



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИЙ (ФИЛИАЛ) ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
В Г. ВОЛГОДОНСКЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

**(Институт технологий (филиал) ДГТУ в г. Волгодонске)**



Лабораторный практикум  
по дисциплине  
«Обработка материалов резанием»  
для обучающихся по направлению подготовки  
15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств  
профиль Технология машиностроения

2020 года набора

Волгодонск  
2021

## **Лист согласования**

Лабораторный практикум по дисциплине «Обработка материалов резанием» составлены в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки (специальности) 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

Рассмотрены и одобрены на заседании кафедры «ТСиИТ» протокол № 10  
от «26» апреля 2021 г.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

## ИЗУЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИИ РЕЗЦОВ И КИНЕМАТИКИ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ

Целью лабораторной работы является изучение и уяснение конструкции токарных резцов, их геометрических параметров и кинематики резания при точении материалов.

Оборудование, инструменты и оснастка, используемые при выполнении лабораторной работы:

- токарные резцы – проходной, подрезной, отрезной и другие;
- угломеры для измерения углов призматических резцов и универсальные.

### ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

Геометрией рабочей части резцов, как и других режущих инструментов, называется совокупность всех конструктивных элементов (углов резания, величины и формы режущих кромок, формы передней и задней поверхностей, радиус сопряжения режущих кромок и другие), позволяющих обеспечить процесс обработки материалов резанием. Только правильно выбранная геометрия режущего инструмента позволяет обеспечить высокопроизводительную обработку, поэтому необходимо изучить геометрию основных типов резцов. При изучении геометрии необходимо обратить внимание на назначение каждого конструктивного элемента.

Токарные резцы классифицируются по направлению подачи, по форме и расположению головки.

По направлению подачи резцы разделяются на правые и левые. На токарных станках правыми резцами работают справа налево (по направлению к передней бабке станка), а левыми – слева направо (по

направлению к задней бабке станка). Метод определения резцов по подаче показан на рисунке 1.

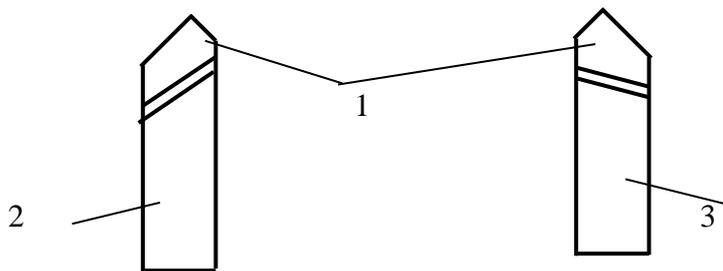


Рисунок 1. Типы резцов по направлению подачи.

1 – главные режущие кромки; 2 – правый резец; 3 – левый резец.

По форме головки и ее расположению конструктивные виды резцов показаны на рисунке 2.

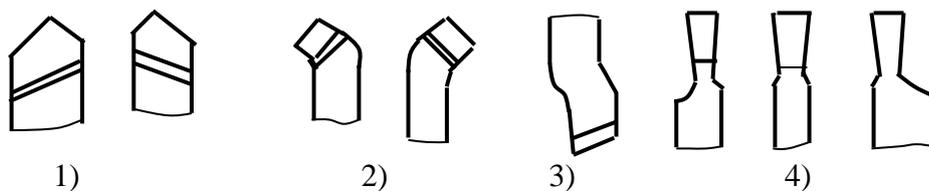


Рисунок 2. Определение вида резцов по форме головки и ее расположению:

1 – прямые резцы; 2 - отогнутые резцы; 3 – изогнутый резец; 4 – с оттянутыми головками.

Каждый резец состоит из рабочей части (головки) и крепежной части (стержня или тела резца).

Крепежная часть служит для закрепления резца на станке, а рабочая часть предназначена для обеспечения резания. На рисунке 3 показан токарный проходной прямой правый резец. Рабочая часть резца (головка) ограничена тремя поверхностями: передней, задней главной и задней вспомогательной. Режущие кромки, производящие резание, получаются в результате пересечения трех плоскостей.

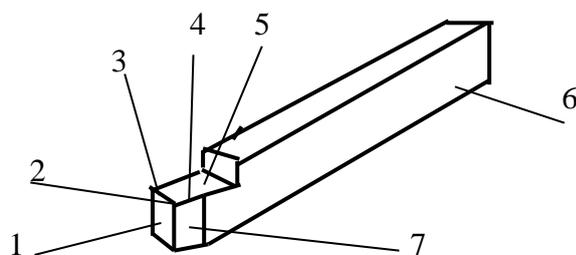


Рисунок 3. Элементы рабочей части (головки) токарного проходного резца:

1 – вспомогательная задняя поверхность; 2 - вершина резца; 3 – вспомогательная режущая кромка; 4 – главная режущая кромка; 5 – передняя поверхность; 6 – державка резца; 7 – главная задняя поверхность резца.

Главная режущая кромка образуется от пересечения передней и главной задней поверхностей, а вспомогательная режущая кромка – от пересечения передней и вспомогательной задней поверхностей. Точка пересечения передней и вспомогательной задней поверхностей называется вершиной резца. Так как головка резца воспринимает при резании большую нагрузку, то ее изготавливают из высокопрочного материала.

Рабочая часть резца затачивается по трем плоскостям (передней, главной и вспомогательной задней). В результате заточки получают углы, которые необходимы для обеспечения высокопроизводительного процесса обработки материалов резанием. Исходной базой для измерения (отсчета) углов являются две плоскости: основная плоскость и плоскость резания (рисунок 4), на которой обозначены также три поверхности детали: обрабатываемая поверхность, поверхность резания и обработанная поверхность.

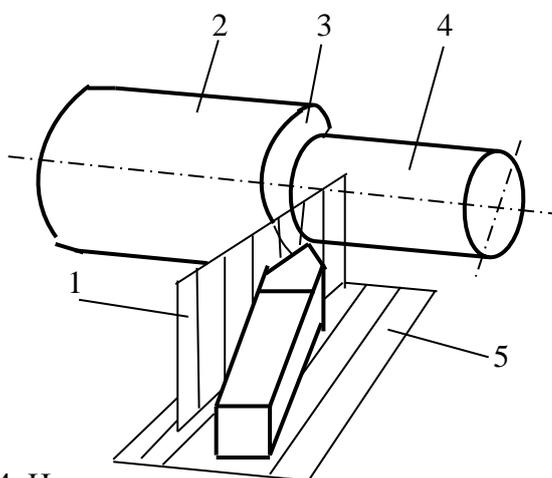


Рисунок 4. Исходные плоскости для определения главных углов резца.

1 – плоскость резания; 2 – обрабатываемая поверхность; 3 – поверхность резания; 4 – обработанная поверхность; 5 – основная плоскость.

Плоскостью резания называется плоскость, касательная к поверхности резания и проходящая через главную режущую кромку.

Основной плоскостью называется плоскость параллельная направлению продольной и поперечной подач резца.

Углы резца разделяют на две группы – главные и вспомогательные. На рисунке 5 приведена рабочая часть резца с необходимыми сечениями, на которой показаны главные и вспомогательные углы резца.

Главные углы резцов измеряются в главной секущей плоскости, перпендикулярной к проекции главной режущей кромки на основную плоскость.

Главный передний угол ( $\gamma$ ) – это угол, заключенный между передней поверхностью резца и плоскостью, перпендикулярной к плоскости резания, проведенной через главную режущую кромку. Этот угол может быть положительным (рисунок 5б), равным нулю (рисунок 5в) или отрицательным (рисунок 5г).

Главный задний угол ( $\alpha$ ) – это угол, заключенный между главной задней поверхностью резца и плоскостью резания.

Угол резания ( $\delta$ ) – это угол, заключенный между главной задней поверхностью резца и плоскостью резания.

Угол заострения – это угол, заключенный между передней и главной задней поверхностями резца.

**ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УГЛЫ И УГЛЫ В ПЛАНЕ.** Для получения вспомогательных углов необходимо провести сечение вспомогательной режущей кромки вспомогательной секущей плоскостью, как это показано на рисунке 5. Это сечение производится перпендикулярно к проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость.

Вспомогательный задний угол ( $\alpha_1$ ) – это угол, заключенный между вспомогательной задней поверхностью и плоскостью, проходящей через

вспомогательную режущую кромку и перпендикулярной основной плоскости.

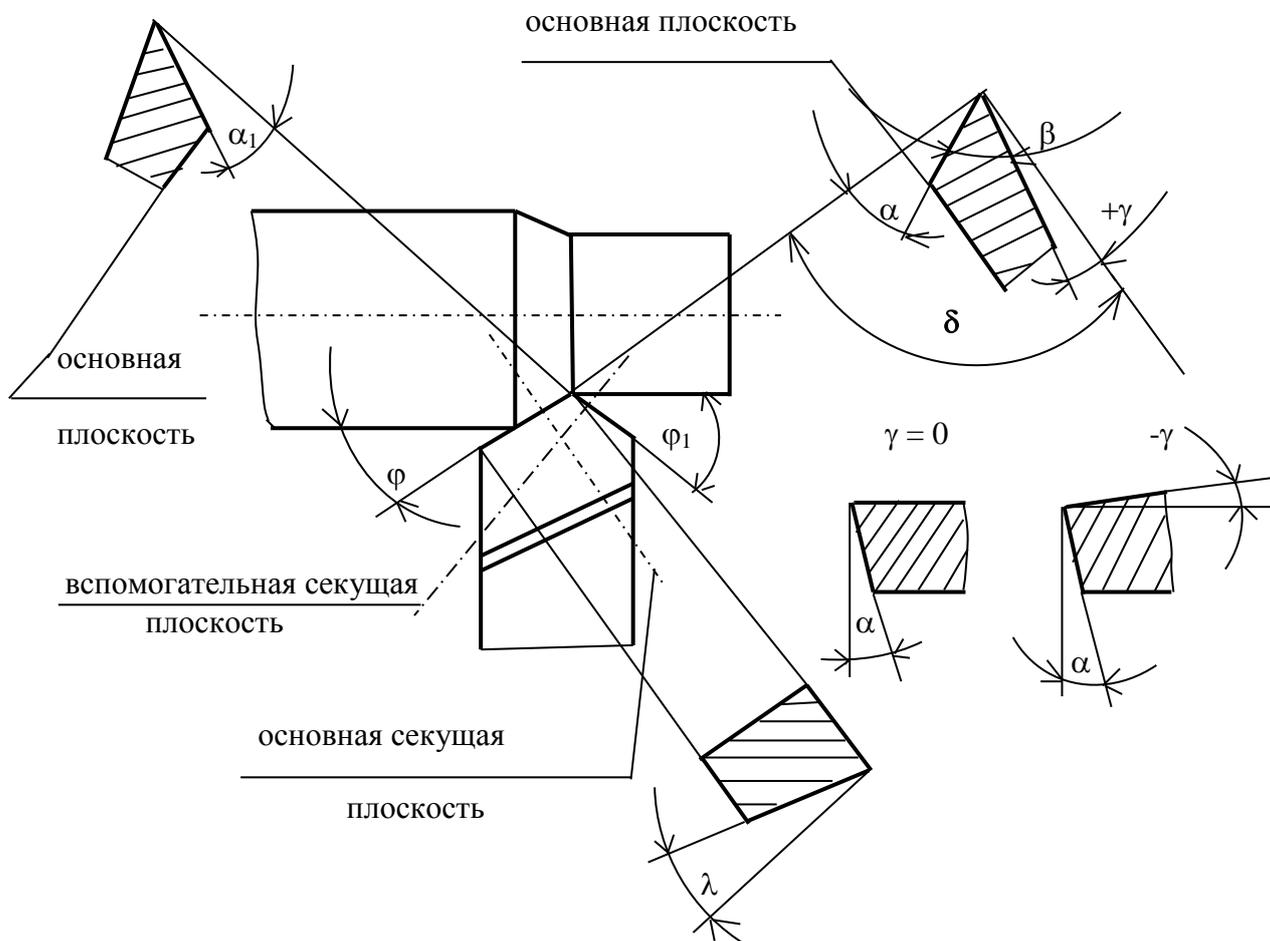


Рисунок 5. Главные и вспомогательные углы токарного проходного резца.

Главный угол в плане ( $\phi$ ) – это угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи.

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

Угол при вершине ( $\epsilon$ ) – это угол между проекциями режущих кромок на основную плоскость.

Угол наклона главной режущей кромки ( $\lambda$ ) – это угол, заключенный между главной режущей кромкой и линией, проведенной через вершину резца параллельно основной плоскости. Угол наклона главной режущей кромки может быть положительным, отрицательным и равным нулю.

## УГЛОМЕР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ РЕЗЦОВ.

Угломер состоит из основания, стойки, по которой перемещается сектор с шаблоном. Сектор может передвигаться вдоль стойки, поворачиваться вокруг ее оси и в нужном положении закрепляется винтом. Шаблон имеет в нижней части два взаимно перпендикулярных ребра. На секторе нанесены деления. Риска на верхней части шаблона указывает на шкале сектора величину измеряемого угла. Положение шаблона относительно сектора фиксируется винтом.

Измерение геометрических параметров резца можно производить и с помощью других измерительных средств, имеющихся в лаборатории. Измерение линейных размеров резца осуществляется штангенциркулем или масштабной линейкой.

Результаты измерений занести в таблицу 1.

№ п/п	Наименование резца	Размер резца В*Н в мм	Углы резца в градусах								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
			$\gamma$	$\alpha$	$\alpha_1$	$\beta$	$\delta$	$\varepsilon$	$\lambda$	$\varphi$	$\varphi_1$
1	проходной										
2	подрезной										
3	отрезной										

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Классификация резцов и элементы его рабочей части.
2. Дать определения геометрическим параметрам резцов.
3. Инструменты для определения углов резцов.
4. Какую роль играют значения углов резца в процессе резания.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### ГЕОМЕТРИЯ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ

#### 1. Цель работы

Изучение основных типов сверл и их геометрических параметров  
Оборудование, инструменты и оснастка, используемые при  
выполнении лабораторной работы:

- спиральные сверла различного диаметра.

#### 2. Содержание работы

2.1. Ознакомление с геометрией режущей части спирального сверла.

2.2. Изучение средств и техники измерения основных углов  
спирального сверла.

2.3. Определение величины задних и передних углов сверла и  
построение графической зависимости их от текущего диаметра.

2.4. Выполнение рабочего чертежа спирального сверла.

#### 3. Методика и порядок выполнения работы

##### 3.1. Общие положения

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

Для выполнения перечисленных операций применяют сверла  
различных типов: спиральные цилиндрические - с коническим и  
цилиндрическим хвостовиком; перовые, оснащенные пластинками и  
коронками из твердого сплава для глубокого сверления; конические – для  
сверления конических отверстий; ступенчатые – для сверления  
концентрических отверстий, имеющих две и более ступени; торцовые – для  
сверления глухих отверстий с плоским дном; центровочные – для  
сверления центровых технологических отверстий; сверла для кольцевого

сверления и другие. На рис. 1. представлено спиральное цилиндрическое сверло с обозначением всех основных частей.

Сверло состоит из режущей части, из рабочей части, шейки и хвостовика. Конический или цилиндрический хвостовик служит для закрепления сверла в шпинделе или в патроне. Рабочая часть сверла состоит из режущей и направляющей частей. Рабочая часть имеет винтовые канавки, по которым транспортируется стружка из обрабатываемого отверстия.

Направляющая часть обеспечивает направление сверла в обрабатываемом отверстии и служит резервом для образования режущей части при переточках сверла.

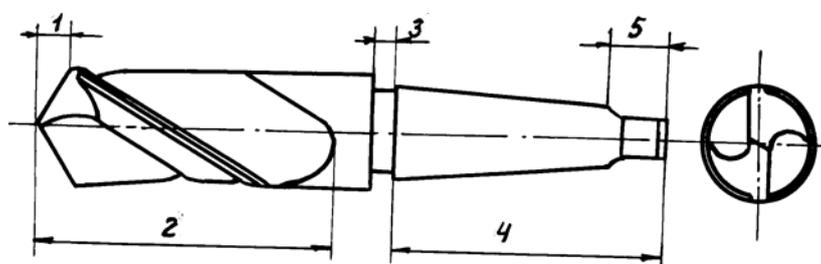


Рис. 1. Основные части спирального сверла:

1 - режущая часть; 2 - рабочая часть; 3 - шейка; 4 - хвостовик; 5 – лапка

Спиральное сверло имеет пять режущих кромок, симметрично расположенных относительно оси: две главные, две кромки ленточек и одну поперечную. На рис. 2. показаны основные элементы режущей части сверла. Геометрия сверла характеризуется следующими основными углами: передним углом  $\gamma$ , задним углом  $\alpha$ , углом наклона винтовой канавки  $\omega$ , углом наклона поперечной кромки  $\psi$  и углом при вершине сверла  $2\varphi$ , которые представлены на рис. 3 и 4.

Пересечение передних поверхностей (винтовых канавок) с главными задними поверхностями образуют главные режущие кромки. Пересечение передних поверхностей (винтовых канавок) со вспомогательными задними поверхностями (ленточками) образуют вспомогательные режущие кромки. При пересечении двух задних поверхностей образуется поперечная кромка или перемычка.

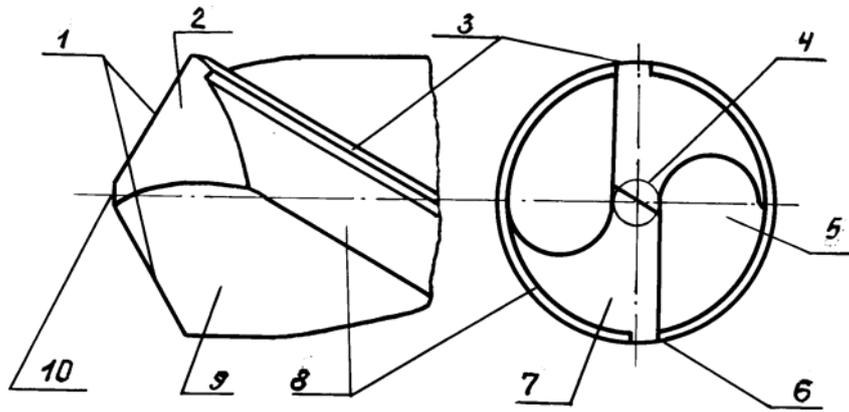


Рис. 2. Конструктивные элементы лезвия режущей части спирального сверла:

1 - главные режущие кромки; 2 - задняя поверхность; 3 - ленточка; 4 - сердцевина сверла; 5 - канавка; 6 - режущая кромка ленточки; 7 - зуб сверла; 8 - спинка зуба; 9 - передняя поверхность; 10 - поперечная режущая кромка

Геометрические параметры сверла рассматриваются в разных плоскостях (рис. 3). Положения статической и кинематической плоскостей резания показаны на рис. 3 а, б, а углы сверла в главной секущей  $P_T$  и нормальной  $P_N$  плоскостях – на рис. 4.

**Основной плоскостью  $P_V$**  (статической) – называется плоскость, проведенная перпендикулярно направлению скорости главного движения.

**Плоскость резания  $P_n$**  - плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная основной плоскости  $P_V$ .

**Рабочая плоскость  $P_S$**  – плоскость, в которой расположены направления скоростей главного движения  $D_T$  и движения подачи  $D_S$ .

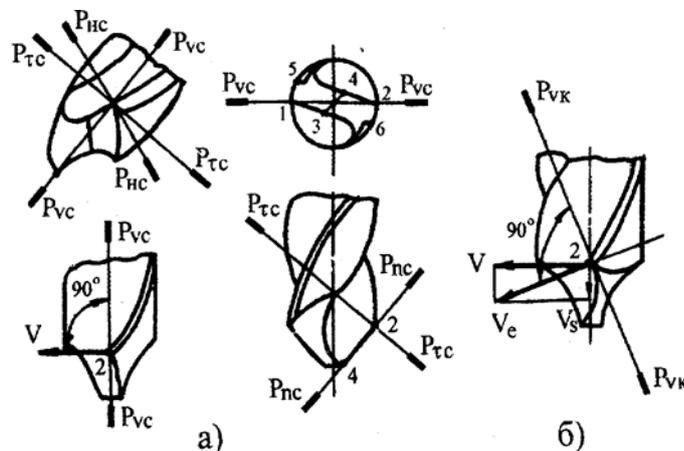


Рис. 3. Статические (а) и кинематические (б) координатные плоскости для сверла



где  $D_x$  - диаметр, на котором расположена рассматриваемая точка;  $D$  - номинальный диаметр сверла;  $\varphi$  - главный угол в плане;  $\omega$  - угол наклона винтовой канавки. Наибольшее значение угол  $\gamma$  имеет на периферии сверла.

Передний угол сверла получают при его изготовлении, а задний угол сверла образуется при его заточке.

**Угол наклона винтовой стружечной канавки  $\omega$**  - измеряется между основной плоскостью  $P_v$  и направлением стружечной канавки для периферийной точки 2 главного лезвия сверла 2 – 4.

**Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$**  - угол в плоскости резания между режущей кромкой и основной плоскостью.

**Угол наклона поперечной кромки  $\psi$**  - острый угол между проекциями поперечной и режущей кромок на плоскость, нормальную к оси сверла.

Углы в плане рассматривают в плоскости, проходящей через ось сверла, параллельно главным режущим кромкам.

**Главным углом в плане  $\varphi$**  - называется угол в основной плоскости между плоскостью резания и рабочей плоскостью.

**Вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$**  – это угол между проекцией вспомогательной режущей кромки (кромки ленточки) на основную плоскость сверла и рабочей плоскостью.

**Угол при вершине  $2\varphi$**  - угол между проекциями главных режущих кромок на плоскость, проходящую через ось сверла, параллельно режущим кромкам.

С целью устранения возможного защемления сверла в просверленном отверстии диаметр рабочей части сверла уменьшают по направлению к хвостовику, т.е. делают обратную конусность на длине 100 мм длины сверла (0,03 – 0,15 мм).

**3.2. Методика измерения угловых и линейных размеров спирального сверла**

Измерение переднего и заднего углов сверла производится на специальном приборе (рис. 5) при помощи индикаторов. Для измерения углов сверло закрепляется в патроне прибора, и вращением маховика главные режущие кромки устанавливаются в горизонтальное положение.

При измерении заднего угла сверло устанавливается по сектору круговой шкалы рукояткой 2 на угол  $180^{\circ}$ , и игла индикатора подводится к задней поверхности сверла маховиком 3 с небольшим натягом в пределах 2-3 мм. Поперечным перемещением сверла рукояткой 4 устанавливают иглу индикатора на периферийный участок режущей кромки. Затем, вращая маховик 1, поворачивают сверло по часовой стрелке на угол  $\beta$  (обычно  $10^{\circ}$ ) и контролируют угол поворота по лимбу прибора.

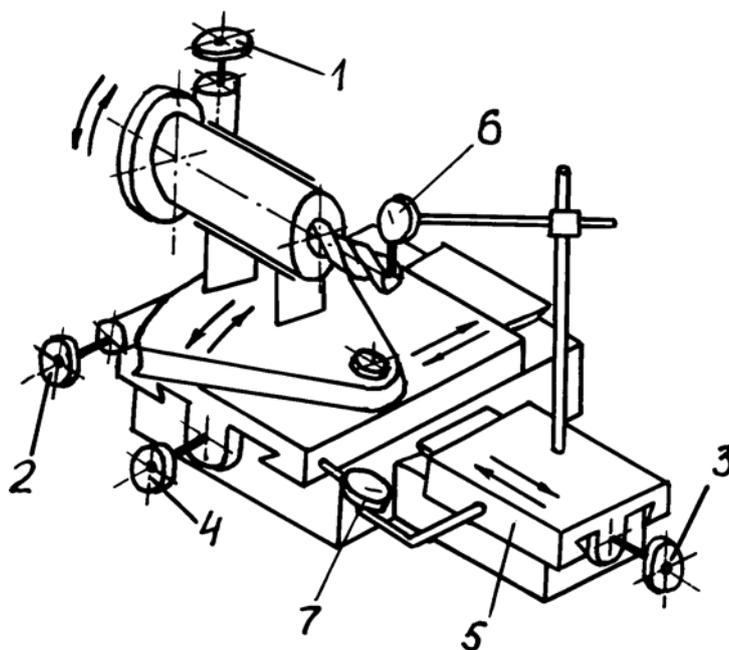


Рис. 5. Схема прибора для измерения передних и задних углов сверла

При таком перемещении игла индикатора по задней поверхности сверла очертит некоторую дугу  $S$  и переместится на величину  $h$  (рис. 6а). По этим данным можно определить величину заднего угла сверла в данной точке по формуле:

$$\text{tg}\alpha_x = \frac{\pi \cdot S}{\pi \cdot D_x \cdot \beta}$$

где  $h$  - падение кривой задней поверхности сверла в мм на угле повороте  $\beta$  в градусах;  $D_x$  - диаметр в измеряемой точке.

Таких точек вдоль режущей кромки сверла необходимо выбрать не менее трех.

Для измерения переднего угла сверла необходимо установить его режущую кромку перпендикулярно продольному перемещению салазок 5, повернув рукояткой 2 сверло на угол  $2\phi$ . Игла индикатора 6 устанавливается на режущую кромку с натягом 2-3 мм, как показано на рис. 6 б. Затем устанавливается индикатор 7 с упором в корпус прибора (рис. 5) с натягом 3...4 мм. Перемещая салазки с индикатором на некоторую длину  $L$  (обычно 2..3 мм), которая отсчитывается по индикатору 7, снимаются показания с индикатора 6. По этим параметрам можно определить величину переднего угла в данной точке по зависимости

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{h}{l},$$

где  $h$  - показания индикатора 6, мм;  $l$  - показания индикатора 7, мм.

Вдоль режущей кромки таких точек на разных диаметрах необходимо выбрать минимум три.

Измерение углов  $2\phi$  и  $\psi$  производится универсальным угломером, как показано на рис 7.

Угол наклона винтовой канавки  $\omega$  измеряется по отпечатку ленточки при прокатывании сверла по бумаге транспортиром или универсальным угломером.

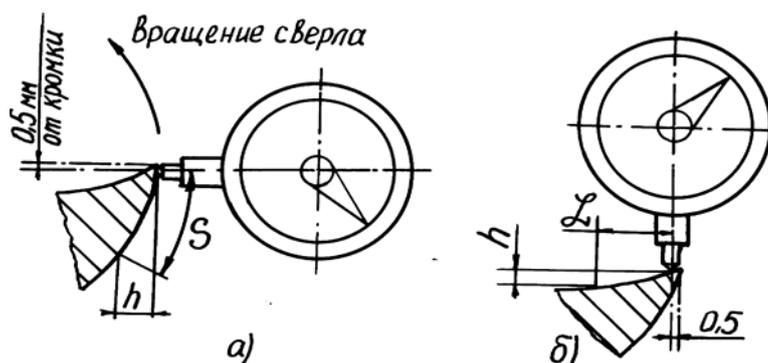


Рис. 6. Схема измерения заднего (а) и переднего (б) углов сверла

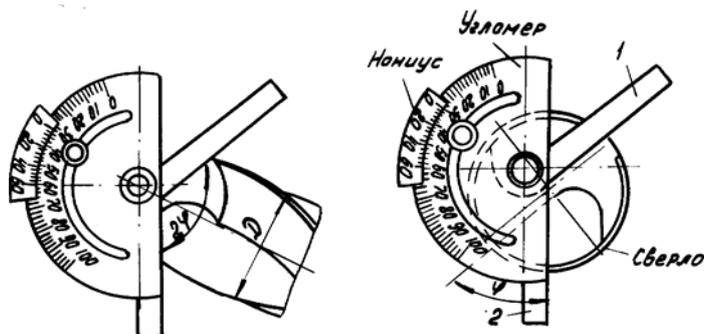


Рис. 7. Измерение углов  $2\varphi$  и  $\psi$ .

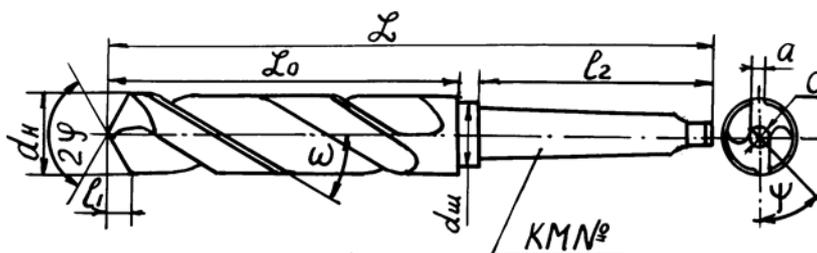


Рис. 8. Рабочий чертёж спирального сверла

Линейные размеры сверла - наружный диаметр  $d_n$ , толщина сердцевины «с», длина сверла  $L$  длина рабочей части сверла  $l_0$ , размеры хвостовой части  $l_2$ , ширина ленточки «а» измеряются штангенциркулем и масштабной линейкой, после чего выполняется рабочий чертеж сверла (рис.8) и строятся графики изменения переднего и заднего углов сверла в зависимости от выбранных диаметров

### 3.3. Порядок выполнения работы

3.3.1. Получить у преподавателя или лаборанта 2-3 спиральных сверла различного диаметра.

3.3.2 Произвести обмер линейных размеров сверла и занести в протокол результаты обмера.

3.3.3. Произвести измерение задних углов сверла, записав результаты в таблицу протокола.

3.3.4. Измерить передние углы сверла и занести в протокол результаты измерения.

3.3.5. Выполнить рабочий чертеж сверла, проставив все необходимые линейные и угловые размеры.

3.3.6. Построить графики изменения передних и задних углов сверла.

#### 4. Контрольные вопросы

1. Цель и содержание работы.
2. Что понимают под операцией сверления?
3. Назовите основные типы сверл и их назначение.
4. Основные части спирального сверла и их назначение.
5. Конструктивные элементы лезвия режущей части спиральных сверл.
6. Геометрические элементы лезвия сверла.
7. По каким поверхностям затачивают сверла?
8. Дайте определения основных плоскостей, используемых для определения углов сверла.
9. Дать определение углов  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ ,  $2\phi$ ,  $\phi$ ,  $\lambda$ ,  $\psi$  сверла.
10. Как измеряются углы  $\alpha$  и  $\gamma$ ?
11. Какие приборы и инструменты используются для определения углов сверла?
12. Что такое обратная конусность для сверла? Каким углом она определяется.
13. Опишите прибор для измерения  $\gamma$  и  $\alpha$  сверла.
14. Из каких инструментальных материалов изготавливают рабочую часть осевых инструментов, в том числе сверл?
15. Из каких материалов изготавливают державочную часть (хвостовую часть) сверл?
16. Элементы режима резания ( $V$ ,  $S_o$ ,  $t$ ) и срезаемого слоя при сверлении. Соотношения между  $S$ ,  $t$  и «а» и «b» при сверлении.
17. Рассказать об особенностях угла наклона винтовой канавки сверла в разных точках режущей кромки сверла. Как определяется для любой точки  $\text{tg}\omega_x$ ?

18. Дать определение вспомогательного заднего угла сверла  $\alpha_1$ , угла наклона перемычки  $\psi$ . Как образуется угол поперечной кромки (перемычки) сверла.
19. Как изменяются кинематические углы сверла в процессе резания? Кинематический задний угол уменьшается на угол  $\eta$ . Докажите!
20. Как определяется  $\text{tg}\gamma_x$  = рассматриваемой точке режущей кромки сверла?
21. Каково назначение конструктивных элементов сверла?
22. В каких плоскостях измеряются геометрические параметры сверла? Дать определение этих плоскостей.
23. Как изменяются вдоль главной режущей кромки углы  $\alpha$  и  $\gamma$ .
24. Какие приборы используются для определения углов сверла?
25. Что понимают под термообработкой сверл? Какой вид термической обработки используется? Какое значение твердости (HRC<sub>9</sub>) при этом получается для рабочей части и хвостовой части сверл?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ

#### 1. Цель работы

1.1. Изучить виды стружек при обработке вязких и хрупких материалов.

1.2. Исследовать влияние различных факторов на деформации среза через коэффициент укорочения (усадки) стружки.

Оборудование, инструменты и оснастка, используемые при выполнении лабораторной работы:

- токарно - винторезный станок;
- токарные проходные резцы.

#### 2. Содержание работы

2.1. Установить влияние обрабатываемого материала, элементов режима резания и геометрии инструмента на вид образующейся стружки при обработке.

2.2. Изучить методы определения усадки стружки.

2.3. Экспериментально установить зависимость коэффициента продольной усадки стружки от скорости резания, подачи (толщины срезаемого слоя), глубины резания, величины переднего угла и механических свойств обрабатываемого материала.

#### 3. Методика и порядок выполнения работы

##### 3.1 Общие положения

Процесс резания металлов сопровождается пластической деформацией срезаемого слоя, которая проявляется в том, что длина стружки  $L_c$  (рис.1) получается короче пути  $L$  ( $L_c < L$ ), пройденного режущей кромкой инструмента по обработанной поверхности, толщина стружки " $a_c$ " - больше толщины срезаемого слоя " $a$ " ( $a_c > a$ ). Ширина стружки практически  $b \approx b_c$ . Это изменение размеров срезаемого слоя называется усадкой стружки и характеризуется коэффициентами  $K_L = L/L_c$ ,  $K_a = a_c/a$ , где  $K_L$ ,  $K_a$ , -

коэффициенты соответственно укорочения, утолщения стружки. Эти коэффициенты, как правило, больше единицы и являются косвенными показателями величины пластической деформации при резании металлов. Они показывают, во сколько раз размеры стружки по длине, толщине и ширине меньше или больше соответствующих размеров срезаемого слоя. Так как объем стружки равен объему срезаемого слоя,  $L^*a^*b = L_c^*a_c^*b_c$ , то при  $b_c \approx b$ ,  $L^*a = L_c^*a_c$ .

Степень пластической деформации срезаемого слоя при резании характеризуется коэффициентом усадки стружки

$$K = \frac{L}{L_c} = \frac{a_c}{a} \quad (1)$$

Коэффициент продольной усадки стружки согласно рис. 1. Равен

$$K_l = \frac{L}{L_c}; \quad K_a = \frac{a_c}{a} \quad (2)$$

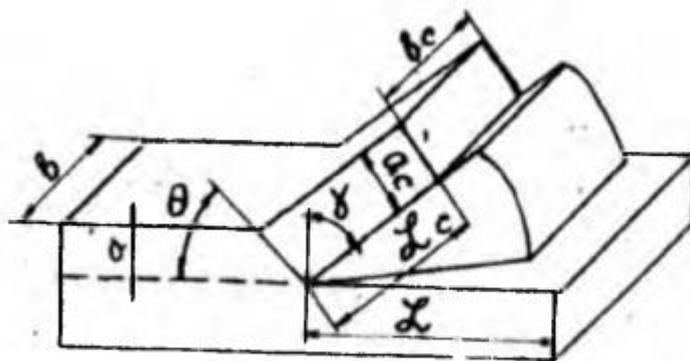


Рис. 1. Схема деформации срезаемого слоя

Коэффициент поперечной усадки стружки определяется по зависимости:

$$K_a = \frac{a_c}{a} = \frac{\cos(\phi - \gamma)}{\sin \phi} \quad (3)$$

Где  $\phi$  - угол скалывания или сдвига;  $\gamma$  - передний угол инструмента.

Усадка стружки изменяется в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого материала, режимов резания, геометрии инструмента (в первую очередь - переднего угла), толщины срезаемого слоя (подачи) и вида смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) и др. условий резания.

При резании пластичных материалов коэффициент  $K_a$  больше, чем при резании хрупких. Например, при резании чугуна  $K_i = 1,5...2,5$ , а при резании стали  $K_L = 2...6$ .

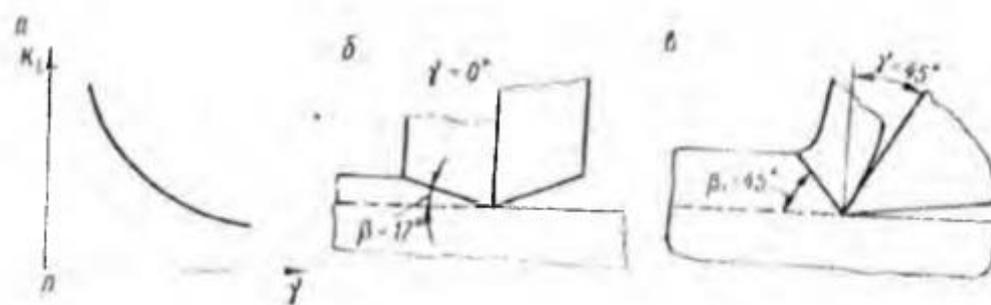


Рис. 2 . Влияние переднего угла на утолщение стружки и изменение угла сдвига [9].

С уменьшением переднего угла  $\gamma$  усадка стружки увеличивается. Резец с большим углом  $\gamma$  легче врезается в обрабатываемый материал, и срезаемый слой будет менее деформирован. При увеличении переднего угла уменьшается трение стружки о переднюю поверхность инструмента, что в свою очередь приводит к увеличению угла сдвига  $\phi$ . Чем больше угол сдвига, тем меньше коэффициент укорочения стружки (рис. 2.)

Уменьшение усадки  $K_L$  с увеличением скорости резания объясняется снижением коэффициента трения между стружкой и передней поверхностью инструмента. Зависимость  $K_L = f(V)$  с различными углами при обработке стали представлена на рис. 3. Характер изменения  $K_L$  при различных скоростях резания объясняется изменением размеров нароста. Минимальный коэффициент укорочения стружки соответствует наибольшему размеру нароста. Характерные точки, соответствующие максимальному

коэффициенту укорочения на кривых  $K_L = f(V)$ , или точки перегиба, тем больше сдвигаются в область низких скоростей резания, чем пластичнее обрабатываемый материал и меньше передний угол и толщина среза.

Такой вид кривых объясняется тем, что при малых скоростях резания нарост не образуется и передний угол ( $\gamma$ ) мал, т.е. коэффициент укорочения стружки  $K_L$  велик.

С достижением скорости резания при обработке стали примерно 50 м/мин, когда нарост максимален, увеличивается действительный передний угол  $\gamma_d$  и, снижается  $K_L$ . При скоростях резания 80...100 м/мин нарост исчезает, поэтому  $K_L$  становится максимальным. При дальнейшем увеличении скорости резания в прирезцовой зоне под действием высокой температуры граничный слой металла сильно размягчается и выполняет роль смазки. В этих условиях коэффициент трения на передней поверхности инструмента снижается, что приводит к уменьшению коэффициента укорочения стружки.

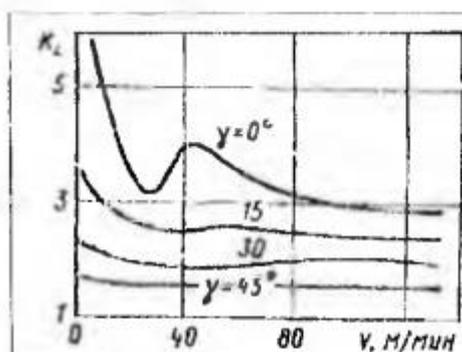


Рис.3. Влияние переднего угла на коэффициент усадки стружки  $K_L$  при различных скоростях резания (сталь 20X;  $\varphi=45^\circ$ ;  $a=0,31\text{мм}$ ;  $b=1,45\text{мм}$ ) [11]

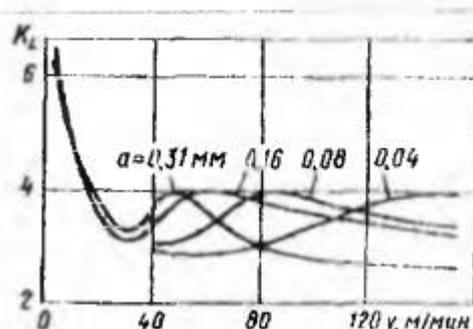
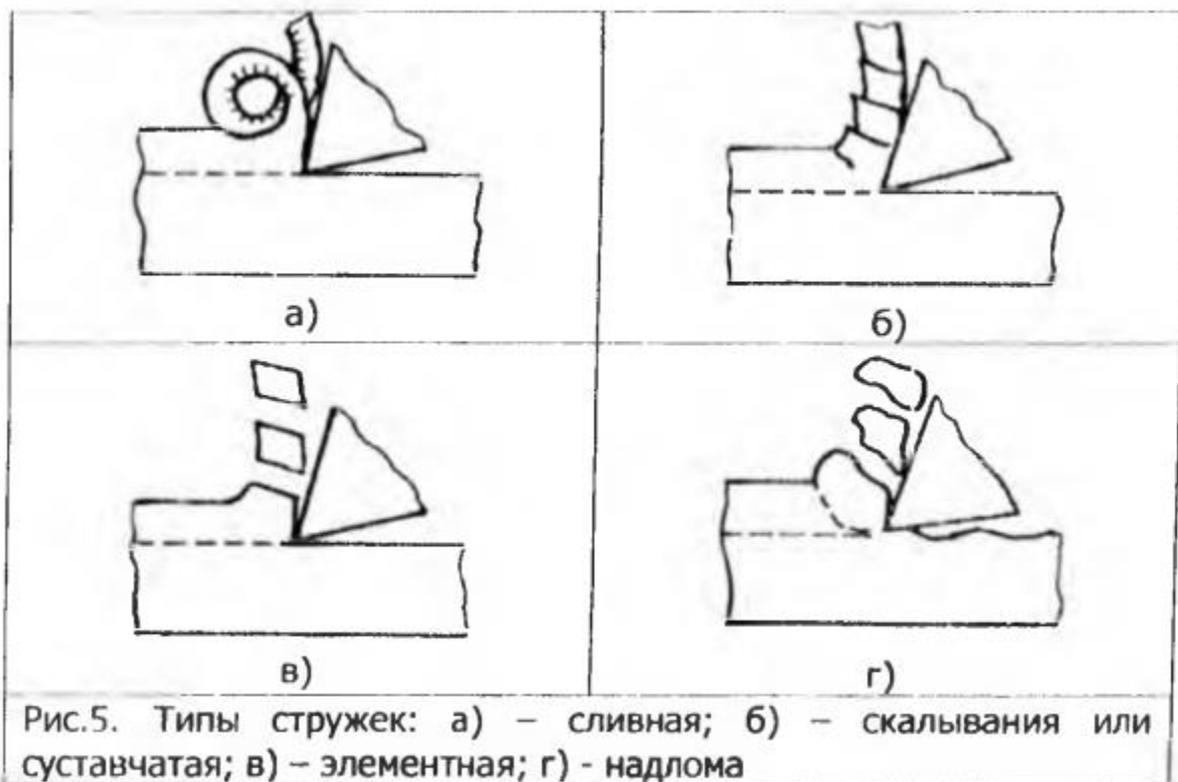


Рис.4. Влияние толщины срезаемого слоя на коэффициент усадки стружки  $K_L$  при различных скоростях резания (сталь 20X;  $\gamma=0^\circ$ ,  $\varphi=45^\circ$ ;  $t=1\text{мм}$ ) [11]

Увеличение толщины срезаемого слоя  $a$  (подачи) ведет к уменьшению усадки стружки. Чем тоньше срезаемый слой, тем больше коэффициент усадки. Кроме того, тонкая стружка в большей степени подвергается дополнительному деформированию при трении о переднюю поверхность

инструмента по сравнению с толстой, что также связано с изменением  $\beta$ . Например, при  $a = 0,13$  мм  $\beta = 26^\circ$ , при  $a = 2,65$  мм  $\beta = 36^\circ$ .

Смазочно - охлаждающие жидкости, снижая коэффициент трения, уменьшают коэффициент усадки стружки.



Эффект от влияния СОЖ увеличивается с уменьшением толщины срезаемого слоя.

Внешним признаком пластической деформации в срезаемом слое может служить и вид образовавшейся стружки, зависящей от тех же факторов, что и усадка. При обработке вязких материалов в зависимости от скорости резания получают стружки: элементные (рис.5в) ( $V = 1...2$  м/мин), суставчатые (рис.5б) ( $V = 10... 12$  м/мин), сливные (рис.5а) ( $V = 20$  м/мин). Если обрабатывать хрупкие материалы (чугун, бронзу), то при больших подачах и с передними углами  $\gamma = 20...30^\circ$  образуется стружка надлома (рис.5г), а при резании с повышенными скоростями и подачами  $0,1...1$  мм/об и передними углами  $5^\circ...15^\circ$  образуется стружка скалывания (рис.5б).

### 3.2. Способы определения коэффициента усадки стружки

3.2.1. Способ измерения длины стружки заключается в измерении ее длины проволокой или полоской миллиметровой бумаги, а затем масштабной линейкой. Если усадка измеряется при точении, то используется специальная заготовка с продольными пазами в которые запрессованы полосы из цветного металла (рис.6).

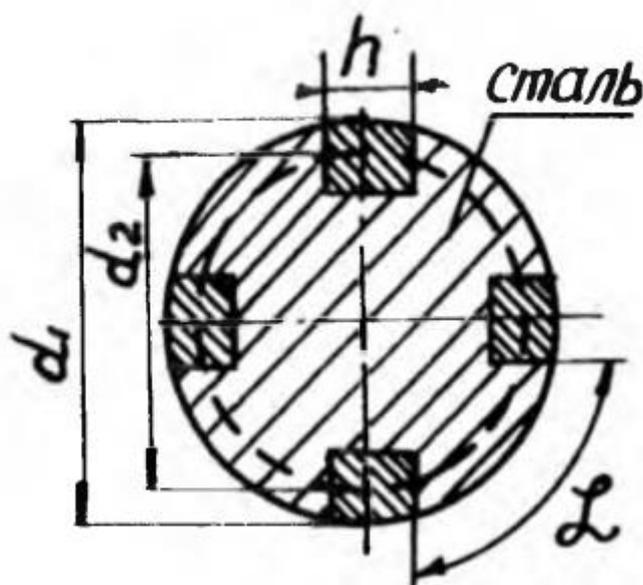


Рис.6. Заготовка для определения усадки стружки при точении

Тогда длина пути, пройденного резцом за один оборот заготовки, равна:  $L = 0,5\pi (d_1 + d_2) - nh$ , тогда  $K_L = L/L_{\text{стр}}$ ; где  $d_1$  - диаметр заготовки, мм;  $d_2$  - диаметр обработанной поверхности, мм;  $n$  - число пазов в заготовке;  $h$  - ширина паза, мм.

3.2.2. Способ измерения площади стружки используют, если невозможно точно измерить длину стружки. В этом случае коэффициент усадки находят, измеряя планиметрированием площадь поперечного сечения стружки. Тогда

$$K_a = \frac{F_{\text{стр}}}{F_{\text{ср.слоя}}} = \frac{a_{\text{стр}} b_{\text{стр}}}{ab} = \frac{a_{\text{стр}} b_{\text{стр}}}{tS},$$

где  $F_{\text{стр}} = a_{\text{стр}} b_{\text{стр}}$  - поперечное сечение стружки, мм<sup>2</sup>;

$F_{\text{ср.слоя}} = a \cdot b = t \cdot S$  - поперечное сечение срезаемого слоя при точении мм<sup>2</sup>;

$a_{\text{стр}}, b_{\text{стр}}$  - толщина и ширина стружки;

$t$  - глубина резания, мм;  $S$  - подача, мм/об.

3.2.3. Весовой способ определения коэффициента усадки применяется для малопластичных и хрупких материалов, когда невозможно измерить длину стружки. От исследуемой стружки отделяется произвольной длины элемент стружки  $L_{\text{стр}}$  и взвешивают.

Тогда

$$K_L = \frac{m}{\rho L_{\text{стр}} ab} = \frac{m}{\rho L_{\text{стр}} tS}.$$

$m$  - масса кусочка стружки, мг;

$L_{\text{стр}}$  - длина стружки, мм;

$\rho$  - плотность материала заготовки (для стали она равна 7,8 мг/мм<sup>3</sup>).

### 3.3. Методика выполнения работы

Экспериментальная часть лабораторной работы выполняется на токарно-винторезном станке. Режущий инструмент - токарные проходные резцы. Для получения различных видов стружки используются стальные и чугунные заготовки. При установлении зависимости коэффициента продольной усадки стружки от различных факторов процесса резания следует применять способ измерения длины стружки.

### 3.4. Порядок выполнения работы

3.4.1. При обработке стали и чугуна получить ряд стружек, определить их вид и зарисовать. Условия проведения опытов даны в табл. 1.

Таблица 1. Условия проведения опытов для получения различного вида стружек

Обрабатываемый материал	Режимы резания			Геометрия инструмента			Вид стружки
	t, мм	S, мм/об	V, м/мин	$\gamma$	$\alpha$	$\varphi$	
Сталь	2	0,2	50	20	8	45	Сливная
Сталь	2	1,5	10	10	8	45	Суставчатая
Чугун	4	0,2	50	5-15	8	45	Скалывания
Чугун	4	1,0	20	20-30	8	45	Надлома

3.4.2. Установить влияние скорости резания на продольную усадку при обработке стали. Глубина резания, подача и передний угол остаются постоянными:  $t = 2$  мм;  $S = 0,2...0,5$  мм/об;  $\gamma = +10^\circ$ . Из диапазона скоростей резания 10...150 м/мин выбрать пять значений и определить для них коэффициенты усадки стружки.

3.4.3. Установить влияние подачи (толщины среза  $a$ ) на коэффициент усадки стружки. Глубина резания, скорость и передний угол остаются постоянными:  $t = 2$  мм;  $V = 30...50$  м/мин;  $\gamma = +10^\circ$ . Из диапазона подач 0,07...0,8 мм/об выбрать пять значений и определить для них коэффициент усадки стружки.

3.4.4. Исследовать зависимость усадки от глубины резания. Подача, скорость и передний угол остаются постоянными:  $S = 0,2...0,5$  мм/об;  $V = 30...50$  м/мин;  $\gamma = 10^\circ$ . Из диапазона глубин резания 0,5...2,5 мм выбрать пять значений и определить для них коэффициент продольной усадки.

3.4.5. Установить влияние переднего угла резца на усадку стружки. Опыт производится при  $t = 2$  мм;  $S = 0,3$  мм/об;  $V = 30...50$  м/мин резцами с различными передними углами:  $\gamma = -20^\circ, -10^\circ, 0^\circ, +10^\circ, +20^\circ$ .

3.4.6. Установить влияние главного угла в плане на усадку стружки  $K_L = f(\varphi)$  при  $\varphi = 30^\circ, 45^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ .

3.4.7. По полученным экспериментальным данным построить зависимости

$$K_L = f(V); K_L = f(S); K_L = f(t); K_L = f(\gamma); K_L = f(\varphi).$$

3.4.8. Сделать выводы о влиянии элементов режима резания и геометрии инструмента на величину коэффициента усадки стружки.

#### 4. Контрольные вопросы

1. Какие виды стружек образуются при резании металлов?
2. Что представляет собой явление усадки стружки, что характеризует?
3. Что такое коэффициент усадки и что он характеризует?
4. Перечислите способы определения коэффициента усадки стружки?
5. Дать анализ теоретической формулы определения коэффициента усадки стружки.
6. Как влияет на коэффициент усадки изменение скорости резания, сечения среза, переднего угла инструмента, применение СОТС, физико-механические свойства обрабатываемого материала?
7. Сущность весового способа определения коэффициента усадки.
8. Коэффициент усадки может быть определен и по величине угла сдвига: обоснуйте!
9. Связь между коэффициентом усадки стружки и относительным сдвигом!
10. Какие факторы влияют на величину усадки стружки?
11. Чем обусловлена необходимость надежного стружкодробления в процессе обработки металлов резанием?
12. Перечислите основные методы стружкодробления в процессе обработки металлов резанием?
13. В чем выражается зависимость типа стружки от глубины резания и подачи?
14. Как влияет на процесс стружкообразования величина главного угла в плане  $\varphi$ ?

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

## ТЕМПЕРАТУРА ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

### 1. Цель работы

Изучение изменения температуры в зависимости от режимов резания при точении.

Оборудование, инструменты и оснастка, используемые при выполнении лабораторной работы: токарно-винторезный станок.

### 2. Содержание работы

2.1. Ознакомление с методикой измерения температуры резания методом естественной термопары.

2.2. Исследование зависимости температуры резания от элементов режима резания.

2.3. Нахождение формулы температуры резания для заданных условий резания графоаналитическим методом.

### 3. Методика и порядок выполнения работы

#### 3.1. Общие положения

Основными источниками выделения теплоты, возникающей при обработке режущим инструментом, являются деформации срезаемого слоя, трение стружки о переднюю поверхность и задних граней о поверхность резания и обработанную поверхность. Эта теплота нагревает инструмент, деталь и стружку; часть его непосредственно излучается в окружающую среду. Тепловыделение является важнейшим физическим фактором, сопровождающим процесс резания и оказывающим влияние на режимы резания. Нагрев инструментального материала выше допустимого предела вызывает снижение его твердости и износостойкости, а в итоге - стойкости инструмента и производительности процесса резания. Нагрев обрабатываемой детали и связанных с ней узлов станке и приспособлений приводит в некоторых случаях к значительным температурным деформациям, снижающим точность обработки.

Высокая температура, развивающаяся на режущей части инструмента, зависит от физико-механических характеристик обрабатываемого материала, геометрии инструмента, элементов режима резания и других факторов. Максимальное значение температуры в зоне резания принято называть температурой резания.

Существует несколько методов определения температуры резания: калориметрический, искусственный, полу искусственный, естественной термопары, оптический, микроструктурного анализа, термокрасок и др.

Наибольшее распространение и всеобщее признание получил для измерения температуры резания металлов метод естественной термопары, где одним термоэлектродом является инструмент, другим обрабатываемая заготовка. На рис.1 представлена схема замера температуры методом естественной термопары "резец - деталь". Обрабатываемая заготовка устанавливается в патрон станка и поджимается центром задней бабки 2, выполненным в виде токосъемника, изолированного от корпуса станка. Конструкция токосъемника может быть различной: ртутная ванна, медно - графитовые щетки и т.д. При резании из-за разности температур горячего и холодного спаев возникает термоэлектродвижущая сила (термо-э.д.с.), пропорциональная этой разности, которая регистрируется милливольтметром 3.

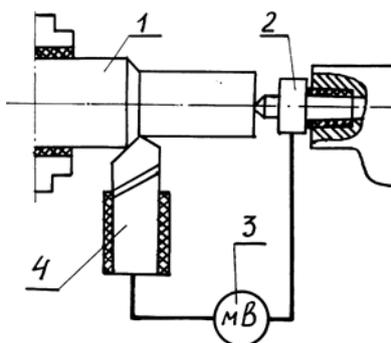


Рис. 1. Схема замера температуры методом естественной термопары 1 - заготовка; 2 – токосъемник; 3 – милливольтметр; 4 – резец.

Для устранения шунтирования термо ЭДС по электрической цепи станка резец 4 и заготовка изолируются. Для перехода от показаний

милливольтметра к температуре термопара "резец - деталь" тарируется с тем милливольтметром, который будет включен в цепь при измерении температуры. Термопара, составленная из материала режущей части инструмента (твердый сплав) и материала заготовки (сталь 45), помещается в ванну с расплавленным металлом (обычно олово или алюминий) вместе с контрольной (эталонной) термопарой (рис. 3). При изменении температуры в печи через определенные интервалы одновременно фиксируют показания эталонной и тарируемой термопар. По данным тарировки затем строится график "°C – mV". При выполнении лабораторной работы можно не проводить тарировку, а пользоваться кривыми рис. 2, или выражением перевода значения милливольтов в градусы т.е.

$$\theta = 2,71E^2 + 31,46E + 96.$$

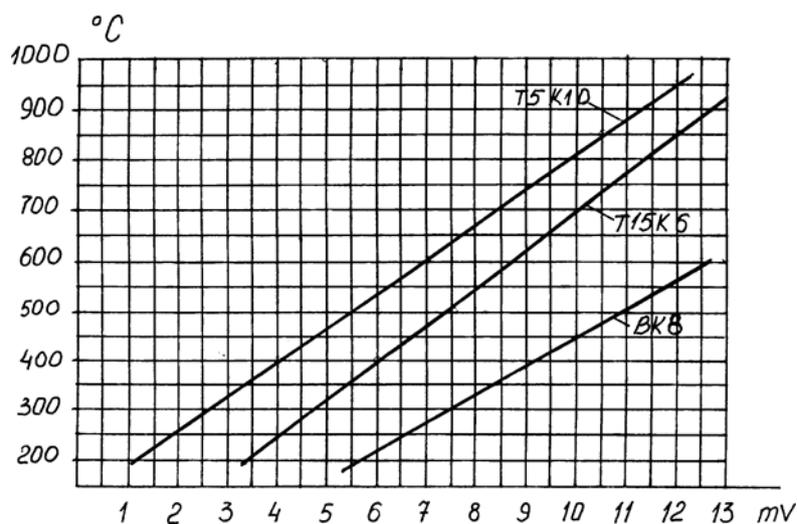


Рис.2. Тарировочные кривые термопар "сталь45 – твердый сплав".

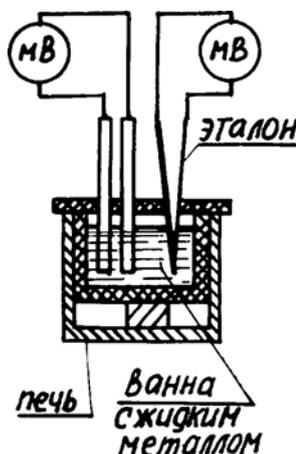


Рис 3. Тарирование естественной термопары

### **3.2. Методика выполнения работы**

Работа выполняется на токарно-винторезном станке 1К62 резцами, оснащенными сменными многогранными пластинками (СМП) из твердого сплава ( $\alpha = 8^\circ$ ,  $\alpha_1 = 13^\circ$ ,  $\gamma = 15^\circ$ ,  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 45^\circ$ ,  $\gamma_\phi = 3...5^\circ$ ,  $f = 0,2...0,5$  мм).

При проведении опытов устанавливается зависимость температуры резания от скорости при постоянных глубине и подаче, строится зависимость  $\theta^\circ = f(V)$ ; при постоянных скорости резания и глубине зависимость  $\theta^\circ = f(S)$ ; при постоянных скорости резания и подаче  $\theta^\circ = f(t)$ .

Для получения частных зависимостей снимаются показания с милливольтметра в «mV», и по тарировочному графику (рис. 2) определяется температура, соответствующая каждому опыту. Количество опытных точек в каждой серии должно быть не менее трех. Данные по измерению температуры заносятся в протокол.

### **3.3. Обработка опытных данных**

Частные зависимости  $\theta_1^\circ = C_1 * V^x$ ,  $\theta_2^\circ = C_2 * S^y$  и  $\theta_3^\circ = C_3 * t^z$  выраженные степенными функциями, в декартовых координатах представляют собой кривые, неудобные для исследования закономерностей при резании. Если эти зависимости построить в двойной логарифмической сетке координат, то они изобразятся прямыми линиями, наклоненными под разными углами к оси абсцисс. В самом деле, прологарифмировав одну из этих зависимостей, получим

$$\lg \theta_1 = \lg C_1 + x \cdot \lg V \text{ или } \theta_1' + C_1' + x \cdot V'$$

Последнее равенство есть уравнение прямой линии в логарифмических координатах " $\lg \theta - \lg V$ ", причем тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс равен показателю степени "x", т.е.  $\operatorname{tg} \alpha = x$  (рис. 4). Наносим данные эксперимента на логарифмическую сетку (в протоколе) и строим три прямые

линии - графическое изображение частных зависимостей температуры от скорости, подачи и глубины резания. Определяем углы наклона прямых и получаем показатели степеней  $x = \operatorname{tg} \alpha$ ,  $y = \operatorname{tg} \beta$  и  $z = \operatorname{tg} \gamma$  соответствующих членов степенных зависимостей.

Общее уравнение зависимости температуры резания от исследуемых факторов имеет вид:

$$\theta^{\circ} = C_{\theta} \cdot V^x \cdot S^y \cdot t^z.$$

В этом уравнении  $x$ ,  $y$  и  $z$  найдены в частных зависимостях. Определим коэффициент  $C_{\theta}$ .

$$C_{\theta 1} = \frac{\theta_1}{V_1^x \cdot S_1^y \cdot t_1^z} \quad \text{— данные берем из 1 серии опытов.}$$

$$C_{\theta 2} = \frac{\theta_2}{V_2^x \cdot S_2^y \cdot t_2^z} \quad \text{— данные берем из 2 серии опытов.}$$

$$C_{\theta 3} = \frac{\theta_3}{V_3^x \cdot S_3^y \cdot t_3^z} \quad \text{— данные берем из 3 серии опытов.}$$

Находим среднее значение  $C_{\theta} = \frac{C_{\theta 1} + C_{\theta 2} + C_{\theta 3}}{3}.$

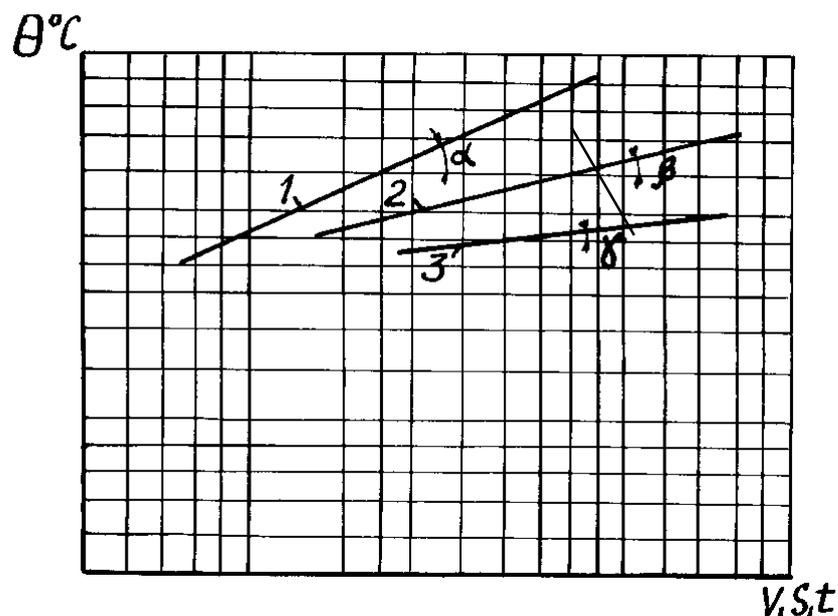


Рис. 4. Зависимость температуры резания от параметров режима резания:

кривая 1 - от скорости  $\theta=f(V)$ , 2 - от подачи  $\theta=f(S)$ , 3 - от глубины резания  $\theta=f(t)$ .

Определяем в окончательном виде зависимость  $\theta^0$  от скорости, подачи и глубины резания.  $\theta^0 = C_\theta \cdot V^x \cdot S^y \cdot t^z$ .

Построение графиков зависимостей можно проводить по выражениям:

$$\theta[\text{мм}] = 85 \lg \frac{\theta}{100};$$

$$V[\text{мм}] = 85 \lg \frac{V}{10};$$

$$S[\text{мм}] = 85 \lg 10S;$$

$$t[\text{мм}] = 85 \lg 10t.$$

#### 3.4. Порядок выполнения работы

3.4.1. Подготовить станок, инструменты и приборы для работы.

3.4.2. Собрать электрическую схему измерения температуры согласно рис. 1.

3.4.3. Провести 1 серию опытов по установлению зависимости температуры от скорости резания при  $t = \text{const}$  и  $S = \text{const}$ . Скорость резания изменяется в пределах 20-200 м/мин.

3.4.4. При  $V = \text{const}$  провести 2 серию опытов и установить зависимость температуры от подачи. Подача изменяется в пределах 0,1...1 мм/об.

3.4.5. Провести 3 серию опытов при  $V = \text{const}$  и  $S = \text{const}$  и установить зависимость температуры от глубины резания. Диапазон изменения глубины резания 0,3... 3,0 мм.

3.4.6. Данные по измерению температуры в каждой из трех серий заносятся в протокол, и строятся частные зависимости:

$$\theta^0_1 = C_1 * V^x, \theta^0_2 = C_2 * S^y, \theta^0_3 = C_3 * t^z.$$

3.4.7. Произвести обработку опытных данных и определить общую зависимость температуры от скорости резания.

3.4.8. Сделать выводы о степени влияния каждого параметра режима резания, а также целесообразности, в связи с этим увеличивать сечение среза при назначении режима резания.

#### 4. Контрольные вопросы

1. Цель и содержание работы.
2. Перечислите источники образования теплоты при резании.
3. Какое влияние оказывает теплообразование на процесс резания?
4. Что называют температурой резания?
5. Дайте определение элементам режима резания.
6. Перечислить методы измерения температуры резания.
7. Объяснить работу установки для измерения температуры резания по методу естественной термопары.
8. Привести зависимость влияния  $V$ ,  $S$ ,  $t$  на температуру резания и сделать практические выводы.
9. Как влияет на температуру резания скорость резания; чем можно объяснить такой характер влияния?
10. Как влияют на температуру резания подача и глубина резания; чем можно объяснить такой характер их влияния?
11. Как установить формулу связи  $Q = f(V, S, t)$  по имеющимся опытным данным.
12. Как определяется коэффициент  $C_0$  и что он характеризует?
13. В чем сущность тарировки термопары?
14. Объяснить методику выполнения работы.
15. Как определить окружную скорость вращения заготовки ( $V$ )?
16. Что понимают под условиями обработки?
17. Как определяется глубина резания  $t$  при точении?
18. Как определить частоту вращения  $n$  заготовки?
19. Элементы сечения срезаемого слоя при точении.
20. Какова зависимость между глубиной резания и шириной среза, подачей и толщиной среза?

21. Как определить расчетную площадь среза при точении?
22. Каков тепловой баланс при резании металлов?
23. Характеристика методов искусственной и полусинтетической термометрии, их достоинства и недостатки.
24. Факторы, влияющие на величину температуры резания при точении.
25. Как влияют на температуру резания геометрические параметры резца, свойства обрабатываемого материала, смазывающе-охлаждающие жидкости?