

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Л. М. Акулович, Л. Е. Сергеев, В. В. Шабуня**

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ  
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.  
ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ.  
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Под общей редакцией Л. М. Акуловича

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением по аграрному  
техническому образованию в качестве учебно-методического  
пособия для студентов учреждений высшего образования  
по группе специальностей 0812 «Агроинженерия»*

Минск  
БГАТУ  
2024

УДК 621.9(07)  
ББК 34.5я7  
А44

**Рецензенты:**

кафедра «Технология машиностроения» Белорусского национального  
технического университета (член-корреспондент  
Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук,  
профессор, заведующий кафедрой *В. К. Шелег*);  
доктор технических наук, профессор, начальник отделения технологий  
машиностроения и металлургии – заведующий лабораторией  
наноструктурных и сверхтвердых материалов *В. И. Жорник*

**Акулович, Л. М.**

- Материаловедение и технология конструкционных материалов.  
А44 Обработка материалов резанием. Лабораторный практикум :  
учебно-методическое пособие / Л. М. Акулович, Л. Е. Сергеев,  
В. В. Шабуня ; под общ. ред. Л. М. Акуловича. – Минск : БГАТУ,  
2024. – 88 с.  
ISBN 978-985-25-0261-0.

В практикуме представлены методические указания к лабораторным работам по разделу «Обработка материалов резанием» дисциплины «Материаловедение и технология конструкционных материалов».

Предназначается для студентов и учащихся агротехнических специальностей, а также может быть использован магистрантами, аспирантами и специалистами предприятий агропромышленного комплекса, работающими в области изготовления, ремонта и эксплуатации сельскохозяйственной техники.

УДК 621.9(07)  
ББК 34.5я7

ISBN 978-985-25-0261-0

© БГАТУ, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
Лабораторная работа № 1	
КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТОКАРНОГО РЕЗЦА И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ .....	6
Лабораторная работа № 2	
ВЛИЯНИЕ УГЛОВ В ПЛАНЕ ТОКАРНОГО РЕЗЦА И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ .....	25
Лабораторная работа № 3	
АНАЛИЗ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА .....	33
Лабораторная работа № 4	
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ НА ПЛАСТИЧЕСКУЮ ДЕФОРМАЦИЮ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ .....	48
Лабораторная работа № 5	
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ НА ТЕМПЕРАТУРУ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ .....	61
Лабораторная работа № 6	
ИЗУЧЕНИЕ И НАСТРОЙКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЛИМБОВОЙ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ (УЛДГ) .....	71
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	85

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Материаловедение и технология конструкционных материалов» относится к числу основополагающих дисциплин для специальностей инженерного профиля и входит в учебные планы, подготовленные в соответствии с образовательными стандартами Республики Беларусь для группы специальностей 6-05-0812-01 «Техническое обеспечение производства сельскохозяйственной продукции», 6-05-0812-02 «Техническое обеспечение хранения и переработки сельскохозяйственной продукции», 6-05-0812-03 «Технический сервис в АПК», 6-05-1021-01 «Охрана труда на производстве».

Структура дисциплины включает три раздела:

- Материаловедение,
- Обработка металлов резанием,
- Горячая обработка металлов.

Обработка металлов резанием играет ведущую роль в технологии изготовления машин и механизмов.

**Целью** изучения данного раздела дисциплины является формирование у студентов знаний, умений и навыков по процессам срезания припуска с поверхности заготовки, методам формообразования поверхностей на технологическом оборудовании, выбору необходимых геометрических параметров инструментов и инструментальных материалов для технологических процессов изготовления деталей машин заданного качества.

Основными **задачами** данного раздела дисциплины являются:

- 1) формировать у студентов знания:
  - основ процесса резания материалов;
  - методов формообразования поверхностей деталей;
- 2) формировать у студентов умения:
  - выбирать конструкцию и геометрические параметры режущих инструментов для заданных условий формирования поверхностей;
  - назначать оптимальные параметры режима резания.

Лабораторные работы имеют единую структуру: вначале изложена цель работы и задачи, затем кратко представлены теоретические или общие сведения, используемое оборудование, приборы, материалы и порядок выполнения работы. В конце

работы перечислены требования к содержанию отчета, а также приведены контрольные вопросы для самостоятельной подготовки студентов к защите отчета по лабораторным работам.

В зависимости от программы дисциплины и специальностей количество выполняемых лабораторных и самостоятельных работ могут быть изменены, а содержание работ сокращено или расширено.

Отчеты по всем лабораторным работам оформляются в соответствии с приложением 1. Титульный лист к отчетам оформляется с указанием соответствующих надписей (приложение 2). Управляемые самостоятельные работы студентов выполняются в специально разработанной рабочей тетради.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТОКАРНОГО РЕЗЦА И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ

**Цель работы:** изучить классификацию резцов, их конструктивные элементы и геометрические параметры режущей части, а также приобрести навыки измерения геометрических параметров режущей части резца.

#### **Задачи:**

- 1) изучить конструктивные элементы и геометрические параметры режущей части различных типов токарных резцов и приобрести навыки измерения величины углов режущей части;
- 2) изобразить схемы обработки заготовок проходным, расточным и отрезным резцами;
- 3) измерить конструктивные элементы резцов;
- 4) измерить геометрические параметры режущей части резцов;
- 5) обработать полученные данные, сделать выводы по результатам замеров и защитить отчет.

#### **Студент должен знать:**

- классификацию, конструктивные элементы и геометрические параметры режущей части токарных резцов, области их применения;
- поверхности на заготовке и координатные плоскости для определения углов клиновидной части резцов;
- поверхности, углы и элементы клина токарного резца;
- соотношение между углами  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ ;  $\varphi$ ,  $\varphi_1$ ,  $\varepsilon$ . Рекомендуемые значения углов клина резцов;
- методы и средства измерения (контроля) конструктивных элементов и углов клина резцов;
- влияние формы передней поверхности и углов клина резца на процесс резания;
- маркировку инструментальных материалов и область их применения.

***Студент должен уметь:***

- измерять (контролировать) конструктивные элементы и геометрические параметры режущей части токарных резцов;
- обрабатывать и анализировать результаты опытов;
- пользоваться нормативной и справочной литературой;
- выполнять в соответствии с требованиями стандартов, эскизы различных резцов.

### **Общие сведения**

**Токарная обработка** металла представляет собой последовательное снятие слоя (припуска) с поверхности заготовки для получения изделия с определенными параметрами и размерами. Обработка производится на токарных станках, в оснащение которых входят различные виды инструментов (резцы, сверла, зенкер, развертка и ряд других специальных инструментов).

### **Токарные резцы**

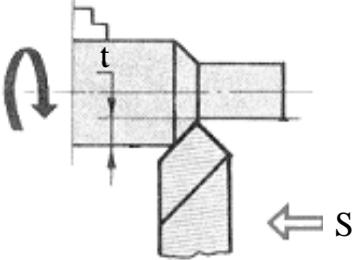
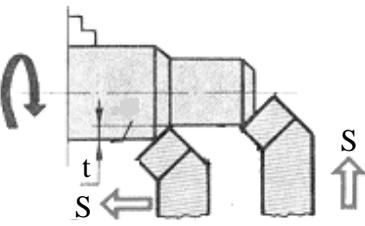
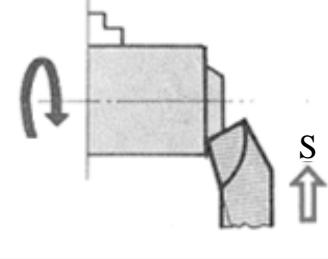
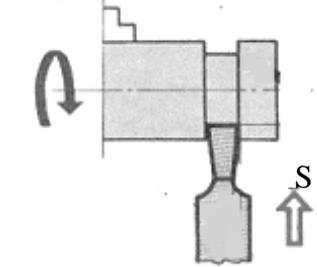
**Резец** – это однолезвийный режущий инструмент, предназначенный для обработки поверхностей различных форм и размеров.

### **Классификация резцов**

Резцы классифицируют:

- 1) по форме обрабатываемой поверхности и виду обработки (табл. 1.1);
- 2) по расположению головки резца относительно стержня (табл. 1.2);
- 3) по направлению движения подачи (табл. 1.3);
- 4) по направлению движения подачи различают (табл. 1.4);
- 5) по характеру обработки: черновые, чистовые и для тонкого точения;
- 6) по сечению стержня: прямоугольные, квадратные и круглые;
- 7) по материалу рабочей части: из инструментальных сталей, из твердого сплава, из керамических материалов, из алмазов, из сверхтвердых синтетических материалов.

Классификация резцов в зависимости от вида обработки

Вид резца	Форма обрабатываемой поверхности	Схема обработки
1	2	3
Прходные резцы	для обработки цилиндрической поверхности на проход	
Упорные проходные	для обработки одновременно цилиндрической поверхности и торцевой плоскости	
Подрезные резцы	для обработки торцевых поверхностей с поперечной подачей	
Отрезные резцы	для отрезки готовой детали от заготовки	

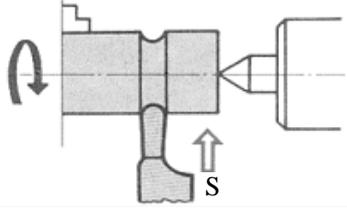
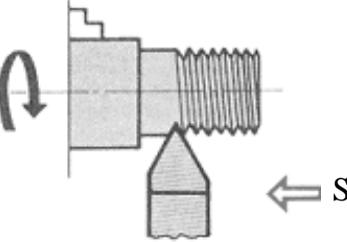
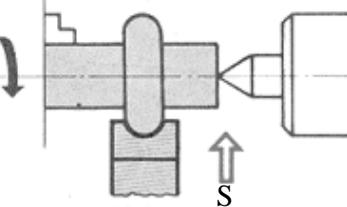
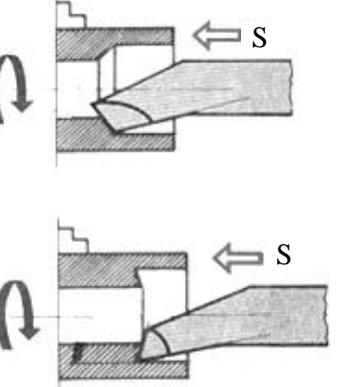
Вид резца	Форма обрабатываемой поверхности	Схема обработки
Канавочные (прорезные) резцы	для образования канавок	
Резьбовые резцы	для нарезания резьбы	
Фасонные резцы	для обработки фасонных поверхностей (поверхностей вращения сложной формы)	
Расточные резцы	для обработки отверстий	

Таблица 1.2

Классификация резцов в зависимости от расположения рабочей части резца относительно стержня

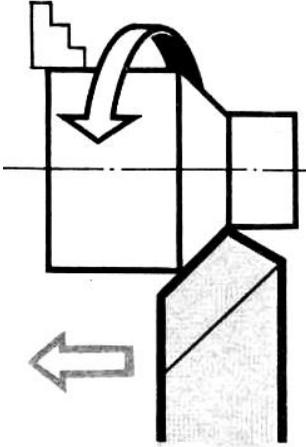
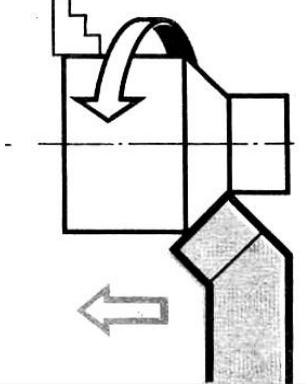
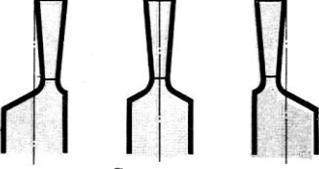
Вид резца	Схема обработки	Фотографии резцов
1	2	3
Прямые		
Отогнутые		
Вытянутые	 <p data-bbox="344 1369 663 1391">Вправо      Симметрично      Влево</p>	

Таблица 1.3

Классификация резцов в зависимости от направления движения подачи

Вид резца	Схема
Левые (подача слева направо)	
Правые (подача справа налево)	

Таблица 1.4

Классификация резцов в зависимости от конструкции рабочей части

Вид резца	Фотографии резцов
Цельные (рабочая часть и стержень резца изготовлены из одного материала)	
Резцы с напаянной режущей частью (марки материалов твердых сплавов: ВК4, ВК6, ВК8, ВК8В, Т5К10, Т5К12В, Т14К8, Т15К6, Т17К12)	
Сборные (со сменной режущей частью)	

## Конструктивные элементы реза

Резец состоит из рабочей части (головки) А и стержня (державка) Т (рис. 1.1).

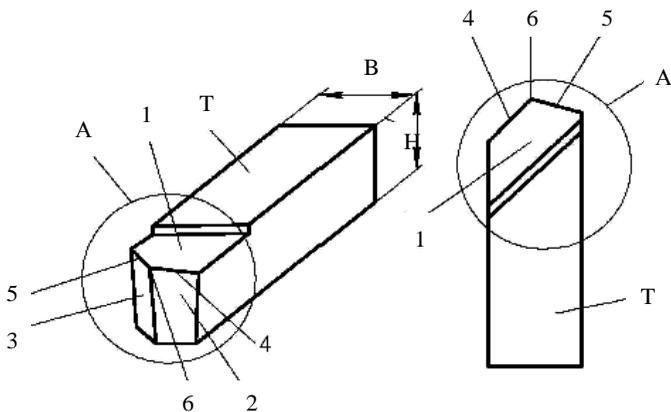


Рис. 1.1. Конструктивные элементы реза

Стержень (державка) служит для закрепления реза в резцедержателе.

Рабочая часть принимает непосредственное участие в процессе резания. Она образуется специальной заточкой и состоит из следующих элементов (рис. 1.1):

1) **передней поверхности 1**, по которой в процессе резания сходит стружка;

2) **главной задней поверхности 2**, обращенной к поверхности резания;

3) **вспомогательной задней поверхности 3**, обращенной к обработанной поверхности;

4) **главной режущей кромки 4**, образованной пересечением передней и главной задней поверхностей;

5) **вспомогательной режущей кромки 5**, образованной пересечением передней и вспомогательной задней поверхностей;

б) **вершины реза 6**, являющейся местом сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок. При криволинейном сопряжении режущих кромок вершина имеет скругленную форму радиуса  $r$ . Радиус  $r$  называется радиусом при вершине.

## Поверхности заготовки и детали. Геометрические параметры режущей части резца

На обрабатываемой заготовке (рис. 1.2) различают следующие поверхности: обрабатываемую, обработанную и поверхность резания.

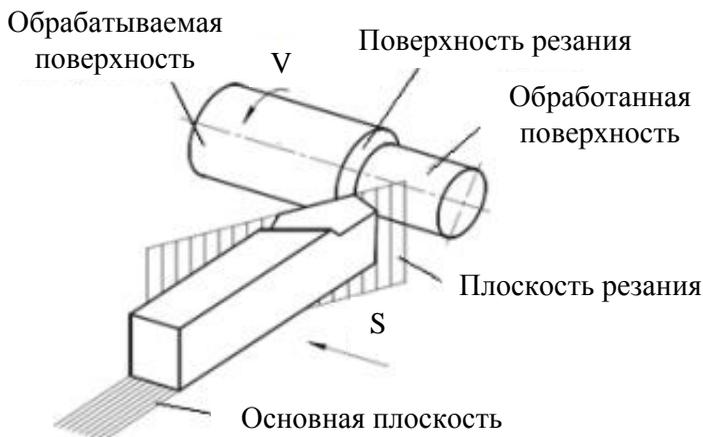


Рис. 1.2. Схема расположения поверхностей заготовки и резца

**Обрабатываемой поверхностью** называется поверхность заготовки, подлежащая воздействию режущего инструмента в процессе обработки.

**Обработанной** называется поверхность, полученная после снятия припуска. **Припуск** – слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных параметров обрабатываемой поверхности.

**Поверхностью резания** называется поверхность, образуемая на обрабатываемой заготовке непосредственно главной режущей кромкой. Поверхность резания является переходной между обрабатываемой поверхностью и обработанной.

Чтобы резец мог выполнять работу резания, его режущей части необходимо придать форму клина, затачивая её по передней и задней поверхностям. Форма клина определяется конфигурацией и расположением поверхностей и режущих кромок, т. е. с помощью углов (рис. 1.3, 1.4).

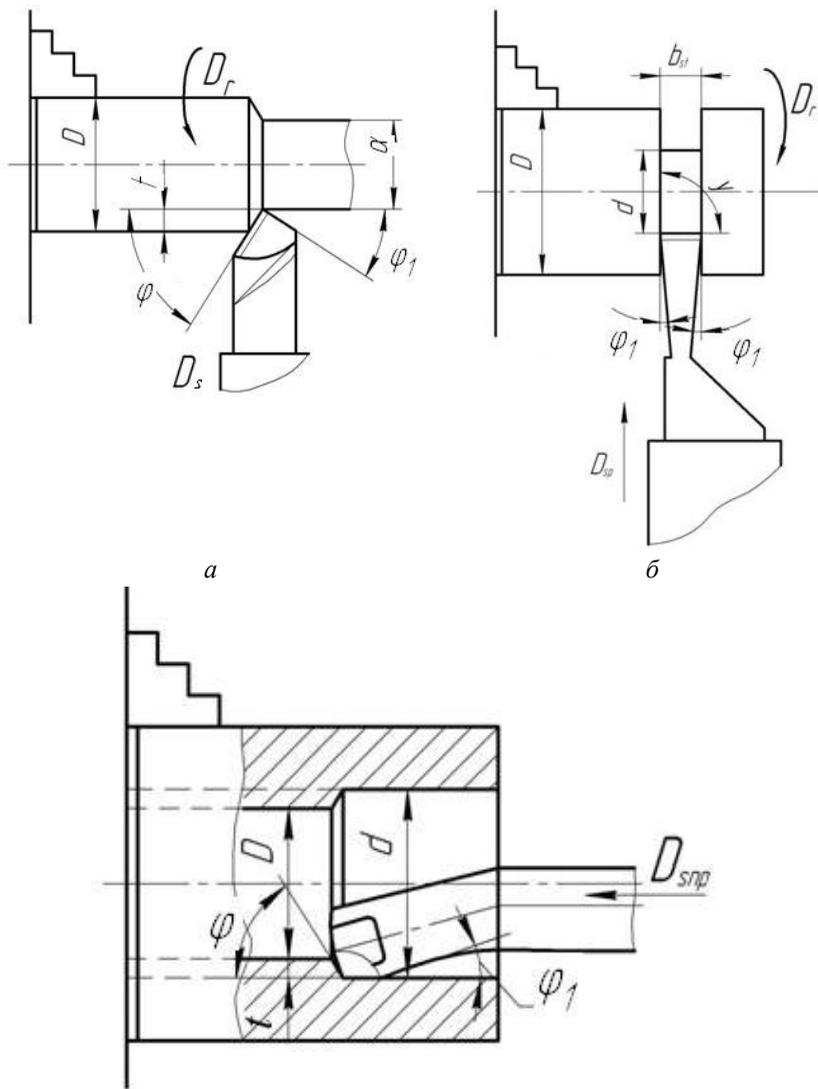


Рис. 1.3. Схемы обработки точением: а – проходным прямым резцом; б – отрезным резцом; в – расточным резцом для сквозных отверстий,  $D$  – обрабатываемая поверхность;  $d$  – обработанная поверхность;  $\varphi_1$  – вспомогательный угол в плане;  $\varphi$  – главный угол в плане;  $D_r$  – скорость главного движения;  $D_s$  – движение подачи;  $b_1$  – ширина резания

Для определения углов реза применяются следующие координатные плоскости: основная, плоскость резания, рабочая плоскость.

**Основная плоскость** – плоскость, перпендикулярная направлению вектора скорости главного движения из рассматриваемой точки режущей кромки. У токарных резцов с призматической державкой за основную плоскость может быть принята нижняя (опорная) поверхность 3 державки реза (рис. 1.4).

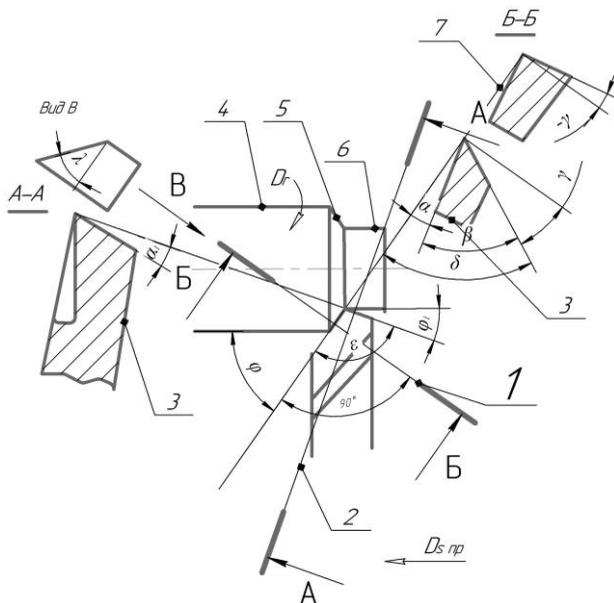


Рис. 1.4. Поверхности заготовки и углы токарного проходного реза:

- 1 – след главной секущей плоскости;
- 2 – след вспомогательной секущей плоскости; 3 – основная плоскость;
- 4 – обрабатываемая поверхность; 5 – поверхность резания;
- 6 – обработанная поверхность; 7 – плоскость резания

**Плоскость резания** – плоскость касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная основной плоскости. При установке токарного резца по линии центров станка и отсутствии подачи плоскость резания расположена вертикально (см. рис. 1.2). На рис. 1.4 показан след 7 этой плоскости.

**Рабочая плоскость** – плоскость, в которой расположены векторы скоростей главного движения ( $V$ ) и движения подачи ( $S$ ).

**Главная секущая плоскость 1** (сечение Б-Б, рис. 1.4) – плоскость перпендикулярная линии пересечения основной плоскости и плоскости резания и делящая главную режущую кромку на две части, перпендикулярную проекции главной режущей кромке на основную плоскость основания резца.

В главной секущей плоскости располагаются следующие углы (рис. 1.5):

1) **главный задний угол  $\alpha$**  – угол между главной задней поверхностью и плоскостью резания;

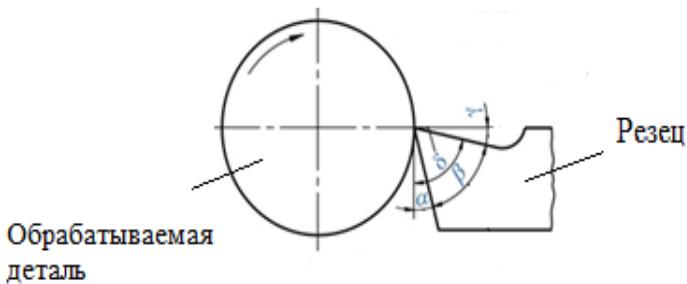


Рис. 1.5. Углы в главной секущей плоскости:  $\alpha$  – главный задний угол;  $\beta$  – угол заострения,  $\gamma$  – главный передний угол,  $\delta$  – угол резания

2) **угол заострения  $\beta$**  между передней и главной задней поверхностями резца;

3) **главный передний угол  $\gamma$**  – угол между передней поверхностью резца и основной плоскостью, имеет положительное значение ( $+\gamma$ ), если передняя поверхность направлена вниз от режущей кромки; имеет отрицательное значение ( $-\gamma$ ), если передняя поверхность направлена вверх от неё; угол равен нулю ( $\gamma = 0$ ), если передняя поверхность параллельна основной плоскости.

4) **угол резания  $\delta$**  образуется передней поверхностью и плоскостью резания. При отрицательном значении переднего угла ( $-\gamma$ ) угол резания ( $\delta$ ) определяется из зависимости:

$$\delta = 90^\circ + \gamma. \quad (1.1)$$

Как видно из рис. 1.5, между углами резца существуют следующие зависимости:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ, \quad (1.2)$$

$$\delta = \alpha + \beta, \quad (1.3)$$

$$\delta = 90^\circ - \gamma. \quad (1.4)$$

**Вспомогательная секущая плоскость 2** (сечение А-А, рис. 1.4) – проводится перпендикулярно проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и перпендикулярно основной плоскости.

Обычно измеряется только один вспомогательный задний угол ( $\alpha_1$ ). Иногда измеряют и вспомогательный передний угол ( $\gamma_1$ ).

**Вспомогательный передний угол  $\gamma_1$**  – это угол во вспомогательной секущей плоскости между передней поверхностью лезвия и основной плоскостью.

**Вспомогательный задний угол  $\alpha_1$**  – угол во вспомогательной секущей плоскости между вспомогательной задней поверхностью резца и вспомогательной плоскостью резания.

Углы в плане резца измеряют в основной плоскости (см. рис. 1.4).

**Главный угол в плане  $\phi$**  – угол между проекцией главной режущей кромки лезвия резца на основную плоскость и направлением продольной подачи.

**Вспомогательный угол в плане  $\phi_1$**  – угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением продольной подачи.

**Угол при вершине резца в плане  $\varepsilon$**  – угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость.

**Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$**  определяет направление схода стружки. Угол  $\lambda$  считается положительным ( $+\lambda$ ) (рис. 1.6, а), когда режущая кромка расположена выше вершины, и отрицательным ( $-\lambda$ ) – когда ниже (рис. 1.6, б);  $\lambda$  равен нулю, если главная режущая кромка совпадает с вершиной (рис. 1.6, в). Значение угла  $\lambda$  находится в пределах от  $-5^\circ$  до  $+5^\circ$ .

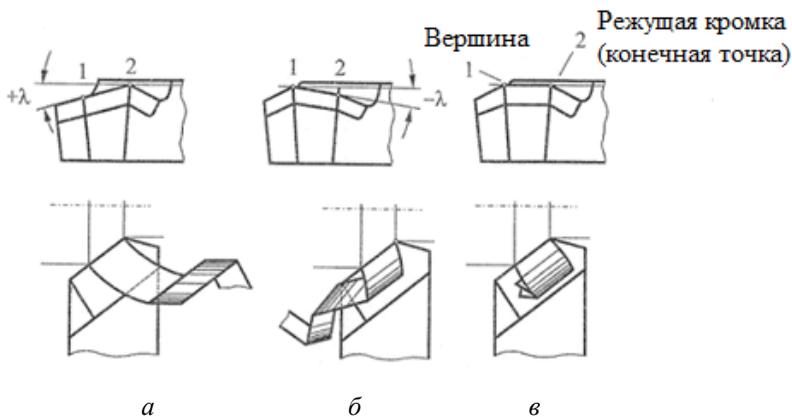


Рис. 1.6. Влияние угла наклона главной режущей кромки на направление схода стружки

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

Положительное значение угла наклона главной режущей кромки  $\lambda$  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  $\lambda$  рекомендуется применять для чистовой обработки поверхностей деталей.

## Материалы, оборудование и инструменты

- 1) Резцы токарные напайные из различных инструментальных материалов: проходной прямой, проходной отогнутый, проходной упорный, подрезной, расточной для сквозных отверстий, расточной для глухих отверстий, отрезной, резьбовой наружный и внутренний с многогранными неперетачиваемыми пластинами;
- 2) макет токарного проходного резца и координатных плоскостей;
- 3) макеты передних граней токарных резцов;

4) плакаты с изображением токарных резцов и контрольно-измерительных инструментов;

5) контрольно-измерительные средства – угломеры, штангенциркули, металлические линейки, шаблоны, токарно-винторезные станки мод. 16В20, 1А62.

### Порядок выполнения работы

1. Измерить габаритные размеры резцов ( $B \times H \times L$ ). Габаритные размеры резцов измеряют штангенциркулем или металлической линейкой. В данной работе допустимая точность измерений линейных размеров резца «+» «-» 1 мм. Результаты измерений записать в отчет.

2. Измерить углы  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\alpha_1$ ,  $\gamma_1$  и  $\lambda$  угломерами различных конструкций. Результаты измерений записать в отчет.

**Угломер конструкции МИЗ** (рис. 1.7) позволяет измерять углы  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\alpha_1$ ,  $\gamma_1$  и  $\lambda$  и состоит из основания 1 и стойки 2. По стойке вверх и вниз передвигается сектор 4 с градусной шкалой. На секторе укреплена измерительная пластина 5 с указателем и измерительными поверхностями А и Б. Положение ее фиксируется винтом 6.

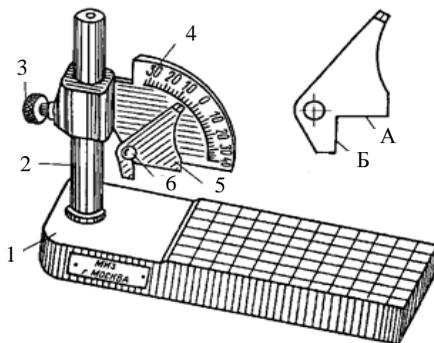


Рис.1.7. Общий вид настольного угломера МИЗ:

1 – основание; 2 – стойка; 3 – фиксатор; 4 – шкала; 5 – измерительная пластина;  
6 – винт

При измерении переднего угла  $\gamma$  и главного заднего угла  $\alpha$  шкальное устройство (рис. 1.8, а и б) прибора устанавливается пер-

пендикулярно главной режущей кромке, при измерении угла  $\alpha_1$  – перпендикулярно вспомогательной режущей кромке.

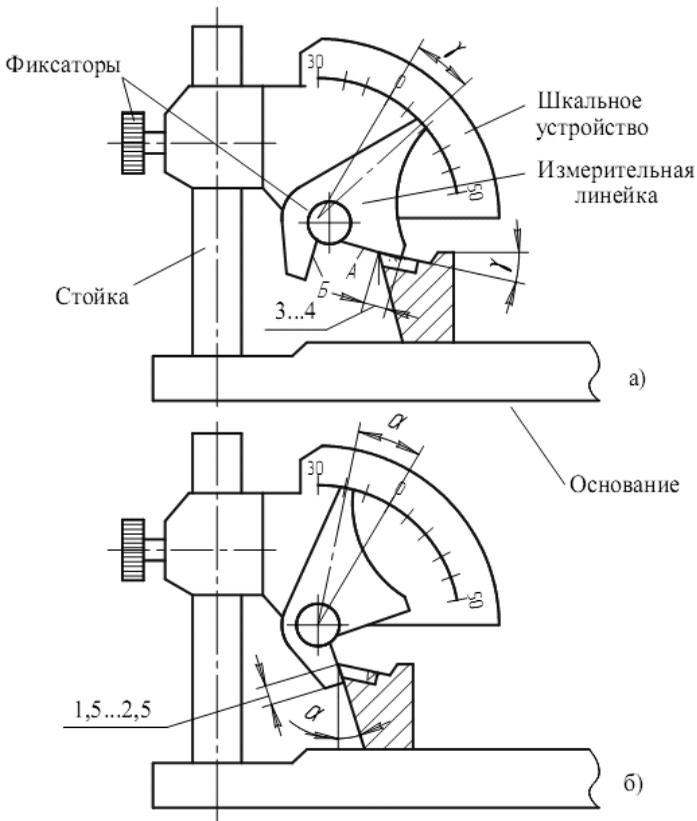


Рис. 1.8. Настольный угломер конструкции МИЗ для измерения углов: а –  $\gamma, \gamma_1$ ;  
б –  $\alpha, \alpha_1$  и  $\lambda$

При контроле переднего угла  $\gamma$  поверхность А поворотной пластины (рис. 1.8, а) должна плотно прилегать к передней поверхности резца. При этом указатель измерительной линейки, отклоняясь плавно от нуля шкального устройства, будет показывать положительное значение угла  $\gamma$ .

В случае измерения углов  $\alpha$  и  $\alpha_1$  поверхность Б поворотной пластины доводится до полного контакта соответственно с главной

или вспомогательной задними поверхностями резца (рис. 1.8, б). Отсчет значений углов  $\alpha$  и  $\alpha_1$  производится влево от нуля.

При измерении угла  $\lambda$  шкальное устройство угломера устанавливается вдоль главной режущей кромки, при этом поверхность А измерительной линейки должна плотно прилегать к главной режущей кромке.

**Универсальный угломер конструкции Семенова** (рис. 1.9) состоит из сектора 1, на котором нанесена основная градусная шкала. По сектору перемещается пластина 2 с нониусом, на которой с помощью державки 3 закрепляется угольник 4 либо лекальная линейка. Последняя в случае необходимости может быть закреплена на угольнике с помощью дополнительной державки 3. Путем различных перестановок угольника и лекальной линейки достигается измерение углов  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\alpha_1$ ,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$ ,  $\varepsilon$  и  $\lambda$ . На рис. 1.9 представлены схемы измерения углов  $\gamma$ ,  $\varphi$  и  $\varphi_1$ . При измерении углов  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\alpha_1$  сектор 1 должен быть расположен перпендикулярно соответствующим режущим кромкам.

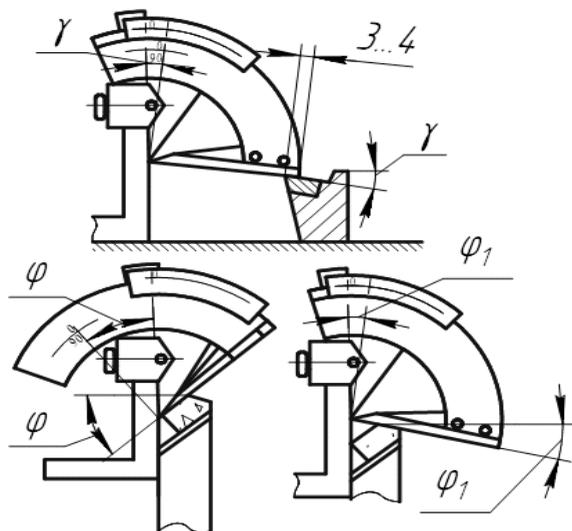


Рис. 1.9. Универсальный угломер конструкции Семенова

## Содержание отчета

1. Название, цель лабораторной работы.
2. Краткие сведения о токарной обработке, основных конструктивных элементах и геометрических параметрах резца, способах измерения и измерительном инструменте.
3. Схема обработки поверхностей детали инструментом с указанием элементов движения резания, обрабатываемой и обработанной поверхностей и поверхности резания.
4. В практической части необходимо измерить геометрические параметры и углы лезвия резцов. Полученные результаты вписать в табл. 1.5.
5. Выводы. В выводах указать, для каких целей предназначен каждый изучаемый резец, исходя из значений величин углов. Затем проанализировать полученные результаты, записанные в табл. 1.5, сравнив их с табл. 1.6, 1.7, 1.8.

Таблица 1.5

Таблица результатов измерений

Наименование резца	Материал режущей части резца	Размеры резца $V \times H \times L$ , мм	Углы резца, град.										
			главные				вспомогательные		в плане			наклона главной режущей кромки	
			$\alpha$	$\gamma$	$\beta$	$\delta$	$\alpha_1$	$\gamma_1$	$\varepsilon$	$\varphi$	$\varphi_1$	$\lambda$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Прогонной													
Расточной													
Отрезной													

Таблица 1.6

Рекомендуемые углы резания  $\alpha$  и  $\gamma$  токарных резцов

Обрабатываемый материал	Обработка резцами					
	твердосплавными			быстрорежущими		
	черно- вая	чисто- вая	$\gamma, ^\circ$	черно- вая	чисто- вая	$\gamma, ^\circ$
	$\alpha, ^\circ$			$\alpha, ^\circ$		
1	2		3	4		5
Сталь и стальное литье: $\sigma_B \leq 800$ МПа	8	12	12-15	6	12	25
$\sigma_B > 800$ МПа	8	12	10	8	12	20
$\sigma_B > 1000$ МПа обработка по загрязненной корке, работа с ударами	8	12	-10	-	-	-
Стали жаропрочные	10	10	10	8	8	20
Чугун серый	8	10	5	-	-	-
Чугун ковкий	8	10	8	-	-	-
Медные сплавы	8	12	12	8	12	20
Алюминиевые сплавы	8	12	15	8	12	25

Примечание. Вспомогательные задние углы принимать:

– для проходных и расточных резцов  $\alpha_1 = (0,8-1) \alpha$ ;– для отрезных и канавочных резцов  $\alpha_1 = 2^\circ - 3^\circ$ .

Таблица 1.7

Главный  $\phi$  и вспомогательный  $\phi_1$  углы в плане

Условия работы	$\phi$	$\phi_1$
1	2	3
Точение с малой глубиной резания при особо жесткой системе СПИД	30	-
Точение при жесткой системе СПИД	45	5-10
Точение при недостаточно жесткой системе СПИД	60-75	10-15
Обтачивание ступенчатых поверхностей и нежестких валов, отрезание, подрезание, выточка канавок	90	1-3
Обработка с подачей в обе стороны	-	30

Примечание. Для резцов централизованного изготовления табличные углы  $\phi_1$  выполнять при заточке созданием дополнительной режущей кромки у вершины на длине 3-5 мм.

Таблица 1.8

Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$ 

Условия работы	$\lambda, ^\circ$
1	2
Чистовое обтачивание и растачивание	(-2)...(-4)
Точение резцами с $\varphi = 90^\circ$	0
Черновое обтачивание и растачивание	5–10
Обтачивание прерывистых поверхностей	12–15

### Контрольные вопросы и задания

1. Что такое токарная обработка и резец?
2. Какие бывают резцы в зависимости от вида обработки?
3. Какие бывают резцы по направлению движения подачи?
4. Какие бывают резцы по расположению головки резца относительно стержня?
5. Какие бывают резцы по конструкции рабочей части?
6. Из каких основных конструктивных элементов состоит резец?
7. Что такое рабочая часть резца? Из каких поверхностей она состоит?
8. Дайте определение: обрабатываемой поверхности, обработанной поверхности и поверхности резания.
9. Что такое основная и главная секущая плоскости, плоскость резания?
10. Дайте определения углов рабочей части резца.
11. Какие измерительные инструменты для определения углов резца вы знаете?
12. Какую роль играют значения углов резца в процессе резания?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### ВЛИЯНИЕ УГЛОВ В ПЛАНЕ ТОКАРНОГО РЕЗЦА И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

**Цель работы:** установить влияние углов в плане токарного резца и режимов резания на шероховатость обработанной поверхности.

**Задачи:**

- 1) изучить понятия: шероховатость, параметры шероховатости, режимы резания;
- 2) исследовать шероховатость обработанной поверхности после точения проходным резцом с  $\varphi_1 = 0$ ,  $\varphi_1 = 15^\circ$  и  $\varphi_1 = 45^\circ$  в зависимости от величины подачи;
- 3) обработать экспериментальные данные, сделать выводы и защитить отчет.

**Студент должен знать:**

- определения: шероховатость, параметры шероховатости, режимы резания;
- параметры шероховатости поверхности и методы их определения.

**Студент должен уметь:**

- измерять шероховатость обработанной поверхности;
- обрабатывать и анализировать результаты опытов.

### Общие сведения

**Шероховатость поверхности** – это совокупность неровностей поверхности с относительно малым шагом. Измерение шероховатости производится на определенной – базовой длине, которая регламентирована ГОСТ 2789–73.

Структура обозначения шероховатости поверхности указана в ГОСТ 2.309–73.

На рис. 2.1 представлено нормальное сечение (сечение, перпендикулярное базовой поверхности) профиля в виде схемы. На этом рисунке линия  $m$  называется **средней линией профиля** – это базовая

линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины  $l$  среднее квадратичное отклонение профиля до этой линии минимально.

Базовая длина  $l$  – это длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности.

Предпочтительным параметром, оценивающим шероховатость поверхности, является показатель  $R_a$  – **среднее арифметическое отклонение профиля**, которое определяют как среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где  $n$  – число точек профиля на базовой длине ( $l$ );

$y_i$  – отклонение профиля – расстояние между любой точкой профиля и средней линией (рис. 1.10).

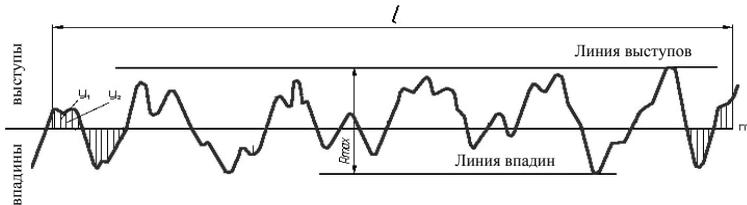


Рис. 2.1. Параметры, характеризующие шероховатость поверхности по ГОСТ 2789–73

Кроме того, шероховатость поверхности характеризуется:

– **наибольшей высотой профиля  $R_{max}$**  – расстоянием между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины;

– **показателем  $R_z$**  – высотой неровностей профиля по десяти точкам (сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины).

В зависимости от функционального назначения поверхность детали должна иметь определенную шероховатость и качество точности (рис. 2.2, табл. 2.1).

Таблица 2.1

Зависимость параметра шероховатости  $R_a$  и качества точности от вида обработки (ГОСТ Р 70117–2022)

Вид обработки	Параметр шероховатости $R_a$ , мкм	Квалитет точности
1	2	3
Отрезка	12,5–100	15–17
Растачивание черновое	50–100	15–17
Растачивание получистовое	50–12,5	14–12
Растачивание чистовое	0,80–3,2	7–9
Сверление	6,3–12,5	10; 11
Рассверливание	6,3–25	10–14
Фрезерование торцовой фрезой чистовое	3,2–6,3	10; 11
Фрезерование скоростное чистовое	0,20–1,60	8; 9
Полирование	0,20–1,60	6

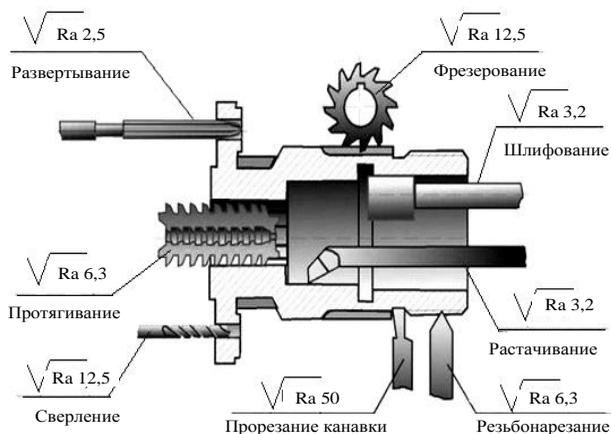


Рис. 2.2. Значения параметров шероховатости различных видов обработки

Измерение значений шероховатости поверхности  $R_a$  и параметра  $R_z$  производится высокочувствительным электронным прибором – профилометром SJ-201P Mitutoyo.

Действие прибора основано на ощупывании алмазной иглой датчика профилометра исследуемой поверхности (базовая длина представляет собой прямую линию) и преобразовании колебаний иглы в изменения напряжения при помощи механотрона. Полученные электрические сигналы усиливаются, детектируются, интегрируются электронным блоком прибора, и результаты измерений подаются на ЖКИ экране. Для полуколичественной визуальной оценки шероховатости поверхности могут использоваться эталоны, то есть металлические поверхности – образцы с заранее определенной шероховатостью.

К **режимам резания** относятся величина подачи  $S$ , скорость резания  $V$  и глубина резания  $t$ .

Наибольшее влияние на шероховатость обработанной поверхности оказывают величины подачи и вспомогательного угла в плане  $\varphi_1$  токарного реза, а также форма округления вершины реза.

**Подача  $S$ , мм/об** – это величина перемещения инструмента (резца) относительно заготовки в направлении подачи. При точении подача  $S$  определяется величиной перемещения резца за один оборот заготовки.

На рис. 2.3 схематически даны примеры влияния величины вспомогательного угла в плане  $\varphi_1$  токарного проходного реза (рис. 2.3, *a*) и величины подачи  $S$  (рис 2.3, *б*) на формирование микронеровностей обработанной поверхности.

Из заштрихованного треугольника (см. рис. 2.3, *a*) по теореме синусов и после тригонометрических преобразований получим теоретическую зависимость высоты неровностей  $y_i$  от величины подачи  $S$  и от углов в плане  $\varphi$  и  $\varphi_1$ :

– если  $S > r$ , где  $r$  – радиус у вершины реза, то (см. рис. 2.3, *б*)

$$y_i = S \frac{\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_1}{\operatorname{tg}\varphi + \operatorname{tg}\varphi_1};$$

– если  $S < r$ , то (рис. 2.3, *в*)

$$y_i \approx \frac{S^2}{2r}.$$

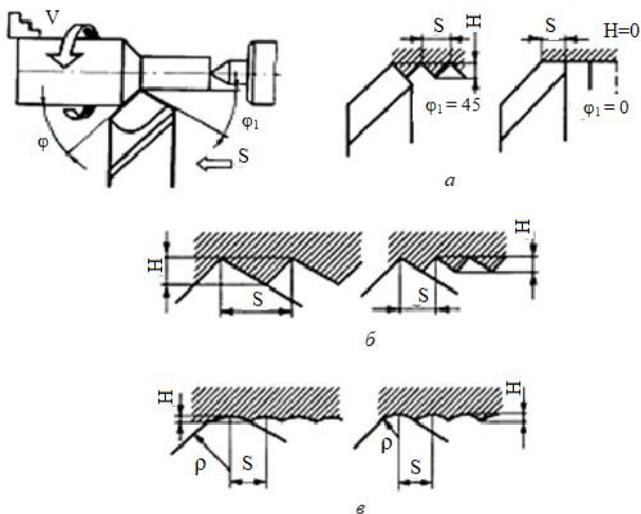


Рис. 2.3. Влияние величины вспомогательного угла в плане  $\varphi_1$  токарного проходного резца (а), величины подачи (б), радиуса  $\rho$  скругления режущей кромки резца (в) на формирование шероховатости обработанной поверхности при точении

**Скорость резания  $V$ , м/мин** – это величина перемещения поверхности резания относительно режущей кромки в единицу времени.

В экспериментах на токарном станке меняется частота вращения заготовки  $n$ , а скорость резания определяется по формуле

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

где  $D$  – диаметр заготовки, мм,

$n$  – частота вращения шпинделя, об/мин.

**Глубина резания  $t$ , мм**, определяет толщину срезаемого слоя за один проход резца. При точении цилиндрической поверхности глубину резания определяют полуразностью диаметров до и после обработки:  $t = (D - d)/2$ , мм.

## Материалы, оборудование и инструменты

- 1) станок токарно-винторезный 16В20, 16В20Г, 1А62;
- 2) резцы проходные с пластинкой твердого сплава Т15К6 с углами  $\varphi_1 = 0^\circ, 15^\circ$  и  $45^\circ$ ;
- 3) заготовка – сталь 45 ГОСТ 1050–84; диаметром  $25 \div 50$  мм,  $l = 120$  мм;
- 4) профилометр-профилограф SJ-201P Mitutoyo (допускается другая модель прибора);
- 5) эталоны шероховатости поверхности;
- 6) штангенциркуль.

## Порядок выполнения работы

Для оценки влияния режимов резания и геометрических параметров токарных резцов использовался станок мод. 16В20 или 1А62 и проходные прямые резцы с углами в плане  $\varphi = 45^\circ$  и  $\varphi_1 = 0^\circ, 15^\circ, 45^\circ$ .

Схема обработки приведена на схеме рис. 2.4.

Эксперимент проводится при следующих режимах обработки:  $V = 60\text{--}90$  м/мин,  $S = 0,08\text{--}0,14$  мм/об,  $t = 0,5\text{--}2$  мм. На выбранных режимах обработки используется резец с углами в плане  $\varphi = 45^\circ$  и  $\varphi_1 = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$ .

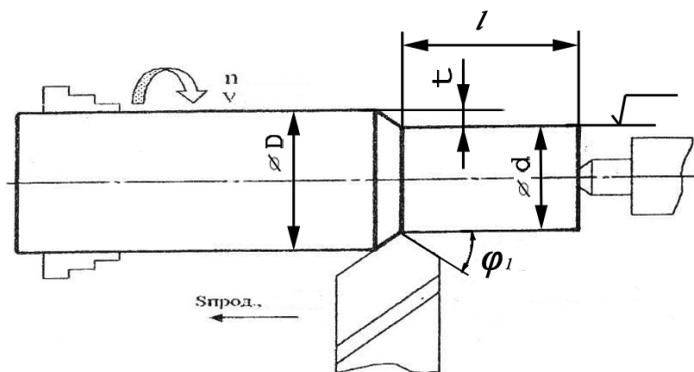


Рис. 2.4. Схема эксперимента:  $t$  – глубина резания;  $S_{\text{прод}}$  – продольная подача;  $n$  – частота вращения шпинделя;  $D$  – диаметр заготовки;  $d$  – диаметр детали;  $\varphi_1$  – вспомогательный угол в плане

## Содержание отчета

1. Название, цель работы.
2. Краткие сведения о качестве поверхности, параметрах шероховатости, режимах резания (подача, скорость и глубина резания).
3. Практическая часть: провести с помощью мастера эксперимент, полученные результаты занести в табл. 2.2. По полученным значениям шероховатости поверхности после обработки построить график зависимости изменения шероховатости обработанной поверхности от величины продольной подачи  $S$  и вспомогательного угла в плане  $\varphi_1$ .
4. Выводы. По полученным графикам в выводах отметить, как влияют углы в плане токарного резца и режимы резания на шероховатость обработанной поверхности.

Таблица 2.2

Влияние величины подачи и вспомогательного угла в плане, на шероховатость обработанной поверхности

Опыт	$\varphi_1$	$S$ , мм/об	$t$ , мм	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$V$ , м/мин	$R_a$ , мкм
1	0°	0,08				
		0,12				
		0,14				
2	15°	0,08				
		0,12				
		0,14				
3	45°	0,08				
		0,12				
		0,14				

## Контрольные вопросы и задания

1. Понятие «шероховатость поверхности».
2. Какие параметры шероховатости вы знаете?
3. Какие режимы резания при точении вы знаете?
4. Как влияет величина вспомогательного угла в плане  $\phi_1$  токарного проходного резца и величины подачи на формирование шероховатости обработанной поверхности при точении?
5. Запишите общий вид формулы для расчета скорости резания и поясните ее.
6. Запишите формулу для определения величины срезанного припуска при продольном точении.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### АНАЛИЗ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА

**Цель работы:** проанализировать шероховатость поверхности при обработке отверстий различными видами осевого инструмента.

**Задачи:**

- 1) изучить назначение, конструкцию и геометрию основных видов многолезвийных режущих инструментов (сверл, зенкеров, разверток);
- 2) приобрести навыки в замерах конструктивных и геометрических параметров многолезвийных режущих инструментов;
- 3) провести экспериментальные исследования и проанализировать шероховатость поверхности при обработке отверстий различными видами осевого инструмента.

**Студент должен знать:**

- основные способы обработки отверстий: сверление, зенкерование и развертывание;
- области применения каждого из осевых инструментов;
- параметры шероховатости поверхности и методы их определения.

**Студент должен уметь:**

- измерять диаметр отверстий штангенциркулем;
- измерять шероховатость обработанной поверхности отверстий профилометром.

### Общие сведения

**Осевым режущим инструментом** называется лезвийный инструмент для обработки с вращательным главным движением резания и движением подачи вдоль оси главного движения (ГОСТ 25751–83). К нему относятся сверла, зенкеры, развертки, зенковки, цековки, фрезы, метчики, плашки и др.

#### 1. Сверла

Сверло – осевой инструмент для обработки отверстий в сплошном материале и увеличения диаметра имеющегося отверстия.

Геометрия режущей части сверла (рис. 3.1, 3.2) характеризуется углами: передним  $\gamma$ , задним  $\alpha$ , углом при вершине  $2\varphi$ , наклона поперечной режущей кромки  $\psi$ , наклона винтовой стружечной канавки  $\omega$ .

В зависимости от конструкции и назначения сверла подразделяются на спиральные, перовые, шнековые, кольцевые, эжекторные, ружейные с наружным или внутренним отводом стружки, комбинированные, центровые и др.

Сверла изготавливаются из быстрорежущих сталей P18, P12, P9, P6M5, P9K5, P29M43ZK8, P10K5Ф5 и др., легированных сталей 9ХС, а также оснащаются пластинками из твердых сплавов ВК6, ВК8, ВК10М, ВК6М и др.

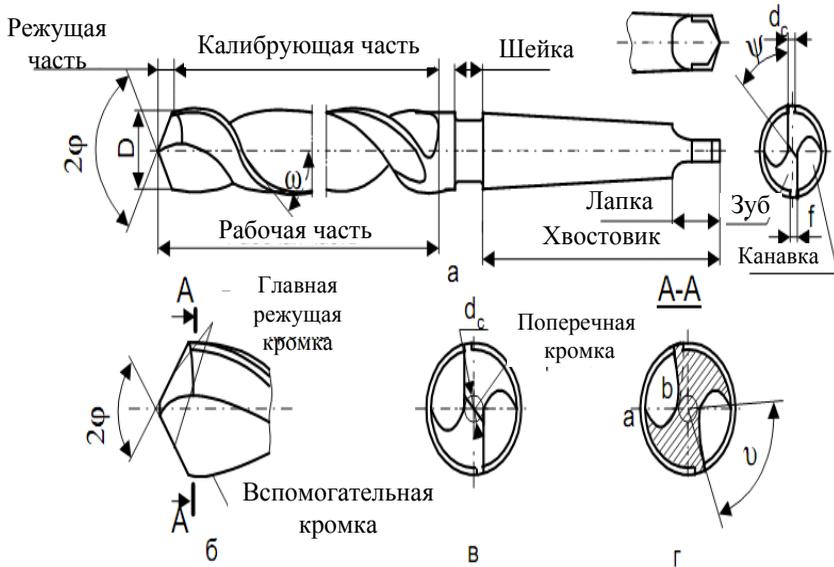


Рис. 3.1. Спиральное сверло

Наиболее широкое распространение получили спиральные сверла (см. рис. 3.1). Сверло состоит из рабочей части, включающей режущую часть и заборный конус шейки, цилиндрического или конического хвостовика и лапки.

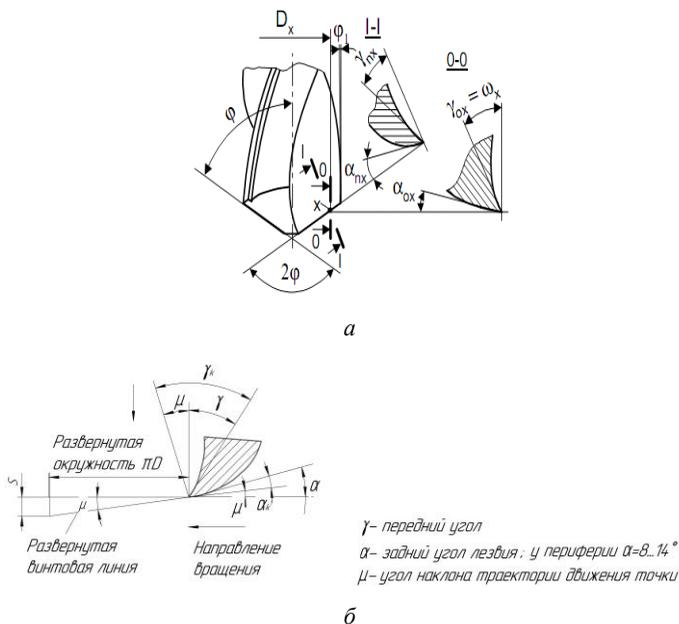


Рис. 3.2. Геометрические параметры режущей части сверла (а) и задний и передний углы в процессе резания (б)

Обычно у сверл небольшого диаметра ( $d \leq 10$  мм) хвостовик имеет форму цилиндра. При этом сверло крепится в специальном патроне. Сверла большого диаметра ( $d \geq 10$  мм) изготавливаются с коническим хвостовиком, при помощи которого они устанавливаются в коническом отверстии шпинделя или переходной конической втулке. Конические хвостовики различают по номерам конуса Морзе (табл. 3.1):

Таблица 3.1

Размеры наружных конусов

Конусы Морзе	0	1	2	3	4	5	6
Диаметр большего основания конуса, мм	9,21	12,24	17,98	24,05	31,54	44,73	63,76

Лапка служит упором для выбивания сверла из шпинделя станка или переходной втулки.

Шейка расположена между хвостовиком и рабочей частью сверла. На ней дается характеристика сверла: материал режущей части и диаметр нового сверла по ленточкам у режущей части.

Рабочая часть имеет две винтовые канавки, по которым отводится стружка из образуемого отверстия.

Режущая часть (см. рис. 3.1) имеет пять режущих кромок: две главных, поперечную и две вспомогательных.

Главные режущие кромки расположены симметрично оси сверла и образованы пересечением его передних и задних поверхностей, которые в отличие от токарного резца имеют винтовую и криволинейную формы.

Для уменьшения трения сверла о стенки отверстия спинки зубьев сверла занижены, а вдоль каждого из них оставлены узкие направляющие ленточки, образующие вспомогательные задние поверхности, которые при пересечении с передними поверхностями образуют вспомогательные режущие кромки. Они принимают участие в резании по толщине сечения сверла.

Поперечная режущая образуется пересечением задних поверхностей. Формирование диаметра сверла производится по ленточке.

Рабочая часть спирального сверла имеет переменный наружный диаметр, уменьшающийся по направлению к хвостовику. Коническая форма сверла устраняет возможность защемления его в просверливаемом отверстии, а также уменьшает его трение об обработанную поверхность.

В соответствии с ГОСТ 25762–83 конструктивные особенности спирального сверла рассматриваются в координатных плоскостях и характеризуются двойным углом при вершине ( $2\varphi$ ), углом наклона винтовой канавки ( $\omega$ ), главным передним углом ( $\gamma$ ), главным задним углом ( $\alpha$ ) и углом наклона поперечной кромки ( $\psi$ ) (см. рис. 3.1, 3.2).

Угол в плане  $\varphi$  рассматривается в основной плоскости ( $P_y$ ). Он определяется между плоскостью резания ( $P_n$ ) и рабочей плоскостью  $P_s$ . На практике обычно измеряется угол при вершине сверла ( $2\varphi$ ), который определяется между проекциями главных режущих кромок на основную плоскость ( $P_y$ ). Этот угол при сверлении конструкционных сталей и чугунов, твердых бронз, органического стекла принимается равным  $116^\circ$ – $120^\circ$  сталей и сплавов жаропрочных

и коррозионно-стойких – 127° градусов, латуней и мягких бронз – 130°, алюминия и других мягких цветных металлов – 130°–140°, текстолита – 70°, гетинакса – 90°, полиэтилена – 110°, эбонита – 80°–90, мрамора и других хрупких материалов – 80°.

Поперечная кромка затрудняет работу сверла, так как она не режет, а сминая металл. Угол наклона поперечной кромки  $\psi$  при правильной заточке сверла составляет 47°–55°. Он расположен между проекциями поперечной и главной режущей кромок на плоскость, перпендикулярную к оси сверла (см. рис. 3.1).

Угол наклона винтовой канавки  $\omega$  – угол, заключенный между касательной к винтовой поверхности канавки и линией, параллельной оси сверла. Его величина определяется условиями схода стружки по передней поверхности, а также прочностью сверла. Чем больше наклон канавок, тем лучше отводится стружка, но при этом жесткость сверла и прочность его режущих кромок уменьшается. Чем меньше диаметр сверла, тем меньше принимается и величина угла  $\omega$ . Для сверл общего назначения  $\omega = 18^\circ \dots 30^\circ$ , для сверления вязких материалов (медь, алюминий и др.)  $\omega = 35^\circ \dots 45^\circ$ , пластмасс –  $\omega = 8^\circ \dots 20^\circ$ .

В процессе резания траектория точек, лежащих на главном режущем лезвии сверла, будет винтовая линия с шагом, равным величине подачи  $S_0$  (рис 3.2, б). Поэтому действительное значение главного заднего угла будет равно  $\alpha_d = \alpha - \arctg \mu$ , где  $\mu$  – угол наклона винтовой линии.

Главный задний угол  $\alpha$  увеличивается от периферии сверла к центру. Как правило, его величина на периферии равна 8°–12°, а ближе к оси – 20°–25°. Главный передний угол  $\gamma$  увеличивается от центра сверла к периферии.

Сверло имеет сложную геометрию передних и задних углов, которые переменны для различных точек режущих кромок. В цилиндрическом сечении радиусом  $R_x$ , передний угол:

$$\operatorname{tg} \gamma_{\text{ox}} = \frac{R_x}{R} \cdot \frac{\operatorname{tg} \omega}{\sin \varphi}$$

где  $\omega_x$  – угол наклона канавки на цилиндре радиусом  $R_x$ .

При известном шаге  $T = (5 \dots 7) D$  стружечной канавки:

$$\operatorname{tg}\omega = 2\pi R_x/T.$$

Нормальный передний угол  $\gamma_n$  на периферии сверла  $\operatorname{tg}\gamma_n = \operatorname{tg}\omega/\sin\varphi$ .

Нормальный задний угол  $\alpha_n$  на периферии сверла  $\operatorname{tg}\alpha_n = \operatorname{tg}\alpha_0/\sin\varphi$ .

На эксплуатационные показатели сверл влияет их жесткость, определяемая формой стружечных канавок. Сверла могут иметь коническую, винтовую, одно-, двухплоскостные формы задней поверхности. Винтовая форма задней поверхности осуществляет по сравнению с конической более рациональное распределение задних углов. Двухплоскостная форма обеспечивает хорошее центрирование сверла при врезании и рекомендуется для сверл, применяющихся на станках с ЧПУ.

При работе сверло изнашивается по задней и передней поверхностям, ленточке, по перемычке. Заточка производится по задней поверхности. Шероховатость задних поверхностей и ленточек не должна превышать  $R_a = 0,63\text{--}1,25$  мкм. Радиальное биение режущих кромок и ленточек не более  $0,04\text{--}0,16$  мм (в зависимости от вида хвостовика, диаметра, серии).

## 2. Зенкеры

Зенкер – осевой режущий инструмент (рис. 3.3) для повышения формы точности отверстия и увеличения его диаметра (ГОСТ 25751–83).

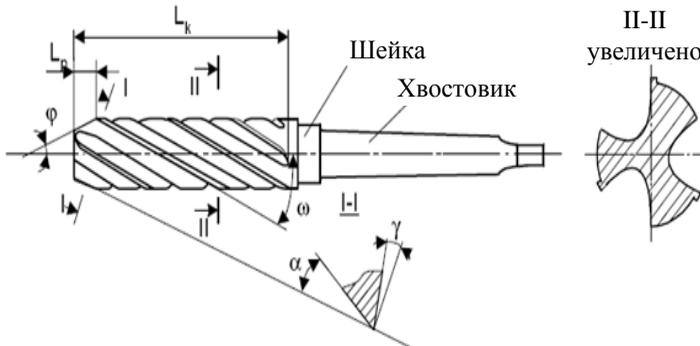


Рис. 3.3. Конструктивные элементы и геометрия хвостового зенкера

Зенковка – осевой многолезвийный инструмент (рис. 3.4, *a*) для обработки конического входного участка отверстия (ГОСТ 25751–83).

Зенкеры с торцевыми зубьями называются цековками (рис. 3.4, *б*). Это осевой многолезвийный инструмент для обработки цилиндрического и (или) торцевого участка отверстия заготовки (ГОСТ 25751–83).

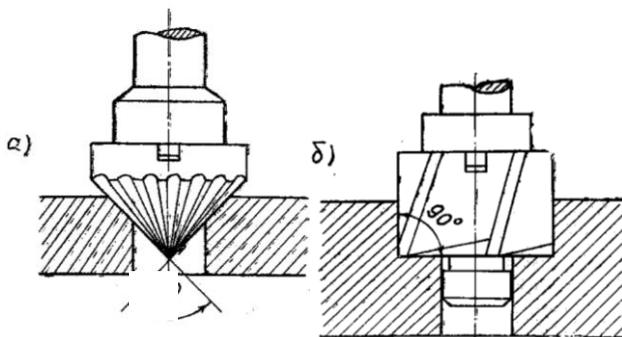


Рис. 3.4. Зенкер для обработки конических, цилиндрических и торцевых участков отверстия: *a* – зенковка; *б* – цековка

Зенкерование большей частью является промежуточной операцией между сверлением и развертыванием. Зенкеры применяют для обработки отверстий с допусками Н11, Н12 и шероховатостью поверхности  $R_a = 2,5\text{--}3,2$  мкм. В зависимости от назначения зенкеры имеют различные конструкции. На рис. 3.3 показан хвостовой зенкер из быстрорежущей стали, имеющий винтовые передние и задние поверхности. Главный угол в плане у зенкера  $\phi = 60^\circ$ . Геометрия режущей части характеризуется углами: передним  $\gamma = 6^\circ\text{--}12^\circ$  (при обработке стали и чугуна);  $\gamma = 20^\circ\text{--}30^\circ$  (при обработке цветных металлов); задним  $\alpha = 6^\circ\text{--}10^\circ$ .

Зенкеры бывают цельные с коническим хвостовиком (хвостовые зенкеры) и насадные. Цельные зенкеры изготавливаются диаметром до 32 мм, а насадные – от 40 до 100 мм.

Из инструментальных материалов для изготовления режущей части зенкеров применяются быстрорежущие стали марок Р9, Р18, Р6М5 и др. или твердые сплавы Т15К6, ВК8 и др.

Зенкер с хвостовиком (рис. 3.3) по внешнему виду похож на сверло, но имеет не менее трех зубьев (обычно до 6), что создает

ему хорошее направление в отверстии, большую жесткость. Зенкер не имеет поперечной режущей кромки.

Основную работу резания выполняет режущая часть зенкера. Передние углы  $\gamma$  образуются (как и у спирального сверла), за счет винтовой формы стружечных канавок. Их величина зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала и измеряется в главной секущей плоскости.

Для уменьшения трения о стенки отверстия калибрующая часть зенкера имеет небольшую обратную конусность, а на спинках зубьев оставляются ленточки шириной  $f = 0,8\text{--}2$  мм. Угол наклона винтовой канавки  $\omega$  принимается равным  $10^\circ\text{--}30^\circ$ . Он выбирается с учетом физико-механических свойств обкатываемого материала.

### 3. Развертки

Развертка – осевой режущий инструмент, используемый для повышения точности формы и размеров отверстия и снижения шероховатости поверхности (ГОСТ 25751–83).

Развертками обрабатывают предварительно просверленные, обработанные зенкером или резцом отверстия до точности 6–9 классов, шероховатость  $R_a = 1,25\text{--}0,63$  мкм. Скорость развертывания в среднем равна 5–8 м/мин.

Припуск на обработку при черновом развертывании принимается 0,1–0,4 мм на диаметр, а при чистовом – 0,05–0,02 мм. Развертки различаются: по способу применения (ручные и машинные), по форме обрабатываемого отверстия (цилиндрические, конические и ступенчатые), по конструкции хвостовые (с цилиндрическим и коническим хвостовиком), по характеру крепления (хвостовые и насадные), по конструкции рабочей части (цельные, разжимные, с прямым или винтовым зубом, сборные со вставными зубьями и т. д.).

Рабочая часть ручных цельных разверток изготавливается из легированной стали 9ХС и из быстрорежущих сталей. Рабочую часть машинных цельных разверток и лезвия сборных разверток изготавливают из быстрорежущей стали или из твердых сплавов типа ТК или ВК.

Хвостовая часть разверток изготавливается из сталей 45 или 40Х. Хвостовая развертка (рис. 3.5) как зенкер и сверло состоит из рабочей части, шейки и хвостовика, но в отличие от них имеет 6–12 зубьев и более пологую режущую кромку (заборную часть).

Рабочая часть развертки, в свою очередь, делится на режущую и калибрующую части, направляющий и обратный конусы. Режущая часть развертки осуществляет основную часть работы по резанию (срезанию припуска в отверстии) при помощи режущих зубьев, наклоненных к оси под углом в плане  $\phi$ . Величина угла в плане  $\phi$  зависит от назначения развертки. Машинные развертки для обработки хрупких, твердых и труднообрабатываемых металлов имеют угол  $\phi = 3^\circ - 5^\circ$ , а при обработке среднеуглеродистых сталей  $\phi = 12^\circ - 15^\circ$ , при обработке глухих отверстий в упор –  $\phi = 60^\circ - 75^\circ$ . Ручные развертки для облегчения внедрения в металл имеют  $\phi = 30^\circ \pm 2^\circ$ .

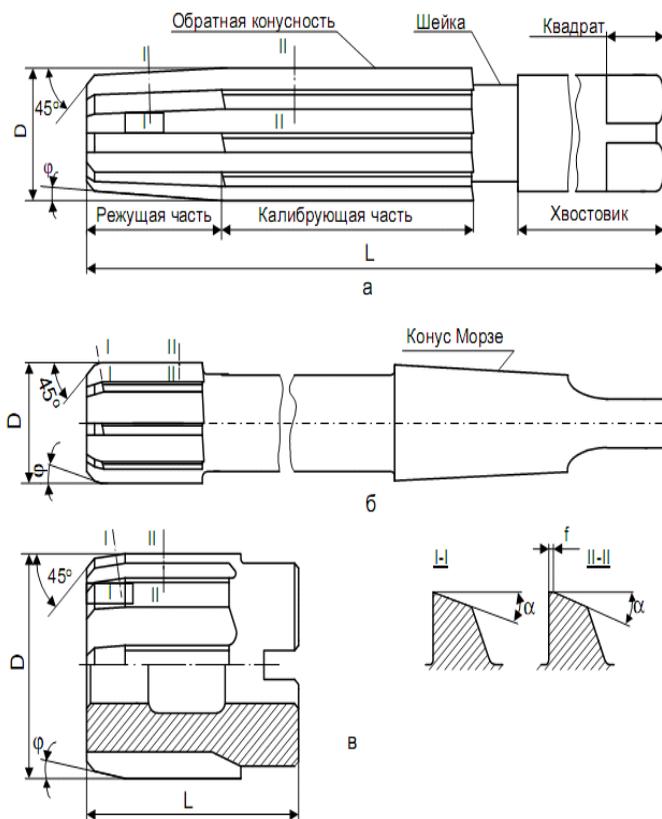


Рис. 3.5. Конструктивные элементы и геометрические параметры ручной развертки

Калибрующая часть развертки выполняется цилиндрической формы. Она обеспечивает направление развертки в отверстие, точность его обработки и необходимую шероховатость, а также является размером для переточки инструмента.

Обратный конус предупреждает повреждения отверстия концами зубьев калибрующего конуса и уменьшает трение развертки об обрабатываемую поверхность. Форма заточки зубьев развертки по длине разная. Зубья режущей части затачивают до остроты с углом  $\alpha = 6^\circ - 8^\circ$  (рис. 3.5, в). На калибрующей части (рис. 3.5, в) оставляются цилиндрические фаски шириной  $f = 0,08 - 0,5$  мм, которые сглаживают отверстие и улучшают направление развертки. Передний угол  $\gamma$  у чистовых разверток, как режущей, так и калибрующей частей, обычно принимают равным  $0^\circ$ , у черновых разверток  $\gamma = 5^\circ - 10^\circ$ . При повышенных требованиях к качеству обработки его выполняют отрицательным ( $\gamma = -3^\circ$ ). Передние и задние углы разверток измеряются в плоскости I–I, II–II, перпендикулярной режущим кромкам.

### **Материалы, оборудование и инструменты**

- 1) радиально-сверлильный станок мод. ГС545;
- 2) сверло  $\varnothing 8,2$ ;
- 3) зенкер  $\varnothing 9,8$ ;
- 4) развертка  $\varnothing 10H7$ ;
- 5) патрон для крепления сверл с цилиндрическим хвостовиком;
- 6) нутромер с точностью измерения  $0,01$  мм;
- 7) профиллометр SJ-201P Mitutoyo (допускается другая модель прибора) или эталоны шероховатости поверхности.

### **Порядок выполнения работы**

1. Измерить конструктивные элементы и геометрические параметры осевых режущих инструментов с использованием различных измерительных инструментов. Измерение геометрических и конструктивных элементов сверла и зенкера следует проводить в соответствии с протоколом измерений (табл. 3.2).

Диаметры инструментов измеряются микрометром, общая длина и ее составляющие, а также ширина ленточки – штангенциркулем,

толщина перемычки при вершине у хвостовой части сверла – кронциркулем и масштабной линейкой. Угол при вершине  $2\varphi$  и угол наклона поперечной режущей кромки сверла  $\psi$  измеряется универсальным (рис. 3.6, *а–б*), или оптическим угломерами.

Угол наклона винтовой канавки  $\omega$  измеряется методом прокатывания инструмента по копировальной бумаге. На полученных отпечатках разверток сверла и зенкера угол  $\omega$  определяется при помощи транспортира или универсального угломера.

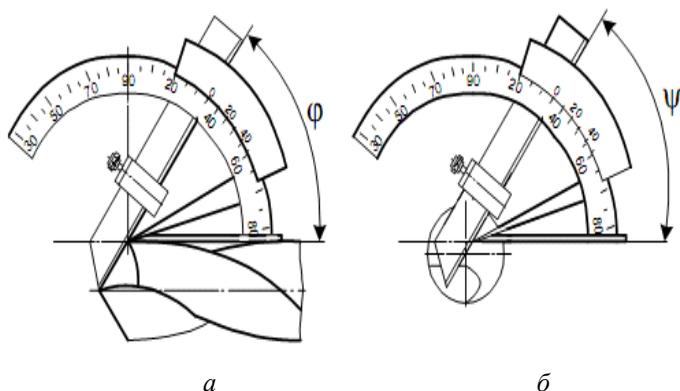


Рис. 3.6. Измерение углов сверла универсальным угломером:  
*а* – угла наклона поперечной режущей кромки; *б* – углов при вершине

Измерение главного заднего угла  $\alpha$  сверла производится при помощи делительной головки и индикатора (рис. 3.7).

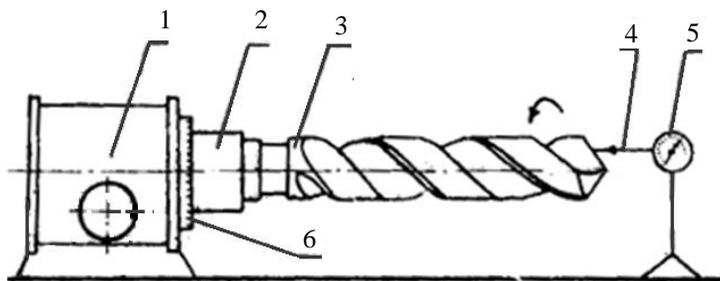


Рис. 3.7. Измерение задних углов сверла с помощью делительной головки и индикатора

Сверло устанавливают в шпиндель делительной головки, а ножку индикатора закрепляют в выбранной плоскости замера с натягом на главной задней поверхности сверла, как можно ближе к его режущей кромке и параллельно оси сверла. После этого стрелка индикатора устанавливается на ноль, а сверло совместно со шпинделем поворачивается на угол  $\alpha$ , который отсчитывается на лимбе делительной головки.

Наконечник индикатора скользит по задней поверхности сверла, показывая величину ее падения  $Y$ . Значение угла  $\alpha$  определяется по выражению

$$\operatorname{tg}\alpha_k = Y/X,$$

где  $X$  – длина дуги окружности (мм), соответствующая углу поворота лимба на  $5, (10), (20)^\circ (\pi D * 5/360)$ ;

$Y$  – показание индикатора (мм), соответствующее углу поворота лимба на  $5^\circ, 10^\circ, 20^\circ$ .

2. Для оценки влияния режимов резания и геометрических параметров сверл, зенкеров и разверток провести обработку отверстия на станке ГС545 последовательно сверлом, зенкером, разверткой. Обработку опытных образцов на станке проводит учебный мастер.

3. После обработки каждым из указанных инструментов измерить диаметр отверстия и шероховатость поверхности профилометром SJ-201P (или сравнением с эталонами определить полученную шероховатость поверхности).

### **Содержание отчета**

1. Название, цель лабораторной работы.
2. Краткая характеристика осевых режущих инструментов, их назначение и тип, материал режущей части. Выполнить эскизы соответствующего инструмента в двух проекциях с необходимыми сечениями, указав его конструктивные и геометрические параметры.
3. Практическая часть: Произвести замеры геометрических и конструктивных элементов инструментов в соответствии с табл. 3.2–3.3. Провести эксперимент и проанализировать полученную

шероховатость поверхности при обработке отверстий различными видами осевого инструмента. Обработку опытных образцов на станке проводит учебный мастер. После обработки каждым из указанных инструментов необходимо измерить диаметр отверстия и шероховатость обработанной поверхности отверстия профилометром SJ-201P (или сравнением с эталонами определить полученную шероховатость поверхности). Полученные результаты отразить в табл. 3.4.

4. Выводы. На основании анализа сделать вывод о полученной шероховатости поверхности для исследованных видов осевого инструмента.

Таблица 3.2

Протокол измерений конструктивных и геометрических элементов сверла и зенкера

Номер	Измеряемые элементы	Обозначения и размерность	Результаты измерений	
			Сверло	Зенкер
1	2	3	4	5
1	Диаметр инструмента: – у режущей части – у шейки – по затылованным поверхностям большего основания конуса	$D$ , мм $D_1$ , мм $D_2$ , мм		
2	Общая длина инструмента: – рабочей части – режущей части – шейки – хвостовика	$l$ , мм $l_1$ , мм $l_2$ , мм $l_3$ , мм		
3	Ширина ленточки	$f$ , мм		
4	Ширина перемычки при вершине сверла	$A$ , мм		
5	Номер конуса Морзе хвостовика	№		

Окончание таблицы 3.2

Номер	Измеряемые элементы	Обозначения и размерность	Результаты измерений	
			Сверло	Зенкер
6	Угол при вершине сверла	$2\phi$ , град.		
7	Угол наклона перемычки	$\psi$ , град.		
8	Угол наклона винтовой канавки	$\omega$ , град.		
9	Главный передний угол	$\gamma$ , град.		
10	Главный задний угол	$\alpha$ , град.		

Таблица 3.3

## Протокол измерений развертки

Номер	Измеряемые элементы	Обозначения и размерность	Результаты измерений
1	2	3	4
1	Диаметр развертки: – номинальный – у шейки	$d$ , мм $d_1$ , мм	
2	Общая длина: – развертки – рабочей части – режущей части – калибрующей части – шейки – хвостовика	$l$ , мм $l_1$ , мм $l_2$ , мм $l_3$ , мм $l_4$ , мм $l_5$ , мм	
3	Число зубьев	$z$ , шт.	
4	Главный угол в плане	$\phi$ , град.	
5	Главный передний угол	$\gamma$ , град.	
6	Главный задний угол	$\alpha$ , град.	

Таблица результатов экспериментов

Технологический переход	Инструмент	Диаметр отверстия $D$ , мм	Шероховатость поверхности, мкм	
			$R_a$	$R_z$
1	2	3	4	5
Сверление	Сверло Ø8,2			
Зенкерование	Зенкер Ø9,8			
Развертывание	Развертка Ø10H7			

### Контрольные вопросы и задания

1. Назначение сверл, зенкеров, разверток и обеспечиваемые ими параметры шероховатости обработанных поверхностей.
2. Укажите конструктивные элементы и геометрические параметры сверл.
3. Какие существуют типы сверл?
4. Укажите конструктивные элементы и геометрические параметры зенкеров, разверток.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ НА ПЛАСТИЧЕСКУЮ ДЕФОРМАЦИЮ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ

**Цель работы:** изучить влияние режимов резания при точении на пластическую деформацию срезаемого слоя.

#### **Задачи:**

- 1) изучить теоретический материал по теме «Физические основы резания».
- 2) изучить влияние режимов резания на деформацию срезаемого слоя металла.

#### **Студент должен знать:**

- процесс стружкообразования (пластической деформации), усадку стружки, виды стружек;
- методы графического изображения результатов эксперимента;
- влияние режимов резания и геометрических параметров реза при точении на пластическую деформацию срезаемого слоя.

#### **Студент должен уметь:**

- измерять усадку (деформацию) стружки при токарной обработке заготовок;
- строить графические зависимости по результатам эксперимента;
- обобщать полученные результаты эксперимента.

### Общие сведения

**Резание** – процесс, связанный с удалением с заготовки слоя материала в виде стружки с целью получения необходимой формы, размеров и обеспечения качества обработанной поверхности заготовки. Известно, что в процессе резания происходит пластическое деформирование срезаемого слоя, что приводит к необратимым изменениям формы, размеров и свойств удаляемого материала.

Особенности холодного пластического деформирования в процессе резания заключаются в том, что деформация доводится до разрушения заготовки, она протекает при больших скоростях и сопровождается физическими явлениями, которые оказывают

влияние на условия работы инструмента и качество обрабатываемой поверхности.

Наибольшее изменение свойств претерпевает отделяемый материал – стружка. Поэтому процесс образования стружки представляет большой практический интерес.

Основная масса обрабатываемых материалов – это металлы, которые относятся к поликристаллическим веществам. Для определения механических свойств обрабатываемого материала проводится его испытание в лабораторных условиях на растяжение, изгиб, кручение, твердость, ударную вязкость и т. д.

На рис. 4.1 приведен общий вид диаграммы напряжений для пластичного металла, по которой можно судить о его свойствах и, в частности, о тех напряжениях, которые необходимо вызвать в материале под действием внешних сил для осуществления определенной деформации.

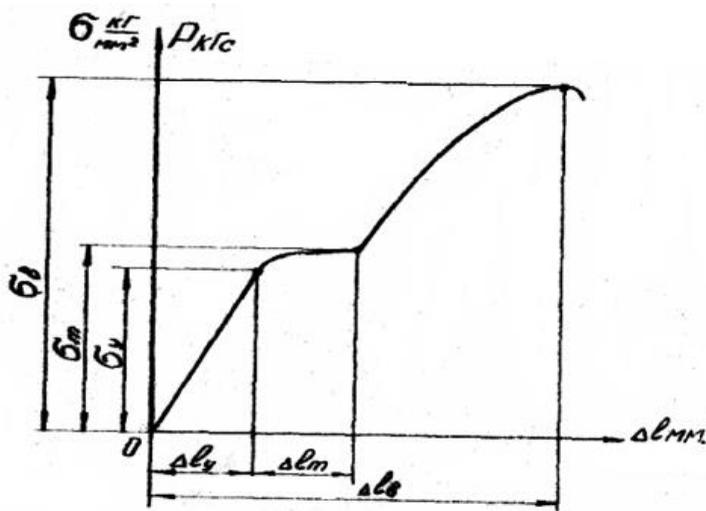


Рис. 4.1. Общий вид диаграммы напряжений:

$\sigma_s$  – временное сопротивление разрыву;  $\sigma_m$  – предел текучести материала;

$\sigma_y$  – предел упругости материала;  $\sigma$  – напряжение при растяжении;

$P$  – сила растяжения материала;

$\Delta l_y$  – элементарные растяжения при упругих деформациях;

$\Delta l_m$  – то же при напряжении упругости;

$\Delta l_\sigma$  – растяжение при действии временного сопротивления разрыву

Поликристалл состоит из отдельных зерен (рис. 4.2, *a*). Каждое зерно состоит из плотно упакованных атомных ячеек, которые образуют объемную кристаллографическую решетку, в узлах которой сосредоточены атомы (рис. 4.2, *б*).

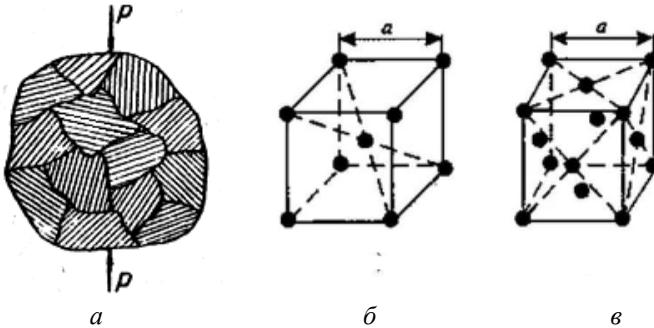


Рис. 4.2. Схема кристаллографических связей зерен при деформации металла: *a* – зеренная связь; *б* – объемно центрированная; *в* – гранецентрированная

Если к поликристаллу приложить внешнее усилие  $P$  (см. рис. 4.2, *a*), то по кристаллографическим плоскостям возникнут внутренние напряжения. В случае если эти напряжения не превышают внутренние силы межатомных связей (при снятии внешнего усилия), напряжения снимутся, и изменений линейных и объемных размеров кристаллической решетки не произойдет, следовательно, поликристалл возвратится в исходное состояние. Это соответствует участку кривой растяжения ( $0 - G_y$ ) (см. рис. 4.1) – упругой деформации.

Если под действием внешней силы возникшие внутренние напряжения превышают силы межатомных связей, то произойдет необратимое изменение формы и размеров поликристалла начнется пластическая деформация – металл начнет «течь» (рис. 4.1, участок  $G_y - G_m$ ).

Процесс пластической деформации связан со смещением в кристаллографической решетке одних ее участков относительно других по так называемым кристаллографическим плоскостям (по плоскости, в которой сосредоточено минимальное количество атомов (рис. 4.2, *б*, *в*) и, в первую очередь, у тех кристаллов, у которых кристаллографические плоскости наиболее благоприятно расположены к линии действия внешней силы  $P$  (под углом  $45^\circ$ ). Следовательно, процесс деформирования на начальном этапе охватывает не все зерна.

В результате сдвигов по кристаллографическим плоскостям происходит их изменение. На них появляются «плоскости скольжения» из осколков разрушения, которые приводят к повышению сопротивления деформации до тех пор, пока его сопротивление не вызовет необходимости приложения все более возрастающего усилия. При этом могут деформироваться другие зерна, у которых кристаллографические плоскости были расположены менее благоприятно по отношению к линии действия внешней силы.

Кроме того, при деформации зерен происходит поворот кристаллографических плоскостей и взаимодействия между зернами, что также вызывает возрастание сопротивления деформированию. В результате объем поликристалла охватывается пластической деформацией.

Все указанные факторы приводят к интенсивному повышению сопротивления пластическому деформированию (рис. 4.1, участок  $G_m - G_p$ ), так называемому явлению упрочнения металла (наклепу), которое приводит к повышению твердости металла и к снижению его пластических свойств. Ориентировка плоскостей скольжения у зерен поликристалла в определенном направлении по отношению линии действия внешних сил приводит к образованию направленной структуры – появлению текстуры, а это приводит к анизотропии свойств металла.

На рис. 4.3 показана принципиальная схема распространения зоны деформации при свободном резании. В зоне действия пластических деформаций изменяются физико-механические свойства металла.

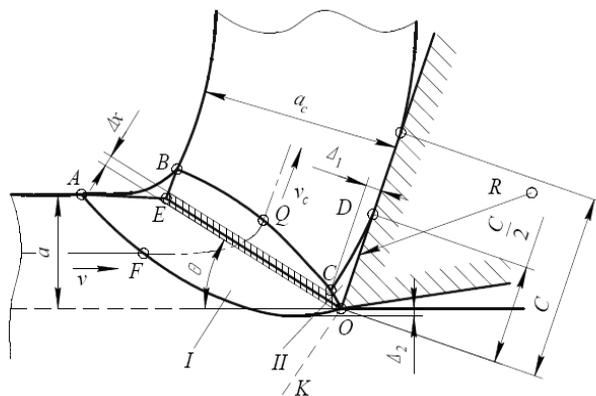


Рис. 4.3. Зоны первичной и вторичной деформации при превращении срезаемого слоя в стружку

Режущий клин инструмента через площадку контакта шириной  $C$  действует на срезаемый слой толщиной  $a$ . Сосредоточенная сила  $R$ , с которой передняя поверхность инструмента давит на срезаемый слой, получила название силы стружкообразования. Линией  $OR$  обозначена нейтральная линия, разграничивающая области сжимающих и растягивающих напряжений в обрабатываемом материале ниже поверхности резания. Левее нейтральной линии расположена область сжимающих напряжений, а правее – растягивающих.

Перед передней поверхностью инструмента расположена зона  $I$  первичной деформации. Зона  $OABCO$  первичной деформации имеет форму клина с вершиной на лезвии инструмента. Ее нижняя граница  $OA$  вогнута и пересекает продолжение поверхности резания. Верхняя граница  $OB$  зоны выпуклая и ее длина в 2...4 раза меньше длины линии  $OA$ . Линия  $AB$  плавно сопрягает предыдущую поверхность резания со свободной стороной стружки. Левее линии  $OA$  находятся еще недеформированные зерна материала срезаемого слоя, а правее линии  $OB$  – зерна материала, принадлежащие стружке. Зерно срезаемого слоя, перемещающееся относительно инструмента со скоростью резания  $V$ , начинает деформироваться в точке  $F$  и, проходя по траектории своего движения, получает все большую степень деформации. Деформация зерна заканчивается в точке  $O$ , где зерно приобретает скорость  $V_c$ , равную скорости стружки.

Если бы между передней поверхностью инструмента и контактной поверхностью стружки отсутствовало трение, то на этом деформирование зерен срезаемого слоя закончилось. Так как между указанными поверхностями всегда имеется трение, то зерна материала, находящиеся в непосредственной близости от контактной поверхности стружки, продолжают деформироваться и после выхода их из зоны первичной деформации. Так возникает зона  $II$  вторичной деформации, ограниченная передней поверхностью и линией  $CD$ . Ширина  $OD$  зоны вторичной деформации приблизительно равна половине ширины площадки контакта  $C/2$ , а максимальная высота  $D_1$  в среднем составляет 0,1 толщины  $a_c$  стружки.

Как показал Н. Н. Зорев, зерна срезаемого слоя, проходя через зону вторичной деформации, деформируются более сильно: степень деформации в зоне  $II$  может в 20 раз и более превышать

среднюю деформацию стружки. Наличие зоны вторичной деформации приводит к неоднородности конечной деформации стружки по ее толщине. На большей части толщины стружки степень деформации зерен одинакова, а в слое толщиной  $D_1$  наблюдается резкое увеличение степени деформации. Размеры зоны вторичной деформации и степень деформации зерен материала в этой зоне определяются интенсивностью трения на передней поверхности. Чем меньше сила трения на передней поверхности, тем меньше размеры зоны вторичной деформации и интенсивность деформации. При уменьшении толщины срезаемого слоя, увеличении переднего угла и применении хорошо смазывающих жидкостей размеры зоны II уменьшаются. В этом случае степень деформации зерен стружки по ее толщине практически одинакова.

Внешним выражением пластической деформации срезаемого слоя является **усадка стружки**, т. е. изменение формы и размеров образующейся при резании стружки по отношению к форме и размерам срезаемого слоя.

Наиболее существенные изменения стружка претерпевает в продольном направлении и по толщине (длина стружки ( $L_{стр}$ ) меньше длины поверхности заготовки ( $L_0$ ), с которой она снята, толщина стружки ( $a_{стр}$ ) – больше, чем толщина среза ( $a_0$ )). По ширине стружки заметных изменений не происходит (рис. 4.4). В связи с этим различают продольную и поперечную усадку стружки:

- укорочение стружки по длине относительно длины обработанной поверхности называется **продольной усадкой стружки**;

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

Характеристикой степени пластической деформации при резании металлов служит **коэффициент усадки стружки** (см. рис. 4.4):

- **коэффициент поперечной (линейной) усадки**  $K_{ул} = \frac{L_0}{L_{стр}}$

называется отношением длины пути  $L_0$ , пройденного резцом, к длине снятой стружки  $L_{стр}$ .

– коэффициент поперечной усадки  $K_{\text{уп}} = \frac{a_{\text{стр}}}{a_0}$  называется отношением толщины стружки  $a_{\text{стр}}$  к толщине среза (срезаемого слоя)  $a_0$ .

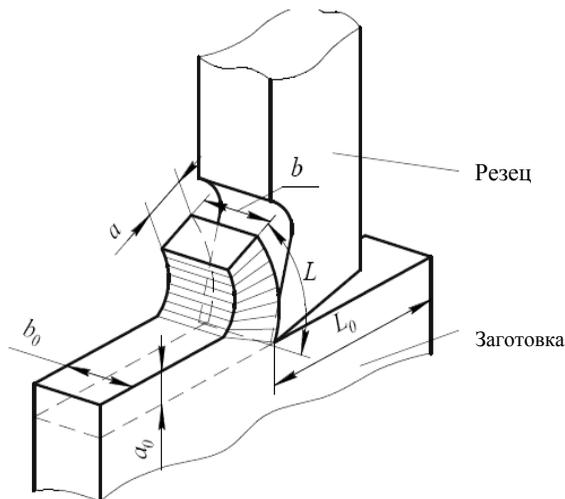


Рис. 4.4. Схема деформации срезаемого слоя

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

Величина коэффициента усадки стружки зависит от свойств обрабатываемого материала, геометрии режущего лезвия инструмента, режимов резания.

Из режимов резания на усадку (величину коэффициента усадки) влияют скорость резания (с увеличением скорости усадка уменьшается), подача и глубина резания.

При резании углеродистых сталей коэффициент усадки стружки находится в пределах 2–3. При резании трудно обрабатываемых материалов, таких как жаропрочные и титановые сплавы, коррозионно-стойкие стали и другие, иногда наблюдается «отрицательная» усадка, при которой толщина стружки меньше толщины срезаемого слоя.

С изменением усадки стружки изменяются сила резания, мощность, деформация обрабатываемой поверхности и другие факто-

ры. Следовательно, усадка стружки и величина зоны деформации в известной мере определяют характер и интенсивность протекания процесса обработки резанием. Поэтому изучение влияния различных факторов на величину деформации срезаемого слоя (практически на коэффициент усадки стружки) позволяет сознательно подходить к управлению процессом резания и к решению задач, связанных с выбором режущего инструмента (материал и геометрические параметры) и оптимальных режимов резания.

### Виды стружки, образующейся в процессе резания

В зависимости от свойств обрабатываемого материала, геометрии режущего инструмента и элементов режима резания образующаяся стружка может отличаться по форме, виду и строению.

Впервые классификацию стружки предложил И. А. Тиме в 1877 году. По данной классификации стружка подразделяется на сливную, скалывания, элементную и надлома (рис. 4.5).

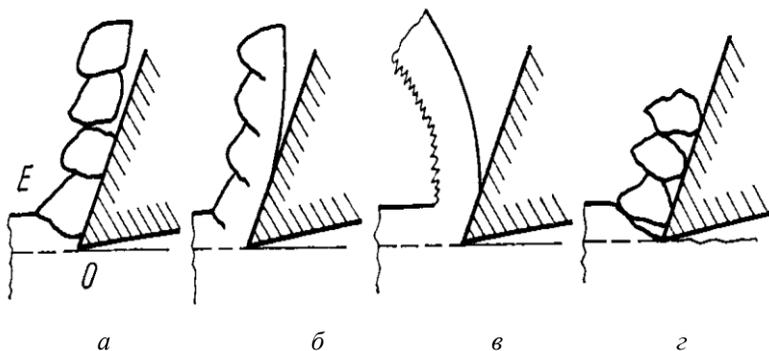


Рис. 4.5. Виды стружек: *a* – элементная; *б* – скалывания; *в* – сливная; *г* – надлома

**Элементная стружка** (рис. 4.5, *a*) состоит из отдельных «элементов» приблизительно одинаковой формы, не связанных или слабо связанных друг с другом. Границу *OE*, отделяющую образовавшийся элемент стружки от срезаемого слоя, называют поверхностью скалывания. Физически она представляет собой поверхность, по которой в процессе резания периодически происходит разрушение срезаемого слоя.

**Стружка скалывания** (рис. 4.5, б) образуется при обработке пластичных металлов с небольшой скоростью резания, когда слой значительной толщины удаляется инструментом с относительно большим углом резания. Эта стружка состоит из отдельных сильно деформированных элементов правильной геометрической формы. При образовании стружки скалывания имеет место большая пластическая деформация.

**Сливная стружка** (рис. 4.5, в) также образуется при обработке пластичных металлов с большой скоростью резания и сравнительно малой толщиной среза. Стружкообразование происходит при меньшей пластической деформации, чем в первом случае, т. е. процесс резания в этом случае протекает в более легких условиях. При образовании сливной стружки меньше удельная сила резания и выше класс шероховатости обрабатываемой поверхности, чем при образовании стружки скалывания.

**Стружка надлома** (рис. 4.5, г) образуется при обработке хрупких металлов, когда срезаемый слой почти пластически не деформируется. Усадка стружки надлома весьма мала или отсутствует. Поэтому стружка состоит из отдельных, не связанных между собой элементов, которые слабо деформированы.

Изменяя условия резания (скорость резания  $V$ , поперечное сечение среза и толщину  $a$ , подачу  $S$ , величину угла резания  $\delta$  (или  $\gamma$ )) можно изменять вид получающейся стружки, а, следовательно, и величину энергии, затрачиваемую на процесс резания.

### **Материалы, оборудование и инструменты**

- 1) токарно-винторезный станок с приспособлениями и инструментом;
- 2) заготовки для обработки;
- 3) контрольно-измерительные приборы и инструменты (штангенциркуль, весы).

### **Порядок выполнения работы**

Данная лабораторная работа посвящается изучению влияния режимов резания на пластическую деформацию в процессе резания (рис. 4.6).

1. Заготовка устанавливается в патрон токарного станка и протачивается по наружному диаметру.

2. В табл. 4.1 записываются исходные данные  $S$ , мм/об;  $t$ , мм;  $n$ , мм<sup>-1</sup>;  $\phi_1$ , °; замеряется диаметр заготовки. Рассчитывается по формуле скорость резания ( $V$ , м/мин), на которой производится обработка:

$$V = \frac{\pi dn}{1000}. \quad (4.1)$$

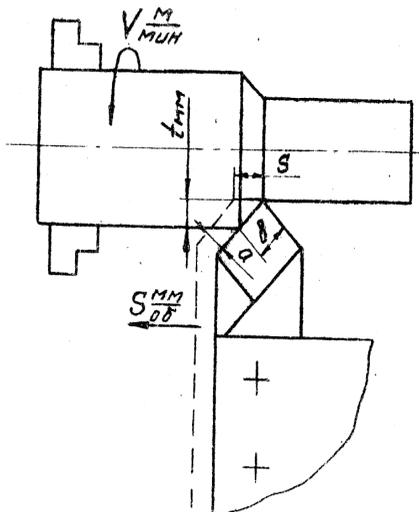


Рис. 4.6. Схема точения

3. Для определения величины усадки стружки осуществляется обработка всех образцов (меняя условия обработки в соответствии с табл. 4.1) путем снятия стружки небольшой длины, которая собирается в соответствующий пакет. На каждом пакете указывается номер проведенного эксперимента и режимы (условия) обработки.

4. В лаборатории на аналитических весах осуществляется взвешивание собранной стружки длиной  $l_c \sim 50$  мм (от собранной стружки плоскогубцами откусывается части стружки длиной  $l_c \pm 50$  мм, а затем отмеренная стружка взвешивается).

5. По формулам подсчитывается коэффициент усадки стружки:

$$K_y = \frac{A_c}{A}. \quad (4.2)$$

Так как вес стружки зависит от ее длины, то вес этого кусочка стружки определяется по формуле

$$G = \frac{A_c \cdot \ell_c \cdot q}{1000}, \text{ г} \quad (4.3)$$

Откуда определяется  $A_c$ , мм<sup>2</sup>

$$A_c = \frac{1000 \cdot G}{\ell_c \cdot q}, \quad (4.4)$$

где  $G$  – вес стружки, г;

$\ell_c$  – длина кусочка стружки, мм;

$q$  – плотность обрабатываемого металла (стали):  $q = 7,8 \text{ г/см}^3$ .

$$A = S \cdot t, \quad (4.5)$$

где  $S$  – подача мин /об.;

$t$  – глубина, мм.

Тогда, подставляя в формулу 4.2 значение  $A_c$  и значение  $A$ , получим:

$$K_y = \frac{1000 \cdot G}{\ell_c \cdot q \cdot S \cdot t}. \quad (4.6)$$

В такой последовательности определяется коэффициент усадки стружки для каждого опыта.

Полученные значения заносятся в протокол. Вторая, третья и четвертая группы, параллельно с первой, в такой же последовательности выполняют исследования зависимости  $K_y = f(S)$ ;  $K_y = f(\gamma)$ ;  $K_y = f(t)$  с последующим занесением полученных результатов в табл. 4.1.

Подсчеты коэффициентов усадки стружки для данных условий производятся не менее трех раз для определения среднего значения  $K_y$ .

Все результаты подсчетов заносятся в таблицу.

6. На основании полученных данных строятся графики зависимости.  $K_y = f(\varphi_1)$ ;  $K_y = f(V)$ ;  $K_y = f(S)$ ;  $K_y = f(t)$  в соответствующем масштабе.

7. На основании полученных графиков необходимо сделать выводы о влиянии условий резания на коэффициент усадки стружки.

Полученные опытные данные обрабатываются каждой группой самостоятельно, полученные графики анализируют и делают выводы.

### Содержание отчета

1. Название, цель лабораторной работы.
2. Краткие сведения о процессе резания (стружкообразования), классификации стружки и ее усадке.
3. В практической части необходимо отобразить схему обработки детали с указанием режимов резания. Провести эксперимент с помощью мастера. Сформировать 4 комплекта стружки для ее дальнейшего исследования. Далее выполняются расчеты, связанные с определением коэффициентов усадки стружки, и результаты заносятся в табл. 4.1. Начертить графические зависимости коэффициента усадки стружки от исследуемых факторов.
4. Выводы. Провести анализ полученных графических зависимостей и сделать выводы о характере изменения коэффициента усадки стружки в зависимости от подачи, скорости, глубины резания и переднего угла резца.

Таблица 4.1

Результаты измерений

Номер группы	Номер условия обработки	Условия обработки				$d$ , мм	$V$ , м/мин	$G$ , г	$l_{с,м}$ м	$A_{с,2}$ мм <sup>2</sup>	$A_1$ мм <sup>2</sup>	$K_y$
		$\varphi_1$	$S$ , мм/об	$t$ , мм	$n$ , мм <sup>-1</sup>							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	10	0,12	1,5	480				50			
	2	10	0,12	1,0	480				50			
	3	10	0,12	0,5	480				50			

Номер группы	Номер условия обработки	Условия обработки				$d$ , мм	$V$ , м/мин	$G$ , г	$l_{с,м}$ м	$A_{с,2}$ мм <sup>2</sup>	$A_{,2}$ мм <sup>2</sup>	$K_y$
		$\varphi_1$	$S$ , мм/об	$t$ , мм	$n$ , мм <sup>-1</sup>							
2	1	10	0,12	1,0	380			50				
	2	10	0,12	1,0	480			50				
	3	10	0,12	1,0	600			50				
3	1	10	0,08	1,0	480			50				
	2	10	0,12	1,0	480			50				
	3	10	0,15	1,0	480			50				
4	1	-5	0,12	1,0	480			50				
	2	0	0,12	1,0	480			50				
	3	10	0,12	1,0	480			50				

### Контрольные вопросы и задания

1. Что такое резание?
2. Опишите процесс стружкообразования (пластической деформации).
3. Что представляет собой явление усадки стружки?
4. Что такое продольная усадка стружки и поперечная?
5. Что такое коэффициент усадки?
6. Какие виды стружек вы знаете? Опишите их.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ НА ТЕМПЕРАТУРУ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ

**Цель работы:** определить влияние режимов резания при точении на температуру в зоне резания.

**Задачи:**

- 1) изучить уравнение теплового баланса при обработке материалов резанием, источники возникновения тепла при резании материалов, факторы, влияющие на температуру в зоне резания при точении;
- 2) приобрести практические навыки определения температуры в зоне резания методом искусственной термопары;
- 3) экспериментально установить влияние режимов резания на величину температуры в зоне резания.

**Студент должен знать:**

- уравнение теплового баланса при обработке материалов резанием, источники возникновения тепла при резании материалов, факторы, влияющие на температуру в зоне резания при точении;
- характер влияния режимов резания, геометрических параметров инструмента, свойств обрабатываемого материала и смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) на температуру в зоне резания.

**Студент должен уметь:**

- экспериментально исследовать влияние режимов резания на температуру в зоне резания при точении;
- обрабатывать результаты экспериментов, анализировать полученные данные, строить графические зависимости.

### Общие сведения

Процесс резания всегда сопровождается выделением тепла и повышением температуры в зоне обработки. Существует три основных источника тепла (рис. 5.1):

- 1) внутреннее трение между частицами срезаемого слоя в результате его пластической деформации при образовании стружки ( $\theta_d$ );
- 2) трение стружки о переднюю поверхность инструмента ( $\theta_{mn}$ );

3) трение поверхности резания и обработанной поверхности по задним поверхностям инструмента ( $\theta_{тз}$ ).

Теплота расходуется на нагрев стружки  $\theta_c$ , нагрев заготовки  $\theta_з$ , нагрев инструмента  $\theta_и$ , нагрев окружающей среды  $\theta_о$ .

Уравнение, связывающее образующуюся теплоту с отводимой, называется уравнением теплового баланса:

$$\theta = \theta_d + \theta_{тп} + \theta_{тз} = \theta_c + \theta_з + \theta_и + \theta_о. \quad (5.1)$$

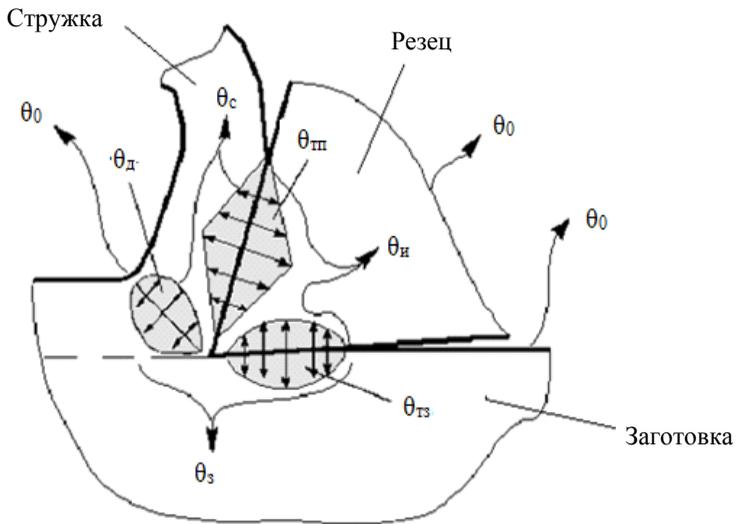


Рис. 5.1. Схема расположения источников тепла в зоне резания

Исследованиями установлено, что при обработке конструкционных материалов величины составляющих теплоты, входящих в уравнение (5.1), по отношению к общему количеству теплоты находятся в следующих пределах:  $\theta_d = (60 \% \dots 90 \%) \theta$ ;  $\theta_{тп} = (20 \% \dots 30 \%) \theta$ ;  $\theta_{тз} = (5 \% \dots 10 \%) \theta$ ;  $\theta_c = (60 \% \dots 90 \%) \theta$ ;  $\theta_з = (30 \% \dots 60 \%) \theta$ ;  $\theta_и = (5 \% \dots 15 \%) \theta$ ;  $\theta_о = (2 \% \dots 3 \%) \theta$ .

Как видно из этих соотношений, наибольшее количество тепла выделяется в зоне деформации, так как в этой зоне совершается основная работа резания. Образующее тепло в большей части расходуется на нагрев стружки, что связано, прежде всего, с более высокой теплопроводностью материала заготовки по сравнению

с инструментальным материалом и малыми объемами стружки. Однако температура на передней поверхности лезвия инструмента высока и примерно равна температуре стружки.

Поэтому важно знать, какие возникают температуры при разных условиях резания и каков характер их распределения при изменении условий обработки.

На температуру резания  $\theta$  оказывают влияние те же факторы, что и на изменение баланса теплоты. Поэтому в процессе экспериментального исследования температуры резания можно найти эмпирические расчетные зависимости вида:

$$\theta = f(V; a; b; K_M; K_{и}; \gamma; \varphi; h; K_{охл}), \quad (5.2)$$

где  $V$  – скорость резания;

$a$  – толщина срезаемого слоя;

$b$  – ширина срезаемого слоя;

$K_M$  – коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала;

$K_{и}$  – коэффициент учитывающий свойства инструментального материала;

$\alpha, \gamma, \varphi$  – геометрические параметры инструмента;

$h$  – износ инструмента;

$K_{охл}$  – коэффициент, учитывающий условия охлаждения.

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

$$\theta = C_{\theta} \cdot t^{x_{\theta}} \cdot S^{y_{\theta}} \cdot V^{z_{\theta}}, \quad (5.3)$$

где  $\theta$  – температура резания, °С;

$C_{\theta}$  – 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;

$X_\theta$ ,  $Y_\theta$ ,  $Z_\theta$  – показатели степеней, зависящие от материалов заготовки и резца, а также от условий резания.

Формула (5.3) является общей, учитывающей одновременно влияние всех трех элементов режима резания ( $V$ ,  $t$ ,  $S$ ).

С целью определения показателей  $X_\theta$ ,  $Y_\theta$ ,  $Z_\theta$  и коэффициента  $C_\theta$  в формуле (5.3) проводятся опыты по измерению температуры в зоне резания, изменяя режимы обработки ( $V$ ,  $t$ ,  $S$ ).

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

Частными формулами, определяющими зависимость температуры резания от каждого элемента режима резания, являются:

$$\begin{aligned}\theta_1 &= C_{\theta_1} \cdot t^{x_0} ; \\ \theta_2 &= C_{\theta_2} \cdot S^{y_0} ; \\ \theta_3 &= C_{\theta_3} \cdot V^{z_0} .\end{aligned}\tag{5.4}$$

Степенные уравнения (5.4), как и построенные по ним графики, представляющие кривые, сложны для анализа и не сопоставляются между собой. Поэтому используют графоаналитический метод, по которому уравнения (5.4) логарифмируют, по соответствующим осям откладывают не аргумент и функцию, а их логарифмы. После логарифмирования уравнения (5.4) имеют вид:

$$\lg \theta_i = \lg C_{\theta_i} + x_i \lg t_i ;$$

$$\lg \theta_s = \lg C_{0s} + y \lg S; \quad (5.5)$$

$$\lg \theta_v = \lg C_{0v} + z \lg V,$$

а построенные графики будут представлять собой линии (вида  $y=b+ax$ ), расположенные под углами  $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$  к оси абсцисс с начальными параметрами  $g \lg \theta_1 \dots \lg \theta_3$  (рис. 5.2).

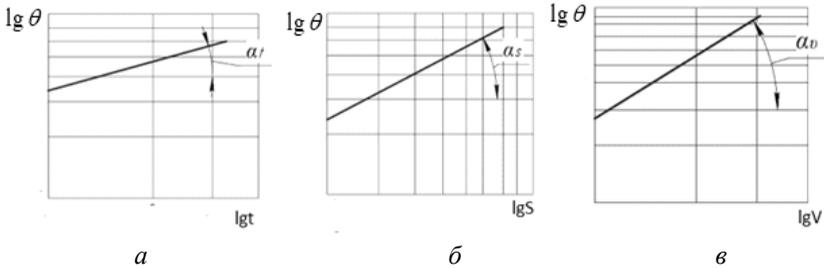


Рис. 5.2. График функций:  $a - \lg \theta_1 = f(\lg t)$ ;  $b - \lg \theta_2 = f(\lg S)$ ;  $v - \lg \theta_3 = f(\lg V)$

Показатели степеней  $X_\theta, Y_\theta, Z_\theta$  представляют собой тангенсы углов наклона, построенные по экспериментальным данным графиков, и могут быть определены как отношение произвольного элементарного приращения функции  $\Delta \theta$  к соответствующему приращению аргумента:  $\Delta V, \Delta t, \Delta S$ .

$$x_\theta = \operatorname{tg} \alpha_t = \frac{\Delta \theta}{\Delta t};$$

$$y_\theta = \operatorname{tg} \alpha_s = \frac{\Delta \theta}{\Delta S}; \quad (5.6)$$

$$z_\theta = \operatorname{tg} \alpha_v = \frac{\Delta \theta}{\Delta V}.$$

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

$$C_{\theta_t} = \frac{\theta_t}{t^{x_0}};$$
$$C_{\theta_s} = \frac{\theta_s}{S^{y_0}};$$
$$C_{\theta_v} = \frac{\theta_v}{V^{z_0}}.$$
(5.7)

Коэффициент  $C_\theta$  в общей зависимости определяется:

$$C_\theta = \frac{\theta_t + \theta_s + \theta_v}{3}.$$
(5.8)

В заключение формула (5.7) записывается в конкретном виде, т. е. вместо величин  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$  и  $C_\theta$  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.

### **Материалы, оборудование и инструменты**

- 1) токарно-винторезный станок с приспособлениями и инструментом;
- 2) заготовки для обработки;
- 3) штангенциркуль;
- 4) искусственные термпары (рис. 5.3) с тарировочными графиками (рис. 5.4);
- 5) прибор для измерения ЭДС;
- 6) программируемый микрокалькулятор.

## Порядок выполнения работы

Для исследования влияния режимов резания на температуру в зоне резания применяются различные методы измерения: термодпарные (искусственных, естественных и полустественных), фотоэлектрические, термочувствительных красок и др.

В выполняемой лабораторной работе применяется метод искусственной термопары (рис. 5.3). Заготовка из железоуглеродистых сплавов обрабатывается точением проходными резцами.

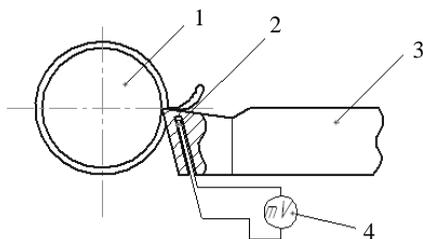


Рис. 5.3. Схема измерения температуры в зоне резания при точении:  
1 – заготовка; 2 – резец; 3 – термопара; 4 – милливольтметр

Последовательность выполнения работы:

1. Измерить диаметр заготовки.
2. Проверить оборудование и схему измерения температуры в зоне резания методом искусственной термопары.
3. Обработать заготовку на станке по режимам, приведенным в табл. 5.1.
4. Для всех режимов обработки при трехкратном повторении снять показания милливольтметра, найти их среднее значение и внести в протокол.
5. Для средних значений показаний милливольтметра по тарифовочному графику определить температуру в зоне резания (рис. 5.4).
6. Прологарифмировать величины температур резания и соответствующие им значения скорости резания ( $V$ ), подачи ( $S$ ) и глубины резания ( $t$ ) (результат занести в табл. 5.1).
7. По найденным логарифмам и прямоугольной системе координат построить графики функций  $lg\theta_1 = f(lgt)$ ;  $lg\theta_2 = f(lgS)$ ;  $lg\theta_3 = f(lgV)$  и найти тангенсы углов  $\alpha_t, \alpha_S, \alpha_V$ , соответствующие показателям степеней  $X_\theta, Y_\theta, Z_\theta$  уравнений (5.6).

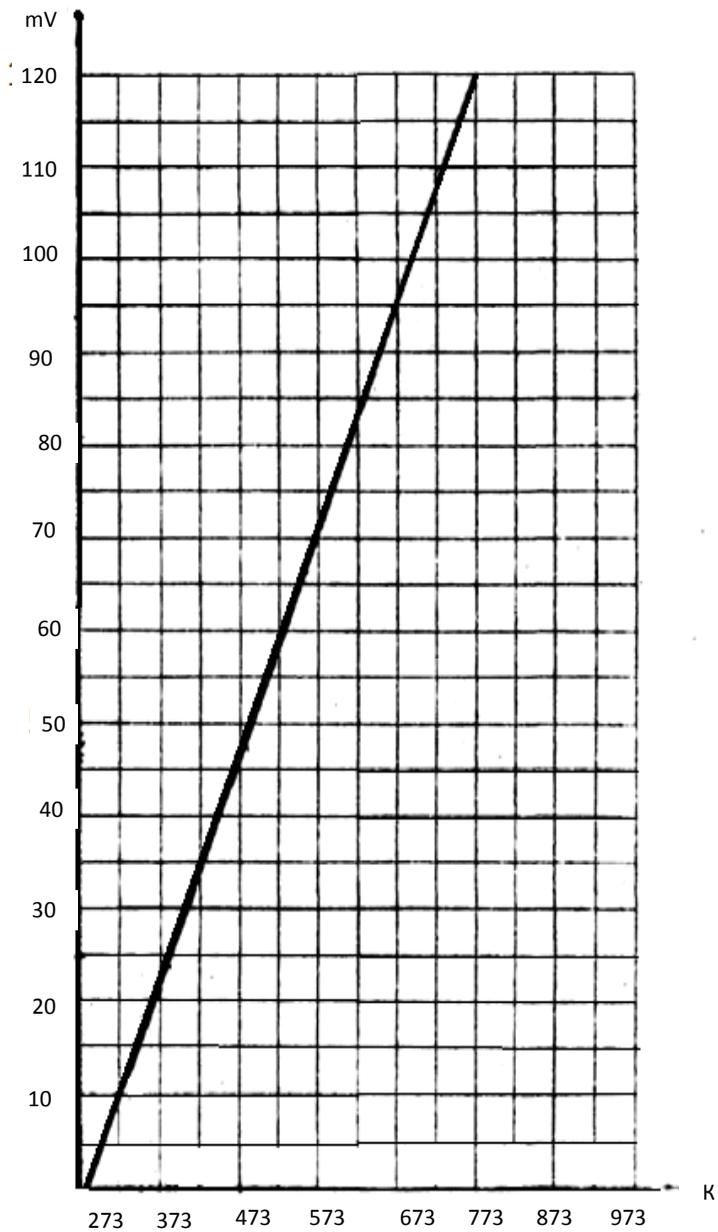


Рис. 5.4. Тарировочная прямая термопары ХК

8. Проверить и вычислить коэффициенты  $C_{\theta_t}, C_{\theta_s}, C_{\theta_v}$  по формуле 5.7 и записать полученные эмпирические формулы 5.4.

9. По полученным эмпирическим формулам построить графики функций  $\theta_1 = f(t)$ ,  $\theta_2 = f(S)$ ,  $\theta_3 = f(V)$  в прямоугольной системе координат.

10. Проверить и вычислить коэффициенты  $C_{\theta_t}, C_{\theta_s}, C_{\theta_v}$  по формуле 5.7 и записать полученные эмпирические формулы 5.4.

11. По полученным эмпирическим формулам построить графики функций  $\theta_1 = f(t)$ ,  $\theta_2 = f(S)$ ,  $\theta_3 = f(V)$  в прямоугольной системе координат.

12. Проанализировать построенные графики, сравнить их соответствие графикам температур, полученным по результатам экспериментов, сделать выводы о влиянии режимов резания при обработке точением на температуру в зоне резания.

### Содержание отчета

1. Название, цель лабораторной работы.

2. Краткие сведения: уравнение теплового баланса при обработке материалов резанием, источники возникновения тепла при резании материалов, факторы, влияющие на температуру в зоне резания при точении.

3. Практическая работа: Обработать заготовку (по схеме рис. 5.3) на станке, установив режимы резания, приведенные в табл. 5.1. Для всех режимов обработки при трехкратном повторении снять показания милливольтметра, найти их среднее значение и внести в табл. 5.1. Прологарифмировать величины температур резания и соответствующие им значения скоростей резания, подач и глубин резания (результат занести в табл. 5.1). Построить графики и выполнить дальнейшие расчеты по формулам 5.3–5.8.

4. Выводы. Проанализировать построенные графики, сравнить их соответствие графикам температур, полученным по результатам экспериментов, сделать выводы о влиянии режимов резания при обработке точением на температуру в зоне резания.

Таблица 5.1

## Результаты наблюдений и их обработка

Номер группы	Номер опыта	Диаметр заготовки, $D$ , мм	Частота вращения $n$ , мин <sup>-1</sup>	Скорость резания $V$ , м/мин	Глубина резания $t$ , мм	Подача $S$ , мм/об	Показания милливольтметра, мВ	Значение температуры $T$ , К.	$\lg \theta$	$\lg S$ , $\lg V$ , $\lg t$	$x, y, z$	$C$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1											
	2											
	3											
2	1											
	2											
	3											
3	1											
	2											
	3											

**Контрольные вопросы и задания**

1. Назовите основные источники возникновения теплоты в зоне обработки.
2. Уравнение теплового баланса при резании.
3. Какие факторы влияют на температуру в зоне резания?
4. Что такое смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) и для чего их применяют?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### ИЗУЧЕНИЕ И НАСТРОЙКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЛИМБОВОЙ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ (УЛДГ)

**Цель:** изучить назначение и устройство делительной головки, освоить методику их настройки при различных способах деления.

**Задачи:**

- 1) изучить назначение, классификацию и устройство делительных головок;
- 2) изучить кинематику и методы настройки универсальной лимбовой делительной головки (УЛДГ);
- 3) освоить методику настройки УЛДГ при различных способах деления, выполнить индивидуальное задание по настройке.

**Студент должен знать:**

- назначение, классификацию и устройство делительных головок;
- кинематику и методы настройки УЛДГ;
- виды передач, их условное обозначение на кинематических схемах и передаточное отношение передач.

**Студент должен уметь:**

- настроить делительную головку и универсальный фрезерный станок на нарезание зубчатого колеса.

### Общие сведения

В условиях ремонтного производства большое значение имеют специализированные станочные приспособления.

К приспособлениям, расширяющим технологические возможности фрезерных, расточных, сверлильных и некоторых других станков, связанных с поворотом заготовки при ее обработке на определенный угол, относятся делительные головки. Делительные головки позволяют делить окружность на любое число частей (до 400) и на некоторые числа свыше 400. Также они предназначены для фрезерования цилиндрических заготовок при производстве многогранников, нарезки зубьев зубчатых колес и других операций, производимых на вертикально- и горизонтально-фрезерных станках.

Обработку деталей с помощью делительной головки можно производить в центрах, в патроне или в шпиндельной оправке.

Классификация делительных головок представлена на рис. 6.1.



Рис. 6.1. Классификация делительных головок

### Устройство УЛДГ и ее установка на фрезерных станках

УЛДГ (рис. 6.2) состоит из корпуса 8, внутри которого находится его поворотная часть 7, несущая центр 4, вращаемый при помощи штифта-рукоятки 10. Штифт-рукоятка 10 крепится на планке 11. Если при обработке заготовки нет сложных делений, то следует пользоваться диском непосредственного деления 3, вращая его вместе со шпинделем и фиксируя штифтом в нужном положении. Обрабатываемая заготовка устанавливается в центрах 1 задней бабки и шпинделя 4 делительной головки. С помощью хомутика и поводка 5 заготовка вращается вместе со шпинделем. Настройка головки ведется при помощи делительного диска 9 и сектора 14.

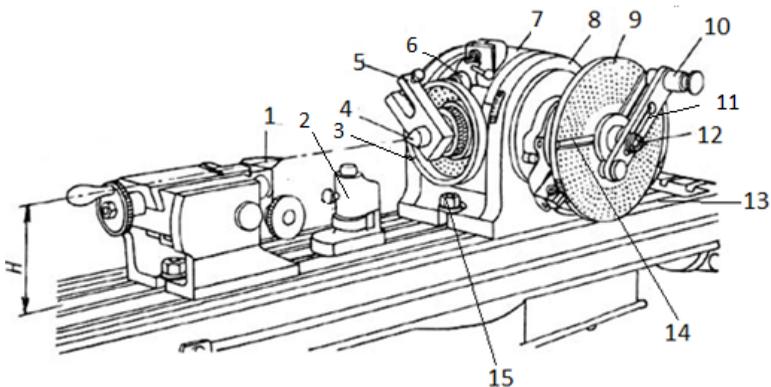


Рис. 6.2. Устройство УЛДГ и ее установка на фрезерных станках

Во избежание прогиба заготовки в процессе фрезерования под нее устанавливают дополнительную опору – люнет 2. Шпиндель делительной головки вместе с поворотной частью 7 можно устанавливать от  $10^\circ$  до  $90^\circ$  относительно плоскости стола. Делительную головку и заднюю бабку устанавливают на стол 13 фрезерного станка и крепят болтами 15.

Виды деления с помощью УЛДГ: непосредственное деление, простое и дифференциальное (сложное).

### Непосредственное деление

Непосредственное деление применяется при делении окружности в градусном выражении, а также на 2, 3, 4, 6, 8, 12 и 24 части.

При непосредственном делении достаточно низкая точность поворота заготовки, поэтому данный метод применяется на деталях, не требующих повышенной точности при изготовлении.

### Простое деление

Кинематическая цепь простого деления (рис. 6.3, 6.4) обеспечивает поворот шпинделя (вала Ш) на некоторую часть его полного оборота за счет поворота рукоятки (2) на соответствующий угол, определяемый числом делений заготовки и соответственным числом оборотов рукоятки  $n_p$ .

В соответствии с методикой анализа кинематических цепей последовательность передачи движения в анализируемых цепях следует рассматривать, начиная с ведущего звена и заканчивая ведомым, переходя последовательно через промежуточные звенья и механизмы.

Ведущим звеном в анализируемой цепи является рукоятка (2) ( $n_p$ ), ведомым – шпиндель головки ( $n_{шт}$ ). Исходя из этого, последовательность передачи движения в анализируемой цепи можно записать в виде следующей формулы кинематических связей:

$$n_p \rightarrow I \rightarrow \frac{Z_1}{Z_2} \rightarrow II \rightarrow \frac{K}{Z_{чк}} \rightarrow n_{шт}. \quad (6.1)$$

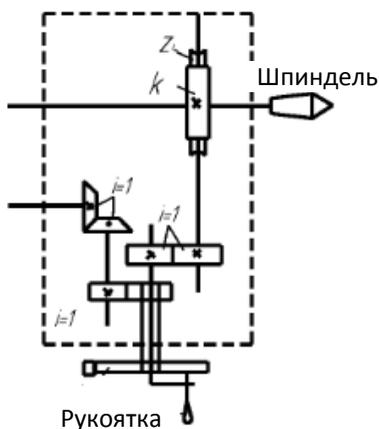


Рис. 6.3. Кинематическая схема настройки делительной головки на простое деление

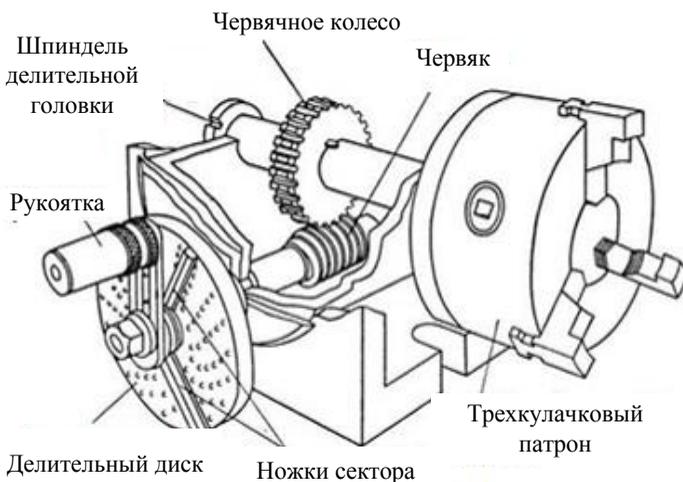


Рис. 6.4. Схема настройки делительной головки на простое деление

Выражение для общего передаточного числа рассматриваемой цепи будет равно:

$$U'_{\text{общ}} = \frac{n_{\text{шт}}}{n_p}. \quad (6.2)$$

Выразим общее передаточное число через промежуточные передаточные отношения кинематических пар, участвующих в передаче движения,

$$U'_{\text{общ}} = \frac{n_{\text{шт}}}{n_{\text{р}}} = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{K}{n_{\text{р}}}. \quad (6.3)$$

Отношение, обратное передаточному отношению червячной пары ( $\frac{Z_{\text{чк}}}{K}$ ) называется *характеристикой делительной головки*  $N$ :

$$N = \frac{Z_{\text{чк}}}{K},$$

где  $K$  – число заходов червяка;

$Z_{\text{чк}}$  – число зубьев колеса.

Следовательно:

$$\frac{n_{\text{шт}}}{n_{\text{р}}} = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{1}{N}. \quad (6.4)$$

По условию задачи необходимо настроить кинематическую цепь так, чтобы заготовка, получающая движение от шпинделя, повернулась на  $\frac{1}{Z_3}$  часть оборота, где  $Z_3$  – число делений на поверхности заготовки.

Для решения задачи настройки кинематической цепи необходимо вывести уравнение кинематического баланса анализируемой цепи, увязывающее аналитически скорости перемещения ведущего и ведомого звеньев.

Для этого используется выражение общего передаточного отношения с подстановкой в него числа  $Z_3$ , определяющего часть полного оборота заготовки (шпинделя).

$$\frac{1}{Z_3 \cdot n_p} = \frac{Z_1}{Z_2} \cdot \frac{1}{N}. \quad (6.5)$$

Обычно в делительных головках для упрощения расчетов принимают  $Z_1 = Z_2$ , следовательно:

$$\frac{1}{Z_3 \cdot n_p} = \frac{1}{N}; n_p = \frac{N}{Z_3}. \quad (6.6)$$

Большинство делительных головок имеют характеристики  $N = 40; 60; 80$  или  $120$ .

Пример 1: Требуется разделить заготовку на 5 частей. Определить число оборотов рукоятки

$$n_p = \frac{N}{Z_3} = \frac{40}{5} = 8$$

Следовательно, рукоятку (10, рис. 6.1) необходимо повернуть на 8 полных оборотов.

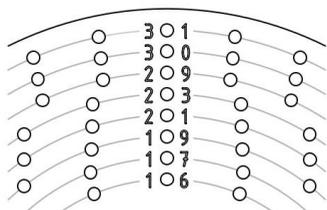
Если при вычислении число оборотов рукоятки получится дробным, то его необходимо преобразовать таким образом, чтобы знаменатель дроби был равен числу отверстий одной из концентрических окружностей на делительном диске.

Пример 2: Требуется нарезать зубчатое колесо с 18 зубьями. Определить число оборотов рукоятки.

$$n_p = \frac{N}{Z_3} = \frac{40}{18} = 2 \frac{2}{9} = 2 \frac{12}{54} \text{ (следует подобрать такой множитель,}$$

умножая на который, в знаменателе получается число  $q$ , равное одному из значений числа отверстий делительного диска):

– на одной стороне концентрической окружности с числами отверстий  $q = 16, 17, 19, 21, 23, 29, 30, 31$ .



– на другой стороне концентрической окружности с числами отверстий  $q = 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49, 54$ .

Следовательно, число  $2 \frac{12}{54}$  показывает, что при нарезании каждого зуба рукоятку (10, рис. 6.1) необходимо повернуть на 2 полных оборота и довернуть на 12 отверстий по концентрической окружности с числом отверстий 54.

### Дифференциальное деление

В практике настройки делительных головок встречаются задачи деления поверхности заготовки на такое число частей  $Z_3$ , когда оно не кратно  $N$ , а знаменатель получающейся дроби ( $n_p = a / b$ ) не кратен одному из чисел отверстий делительного диска ( $q$ ).

В этом случае выбирают значение  $Z_\phi$  такое, которое незначительно отличалось бы от исходного значения  $Z_3$  в большую или меньшую сторону и было кратно  $q$ .

Число оборотов рукоятки определяется по уравнению кинематического баланса для цепи простого деления по  $Z_\phi$ , и дальнейший расчет настройки осуществляется так же, как и в случае простого деления

$$n_p = \frac{N}{Z_\phi}. \quad (6.8)$$

При осуществлении поворота заготовки в соответствии с проведенным расчетом числа оборотов рукоятки мы получим ошибку в повороте рукоятки, равную

$$\Delta n_p = \pm \left( \frac{N}{Z_3} - \frac{N}{Z_\phi} \right). \quad (6.9)$$

Вращение диска осуществляется через так называемую дифференциальную цепь, ведущим звеном которой является шпиндель, ведомым – диск (рис. 6.2, б).

Напишем для этой цепи формулу кинематических связей:

$$n_{\text{шп}} \rightarrow \frac{Z_3}{Z_4} \rightarrow \frac{Z_5}{Z_6} \rightarrow IV \rightarrow \frac{Z_7}{Z_8} \rightarrow V \rightarrow \frac{Z_9}{Z_{10}} \rightarrow n_{\theta}. \quad (6.10)$$

Выведем уравнение кинематического баланса для настраиваемой цепи. Общее передаточное отношение цепи равно:

$$U'_{\text{д.ц.}} = \frac{n_{\theta}}{n_{\text{шп}}} = \frac{Z_3}{Z_4} = \frac{Z_5}{Z_6} \cdot \frac{Z_7}{Z_8} \cdot \frac{Z_9}{Z_{10}}; \frac{Z_7}{Z_8} = \frac{Z_9}{Z_{10}} = 1; \quad (6.11)$$

$$\frac{n_{\theta}}{n_{\text{шп}}} = \frac{Z_3}{Z_4} \cdot \frac{Z_5}{Z_6},$$

где  $Z_3, Z_4, Z_5, Z_6$  – зубчатые колеса гитары сменных зубчатых колес делительной головки, за счет которых настраивается дифференциальная цепь (рис. 6.5, 6.6).

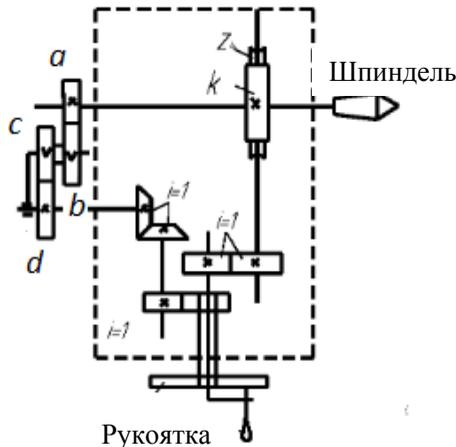


Рис. 6.5. Кинематическая схема настройки делительной головки на дифференциальное деление

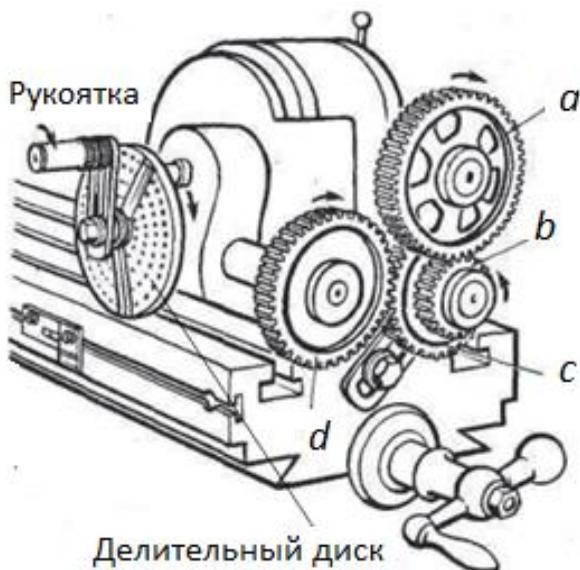


Рис. 6.6. Схема настройки делительной головки на дифференциальное деление

Обычно эти колеса имеют в кинематических цепях буквенное обозначение  $a, b, c, d$  в порядке последовательности передачи движения.

$$\frac{n_o}{n_{\text{шп}}} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d}. \quad (6.12)$$

По условию задачи  $n_{\text{шп}} = \frac{1}{Z_3}; n_o = \frac{N}{Z_3} - \frac{N}{Z_\phi}$ . Следовательно, передаточное отношение гитары сменных зубчатых колес будет равно:

$$U'_{z.o.} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \left( \frac{N}{Z_3} - \frac{N}{Z_\phi} \right) \cdot Z_\phi = \frac{N}{Z_\phi} (Z_\phi - Z_3); \quad (6.13)$$

$$U'_{z.o.} = \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{N}{Z_\phi} (Z_\phi - Z_3). \quad (6.14)$$

После расчета величины передаточного отношения подбираются числа зубьев зубчатых колес гитары из прилагаемого к делительной головке одного из следующих наборов:

1-й набор –  $Z = 25, 25, 30, 40, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100$ ;

2-й набор –  $Z = 24, 24, 27, 28, 32, 40, 44, 48, 54, 56, 60, 64, 72, 86, 100$ .

Если принимаемое числа делений  $Z_\phi > Z_3$ , то передаточное отношение гитары положительно. При этом вращение делительного диска будет совпадать с направлением поворота рукоятки.

Если  $Z_\phi < Z_3$ , то передаточное отношение будет отрицательно и при настройке гитары необходимо обеспечить вращение диска в направлении, противоположном вращению рукоятки.

Затем подобранные числа зубьев зубчатых колес гитары проверяются на условие зацепления.

Пример 3: Требуется разделить заготовку на 67 частей. Определить число оборотов рукоятки.

$$\text{Принимаем } Z_\phi = 70. \text{ Тогда, } n_p = \frac{N}{Z_\phi} = \frac{40}{70} = \frac{4}{7} \cdot \left(\frac{3}{3}\right) = \frac{12}{21}.$$

Знаменатель (21) дроби показывает, что фиксатор нужно установить на концентрирующую окружность, имеющую 21 отверстие, а числитель (12) определяет число отверстий, на которое нужно повернуть рукоятку при делении.

$$U'_{г.д.} = \frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{N}{Z_\phi} (Z_\phi - Z_3) = \frac{40 \cdot (70 - 67)}{70} = \frac{40 \cdot 3}{70} = \frac{120}{70} = \frac{12}{7}.$$

Полученную дробь необходимо преобразовать так, чтобы в числителе и знаменателе были числа зубьев гитары зубчатых колес из прилагаемого к делительной головке одного из следующих наборов:

1-й набор –  $Z = 25, 25, 30, 35, 40, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100$ ;

2-й набор –  $Z = 24, 24, 27, 28, 32, 40, 44, 48, 54, 56, 60, 64, 72, 86, 100$ .

$$\frac{12}{7} \cdot \left(\frac{5}{5}\right) = \frac{60}{35} = \frac{a}{d} \text{ (следовательно, передача осуществляется од-}$$

ной парой сменных шестерен и при положительном значении

передаточного числа необходимо ввести в набор сменных шестерен одну паразитную шестерню).

Пример 4: Требуется разделить заготовку на 93 части. Определить число оборотов рукоятки.

$$\text{Принимаем } Z_{\phi} = 90. \text{ Тогда } n_p = \frac{N}{Z_{\phi}} = \frac{40}{90} = \frac{4}{9} \cdot \left(\frac{6}{6}\right) = \frac{24}{54}.$$

Знаменатель (54) дроби показывает, что фиксатор нужно установить на концентрирующую окружность, имеющую 54 отверстия, а числитель (24) определяет число отверстий, на которое нужно повернуть рукоятку при делении.

$$U'_{г.д.} = \frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{N}{Z_{\phi}} (Z_{\phi} - Z_3) = \frac{40 \cdot (90 - 93)}{90} = -\frac{40 \cdot 3}{90} = -\frac{120}{90} = -\frac{4}{3}.$$

Полученную дробь необходимо преобразовать так, чтобы в числителе и знаменателе были числа зубьев гитары зубчатых колес из прилагаемого к делительной головке одного из наборов (указанного в примере 3).

$$-\frac{4}{3} \cdot \left(\frac{10}{10}\right) = -\frac{40}{30} = \frac{a}{d}, \text{ следовательно, передача осуществляется}$$

одной парой сменных шестерен, а знак «-» указывает на то, что необходимо ввести в набор сменных шестерен две паразитные шестерни.

Пример 5: Требуется разделить заготовку на 83 части. Определить число оборотов рукоятки.

$$\text{Принимаем } Z_{\phi} = 84. \text{ Тогда } n_p = \frac{N}{Z_{\phi}} = \frac{40}{84} = \frac{10}{21}. \text{ Знаменатель (21)}$$

дроби показывает, что фиксатор нужно установить на концентрирующую окружность, имеющую 21 отверстие, а числитель (10) определяет число отверстий, на которое нужно повернуть рукоятку при делении.

$$U'_{г.д.} = \frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{N}{Z_{\phi}} (Z_{\phi} - Z_3) = \frac{40 \cdot (84 - 83)}{84} = \frac{40 \cdot 1}{84} = \frac{10}{21} = \frac{2 \cdot 5}{7 \cdot 3} = \frac{40 \cdot 25}{35 \cdot 60} = \frac{a}{b} \frac{c}{d}.$$

(следовательно, передача осуществляется двумя парами сменных шестерен и при положительном значении передаточного числа установка паразитных шестерен не требуется).

Число зубьев подобранных шестерен должно удовлетворять условию зацепления:

$$(a + b) > c + (15 - 20)$$

$$(c + d) > b + (15 - 20)$$

**Пример 6:** Требуется разделить заготовку на 107 частей. Определить число оборотов рукоятки.

Принимаем  $Z_{\phi} = 105$ . Тогда  $n_p = \frac{N}{Z_{\phi}} = \frac{40}{105} = \frac{8}{21}$ . Знаменатель

(21) дроби показывает, что фиксатор нужно установить на концентрирующую окружность, имеющую 21 отверстие, а числитель (8) определяет число отверстий, на которое нужно повернуть рукоятку при делении.

$$U'_{г.д.} = \frac{a c}{b d} = \frac{N}{Z_{\phi}} (Z_{\phi} - Z_3) = \frac{40 \cdot (105 - 107)}{105} = -\frac{40 \cdot 2}{90} = -\frac{16}{21}.$$

Полученную дробь необходимо преобразовать так, чтобы в числителе и знаменателе были числа зубьев гитары зубчатых колес из прилагаемого к делительной головке одного из наборов (указанного в примере 3).

$$-\frac{16}{21} = -\frac{4 \cdot 4}{3 \cdot 7} = -\frac{80}{60} \frac{40}{70} = \frac{a c}{b d}, \quad \text{следовательно, если передача}$$

осуществляется двумя парами сменных шестерен и при отрицательном значении передаточного числа ( $U'_{г.д.}$ ) необходимо ввести одну паразитную шестерню.

Задачи на дифференциальное деление имеют несколько вариантов решений.

### Материалы, оборудование и инструменты

- 1) горизонтально-фрезерный станок мод. 6Н83;
- 2) делительная головка с набором сменных зубчатых колес УЛДГ-40;

3) заготовка вала  $d = 50$  мм,  $l = 200$  мм. Допускается использовать оправки с установкой сменных дисков  $d = 120$  мм для обработки пазов;

4) дисковая пазовая фреза  $d = 150$  мм, толщина – 5 мм – 1 шт. Допускается использование дисковой модульной фрезы с  $z = 10$ ,  $m = 7$  мм.

### Порядок выполнения работы

1. Изобразить кинематическую схему делительной головки.
2. Произвести расчет по настройке УЛДГ и начертить кинематическую схему УЛДГ в соответствии с индивидуальным заданием (табл. 6.1), используя вышеуказанные примеры.

### Содержание отчета

1. Название, цель лабораторной работы.
2. Краткие сведения о назначении, типах, устройстве делительных головок, кинематике и методах их настройки УЛДГ.
3. В практической части необходимо произвести расчет по настройке УЛДГ и начертить кинематическую схему УЛДГ в соответствии с индивидуальным заданием (табл. 6.1).
4. Выводы.

Таблица 6.1

Индивидуальные задания для расчета настройки УЛДГ

Вариант	Фрезерный станок			Диф. деление $Z_3$	Вариант	Фрезерный станок			Диф. деление $Z_3$
	мод.	$n$ об/мин	$S_{пр}$ мм/мин			мод.	$n$ об/мин	$S_{пр}$ мм/мин	
1	6Н81	90	—	61	16	6Н12ПБ	—	200	101
2	—//—	120	—	63	17	С79	445	—	103
3	—//—	—	30	67	18	—//—	605	—	107
4	—//—	—	35,5	69	19	—//—	815	—	109
5	—//—	—	45	71	20	—//—	1230	—	111
6	С79	150	—	73	21	—//—	—	100	113

Вариант	Фрезерный станок			Дифф. деление $Z_3$	Вариант	Фрезерный станок			Дифф. деление $Z_3$
	мод.	$n$ об/мин	$S_{пр}$ мм/мин			мод.	$n$ об/мин	$S_{пр}$ мм/мин	
7	—//—	210	—	77	22	—//—	—	143	117
8	—//—	308	—	81	23	—//—	—	205	119
9	—//—	445	—	83	24	—//—	—	285	121
10	—//—	—	25	87	25	6Н12ПБ	310	—	122
11	—//—	—	36	89	26	—//—	400	—	123
12	—//—	—	52	91	27	—//—	500	—	126
13	6Н12ПБ	—	100	93	28	—//—	630	—	127
14	—//—	—	125	97	29	—//—	—	250	128
15	—//—	—	180	99	30	—//—	—	315	129

### Контрольные вопросы и задания

1. Назначение универсальной лимбовой делительной головки.
2. Основные узлы делительной головки.
3. Что такое характеристика делительной головки?
4. Для чего необходимы сменные зубчатые колеса гитары УЛДГ?
5. Зачем нужен раздвижной сектор?

## ПРИЛОЖЕНИЯ

## РЕКОМЕНДАЦИИ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

По каждой выполненной лабораторной работе студентом оформляется отчет.

В содержании отчета отражаются следующие основные моменты:

- 1) титульный лист с названием лабораторной работы. Титульный лист выполняется с указанием соответствующих надписей и приведен в приложении 2;
- 2) цель лабораторной работы;
- 3) краткие теоретические или общие сведения по теме выполняемой работы;
- 4) результаты испытаний (журнал наблюдений, характеристика образцов после испытаний и т. п.);
- 5) обработка результатов испытаний, расчет и их анализ;
- 6) выводы.

Для оформления отчета по лабораторным работам можно использовать отдельную тетрадь или листы форматом 210×297 мм, сброшюрованные в общепринятой форме или вложенные в отдельный файл. В конце семестра отчеты по всем лабораторным работам сдаются преподавателю.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра технологии металлов  
Дисциплина «Материаловедение. ТКМ»  
Раздел «Обработка материалов резанием»

КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТОКАРНОГО РЕЗЦА  
И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ

Отчет по лабораторной работе № 1

Исполнитель: студент группы 21 ТС  
Иванов И.А.

Руководитель: ст. преподаватель  
Петрович А.В.

Минск 2024

Учебное издание

**Акулович** Леонид Михайлович,  
**Сергеев** Леонид Ефимович,  
**Шабуня** Виктория Васильевна

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ  
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.  
ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ.  
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск *В. М. Капцевич*

Редактор *Г. В. Анисимова*

Корректор *Г. В. Анисимова*

Компьютерная верстка *Д. А. Пекарского*

Дизайн обложки *А. А. Покало*

Подписано в печать 25.10.2024. Формат 60×84<sup>1/16</sup>.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 5,11. Уч.-изд. л. 4,0. Тираж 99 экз. Заказ 267.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования

«Белорусский государственный аграрный технический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий

№ 1/359 от 09.06.2014.

№ 2/151 от 11.06.2014.

Пр-т Независимости, 99–1, 220012, Минск.