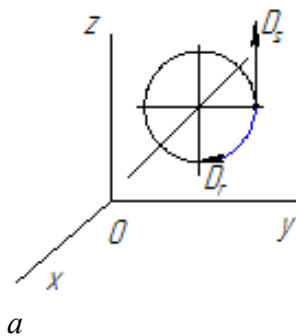
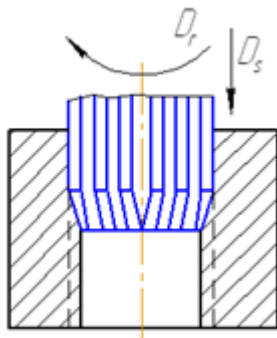
22. Выберите (отметьте) кинематическую схему резания, соответствующую виду обработки резанием:



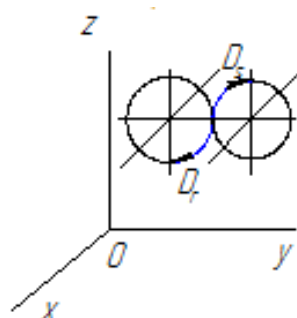
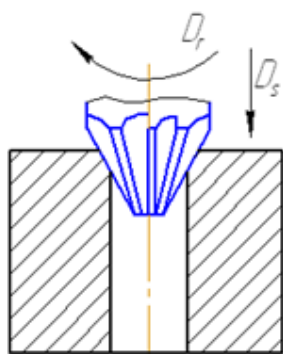
23. Выберите (отметьте) кинематическую схему резания, соответствующую виду обработки резанием:



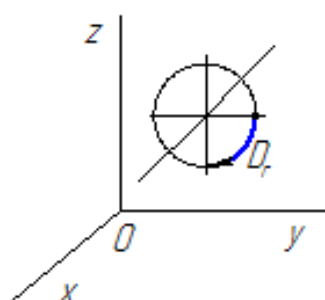
24. Выберите (отметьте) кинематическую схему резания, соответствующую виду обработки резанием:



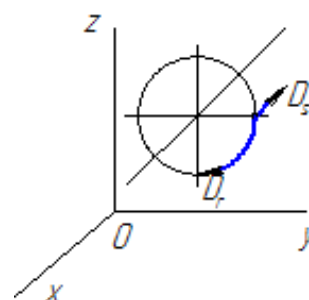
25. Выберите (отметьте) кинематическую схему резания, соответствующую виду обработки резанием:



a

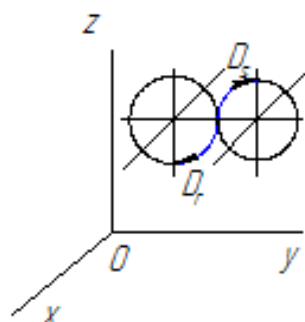
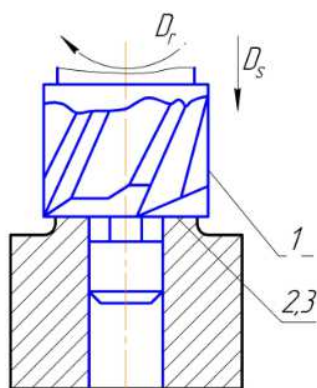


б

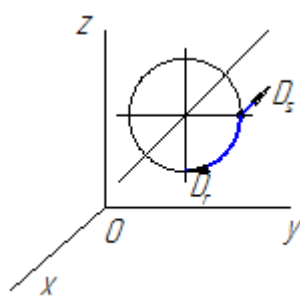


в

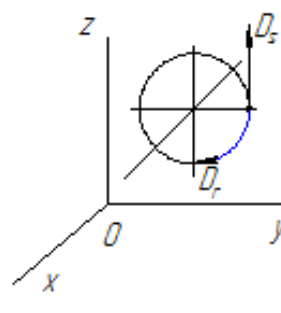
26. Выберите (отметьте) кинематическую схему резания, соответствующую виду обработки резанием:



a



б



в

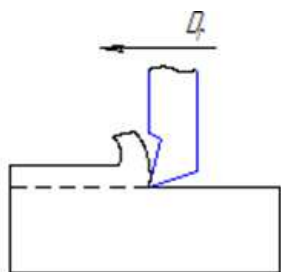
27. Кинематической схемой резания называется:

- условное графическое изображение количества, вида и взаимного расположения всех элементарных движений;
- условное графическое изображение траектории резания;
- условное графическое изображение поверхности и геометрических элементов заготовки.

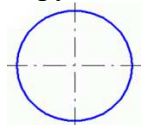
28. Траекторией резания называется:

- кривая, описываемая точкой режущей кромки в движении резания;
- кривая, описываемая точкой режущей кромки в движении подачи;
- условное графическое изображение поверхности и геометрических элементов заготовки.

29. Выберите соответствующую виду обработки резанием траекторию резания:

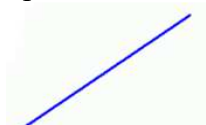


окружность



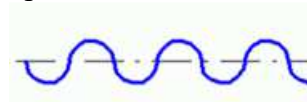
а

прямая



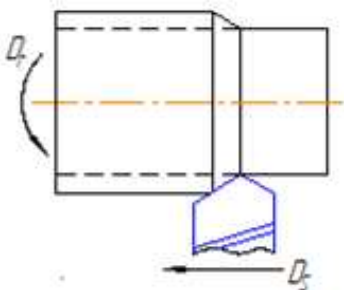
б

кривая линия

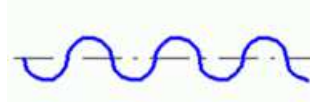


в

30. Выберите соответствующую виду обработки резанием траекторию резания:

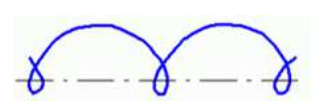


кривая линия



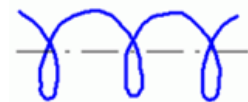
а

циклоида



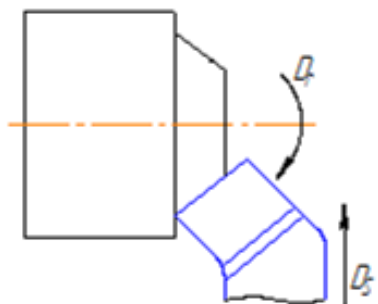
б

винтовая линия

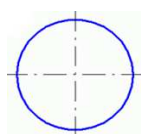


в

31. Выберите соответствующую виду обработки резанием траекторию резания:



окружность



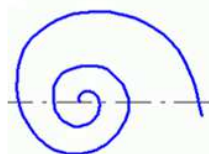
a

винтовая линия



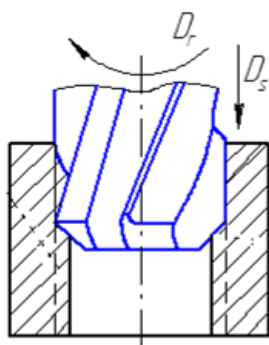
б

спираль Архимеда

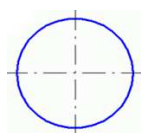


в

32. Выберите соответствующую виду обработки резанием траекторию резания:



окружность



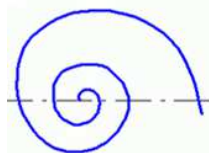
a

винтовая линия



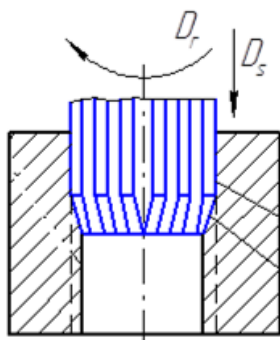
б

спираль Архимеда



в

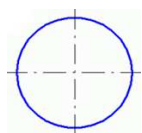
33. Выберите соответствующую виду обработки резанием траекторию резания:



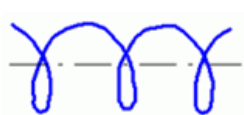
окружность

винтовая линия

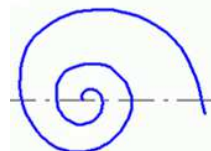
спираль Архимеда



а

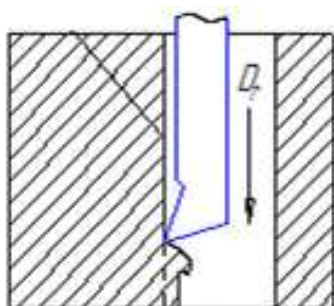


б



в

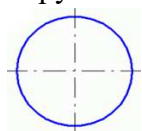
34. Выберите соответствующую виду обработки резанием траекторию резания:



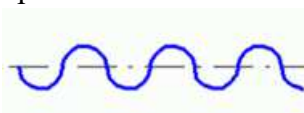
окружность

кривая линия

прямая



а

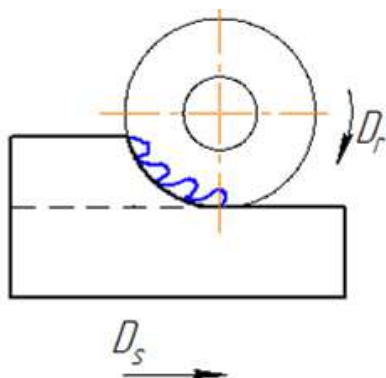


б

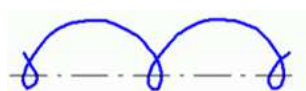


в

35. Выберите соответствующую виду обработки резанием траекторию резания:

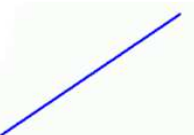


циклоида



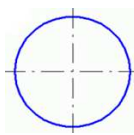
a

прямая



б

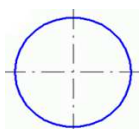
окружность



в

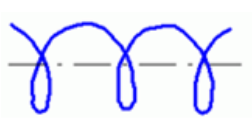
36. Определите траекторию резания при долблении, строгании, протягивании:

окружность



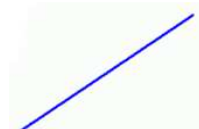
a

винтовая линия



б

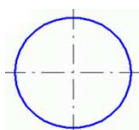
прямая



в

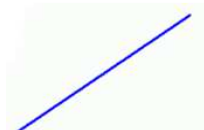
37. Определите траекторию резания при круговом протягивании с остановленной деталью:

окружность



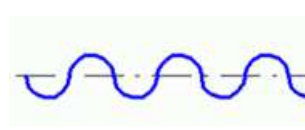
a

прямая



б

кривая линия



в

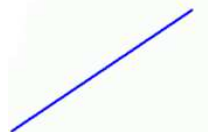
38. Определите траекторию резания при строгании по копиру:

винтовая линия



a

прямая



б

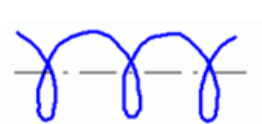
кривая линия



в

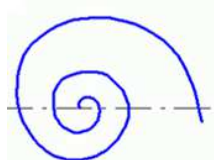
39. Определите траекторию резания при отрезании, подрезании:

винтовая линия



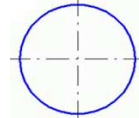
a

спираль Архимеда



б

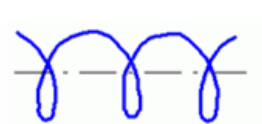
окружность



в

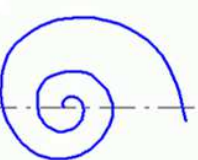
40. Определите траекторию резания при фрезеровании

винтовая линия



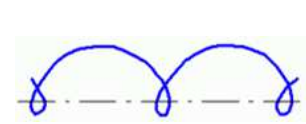
a

спираль Архимеда



б

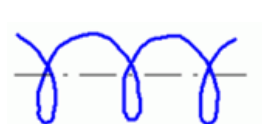
циклоида



в

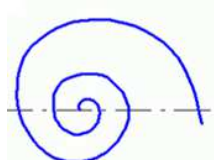
41. Определите траекторию резания при точении, осевой обработке, хонинговании:

винтовая линия



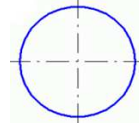
a

спираль Архимеда



б

окружность



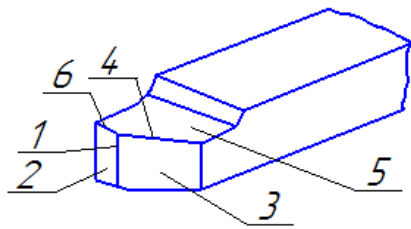
в

Тест № 3

Геометрические параметры режущего инструмента»

1. Определить элементы лезвия токарного резца.

- А. передняя поверхность;
- Б. вершина;
- В. главная задняя поверхность;
- Г. вспомогательная задняя поверхность;
- Д. главная режущая кромка;
- Е. вспомогательная режущая кромка.



а	1	2	3	4	5	6
	Б	Г	В	Д	А	Е
б	1	2	3	4	5	6
	А	Д	В	Г	Е	Б
в	1	2	3	4	5	6
	В	Г	Б	Д	А	Е

2. Определить углы лезвия резца.

Передний угол = 5° ;

Задний угол = ?

Угол заострения = 77° ;

Угол резания = ?

а	α	β	γ	δ
	10	77	5	86
б	α	β	γ	δ
	8	67	5	75
в	α	β	γ	δ
	8	77	5	85

3. Определить углы лезвия резца.

Передний угол = ?

Задний угол = 5° ;

Угол заострения = 77° ;

Угол резания = ?

а	α	β	γ	δ
	5	77	8	82
б	α	β	γ	δ
	5	77	15	78
в	α	β	γ	δ
	6	97	35	65

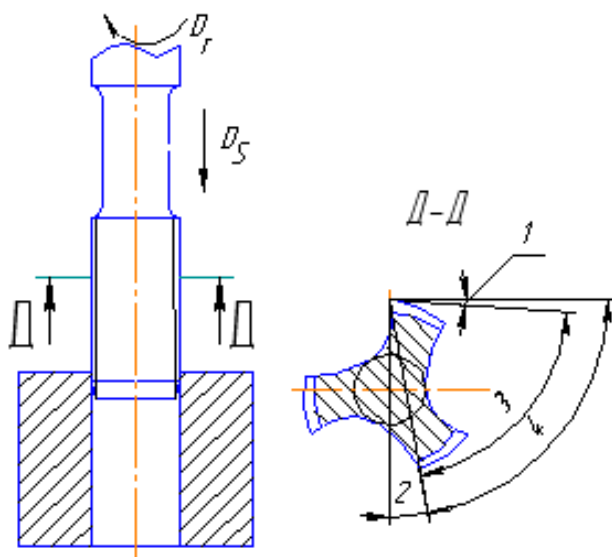
4. Определить углы лезвия метчика.

А. передний угол γ ;

Б. задний угол α ;

В. угол заострения β ;

Г. угол резания δ .



а	1	2	3	4
	Б	А	В	Г
б	1	2	3	4
	А	Б	В	Г
в	1	2	3	4
	Б	А	Г	В

5. Определить углы лезвия развертки.

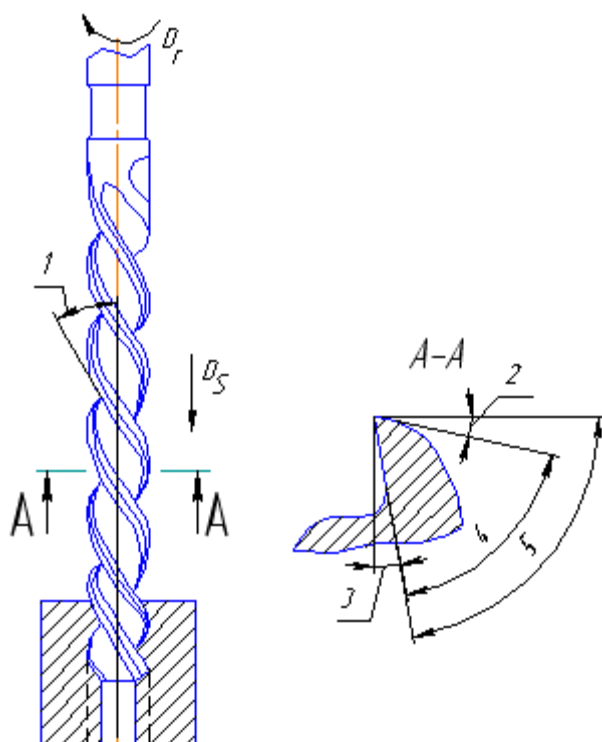
А. угол резания δ ;

Б. передний угол γ ;

В. задний угол α ;

Г. угол наклона винтовых канавок ω ;

Д. угол заострения β .



а	1	2	3	4	5
	Г	Б	В	Д	А
б	1	2	3	4	5
	Г	В	Б	Д	А
в	1	2	3	4	5
	А	В	Б	Д	Г

6. Определить углы лезвия концевой фрезы.

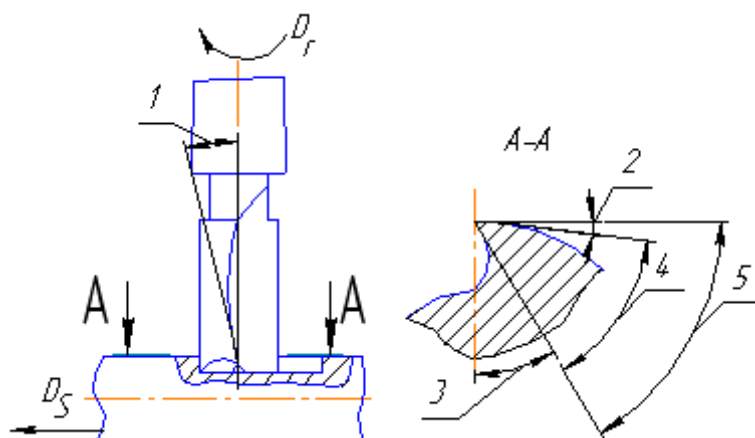
А. угол резания δ ;

Б. передний угол γ ;

В. задний угол α ;

Г. угол наклона винтовых канавок ω ;

Д. угол заострения β .



а	1	2	3	4	5
	Г	В	Б	Д	А
б	1	2	3	4	5
	Г	Б	В	Д	А
в	1	2	3	4	5
	Д	В	Б	Г	А

7. Определить углы лезвия концевой резьбовой гребенчатой фрезы.

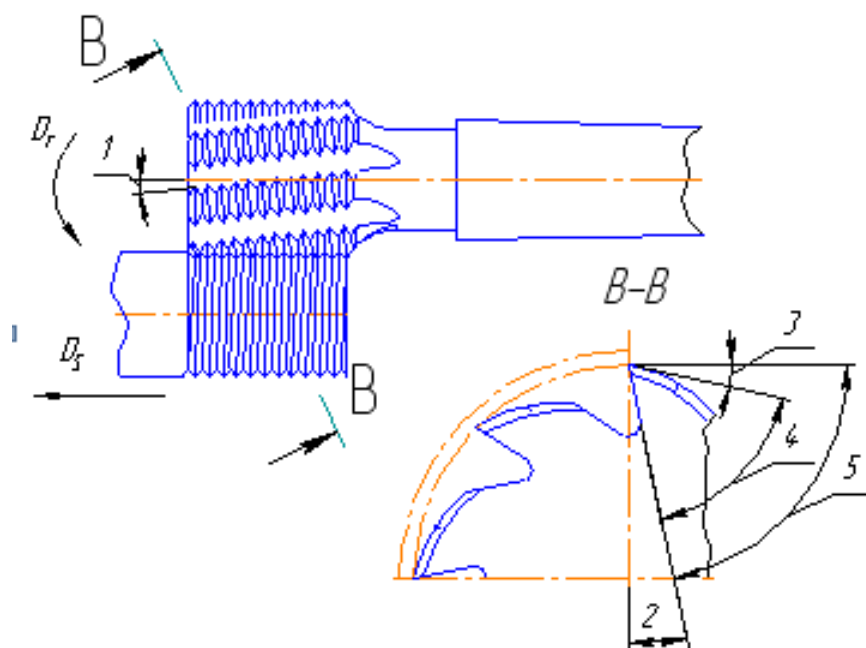
А. угол резания δ ;

Б. передний угол γ

В. задний угол α

Г. угол наклона винтовых канавок ω ;

Д. угол заострения β .



а	1	2	3	4	5
	Г	Д	А	В	Б
б	1	2	3	4	5
	Б	Г	В	Д	А
в	1	2	3	4	5
	Г	Б	В	Д	А

8. Дайте определение передней поверхности лезвия режущего инструмента:

- это поверхность, контактирующая в процессе резания обработанной поверхностью заготовки;
- это поверхность, контактирующая в процессе резания со стружкой;
- это поверхность, расположенная в верхней части инструмента.

9. Дайте определение задней поверхности лезвия режущего инструмента:

- это поверхность, контактирующая в процессе резания с поверхностями заготовки;
- это поверхность, контактирующая в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой;
- это поверхность, контактирующая в процессе резания с поверхностью резания.

10. Дайте определение режущей кромки лезвия режущего инструмента:

- это кромка лезвия, образуемая пересечением двух задних поверхностей лезвия;
- это кромка лезвия, образуемая пересечением передней поверхности лезвия и плоскостью резания;
- это кромка лезвия, образуемая пересечением передней и задней поверхности лезвия.

11. Из каких плоскостей состоит статическая система координат

- основная плоскость, плоскость резания, главная секущая плоскость;
- основная плоскость, плоскость резания, рабочая плоскость;
- рабочая плоскость, плоскость резания, главная секущая плоскость.

12. Дайте определение статической системы координат:

- это прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно установочной базы инструмента;
- это прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости результирующего движения резания;
- это прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости главного движения резания.

13. Дайте определение кинематической системы координат

- это прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости результирующего движения резания;
- это прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости главного движения резания;
- это прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно установочной базы инструмента.

14. Дайте определение переднего угла лезвия режущего инструмента:

- это угол в главной секущей плоскости между передней и задней поверхностями лезвия;
- это угол в главной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и основной плоскостью;
- это угол в главной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и плоскостью резания.

15. Дайте определение заднего угла лезвия режущего инструмента:

- это угол в главной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и плоскостью резания;
- это угол в главной секущей плоскости между задней поверхностью лезвия и основной плоскостью;
- это угол в главной секущей плоскости между задней поверхностью лезвия и плоскостью резания.

16. Дайте определение угла в плане:

- это угол в главной секущей плоскости между плоскостью резания и рабочей плоскостью, проходящей через направление скоростей главного движения и движения подачи;
- это угол в основной плоскости между плоскостью резания и главной секущей плоскостью;
- это угол в основной плоскости между плоскостью резания и рабочей плоскостью, проходящей через направление скоростей главного движения и движения подачи.

17. Дайте определение главной задней поверхности лезвия режущего инструмента:

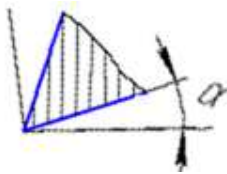
- это поверхность, контактирующая в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой;

- это поверхность, контактирующая в процессе резания с обработанной поверхностью заготовки;
- это поверхность, контактирующая в процессе резания с обрабатываемой поверхностью заготовки.

18. Дайте определение угла наклона режущей кромки:

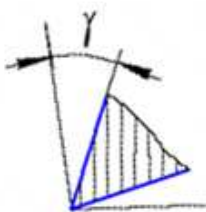
- это угол в плоскости резания между передней поверхностью инструмента и основной плоскостью;
- это угол в рабочей плоскости между передней поверхностью инструмента и основной плоскостью;
- это угол в плоскости резания между режущей кромкой инструмента и основной плоскостью.

19. Выберите (отметьте) наименование угла лезвия инструмента:



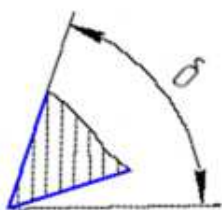
- угол заострения;
- передний угол;
- задний угол.

20. Выберите (отметьте) наименование угла лезвия инструмента:



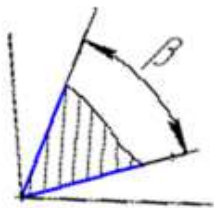
- передний угол;
- угол наклона кромки;
- угол в плане.

21. Выберите (отметьте) наименование угла лезвия инструмента:



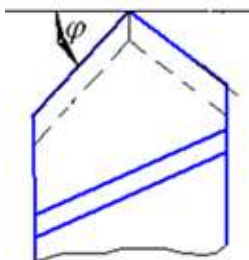
- угол в плане;
- угол резания;
- угол заострения.

22. Выберите (отметьте) наименование угла лезвия инструмента:



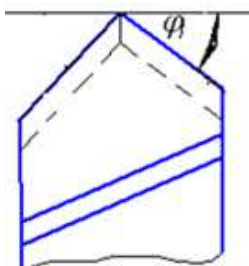
- угол заострения;
- задний угол;
- угол при вершине.

23. Выберите (отметьте) наименование угла лезвия инструмента.



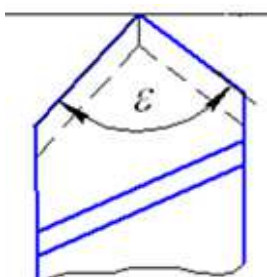
- главный угол в плане;
- вспомогательный угол в плане;
- передний угол.

24. Выберите (отметьте) наименование угла лезвия инструмента.



- задний угол;
- главный угол в плане;
- вспомогательный угол в плане.

25. Выберите (отметьте) наименование угла лезвия инструмента.



- угол резания;
- угол в плане;
- угол при вершине.

26. Укажите углы лезвия насадного зенкера.

А. главный угол в плане φ ;

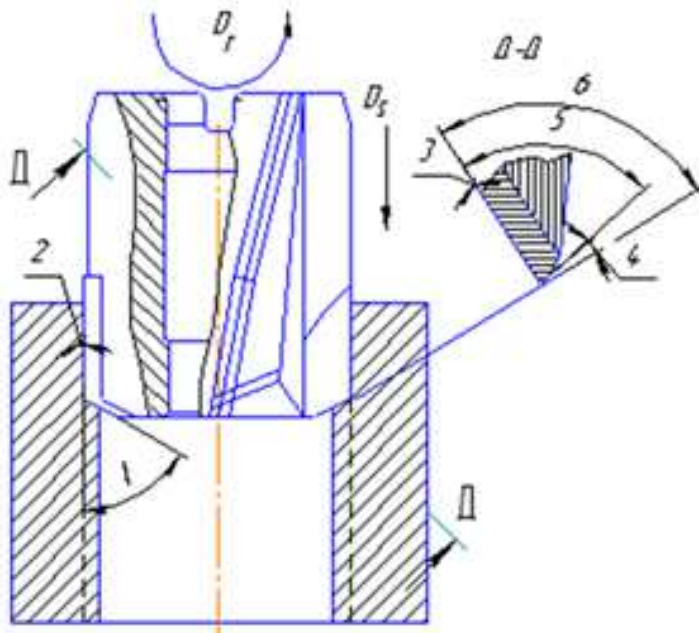
Б. передний угол γ ;

В. задний угол α ;

Г. угол заострения β ;

Д. вспомогательный угол в плане φ_1 ;

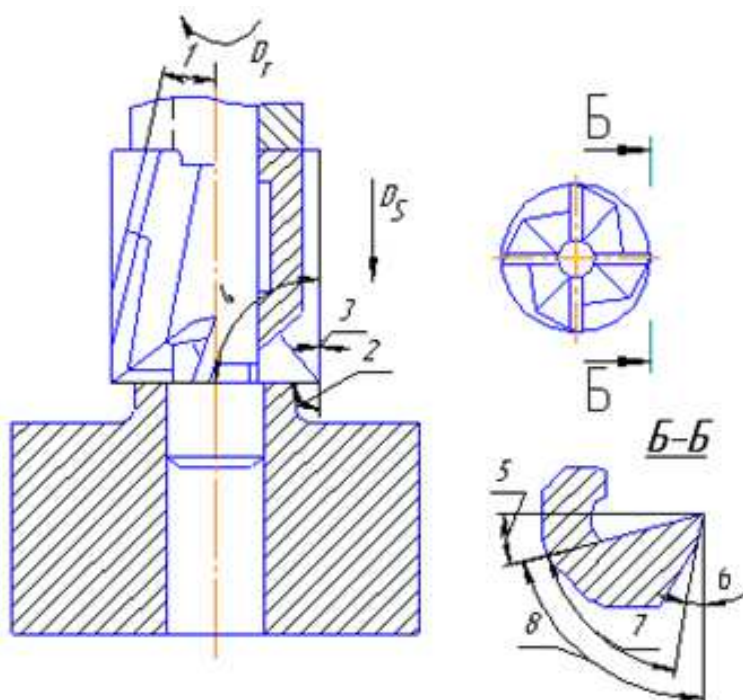
Е. угол резания δ .



а	1	2	3	4	5	6
	А	Е	Б	В	Г	Д
б	1	2	3	4	5	6
	А	Д	Б	В	Г	Е
в	1	2	3	4	5	6
	Б	Д	Е	А	Г	В

27. Укажите углы лезвия цековки

- А. главный угол в плане φ ;
- Б. передний угол γ ;
- В. задний угол α ;
- Г. угол наклона винтовых канавок ω ;
- Д. угол заострения β ;
- Е. угол резания δ ;
- Ж. вспомогательный угол в плане φ_1 ;
- З. угол при вершине ε .



а	1	2	3	4	5	6	7	8
	Ж	Е	Г	З	Б	В	Д	А
б	1	2	3	4	5	6	7	8
	А	Ж	Г	З	Б	В	Д	Е
в	1	2	3	4	5	6	7	8
	Г	А	Ж	З	Б	В	Д	Е

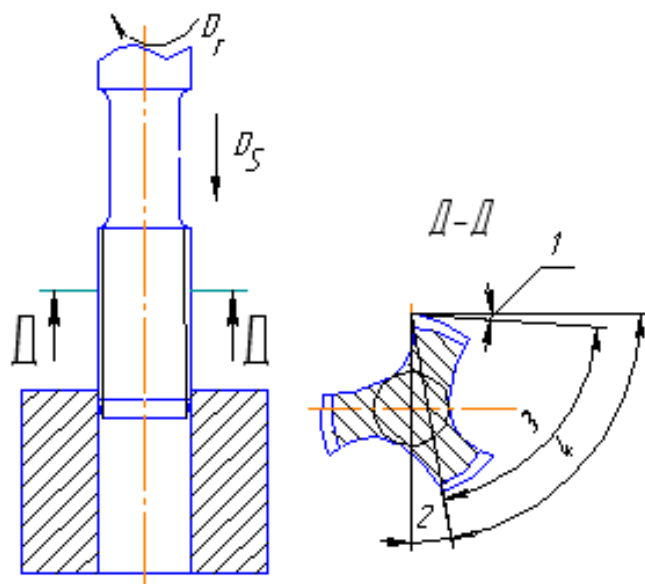
28. Укажите углы лезвия метчика

А. передний угол γ ;

Б. задний угол α ;

В. угол заострения β ;

Г. угол резания δ .



а	1	2	3	4
	А	Б	В	Г
б	1	2	3	4
	Б	А	В	Г
в	1	2	3	4
	Б	Г	В	А

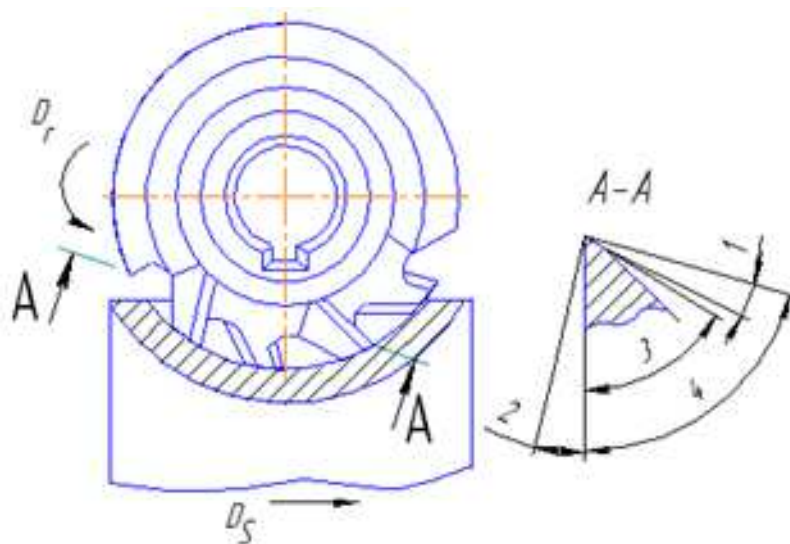
29. Укажите углы лезвия дисковой фрезы

А. угол резания δ ;

Б. передний угол γ ;

В. задний угол α ;

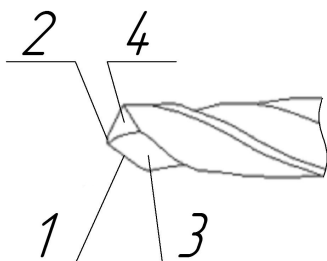
Г. угол заострения β .



а	1	2	3	4
	В	Б	Г	А
б	1	2	3	4
	А	Б	В	Г
в	1	2	3	4
	А	Б	Г	В

30. Укажите элементы лезвия сверла

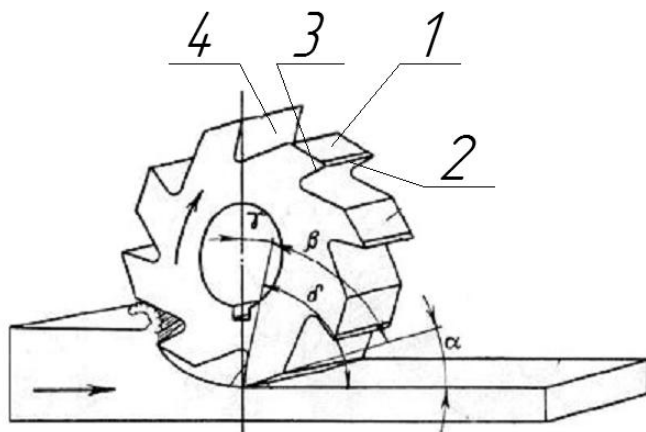
- А. главная режущая кромка;
- Б. задняя поверхность;
- В. передняя поверхность
- Г. перемычка.



а	1	2	3	4
	Г	А	В	Б
б	1	2	3	4
	А	Б	В	Г
в	1	2	3	4
	А	Г	В	Б

31. Укажите элементы лезвия фрезы

- А. передняя поверхность;
- Б. задняя поверхность;
- В. главная режущая кромка;
- Г. вспомогательная режущая кромка.



а	1	2	3	4
	Б	В	Г	А
б	1	2	3	4
	А	Б	В	Г
в	1	2	3	4
	Г	В	Б	А

32. Дайте определение плоскости резания P_n-P_n :

- это координатная плоскость, проведенная через любую произвольно выбранную точку на главной режущей кромке перпендикулярно ей и соответственно перпендикулярно основной плоскости и плоскости резания;

- это координатная плоскость, проведенная касательно к поверхности резания или касательно к режущей кромке и перпендикулярно основной плоскости;

- это координатная плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки инструмента перпендикулярно направлению скорости главного или результирующего движения резания в этой точке.

33. Дайте определение главной секущей плоскости $P_\tau-P_\tau$:

- это координатная плоскость, проведенная через любую произвольно выбранную точку на главной режущей кромке перпендикулярно ей и соответственно перпендикулярно основной плоскости и плоскости резания;

- это координатная плоскость, проведенная касательно к поверхности резания или касательно к режущей кромке и перпендикулярно основной плоскости;

- это координатная плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки инструмента перпендикулярно направлению скорости главного или результирующего движения резания в этой точке.

34. Дайте определение основной плоскости P_v-P_v :

- это координатная плоскость, проведенная через любую произвольно выбранную точку на главной режущей кромке перпендикулярно ей и соответственно перпендикулярно основной плоскости и плоскости резания;

- это координатная плоскость, проведенная касательно к поверхности резания или касательно к режущей кромке и перпендикулярно основной плоскости;

- это координатная плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки инструмента перпендикулярно направлению скорости главного или результирующего движения резания в этой точке.

Тест № 4

Деформация срезаемого слоя

1. Определить элементы режима резания при обтачивании заготовки.

$$D = 20 \text{ мм};$$

$$D = 16 \text{ мм};$$

$$N = 1200 \text{ мин}^{-1};$$

$$l = 480 \text{ мм}.$$

а	t , мм	v , м/мин	S , мм/об
	2	75,4	0,2
б	t , мм	v , м/мин	S , мм/об
	4	95,4	0,2
в	t , мм	v , м/мин	S , мм/об
	3	45,4	0,3

2. Определить элементы режима резания при обтачивании заготовки.

$$D = 40 \text{ мм};$$

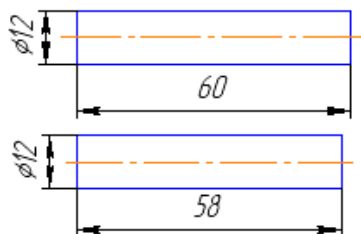
$$D = 30 \text{ мм};$$

$$N = 1200 \text{ мин}^{-1};$$

$$l = 480 \text{ мм}.$$

а	t , мм	v , м/мин	S , мм/об
	5	150,7	0,2
б	t , мм	v , м/мин	S , мм/об
	10	150,7	0,2
в	t , мм	v , м/мин	S , мм/об
	5	75,7	0,3

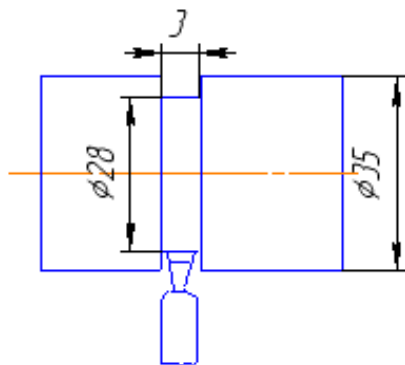
3. Определить глубину резания и рассчитать частоту вращения шпинделя станка. Подрезание торца за 1 проход, $v = 40 \text{ м/мин}$.



а	t , мм	n , мин ⁻¹
	3	1060
б	t , мм	n , мин ⁻¹
	1	1560
в	t , мм	n , мин ⁻¹
	2	1060

4. Определить глубину резания и рассчитать частоту вращения шпинделя станка. Протачивание канавки, $v = 20$ м/мин.

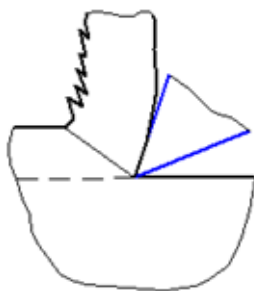
а	t , мм	n , мин ⁻¹
	3	280
б	t , мм	n , мин ⁻¹
	3	180
в	t , мм	n , мин ⁻¹
	4	180



5. Отметьте формулу для определения коэффициента утолщения стружки:

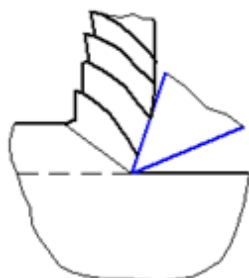
- $K_a = a_1/a$;
- $K_a = a/a_1$;
- $K_a = a_1 \cdot a$.

6. Выберите (отметьте) вид стружки.



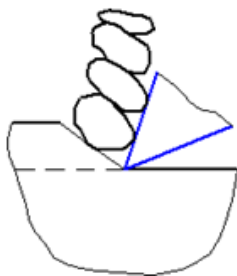
- сливная;
- элементная;
- надлома.

7. Выберите (отметьте) вид стружки.



- сливная;
- элементная;
- надлома.

8. Выберите (отметьте) вид стружки.



- надлома;
- элементная;
- сливная.

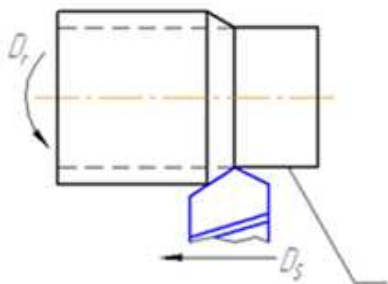
9. При обработке каких материалов может проявиться отрицательная усадка стружки?

- титановые сплавы;
- чугуны;
- легированные стали.

10. Назовите основные этапы стружкообразования:

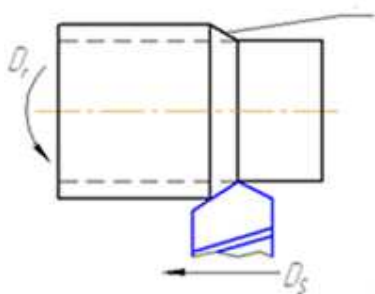
- образование валика смятия, разрушение элемента срезаемого слоя, формирование стружки;
- образование валика смятия, формирование стружки, разрушение элемента срезаемого слоя;
- нет правильного ответа.

11. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



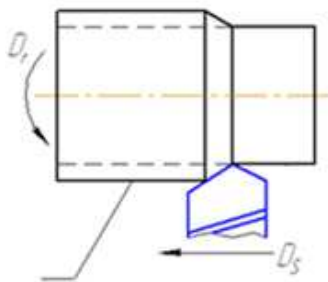
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

12. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



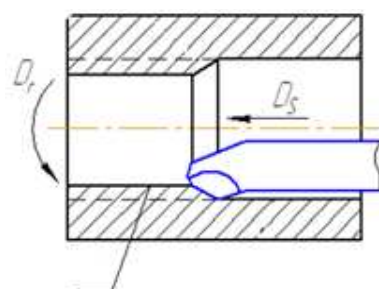
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

13. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



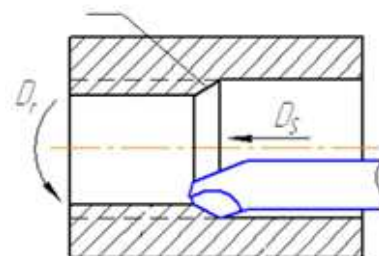
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

14. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



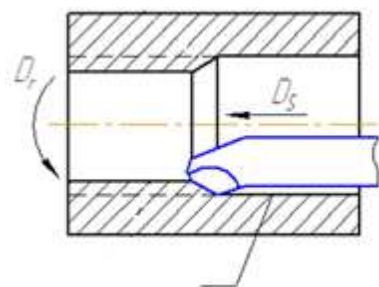
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

15. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



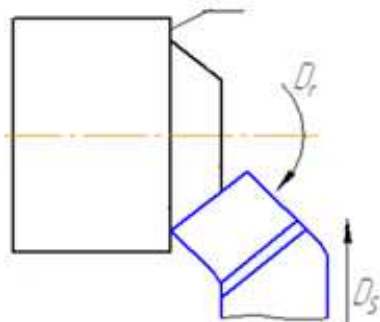
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

16. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



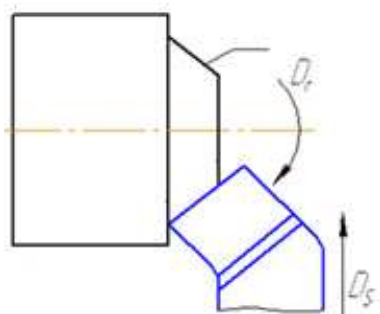
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

17. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



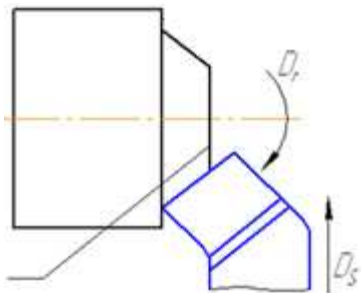
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

18. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



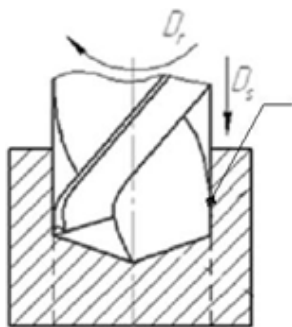
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

19. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



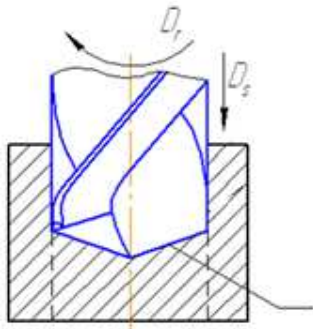
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

20. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



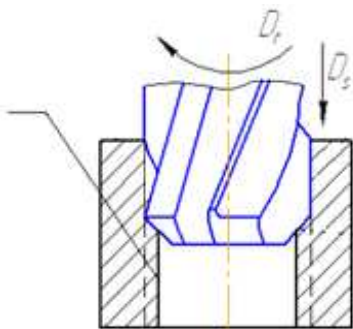
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

21. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



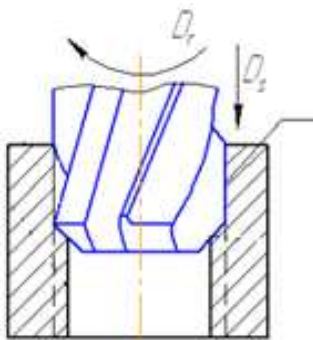
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

22. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



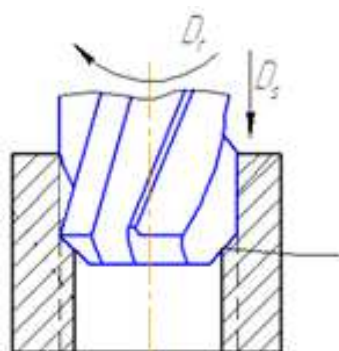
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

23. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



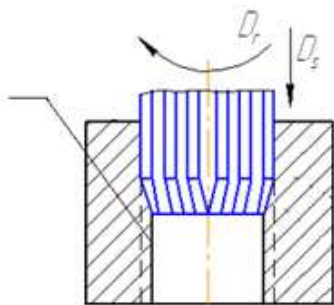
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

24. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



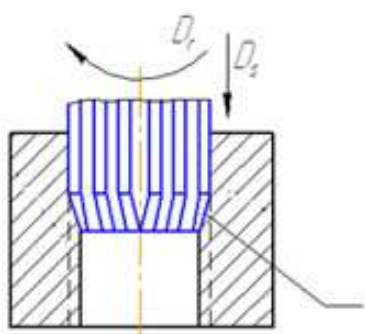
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

25. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



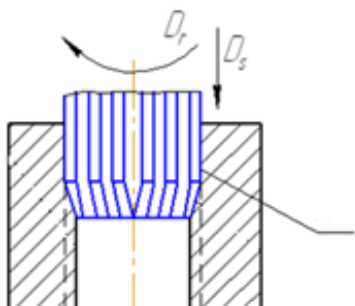
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

26. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



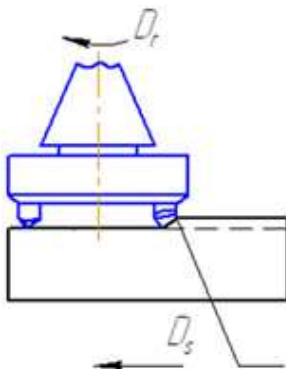
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

27. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



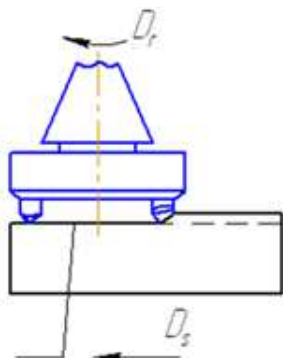
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

28. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



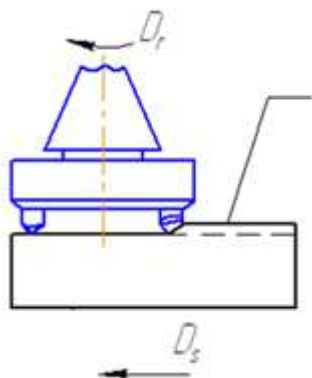
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

29. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



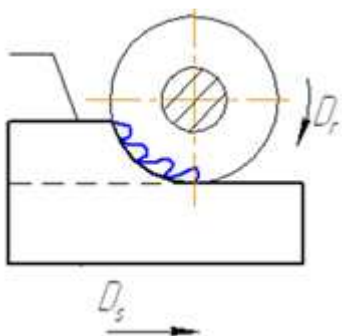
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

30. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



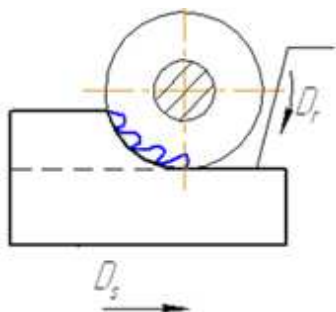
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

31. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



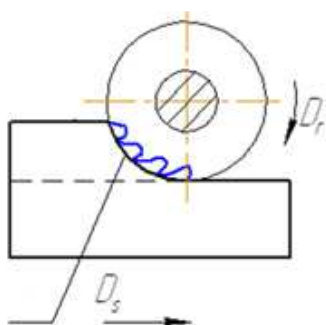
- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

32. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

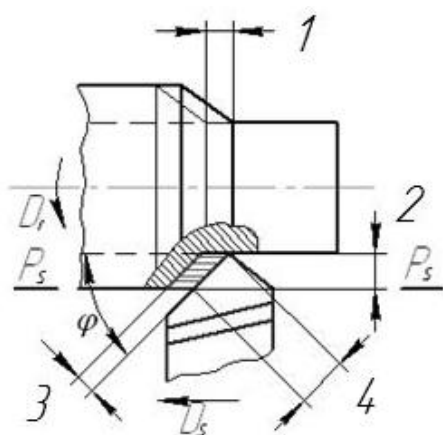
33. Выберите правильный вариант указанной поверхности заготовки.



- обрабатываемая поверхность;
- обработанная поверхность;
- поверхность резания.

34. Выберите на схеме вида обработки резанием правильный вариант геометрических и технологических параметров срезаемого и снимаемого слоев:

- А – толщина срезаемого слоя, a ;
 Б – ширина срезаемого слоя, b ;
 В – подача, S_o ;
 Г – глубина резания, t .



а	1	2	3	4
	А	Б	В	Г
б	1	2	3	4
	В	Г	А	Б
в	1	2	3	4
	Г	Б	В	А

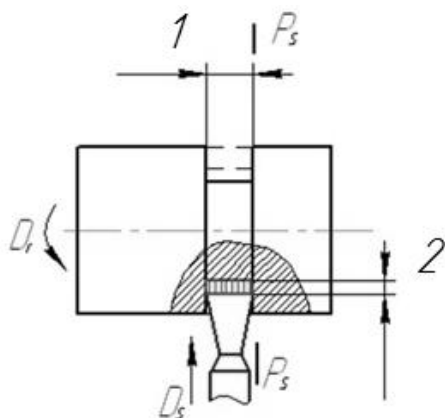
35. Выберите на схеме вида обработки резанием правильный вариант геометрических и технологических параметров срезаемого и снимаемого слоев:

А – толщина срезаемого слоя, a ;

Б – ширина срезаемого слоя, b ;

В – подача, S_o ;

Г – глубина резания, t .



а	А	Б	В	Г
	1	2	2	1
б	Г	Б	В	А
	2	2	1	1
в	А	Б	В	Г
	2	1	2	1

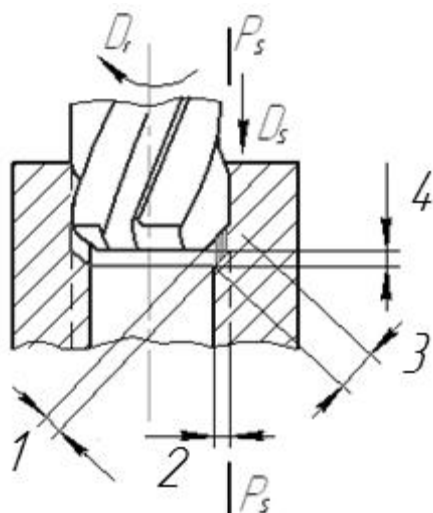
36. Выберите на схеме вида обработки резанием правильный вариант геометрических и технологических параметров срезаемого и снимаемого слоев:

А – толщина срезаемого слоя, a ;

Б – ширина срезаемого слоя, b ;

В – подача, S_o ;

Г – глубина резания, t .



а	1	2	3	4
	А	Б	В	Г
б	1	2	3	4
	А	Г	Б	В
в	1	2	3	4
	Г	Б	В	А

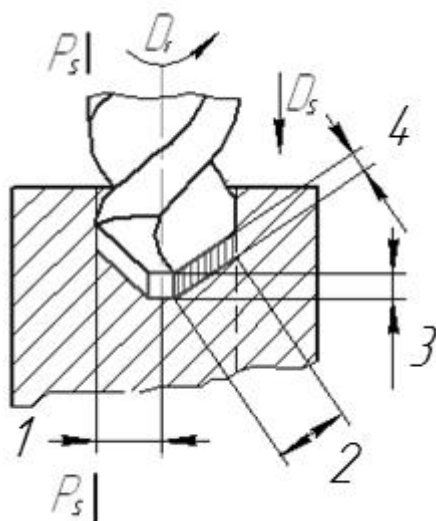
37. Выберите на схеме вида обработки резанием правильный вариант геометрических и технологических параметров срезаемого и снимаемого слоев:

А – толщина срезаемого слоя, a ;

Б – ширина срезаемого слоя, b ;

В – подача, S_o ;

Г – глубина резания, t .



а	1	2	3	4
	Г	Б	В	А
б	1	2	3	4
	А	Б	В	Г
в	1	2	3	4
	Б	А	Г	В

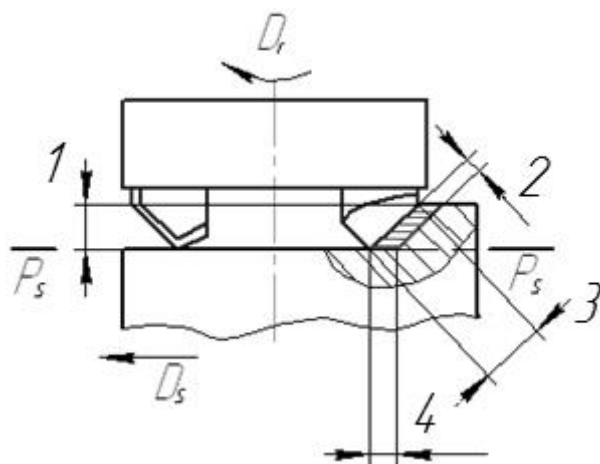
38. Выберите на схеме вида обработки резанием правильный вариант геометрических и технологических параметров срезаемого и снимаемого слоев:

А – толщина срезаемого слоя, a ;

Б – ширина срезаемого слоя, b ;

В – подача, S_o ;

Г – глубина резания, t .



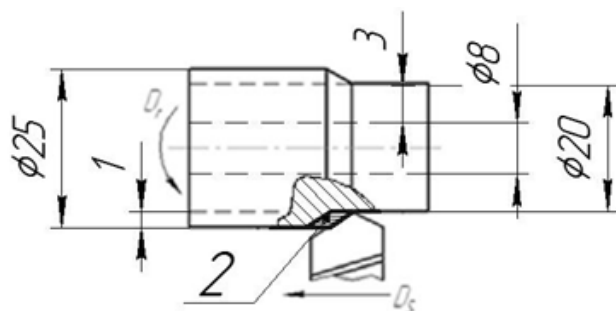
а	1	2	3	4
	А	В	Б	Г
б	1	2	3	4
	В	А	Г	Б
в	1	2	3	4
	Г	А	Б	В

39. Покажите на схеме обработки резанием припуск, снимаемый и срезаемый слой.

А – срезаемый слой;

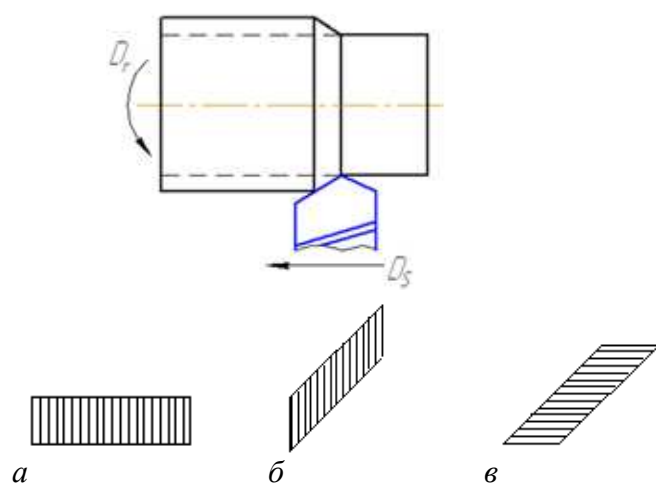
Б – снимаемый слой;

В – припуск.

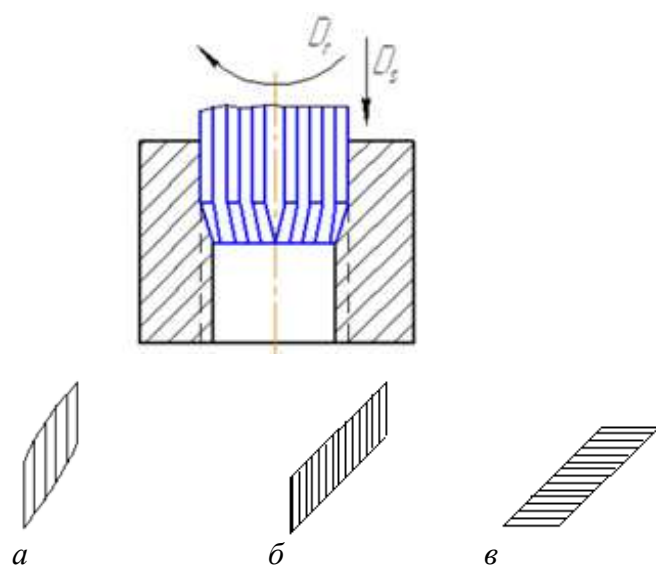


а	1	2	3
	А	Б	В
б	1	2	3
	Б	А	В
в	1	2	3
	В	А	Б

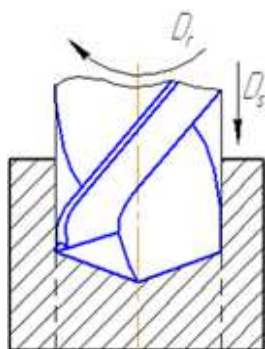
40. Выберите соответствующее схеме вида обработки резанием сечение срезаемого слоя.



41. Выберите соответствующее схеме вида обработки резанием сечение срезаемого слоя.



42. Выберите соответствующее схеме вида обработки резанием сечение срезаемого слоя.

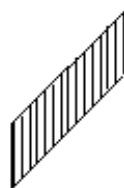


а

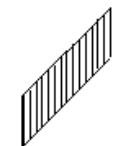
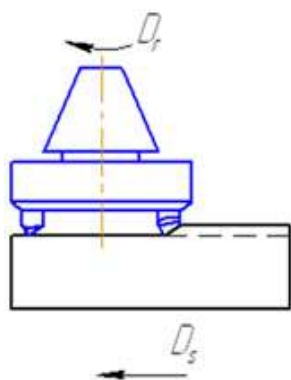


б

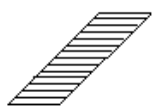
в



43. Выберите соответствующее схеме вида обработки резанием сечение срезаемого слоя.



а

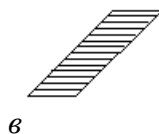
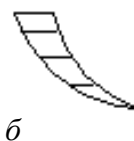
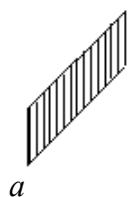
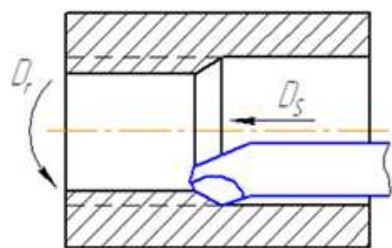


б

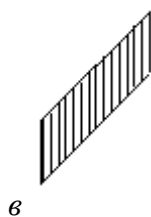
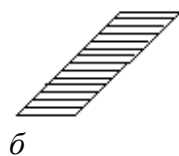
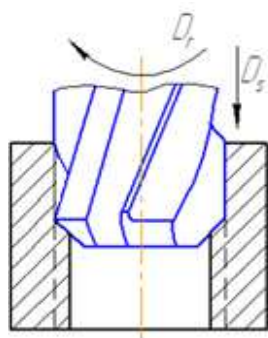


в

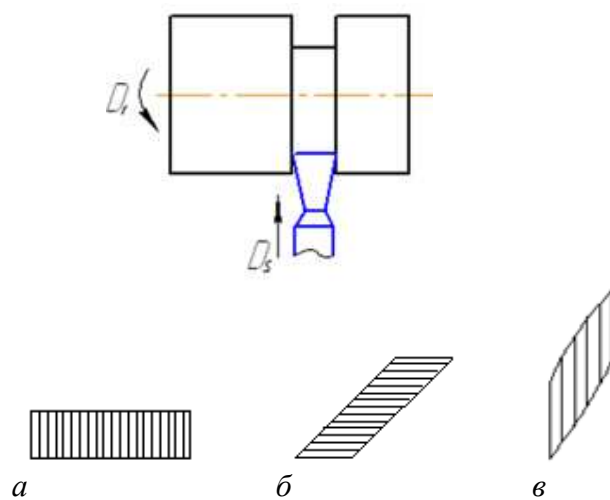
44. Выберите соответствующее схеме вида обработки резанием сечение срезаемого слоя.



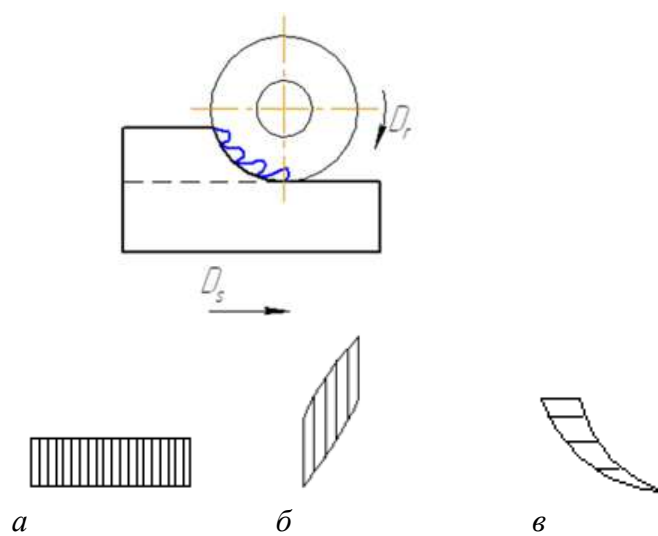
45. Выберите соответствующее схеме вида обработки резанием сечение срезаемого слоя.



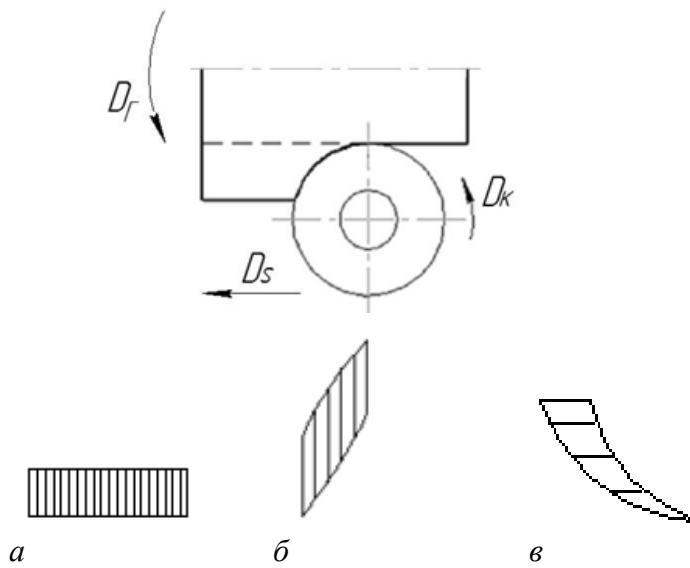
46. Выберите соответствующее схеме вида обработки резанием сечение срезаемого слоя.



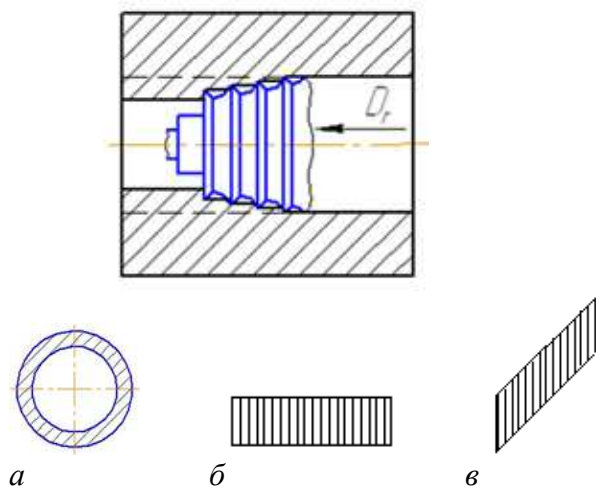
47. Выберите соответствующее схеме вида обработки резанием сечение срезаемого слоя.



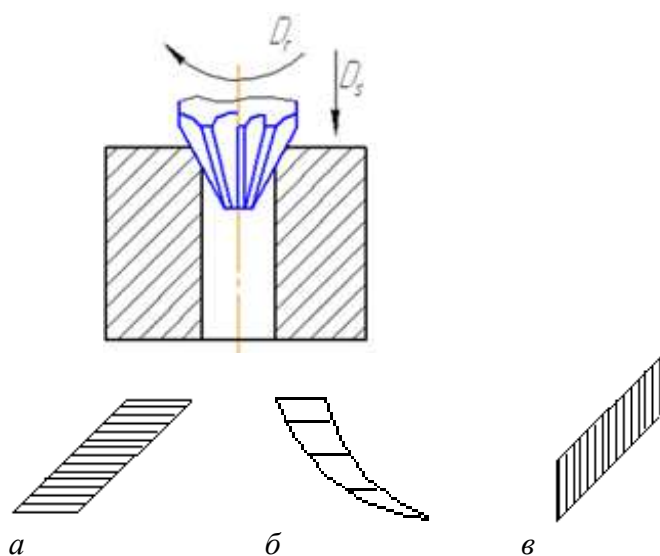
48. Выберите соответствующее схеме вида обработки резанием сечение срезаемого слоя.



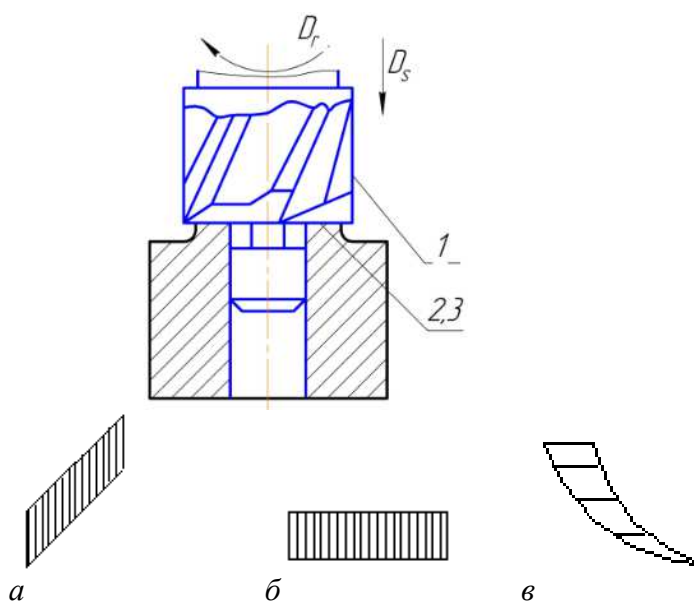
49. Выберите соответствующее схеме вида обработки резанием сечение срезаемого слоя.



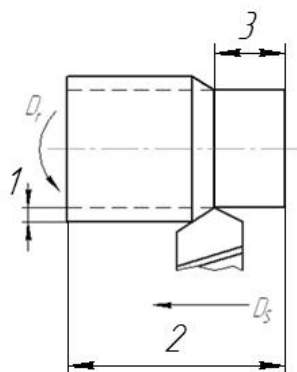
50. Выберите соответствующее схеме вида обработки резанием сечение срезаемого слоя.



51. Выберите соответствующее схеме вида обработки резанием сечение срезаемого слоя.

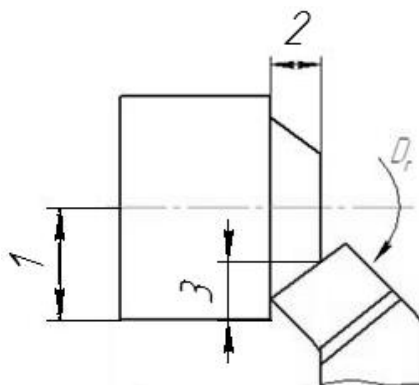


52. Отметьте правильный вариант глубины резания t , мм.



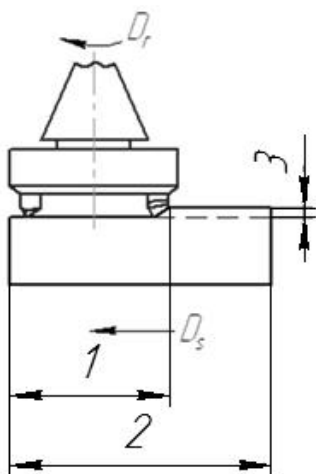
- 1 мм;
- 2 мм;
- 3 мм.

53. Отметьте правильный вариант глубины резания t , мм.



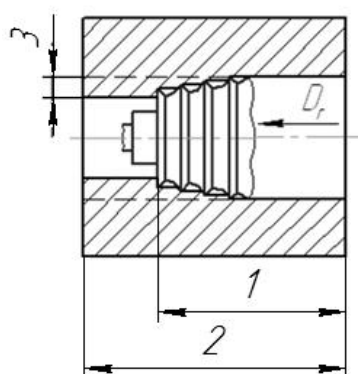
- 1 мм;
- 2 мм;
- 3 мм.

54. Отметьте правильный вариант глубины резания t , мм.



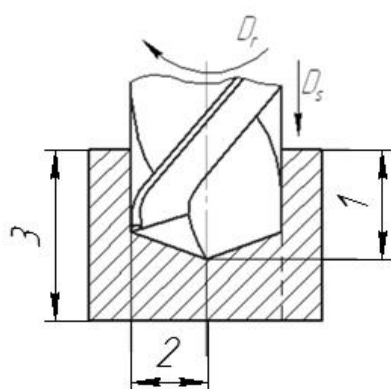
- 1 мм;
- 2 мм;
- 3 мм.

55. Отметьте правильный вариант глубины резания t , мм.



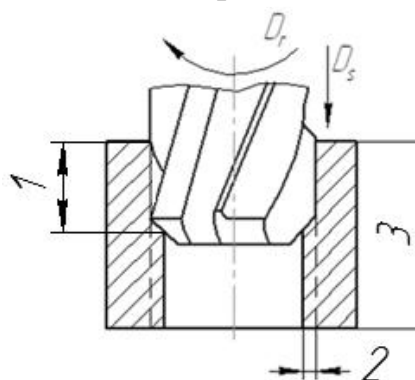
- 1 мм;
- 2 мм;
- 3 мм.

56. Отметьте правильный вариант глубины резания t , мм.



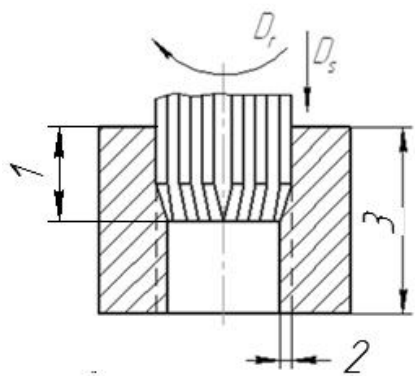
- 1 мм;
- 2 мм;
- 3 мм.

57. Отметьте правильный вариант глубины резания t , мм.



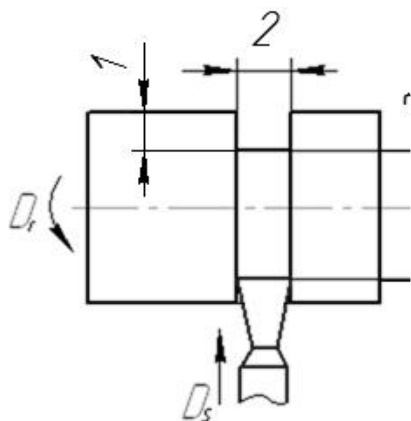
- 1 мм;
- 2 мм;
- 3 мм.

58. Отметьте правильный вариант глубины резания t , мм.



- 1 мм;
- 2 мм;
- 3 мм.

59. Отметьте правильный вариант глубины резания t , мм.



- 1 мм;
- 2 мм;
- 3 мм.

60. Отметьте формулу для определения коэффициента укорочения стружки.

- $K_l = l_1 / l$
- $K_l = l / l_1$
- $K_l = l_1 \cdot l$

62. Отметьте формулу для определения коэффициента уширения стружки

- $K_b = b_1 / b$
- $K_b = b / b_1$
- $K_b = b_1 \cdot b$

63. Выберите правильное определение усадки стружки:

- изменение геометрических размеров стружки по сравнению с размерами срезаемого слоя в процессе резания;
- изменение геометрических размеров стружки по сравнению с размерами снимаемого слоя в процессе резания;
- изменение геометрических размеров срезаемого слоя по сравнению с размерами стружки.

64. Возможен ли переход от элементной стружки к сливной при обработке одного и того же материала?

- при увеличении переднего угла;
- при уменьшении переднего угла;
- невозможен.

65. Возможен ли переход от элементной стружки к сливной при обработке одного и того же материала?

- при увеличении скорости резания;
- при уменьшении подачи;
- невозможен.

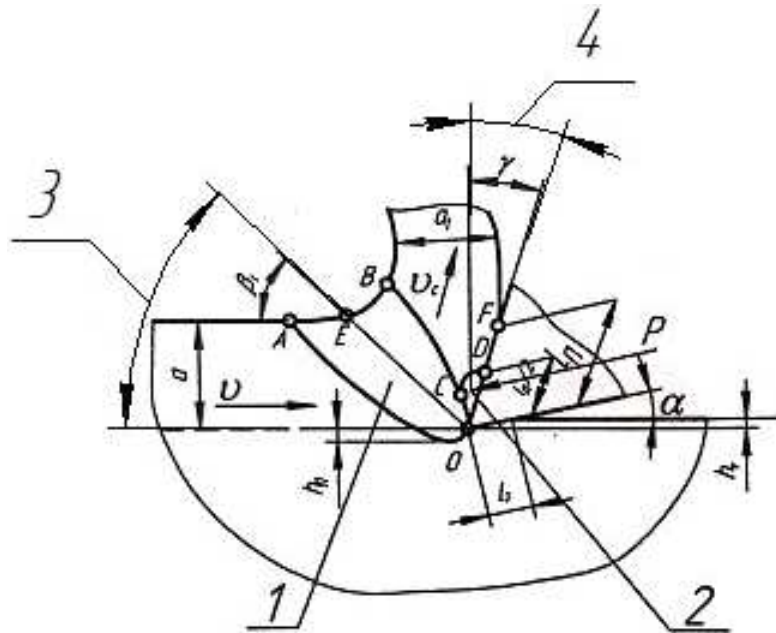
66. Укажите зоны деформации и угол сдвига

А – зона первичной деформации;

Б – зона вторичной деформации;

В – угол сдвига;

Г – передний угол лезвия.



а	А	Б	В	Г
	1	2	3	4
б	А	Б	В	Г
	2	3	1	4
в	А	Б	В	Г
	4	2	3	1

67. Нарост при резании:

- часть обрабатываемого материала;
- часть инструментального материала;
- часть обрабатываемого и инструментального материала.

68. Относительный сдвиг – это:

- отношение толщины элемента к абсолютному сдвигу;
- отношение абсолютного сдвига к толщине элемента;
- произведение абсолютного сдвига и толщины элемента.

69. Какие материалы склонны к наростообразованию

- медь, латунь, бронза;
- конструкционные стали;
- титановые сплавы.

70. Какие материалы не склонны к наростообразованию

- углеродистые стали;
- конструкционные сплавы;
- титановые сплавы.

71. Отметьте правильное утверждение

- нарост увеличивает передний угол, снижает силу и температуру резания, уменьшает степень деформации стружки;
- нарост уменьшает передний угол, повышает силу и температуру резания, увеличивает степень деформации стружки;
- нарост увеличивает передний угол, повышает силу и температуру резания, уменьшает степень деформации стружки.

Тест № 5

Силы резания

1. В формуле для расчета составляющей силы резания показатель степени X_p :

- при t ;
- S ;
- v .

2. В формуле для расчета составляющей силы резания показатель степени Y :

- при t ;
- S ;
- v .

3. В формуле для расчета составляющей силы резания показатель степени Z_p :

- при t ;
- S ;
- v .

4. В формуле для расчета силы резания коэффициент C_p учитывает:

- свойства обрабатываемого материала;
- условия обработки;
- режимы резания.

5. В формуле для расчета силы резания коэффициент K_p учитывает:

- свойства обрабатываемого материала;
- условия обработки;
- режимы резания.

6. Как называется прибор, предназначенный для определения сил резания?

- динамометр;
- манометр;
- осциллограф.

7. На какие составляющие раскладывают силу резания P в главной секущей плоскости?

- тангенциальная, радиальная;
- тангенциальная, нормальная;
- тангенциальная, осевая.

8. Какие силы в процессе резания действуют нормально и касательно на переднюю и заднюю поверхности режущего инструмента?

- силы нормального давления и трения;
- силы адгезии и диффузии;
- тангенциальная, радиальная, осевая составляющие силы резания.

9. На какие составляющие в основной плоскости раскладывается нормальная составляющая P_n силы резания?

- P_z и P_x ;
- P_y и P_z ;
- P_x и P_y .

10. С увеличением глубины резания t составляющая силы резания P_z :

- уменьшается;
- увеличивается;
- не изменяется.

11. С увеличением подачи S составляющая силы резания P_z :

- уменьшается;
- увеличивается;
- не изменяется.

12. С увеличением скорости резания v , при резании материалов, не склонных к наростообразованию, составляющая силы резания P_z :

- уменьшается;
- увеличивается;
- не изменяется.

13. С увеличением глубины резания t составляющая силы резания P_x :

- уменьшается;
- увеличивается;
- не изменяется.

14. С увеличением подачи S составляющая силы резания P_x :

- уменьшается;
- увеличивается;
- не изменяется.

15. С увеличением скорости резания v , при резании материалов, не склонных к наростообразованию, составляющая силы резания P_x :

- уменьшается;
- увеличивается;
- не изменяется.

16. С увеличением глубины резания t составляющая силы резания P_y :

- уменьшается;
- увеличивается;
- не изменяется.

17. С увеличением подачи S составляющая силы резания P_y :

- уменьшается;
- увеличивается;
- не изменяется.

18. С увеличением скорости резания v , при резании материалов, не склонных к наростообразованию, составляющая силы резания P_y :

- уменьшается;
- увеличивается;
- не изменяется.

19. Как величина электрического сигнала переводится в единицы силы?

- производится тарирование;
- вычисляется по формуле;
- выбирается по графику.

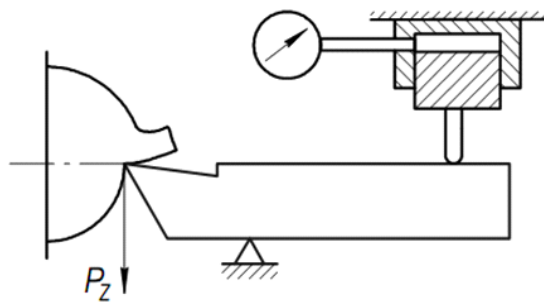
20. Как при выводе формулы силы резания перейти от степенной зависимости к линейной?

- взять производную от выражения;
- прологарифмировать выражение;
- найти дифференциал.

21. Какой состав вещества используется в качестве датчика в динамометрах гидравлического типа?

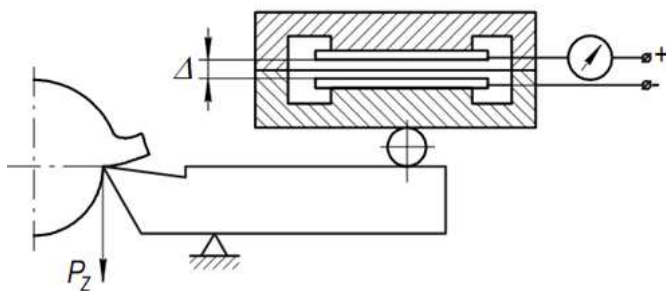
- глицерин;
- спирт;
- ртуть.

22. Определите тип динамометра.



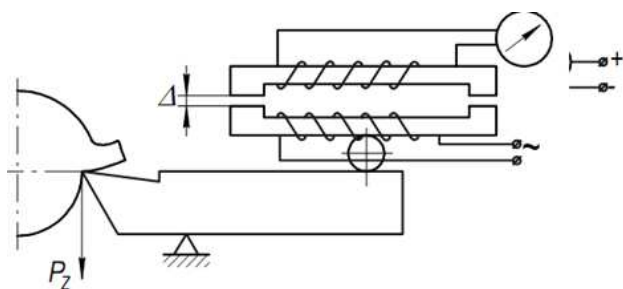
- емкостной;
- индуктивный;
- гидравлический.

23. Определите тип динамометра.



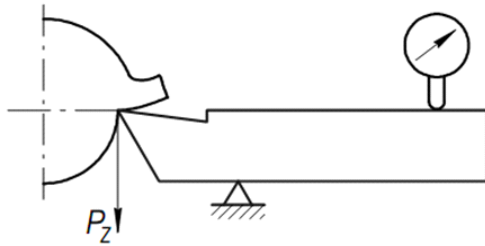
- емкостной;
- гидравлический;
- механический.

24. Определите тип динамометра.



- емкостной;
- индуктивный;
- гидравлический.

25. Определите тип динамометра.



- емкостной;
- гидравлический;
- механический.

26. Главная составляющая силы резания P_z направлена:

- вдоль вектора скорости главного движения v ;
- по нормали n к поверхности резания;
- перпендикулярно вектору скорости главного движения v .

27. Равнодействующая сил, действующих на резец, определяется по формуле:

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

28. При увеличении предела прочности (σ_B) обрабатываемого материала силы P_x , P_y , P_z :

- уменьшаются;
- увеличиваются;
- остаются неизменными.

29. При увеличении главного угла в плане (ϕ) силы P_z и P_y :

- увеличиваются;
- уменьшаются;
- остаются неизменными.

30. При увеличении глубины резания (t) и подачи (S) силы P_z , P_x , P_y :

- увеличиваются;
- уменьшаются;
- остаются неизменными.

31. С помощью электрического динамометра измеряют:

- непосредственно величину силы резания;
- величину силы тока или напряжения, пропорциональные дефор-

мации

от сил резания;

- величину мощности, пропорциональную деформации от сил резания.

32. Сила P_x называется:

- тангенциальной составляющей силы резания;
- осевой составляющей силы резания;
- радиальной составляющей силы резания.

33. Сила P_y называется:

- осевой составляющей силы резания;
- тангенциальной составляющей силы резания;
- радиальной составляющей силы резания.

34. Сила P_z называется:

- осевой составляющей силы резания;
- тангенциальной составляющей силы резания;
- радиальной составляющей силы резания.

35. Силы, действующие на заготовку со стороны резца и на резец со стороны заготовки:

- равны между собой и противоположны по направлению;
- не равны между собой и направлены в одну сторону;
- не равны между собой и противоположны по направлению.

Тест № 6
Изнашивание и износ режущего инструмента

1. Адгезия – это:
 - схватывание;
 - перенос;
 - поглощение.
2. Диффузия – это:
 - молекулярное схватывание взаимодействующих тел под влиянием высокой температура и большого давления;
 - взаимное проникновение атомов двух взаимодействующих тел;
 - разрушение взаимодействующих микровыступов.
3. Адсорбция – это:
 - схватывание;
 - перенос;
 - поглощение.
4. Истирание контактирующих материалов – это изнашивание:
 - абразивно-механическое;
 - адгезионное;
 - диффузионное.
5. Схватывание и вырывы контактирующих материалов – это изнашивание:
 - абразивно-механическое;
 - адгезионное;
 - диффузионное.
6. Взаимное проникновение контактирующих материалов с последующим изменением их свойств – это изнашивание:
 - абразивно-механическое;
 - адгезионное;
 - диффузионное.
7. Протяжка изнашивается в виде:
 - округления режущей кромки;
 - фаски по задней поверхности;
 - лунки на передней поверхности.

8. Резец изнашивается в виде:

- округления режущей кромки, фаски по задней поверхности, лунки на передней поверхности;
- фаски по задней поверхности, лунки на передней поверхности;
- лунки на передней поверхности, округления режущей кромки.

9. Сверло изнашивается в виде:

- округления режущей кромки;
- фаски по задней поверхности;
- лунки на передней поверхности.

10. Фреза изнашивается в виде:

- округления режущей кромки;
- фаски по задней поверхности;
- лунки на передней поверхности.

11. Изнашивание лезвия:

- потеря режущей способности лезвия;
- вид износа лезвия;
- результат износа лезвия.

12. Износ лезвия:

- вид изнашивания;
- величина изменения формы и размеров лезвия;
- потеря режущей способности лезвия.

13. Абразивное изнашивание:

- истирание;
- адгезия;
- диффузия.

14. Механическое изнашивание:

- срезание;
- истирание;
- адгезия.

15. Адгезионное изнашивание:

- диффузия;
- истирание;
- адгезия.

16. Диффузионное изнашивание:

- адгезия;
- срезание;
- диффузия.

17. Виды износа лезвия:

- канавка, площадка, пятно;
- фаска, лунка, округление;
- каверна, фреттинг, оспа.

18. Мера изношенности:

- линейный и массовый износ;
- объемный и угловой износ;
- весовой и геометрический износ.

19. Критерии отказа (износа) геометрические:

- линейный размер площадки износа;
- угловой размер площадки износа;
- весовой размер площадки износа.

20. Стойкость инструмента:

- способность работать до интенсивного износа;
- способность работать до катастрофического износа;
- способность работать до равномерного износа.

21. Надежность инструмента:

- комплексный показатель;
- геометрический показатель;
- физический показатель.

22. Критерии отказа физические:

- сила и температура резания;
- деформация и напряжение;
- наклеп, электромагнитное излучение и трение.

23. Критерии отказа технологические:

- шероховатость, вибрация, шум;
- наклеп, излучение, колебание;
- остаточные напряжения, деформация, разрушение.

24. Стадии износа лезвия:

- интенсивный, равномерный, катастрофический;
- быстрый, медленный, равномерный;
- предельный, крайний, средний.

25. С увеличением скорости резания износ:

- увеличивается;
- уменьшается;
- не изменяется.

26. С увеличением подачи износ:

- уменьшается;
- увеличивается;
- не изменяется.

27. С увеличением глубины резания износ:

- не изменяется;
- уменьшается;
- увеличивается.

28. С увеличением времени обработки износ:

- уменьшается;
- увеличивается;
- не изменяется.

29. С увеличением скорости резания стойкость:

- увеличивается;
- уменьшается;
- не изменяется.

30. С увеличением подачи стойкость:

- уменьшается;
- увеличивается;
- не изменяется.

31. С увеличением глубины резания стойкость:

- не изменяется;
- уменьшается;
- увеличивается.

32. С увеличением времени обработки стойкость:

- уменьшается;
- увеличивается;
- не изменяется.

Тест № 7

Качество обработки

1. Качество обработанной поверхности характеризуется:
 - геометрическими параметрами и физико-механическими свойствами поверхностного слоя;
 - точностью получаемых геометрических параметров детали;
 - возникающими внутренними напряжениями.

2. Совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующая рельеф поверхностей детали и рассматриваемая на определённой (базовой) длине, – это:
 - волнистость;
 - шероховатость;
 - отклонение плоскостности.

3. К субмикрogeометрии относятся:
 - неровности на больших участках поверхности;
 - отклонения на участке примерно 1 мм^2 ;
 - неровности, обусловленные несовершенством внутреннего строения металла.

4. Увеличение радиуса при вершине резца способствует:
 - снижению шероховатости;
 - увеличению шероховатости;
 - радиус при вершине резца не оказывает влияния на шероховатость.

5. С увеличением главного угла в плане шероховатость:
 - возрастает;
 - снижается;
 - не изменяется.

5. Что необходимо сделать для устранения явления наклепа:
 - уменьшить скорость;
 - увеличить подачу;
 - увеличить скорость.

7. Наклеп поверхностного слоя увеличивается:

- с увеличением скорости и глубины резания;
- с увеличением скорости и подачи;
- с увеличением подачи и глубины резания.

8. Волнистость – это:

- совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующая рельеф поверхностей детали и рассматриваемая на определённой (базовой) длине;
- совокупность периодически чередующихся возвышенностей и впадин, изменяющихся примерно по синусоидальному закону;
- совокупность периодически чередующихся возвышенностей и впадин, изменяющихся по алгебраической зависимости.

9. Для снижения шероховатости необходимо:

- уменьшить подачу;
- уменьшить скорость;
- увеличить глубину резания.

10. С увеличением подачи шероховатость:

- уменьшается;
- увеличивается;
- не изменяется.

11. С увеличением глубины резания шероховатость:

- увеличивается;
- уменьшается;
- не изменяется.

Тест № 8 Обработка

1. Точность обработки – это:
 - степень соответствия детали заданным размерам и формам;
 - степень соответствия детали заданной шероховатости;
 - степень соответствия заданной твердости.
2. Согласно ГОСТ 25346 установлено квалитетов точности:
 - 10;
 - 20;
 - 30.
3. Производительность обработки:
 - количество изготовленных деталей, отнесенных к единице времени;
 - количество поломанных инструментов;
 - затраченное время.
4. Производительность обработки – это:
 - затраченное время;
 - количество обработанных конструктивных элементов и поверхностей деталей, отнесенных к единице времени;
 - количество используемых станков.
5. Производительность обработки – это:
 - количество используемой технологической оснастки;
 - затраченное время;
 - объемы снимаемого и срезаемого слоев, отнесенных к единице времени.
6. Коэффициент обрабатываемости материалов резанием – это:
 - отношение величин подачи;
 - отношение величин глубины резания;
 - отношение величин скорости резания.
7. Смазочно-охлаждающие технологические среды – это:
 - смазочно-охлаждающие вещества;
 - устройства их подготовки и транспортировки;
 - смазочно-охлаждающие вещества и устройства для их подготовки и транспортировки.
8. Виды смазочно-охлаждающих веществ:
 - газообразные, твердые, жидкие;
 - ионные, фотонные, молекулярные;
 - атомные, молекулярные, ионные.

9. Смазочно-охлаждающие жидкости – это:

- масло, эмульсия, электролит;
- вода, графит, эмульсор;
- глицерин, мыльный раствор, дистиллированная вода.

10. Способы подачи СОЖ:

- полив, под напором, через каналы, распылением;
- индуктивный, гидравлический, механический;
- электрический, механический, комбинированный.

11. Ленточнопильная обработка – это:

- обработка ленточной пилой;
- обработка дисковой пилой;
- обработка ножовочной пилой.

21. Производительность процесса пиления – это:

- площадь поверхности заготовки, разрезанной пилой за одну минуту;
- длина пути ленточной пилы за один оборот;
- площадь снимаемого слоя заготовки за одну минуту.

13. Скорость движения подачи при ленточнопильной обработке – это:

- скорость вращения ленточной пилы;
- скорость опускания пильной рамы;
- скорость разрезания заготовки.

14. При уменьшении коэффициента обрабатываемости материала подачу рекомендуется:

- увеличить;
- уменьшить;
- оставить без изменения.

15. Что необходимо сделать для устранения явления наклепа:

- уменьшить скорость;
- увеличить подачу;
- увеличить скорость.

16. При обработке на ленточнопильном станке подача на зуб определяется как:

- отношение диаметра к скорости разрезания заготовки;
- отношение произведения фактической подачи и шага зубьев пилы к скорости главного движения;
- отношение произведения фактической подачи и диаметра шкива пилы к скорости главного движения.

17. Тангенциальная или главная составляющая силы резания при ленточном пилении:

- действует на режущий клин в направлении главного движения по касательной к поверхности резания заготовки;
- направлена вдоль движения подачи, стремится оттолкнуть инструмент от заготовки и изогнуть его в вертикальном направлении;
- действует на режущий клин противоположно направлению главного движения по касательной к поверхности резания заготовки.

18. Толстая или крупная стружка голубого цвета при обработке на ленточнопильном станке указывает:

- что ленточная пила перегружена, т. е. зуб врезается слишком глубоко, тем самым значительно увеличивается нагрузка на режущие зубья и снижается ресурс ленточной пилы;
- указывает на правильные параметры резки;
- что зуб не успевает врезаться и поэтому стружка не получается завитой.

19. Главная составляющая силы резания при ленточном пилении рассчитывается как:

- отношение скорости главного движения к потребляемой мощности;
- отношение потребляемой мощности к скорости движения подачи;
- отношение потребляемой мощности к скорости главного движения резания.

20. Фактическая подача при обработке на ленточнопильном станке рассчитывается как:

- отношение высоты пропила к времени резания;
- отношение глубины к времени резания;
- отношение скорости подачи к времени резания

21. Высокоскоростная обработка:

- обработка со скоростью более 1000м/с;
- обработка со скоростью более 1000м/мин;
- обработка со скоростью выше традиционной

22. Ротационная обработка:

- обработка вращающимся режущим инструментом;
- обработка с касательным движением режущего инструмента;
- обработка с главным движением режущего инструмента.

Учебное издание

ПОПОК Николай Николаевич
ХМЕЛЬНИЦКИЙ Руслан Сергеевич
ГВОЗДЬ Галина Игоревна

ТЕОРИЯ РЕЗАНИЯ: ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области машиностроительного оборудования и технологий
в качестве учебно-методического пособия
к лабораторным работам по дисциплине «Теория резания»
для студентов высших учебных заведений, обучающихся
по специальностям 1-36 01 01 «Технология машиностроения»,
1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства»*

Редактор *Т. А. Дарьянова*
Дизайн обложки *М. С. Мухоморовой*

Подписано в печать 11.01.2021. Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 16,01. Уч.-изд. л. 15,64. Тираж 30 экз. Заказ 2.

Издатель и полиграфическое исполнение –
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

Ул. Блохина, 29, 211440, г. Новополоцк.