

**Д.Л. СКУРАТОВ
В.Н. ТРУСОВ
Ю.П. БУРОЧКИН**

РЕЗАНИЕ И РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ

Часть 1

Лабораторный практикум

**Самара
Самарский государственный технический университет
2012**



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра инструментальных систем и сервиса автомобилей

Д.Л. СКУРАТОВ
В.Н. ТРУСОВ
Ю.П. БУРОЧКИН

РЕЗАНИЕ И РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ

Часть 1

Лабораторный практикум

Самара
Самарский государственный технический университет
2012

Печатается по решению редакционно-издательского совета СамГТУ

УДК 621.9.01 (075.8)

С 46

Скуратов Д.Л.

С 46 Резание и режущий инструмент. Ч. 1: лаб. практикум / *Д.Л. Скуратов, В.Н. Трусов, Ю.П. Бурочкин.* – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. – 121 с.: ил.

ISBN

Лабораторный практикум содержит методические указания по выполнению лабораторных работ, направленных на изучение геометрии и конструкции режущих инструментов общего назначения и физических основ процесса резания материалов, а именно: механизма стружкообразования и деформации срезаемого слоя, сил резания и тепловых явлений при точении.

Для студентов дневного и заочного отделений, обучающихся по машиностроительным специальностям в высших и средних учебных заведениях.

Рецензенты: д-р техн. наук А.Ф. Денисенко,
д-р техн. наук Ф.И. Демин

621.9.01 (075.8)

С 46

ISBN

© Д.Л. Скуратов, В.Н. Трусов,
Ю.П. Бурочкин, 2012

© ФГБОУ ВПО «Самарский
государственный технический
университет», 2012

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемый лабораторный практикум «Резание и режущий инструмент» является учебно-практическим изданием, предназначенным для изучения студентами, обучающимися по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» с получением квалификации – инженер или бакалавр, таких основополагающих дисциплин как «Резание материалов», «Режущий инструмент», «Процессы и операции формообразования» и «Проектирование инструментальной техники».

Целью лабораторного практикума, разработанного на кафедре инструментальных систем и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет», является закрепление теоретических знаний, полученных при изучении ранее указанных дисциплин, приобретение практических навыков в проведении экспериментальных исследований функциональных параметров и процессов, сопровождающих механическую обработку материалов, а также получение навыков измерения геометрических параметров режущих инструментов, которые необходимы в научно-исследовательской и производственной деятельности.

Содержание лабораторного практикума отражает содержание некоторых разделов рабочих программ для указанных дисциплин. Лабораторный практикум состоит из шести разделов. В первом разделе излагается теоретический материал по теме лабораторных работ [18], достаточный для подготовки к их выполнению и отчета по ним. В последующих разделах для каждой из работ приводятся её цель и задачи, последовательность выполнения, перечень оборудования, инструментов и средств измерений, используемых в лабораторной работе, методы и методики исследований и содержание отчета. В приложениях представлены бланки отчетов.

До работы на лабораторном оборудовании студент обязан изучить правила охраны труда и пройти инструктаж по технике безопасности с последующим его оформлением в соответствующем журнале.

Выполнение любой лабораторной работы производится после изучения методических указаний в соответствии с последовательностью, изложенной в них. Трудоемкость каждой из лабораторных работ, представленных в практикуме, составляет четыре часа.

Следует отметить, что данное учебно-практическое издание основывается на знаниях, полученных студентами при изучении общих математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин.

Авторы надеются, что представленный лабораторный практикум, отличающийся доступностью и последовательностью изложения материала, послужит неотъемлемой составной частью учебно-методических комплексов для дисциплин, указанных ранее. Он в определенной мере восполнит дефицит учебной литературы, освещающей вопросы, касающиеся резания и режущих инструментов.

1. ОБЩАЯ ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ К ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ

До настоящего времени одним из основных способов физического воздействия на заготовки при изготовлении различных деталей является механическая обработка резанием, которая производится лезвийными и абразивными режущими инструментами на металлорежущих станках. Незапланированные остановки автоматизированного и автоматического оборудования, обусловленные несвоевременным выходом из строя режущего инструмента и другими причинами, связанными с процессами обработки резанием, составляют до 50 % всех отказов данного оборудования. Поэтому знание теории процесса резания материалов и её практическое закрепление в реальных условиях производства, а также знание конструкции и геометрии инструментов и их влияния на протекание процесса резания позволит будущим машиностроителям проектировать высокопроизводительные и надежные технологические процессы.

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ ТОЧЕНИЯ, КОНСТРУКЦИИ И ГЕОМЕТРИИ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ

1.1.1. НАЗНАЧЕНИЕ РЕЗЦОВ. КИНЕМАТИКА ПРОЦЕССА ТОЧЕНИЯ

Резцы являются одним из самых распространенных лезвийных режущих инструментов. Они применяются при работе на токарных, расточных, строгальных, долбежных и других станках при обработке наружных и внутренних поверхностей самых разнообразных форм [7].

На заготовке, подвергаемой обработке, различают: обрабатываемую поверхность, обработанную поверхность и поверхность резания.

Обрабатываемая поверхность – это поверхность, с которой снимается припуск в процессе резания. *Обработанная поверхность* – это поверхность, образующаяся после снятия стружки. *Поверхность резания* – это поверхность, которая образуется режущим лезвием ин-

струмента и является переходной между обрабатываемой и обработанной поверхностями.

На рис. 1.1 показаны основные поверхности заготовки и основные движения, необходимые для осуществления процесса резания при точении.

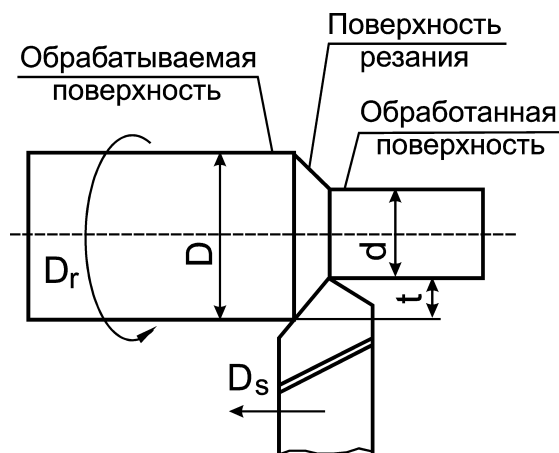


Рис. 1.1. Основные поверхности заготовки и основные движения, необходимые для осуществления процесса резания при точении

Для осуществления процесса резания необходимо иметь как минимум два движения, а именно: главное движение резания и движение подачи. *Главное движение резания (D_r)* – это прямолинейное поступательное или вращательное движение заготовки или режущего инструмента, происходящее с наибольшей скоростью. *Движение подачи (D_s)* – прямолинейное поступательное

или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания и которое предназначено для того, чтобы распространить отделение слоя материала на всю обрабатываемую поверхность.

При обработке на токарных станках главное движение резания (вращение) совершает заготовка, а инструмент производит движение подачи (см. рис. 1.1). В случае работы на расточных, сверлильных и фрезерных станках, наоборот, главное движение совершают режущие инструменты, а движение подачи может осуществлять как заготовка, так и инструмент.

Скорость главного движения резания при точении задается в м/мин и подсчитывается по формуле $v = \frac{\pi D n}{1000}$, где D – диаметр обрабатываемой заготовки, мм; n – частота вращения заготовки, об/мин.

Скорость движения подачи v_s или просто подача S может задаваться в мм/мин или мм/об. При токарной обработке различают два

вида подачи: S_m – минутную подачу (мм/мин), которая показывает, на какое расстояние переместится инструмент за 1 минуту; S_o – подачу на один оборот заготовки (мм/об), которая показывает, на какое расстояние переместится инструмент за 1 полный оборот заготовки,

$$S_o = S_m / n.$$

При точении задаются v , S_o (S_m), t , которые называются элементами режима резания. Глубина резания t (мм) – это расстояние от обрабатываемой поверхности заготовки до обработанной, измеренное по нормали к последней:

$$t = \frac{D - d}{2}.$$

1.1.2. КОНСТРУКЦИЯ И ГЕОМЕТРИЯ ТОКАРНОГО РЕЗЦА

Резец является наиболее простым режущим инструментом, но в то же время содержащим все основные конструктивные и геометрические элементы, присущие режущей части.

Резец состоит из зуба (режущей части), который у резцов называется головкой и державки (рис. 1.2).

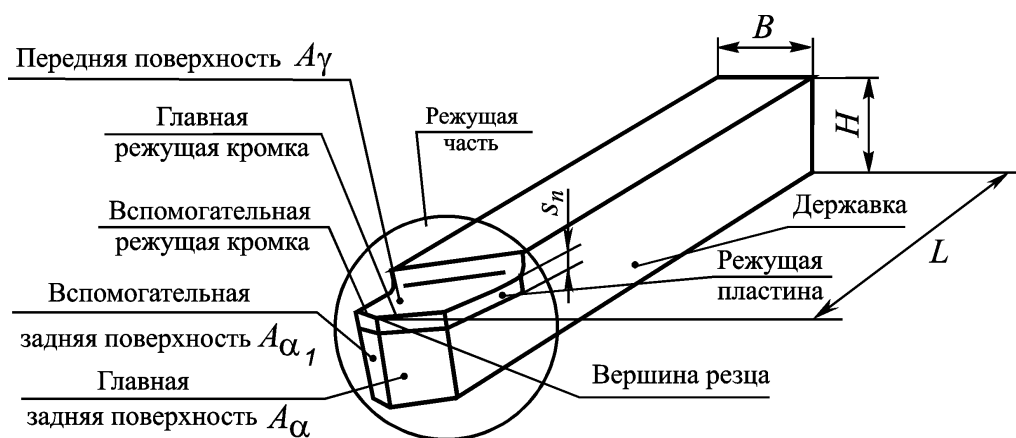


Рис. 1.2. Конструктивные элементы резца

Головка резца содержит переднюю (A_γ), главную (A_α) и вспомогательную (A_{α_1}) задние поверхности.

Передняя поверхность A_γ – это поверхность лезвия инструмента,

по которой в процессе резания сходит стружка. Главная задняя поверхность инструмента A_α – это поверхность лезвия, обращенная в процессе обработки к поверхности резания заготовки. Вспомогательная задняя поверхность – это поверхность лезвия инструмента, обращенная к обработанной поверхности заготовки. Так как эти поверхности не параллельны между собой, то при пересечении они образуют элементы лезвия резца (см. рис. 1.2).

Державка служит для закрепления резца в резцедержателе станка и характеризуется высотой H и шириной B . Изготавливаются державки из конструкционных углеродистых сталей 40, 45, 40Х.

Передняя и главная задняя поверхности, а также передняя и вспомогательная задняя поверхности резца образуют режущие лезвия, которую имеют форму клина. Принципиально форму клина имеет и зуб любого многолезвийного инструмента. Поэтому изучение геометрических параметров режущей части резца облегчит в дальнейшем усвоение материала по геометрии рабочей части многозубых режущих инструментов (сверл, зенкеров, разверток, фрез, протяжек, метчиков и др.).

Геометрия режущей части инструмента рассматривается в прямоугольной системе координат состоящей из трех плоскостей, которые ориентированы либо относительно конструкторских установочных баз режущего инструмента, либо относительно вектора скорости главного движения резания, либо относительно вектора скорости результирующего движения резания. В зависимости от ориентации данных плоскостей различают три системы координат.

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

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

Кинематическая система координат – прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости результирующего движения резания. Результирующее движение резания – это движение, получающееся в результате сложения главного движения резания и движения подачи.

Для ориентации инструмента в пространстве и определения его геометрии установлено понятие координатных плоскостей. Такими плоскостями являются основная плоскость и плоскость резания.

Основная плоскость P_v – это координатная плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению скорости главного или результирующего движения резания (рис. 1.3).

Плоскость резания P_n – это координатная плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная основной плоскости.

Геометрию резца рекомендуется рассматривать в главной и вспомогательной секущих плоскостях, а также в основной плоскости и плоскости резания.

Главная секущая плоскость P_τ – это координатная плоскость перпендикулярная линии пересечения основной плоскости и плоскости резания (см. рис. 1.3).

Вспомогательная секущая плоскость P'_τ – это плоскость перпендикулярная проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость.

В главной секущей плоскости рассматриваются (рис. 1.4):

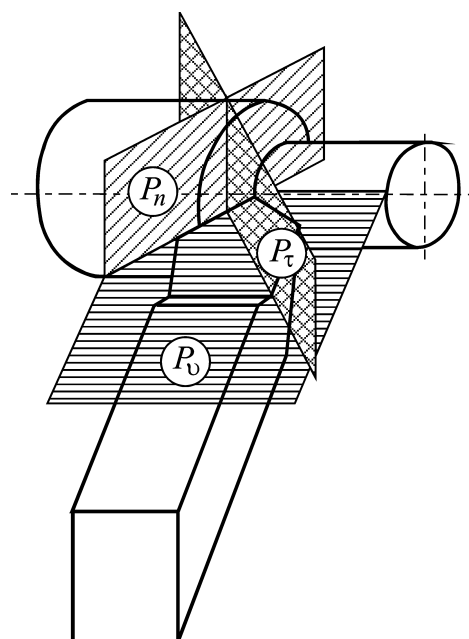


Рис. 1.3. Положения координатных плоскостей

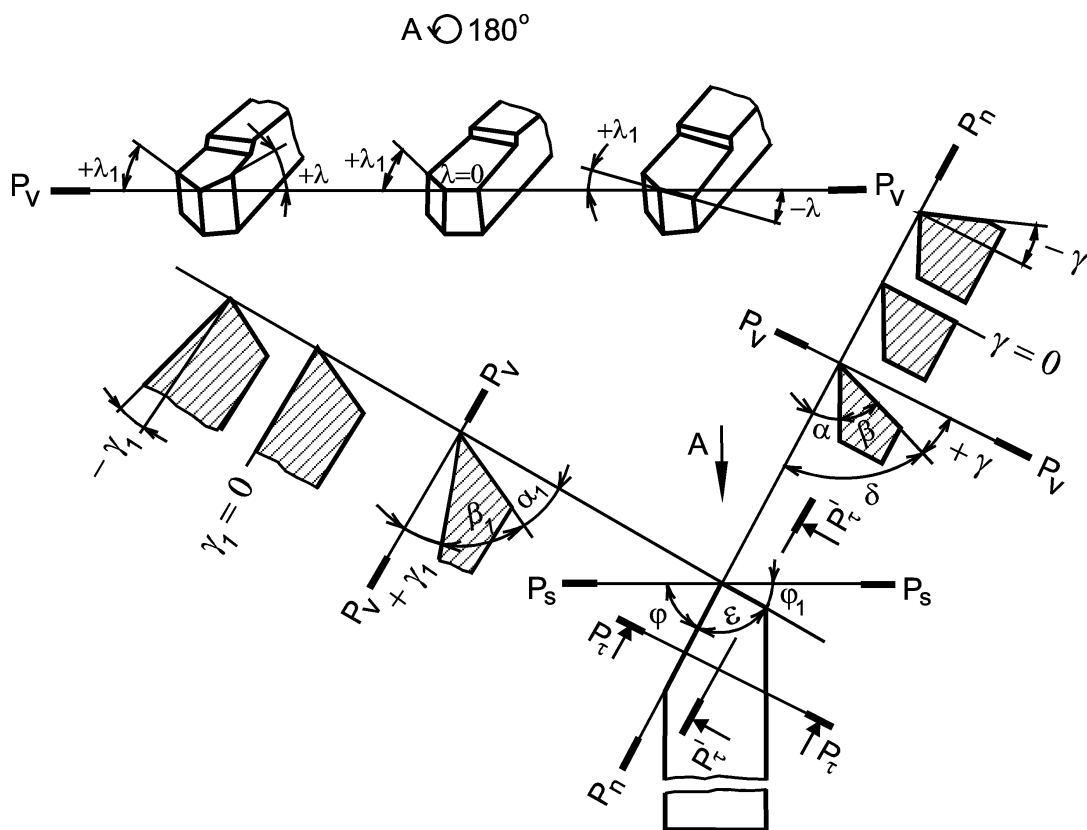


Рис. 1.4. Геометрические параметры проходного токарного резца в инструментальной системе координат¹

- *главный передний угол γ* – это угол между передней поверхностью лезвия инструмента и основной плоскостью, проведенной через рассматриваемую точку главной режущей кромки;
- *главный задний угол α* – это угол между главной задней поверхностью лезвия инструмента и плоскостью резания;
- *угол заострения β* – это угол между передней и главной задней поверхностями;
- *угол резания δ* – это угол между передней поверхностью лезвия инструмента и плоскостью резания; $\delta + \gamma = 90^\circ$, т.е. если $\delta < 90^\circ$, $\gamma > 0^\circ$, если $\delta > 90^\circ$, то $\gamma < 0^\circ$.

В вспомогательной секущей плоскости рассматриваются:

- *вспомогательный передний угол γ_1* – это угол между передней поверхностью лезвия инструмента и основной плоскостью, прове-

¹ У токарных резцов в инструментальной системе координат направление скорости главного движения резания принимается перпендикулярно конструкторской установочной базе резца.

денной через рассматриваемую точку вспомогательной режущей кромки;

- *вспомогательный задний угол α_1* – это угол между вспомогательной задней поверхностью лезвия инструмента и плоскостью, проходящей через вспомогательную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости.

Геометрия резца, кроме того, определяется главным и вспомогательным углами в плане, углом при вершине резца, а также углами наклона главной и вспомогательной режущих кромок (см. рис. 1.4).

В основной плоскости измеряются: главный и вспомогательный углы в плане и угол при вершине резца.

Главный угол в плане φ – это угол между плоскостью резания и рабочей плоскостью. *Рабочая плоскость P_s* – плоскость, в которой расположены векторы скоростей главного движения резания и движения подачи. *Вспомогательный угол в плане φ_1* – это угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и рабочей плоскостью. *Угол при вершине резца ε* – это угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость; $\varepsilon = 180^\circ - (\varphi + \varphi_1)$.

В плоскости резания определяется угол наклона главной режущей кромки.

Угол наклона главной режущей кромки λ – это угол между основной плоскостью, проведенной через вершину резца, и главной режущей кромкой инструмента.

Угол наклона вспомогательной режущей кромки λ_1 – это угол между основной плоскостью, проведенной через вершину резца, и вспомогательной режущей кромкой. Углы λ и λ_1 принято считать положительными, если вершина резца является наинизшей точкой соответствующей режущей кромки. В противном случае – отрицательными.

Следует иметь в виду, что все определения углов даны для случая, когда поверхности режущего лезвия являются плоскими.

1.1.3. ТИПЫ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ

Токарные резцы нашли особенно широкое применение в современном производстве и отличаются большим разнообразием конструкций и геометрии.

Токарные резцы общего назначения предназначены для обработки цилиндрических, конических, торцовых поверхностей, а также для прорезки канавок и отрезки заготовок. Для получения поверхностей сложного профиля и некоторых других работ часто используют специальные резцы, например, резьбовые, галтельные, разнообразные фасонные и т.д.

Токарные резцы делят по назначению, направлению движения, форме режущей части и конструкции [13].

По назначению резцы делят на (рис. 1.5): проходные 6, 8 и проходные упорные 4, подрезные 1, отрезные и прорезные 5, расточные 9, 10, фасонные 2, резьбовые 7, резцы для чистовой обработки 3 и др. То есть резцы, предназначенные для обработки наружных, внутренних и торцовых поверхностей, а также резцы для отрезки.

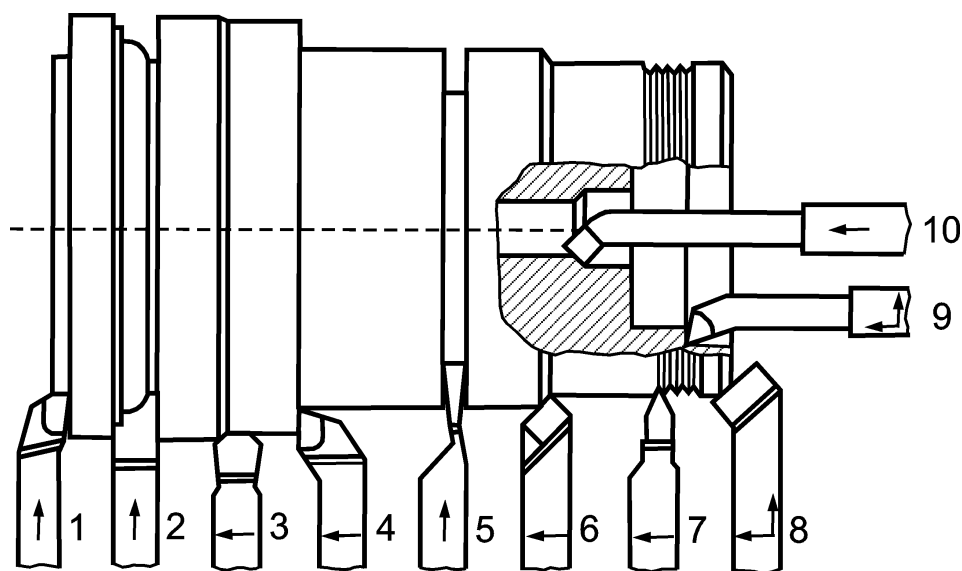


Рис. 1.5. Основные типы токарных резцов

По направлению движения резцы делят на правые и левые. Большой палец правой руки, наложенной на правый резец, указывает на главную режущую кромку и направление движения подачи.

По конструкции резцы подразделяются на цельные и сборные. Цельные резцы изготавливают из инструментальных сталей целиком, сборные резцы - оснащают специальными режущими пластинами, что гораздо экономичнее и выгоднее. Сборные резцы различаются между собой по способу крепления режущих пластин. Крепление пластин к державке может осуществляться сваркой, пайкой, приклеиванием и механическим креплением.

Резцы с напаянными или приваренными пластинами просты в изготовлении. Однако державка резца после износа режущей пластины подлежит утилизации. Кроме того, при сварке и пайке пластин могут возникать микротрещины, что приводит к разрушению режущих пластин в процессе резания.

Механический способ крепления пластин получил наиболее широкое распространение у резцов с многогранными неперетачиваемыми пластинами (рис. 1.6). У таких резцов державка может использоваться многократно, что, безусловно, снижает их себестоимость.

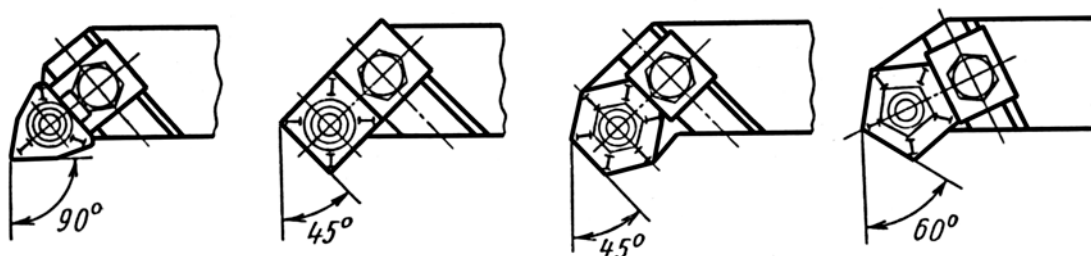


Рис. 1.6. Типы резцов с многогранными неперетачиваемыми пластинами

При обработке наружных поверхностей методом продольной подачи в зависимости от вида и размеров формируемых поверхностей применяются проходные с $\varphi < 90^\circ$ (рис. 1.7, а, б), упорные с $\varphi = 90^\circ$ (рис. 1.7, в, г) и подрезные с $\varphi > 90^\circ$ (рис. 1.7, д) резцы. Эти резцы могут быть с прямыми (рис. 1.7, а, в) или отогнутыми головками (рис. 1.7, б, г, д).

Торцовые поверхности деталей могут обрабатываться торцовыми проходными резцами с $\varphi < 90^\circ$ (рис. 1.8, а), торцовыми упорными с

$\varphi = 90^\circ$ (рис. 1.8, б) и торцовыми подрезными с $\varphi > 90^\circ$ (рис. 1.8, в). «Открытые» торцовые поверхности могут обрабатываться резцами, предназначенными для обработки наружных поверхностей, например, проходными отогнутыми (рис. 1.8, з).

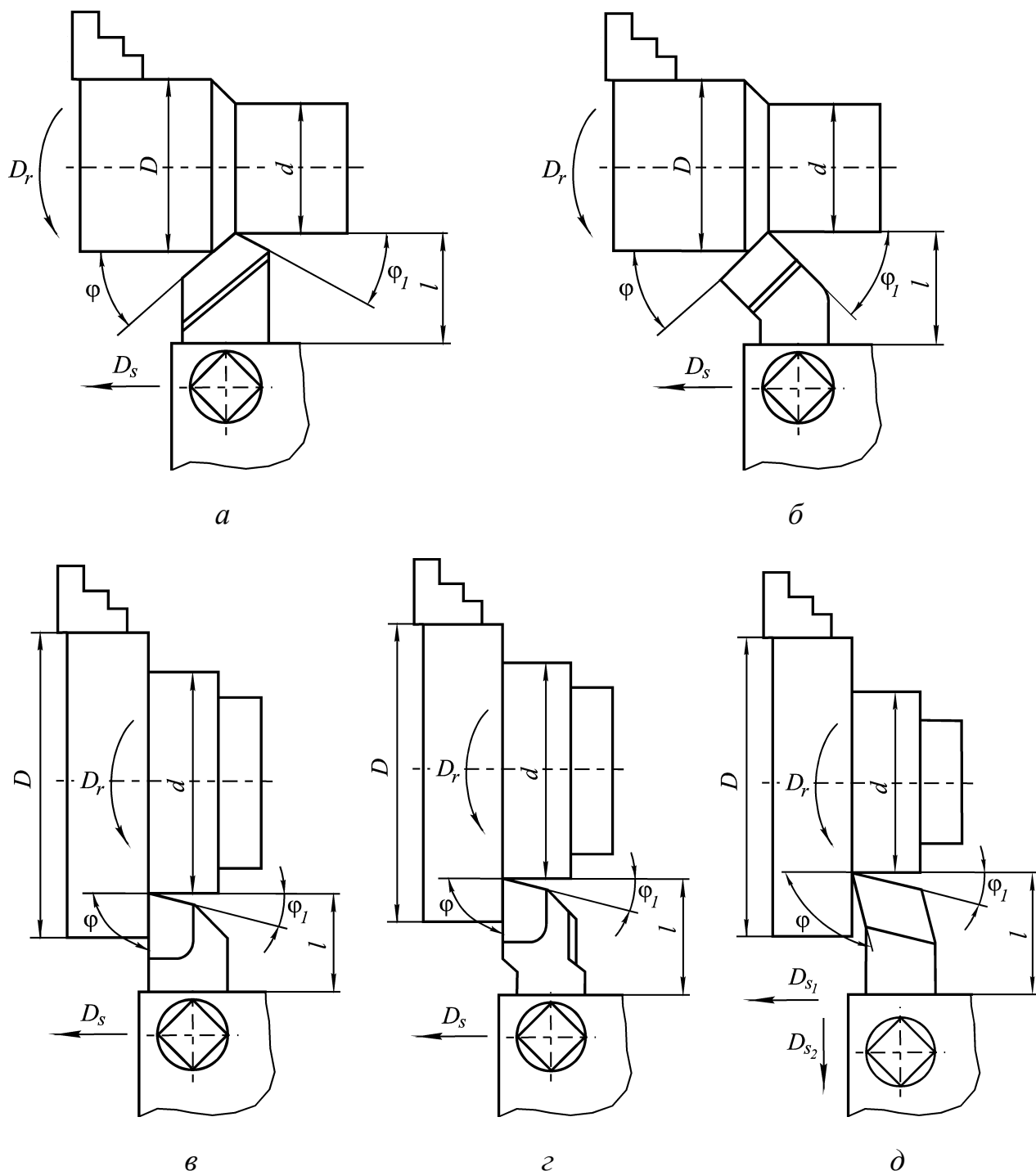


Рис. 1.7. Резцы для обточки [11]:

а – прямой проходной; б – проходной с отогнутой головкой; в – проходной упорный; з – проходной упорный с отогнутой головкой; д – подрезной в качестве проходного

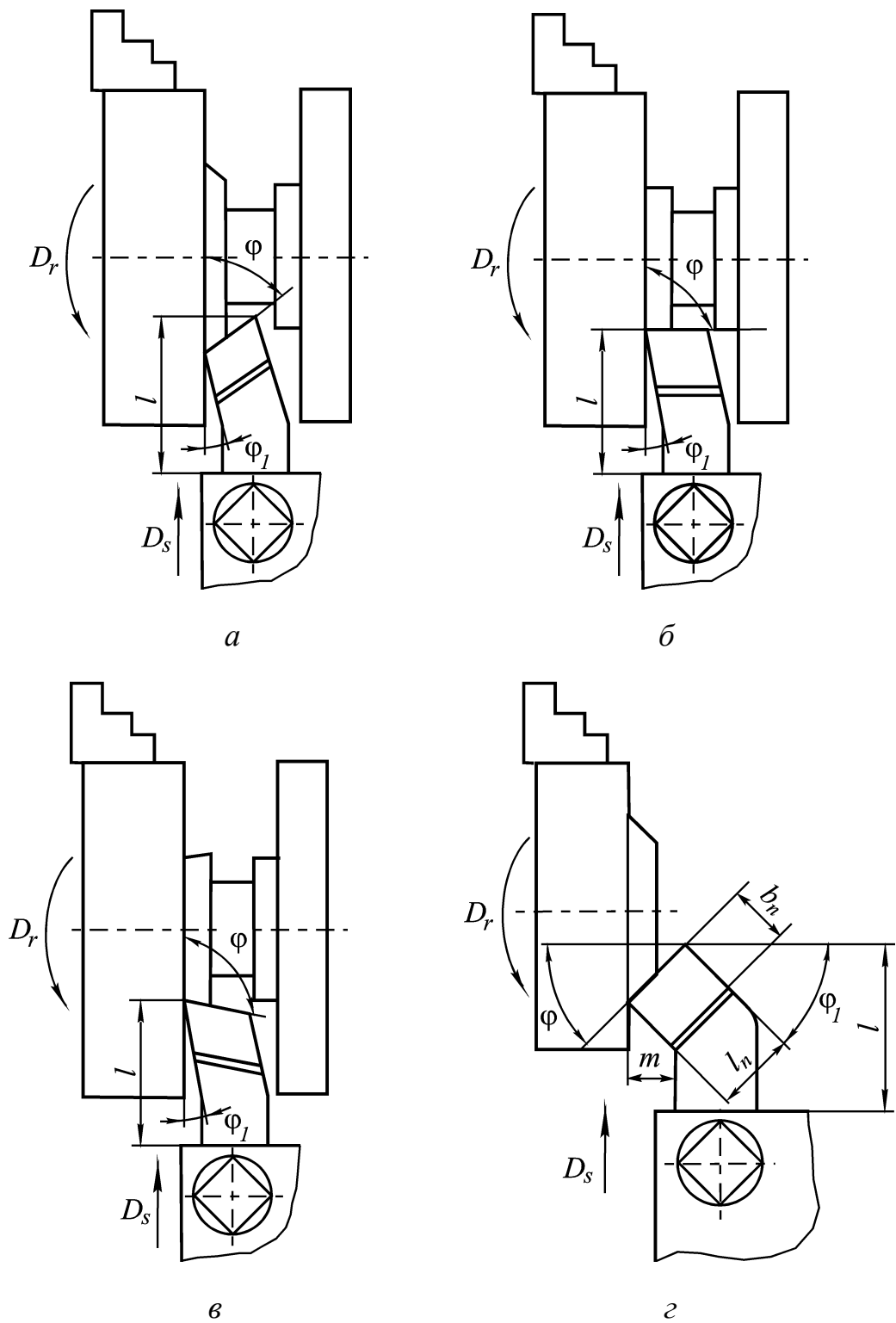


Рис. 1.8. Резцы для обработки торцовых поверхностей [11]:
a – торцовый проходной; *б* – торцовый упорный; *в* – торцовый подрезной;
г – проходной отогнутый правый в качестве торцового проходного

Резцы для обработки отверстий делятся на расточные проходные (рис. 1.9, *а*), расточные упорные (рис. 1.9, *б*) и расточные подрезные (рис. 1.9, *в*). Назначение этих резцов то же, что и соответствующих резцов для обработки наружных поверхностей. В связи с тем, что эти резцы имеют значительно больший вылет из резцедержателя l и меньшее поперечное сечение, характеризуемое диаметром d_p оттянутой части, по сравнению с резцами для обработки наружных поверхностей, то, следовательно, расточные резцы имеют более низкую

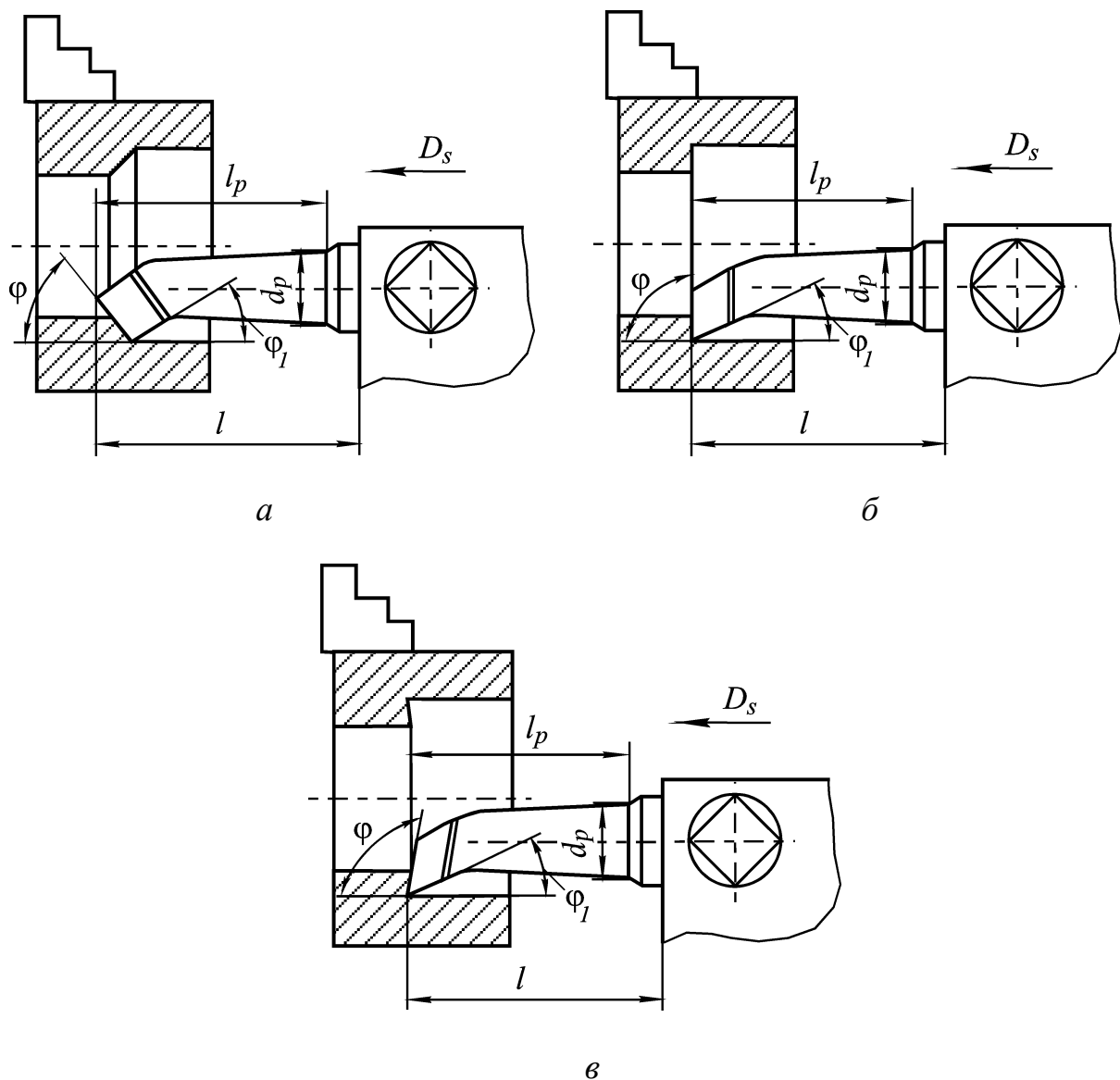


Рис. 1.9. Резцы для обработки отверстий [11]:

а – расточной проходной ($\varphi < 90^\circ$); *б* – расточной упорный ($\varphi = 90^\circ$);

в – расточной подрезной ($\varphi > 90^\circ$)

жесткость. Поэтому при выборе расточных резцов следует всегда ориентироваться на резцы с возможно меньшей длиной l_p и большим диаметром d_p .

Для отрезки заготовок используют отрезные резцы. Один из них приведен на рис.1.10.

Отрезка заготовок может осуществляться двумя способами: с использованием только поперечной подачи (без разгонки резцом) и с использованием поперечной и продольной подач (с разгонкой резцом, см. рис. 1.10).

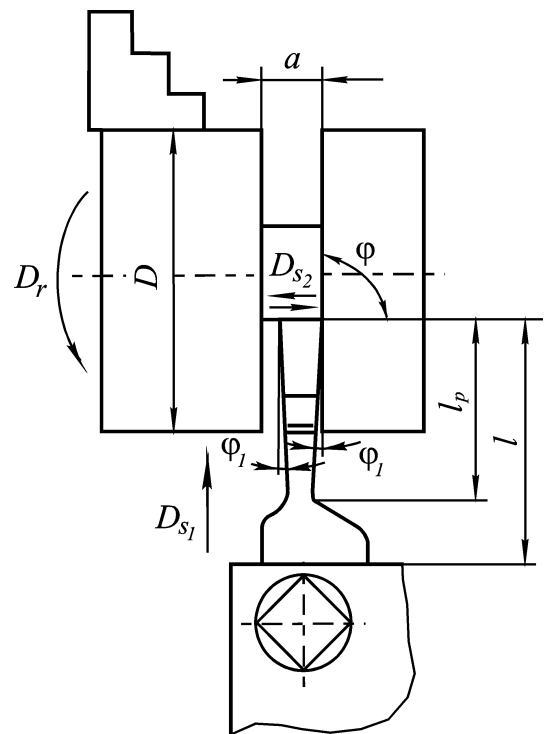


Рис. 1.10 – Отрезной резец

Главная режущая кромка у отрезного резца устанавливается строго по высоте центров станка, а державка резца перпендикулярно оси заготовки. При этом длина головки отрезного резца l_p равна 0,5 диаметра D отрезаемой заготовки плюс 3...4 мм.

1.2. СТРУЖКООБРАЗОВАНИЕ ПРИ РЕЗАНИИ МАТЕРИАЛОВ

При обтекании режущего лезвия инструмента материалом заготовки часть деформированного материала перемещается по его передней поверхности, превращаясь в стружку, а другая часть, находящаяся ниже линии среза и соприкасающаяся с задней поверхностью лезвия инструмента, образует поверхностный слой детали.

Полученная при пластическом деформировании стружка является источником информации о многих явлениях, сопровождающих этот процесс. Вид и текстура стружки раскрывают механизм её образования, а степень деформации стружки в значительной мере определяет тепловой режим и контактные нагрузки на рабочих поверхностях инструмен-

та, а также характер и интенсивность его износа. Процесс стружкообразования оказывает влияние на качество обработки.

Таким образом, стружкообразование и формирование поверхностного слоя детали являются единым процессом деформирования и разрушения материала при резании.

1.2.1. ВИДЫ СТРУЖКИ И УСЛОВИЯ ЕЁ ОБРАЗОВАНИЯ

В зависимости от условий резания заготовок образуются различные виды стружек. Под условиями резания материалов следует понимать: режим резания, схему резания, геометрию режущего инструмента, свойства инструментального и обрабатываемого материалов, смазывающе-охлаждающее технологическое средство (СОТС) и т.д.

Впервые классификацию стружек дал в 1870 г. русский ученый И.А. Тиме в своей монографии «Сопrotивление материалов и дерева резанию». Все возникающие при резании стружки можно разделить на четыре вида: сливную, скалывания, или суставчатую, элементную и надлома [19, 21].

Сливная стружка. Сливная стружка имеет вид непрерывной ленты, у которой на верхней и боковых сторонах четко выражены следы пластической деформации в виде мелких заостренных выступов (рис. 1.11, а). Обработанная поверхность заготовки при образовании стружки данного вида имеет гладкий и блестящий вид. Сливная стружка образуется при резании вязких и пластичных материалов с большими скоростями резания, средними и малыми подачами, т.е. при небольших и средних толщинах среза, при больших положительных передних углах инструмента.

Стружка скалывания, или суставчатая. Стружка скалывания имеет вид отдельных, четко выраженных элементов, прочно связанных друг с другом (рис. 1.11, б). Обработанная поверхность заготовки при образовании такой стружки содержит небольшое количество надрывов. Стружка скалывания образуется при обработке пластичных материалов при средних скоростях резания и подачах, т.е. при средних толщинах среза и средних положительных передних углах.

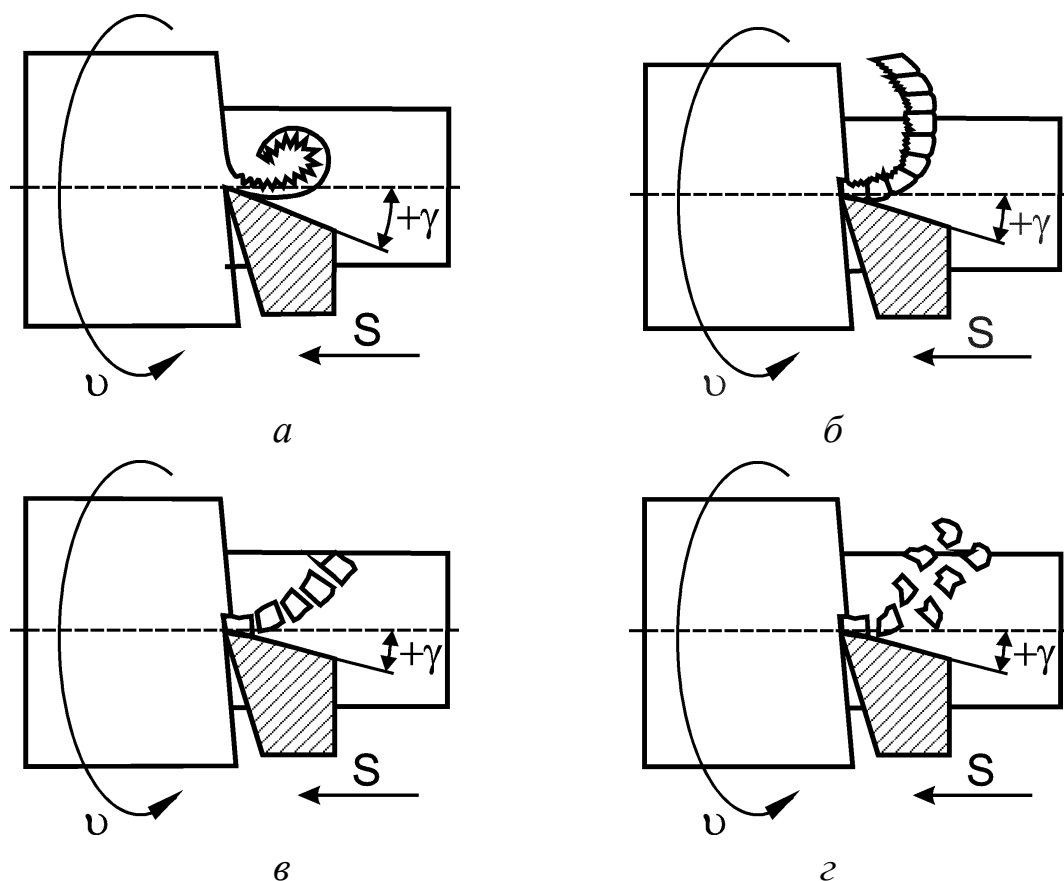


Рис. 1.11. Виды стружек:

а – сливная; *б* – скалывания, или суставчатая; *в* – элементная; *г* – надлома

Если увеличить толщину среза, т.е. подачу, уменьшить скорость резания и передний угол, то отдельные элементы стружки станут менее связанными, в результате чего образуется *элементная стружка* (рис. 1.11, *в*). Эти три вида стружки образуются при обработке пластичных материалов.

Стружка надлома. Стружка надлома имеет вид отдельных, произвольной формы элементов, не связанных друг с другом (рис. 1.11, *г*). Обработанная поверхность заготовки – шероховатая с надрывами и зазубринами. Стружка надлома образуется при обработке малопластичных и хрупких материалов, например чугуна и бронзы, при работе с малыми скоростями резания, большими подачами и малыми передними углами. Если увеличить скорость резания, то при обработке хрупких материалов получится элементная стружка, а при резании с высокими скоростями даже сливная, которая обладает существенно меньшей прочностью по сравнению со стальной стружкой [19].

Таким образом, на формирование стружки оказывают влияние скорость резания, толщина среза, величина переднего угла режущего инструмента, физико-механические свойства обрабатываемого материала и т.д.

Анализируя рассмотренные выше виды стружки, можно сделать выводы:

- независимо от вида стружки вся она состоит из элементов; разные виды стружки отличаются друг от друга только формой элементов и прочностью связей между ними;
- процесс резания цикличен, поэтому всегда сопровождается вибрациями, ухудшающими качество обработки.

1.2.2. МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ СТРУЖКИ ПРИ СВОБОДНОМ ПРЯМОУГОЛЬНОМ РЕЗАНИИ

Реальное описание механизма образования стружки, даже с учетом современного развития теории резания материалов, достаточно сложно, поэтому его рассматривают в идеализированном виде при

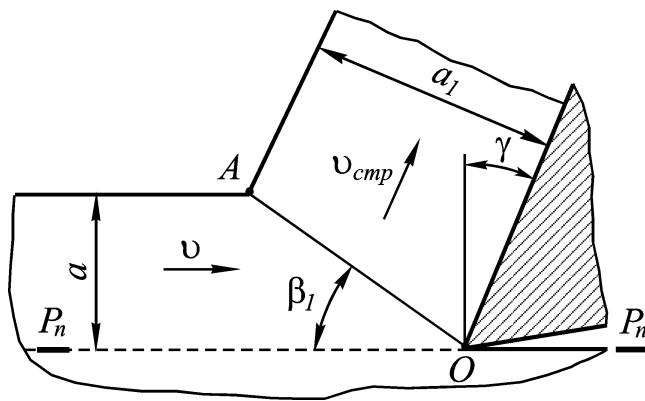


Рис. 1.12. Схема стружкообразования

свободном прямоугольном резании, то есть представляют в виде формализованной модели.

Впервые такая модель (схема) образования стружки была предложена проф. И.А. Тиме. В соответствии с этой моделью (рис. 1.12) срезаемый слой материала толщиной a в

результате деформации сдвига в плоскости OA , называемой условной плоскостью сдвига или плоскостью скалывания превращается в стружку толщиной a_1 . Плоскость сдвига, а точнее поверхность (из-за малой кривизны её условно считают плоскостью), располагается под углом β_1 к плоскости резания ($P_n - P_n$). Этот угол получил название угла сдвига или угла скалывания. В процессе деформации срезаемого слоя материала и преобразования его в стружку длина последней l_1

становится отличной от длины пути l , пройденного резцом, а толщина a_1 и ширина b_1 стружки становятся больше, соответственно, толщины a и ширины b снимаемого слоя материала. Это явление получило название усадки стружки.

Формализованная модель образования стружки, предложенная И.А. Тиме, позволяет получить лишь первое представление о механизме её формирования. Главным недостатком данной модели является отсутствие учета действительных сдвиговых процессов, происходящих при образовании стружки, которые осуществляются не по одной условной плоскости сдвига, а по целому семейству плоскостей, лежащих в переходной зоне клинообразной формы. Предположение о существовании семейства плоскостей высказал А.А. Брикс, а подтвердил Н.Н. Зорев.

Если предположить существование единственной условной плоскости сдвига, то в этом случае скорость перемещения частиц снимаемого материала должна изменяться мгновенно с v до $v_{сmp}$ ($v > v_{сmp}$), то есть должны иметь место бесконечно большие значения градиентов ускорений и напряжений, а это, в свою очередь, противоречит законам механики [8].

Многочисленные экспериментальные исследования подтвердили наличие такой переходной зоны OCB , имеющей начальную OB и конечную OC границы (рис. 1.13). Причем с увеличением скорости резания область переходной зоны за счет сближения границ уменьшается ($OB'C'$) и поворачивается вокруг

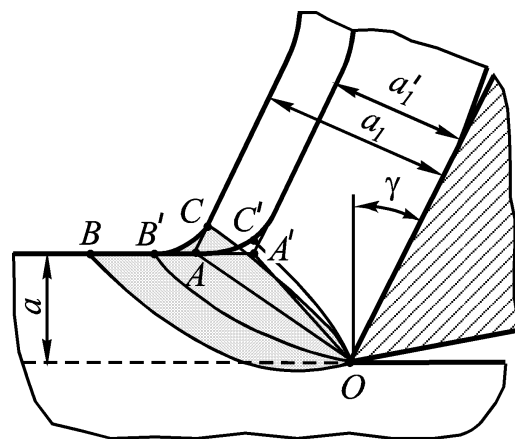


Рис. 1.13. Зона стружкообразования

точки O по часовой стрелке. Изменение величины и положения переходной зоны связано, во-первых, с уменьшением величины усадки стружки, обусловленной повышением пластичности обрабатываемого материала в связи с ростом температуры при увеличении скорости

резания, а, во-вторых, с запаздыванием пластической деформации по сравнению со скоростью деформации.

1.2.3. ДЕФОРМАЦИИ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ И СТРУЖКИ ПРИ СВОБОДНОМ ПРЯМОУГОЛЬНОМ РЕЗАНИИ

Воздействие режущего инструмента на обрабатываемую заготовку вызывает упругую и пластическую деформации материала. При резании металлов пластическая деформация внешне проявляется в усадке стружки.

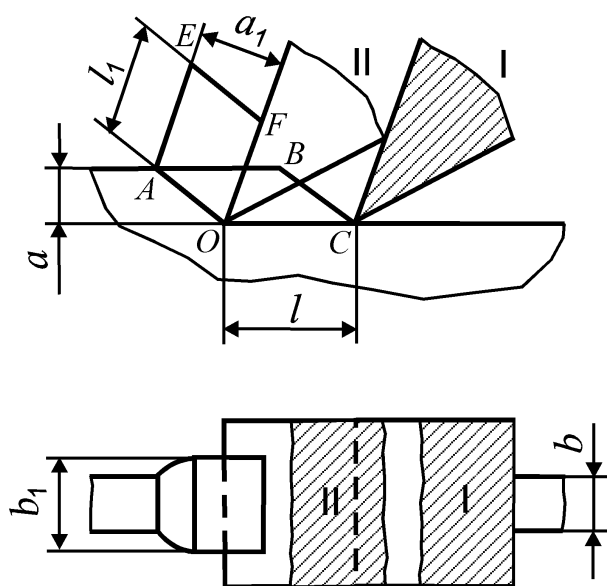


Рис. 1.14. Схема усадки стружки

Как уже отмечалось, под усадкой стружки понимается изменение размеров стружки по сравнению с размерами срезаемого объема материала заготовки.

Пусть срезаемый объем V материала заготовки, площадь которого $OABC$, имеет толщину a , ширину b и длину l (рис. 1.14), то есть $V = abl$. В процессе резания режущий клин переместится из положения I в положение II , т.е. из точки C в точку O . При этом он деформирует рассматриваемый объем материала и переведет его в стружку.

В процессе деформации фигура $OABC$ трансформируется в фигуру $OAEF$. Объем снимаемого материала до и после деформации останется неизменным, т.е.

В процессе деформации фигура $OABC$ трансформируется в фигуру $OAEF$. Объем снимаемого материала до и после деформации останется неизменным, т.е.

$$V = V_1; \quad abl = a_1 b_1 l_1 \varepsilon_o;$$

$$\frac{l}{l_1} = \frac{a_1}{a} \cdot \frac{b_1}{b} \cdot \varepsilon_o, \quad (1.1)$$

где V_1 – объем стружки; a_1 – толщина образовавшейся стружки; b_1 – ширина образовавшейся стружки; l_1 – длина стружки; ε_o – коэффициент полноты (сплошности) стружки (для непрерывной стружки $\varepsilon_o = 1$, для элементной $\varepsilon_o = 0,6 \dots 0,8$).

Для количественной оценки напряженного состояния в зоне резания вводят специальные коэффициенты: коэффициент продольной усадки стружки – K_l , коэффициент усадки стружки по толщине – K_a и коэффициент усадки стружки по ширине – K_b , определяемые соотношениями:

$$K_l = \frac{l}{l_1}; \quad K_a = \frac{a}{a_1}; \quad K_b = \frac{b}{b_1}. \quad (1.2)$$

Данные коэффициенты зависят от условий резания, а их величины изменяются обычно в следующих пределах: $K_l = 0,5...4,5$; $K_a = 1,35...4,0$; $K_b = 1...1,05$. Для практических целей, как правило, используют коэффициент продольной усадки стружки, так как он изменяется в более широком диапазоне.

Тогда формула (1.1) примет вид

$$K_l = K_a K_b \varepsilon_o. \quad (1.3)$$

При отрицательной усадке стружки, т.е. когда $K_l < 1$, скорость перемещения стружки по передней поверхности инструмента может превышать скорость резания в 2 раза, что следует из выражения

$$\tau = \frac{l}{v} = \frac{l_1}{v_{cmp}}; \text{ откуда } v_{cmp} = v \frac{l_1}{l} = \frac{v}{K_l},$$

где τ – время перемещения инструмента на расстояние l и время образования стружки длиной l_1 ; v – скорость резания; v_{cmp} – скорость перемещения стружки по передней поверхности инструмента.

Увеличение скорости стружки по сравнению со скоростью резания приводит к возрастанию температуры в зоне резания и более быстрому износу инструмента. Отрицательная усадка стружки имеет место при обработке титановых сплавов.

Большое влияние на усадку стружки оказывают величина переднего угла, скорость резания и физико-механические свойства обрабатываемого материала. В то же время подача и глубина резания на данный показатель пластической деформации оказывают незначительное влияние.

Зависимость усадки стружки от переднего угла γ была получена И.А. Тиме.

При образовании сливной стружки $\varepsilon_o = 1$, тогда формула (1.3) примет вид

$$K_l = K_a K_b. \quad (1.4)$$

Если принять, что $b \approx b_1$, то $K_b = 1$. Тогда

$$K_l = K_a = \frac{l}{l_1} = \frac{a_1}{a}. \quad (1.5)$$

Из рис. 1.15 можно определить $a_1 = OA \cos(\beta_1 - \gamma)$, $a = OA \sin \beta_1$ и, соответственно,

$$K_a = \frac{a_1}{a} = \frac{OA \cos(\beta_1 - \gamma)}{OA \sin \beta_1} = \frac{\cos \beta_1 \cos \gamma + \sin \beta_1 \sin \gamma}{\sin \beta_1} = \frac{\cos \beta_1 \cos \gamma}{\sin \beta_1} + \sin \gamma.$$

Преобразовав данное выражение, получим

$$(K_a - \sin \gamma) \sin \beta_1 = \cos \beta_1 \cos \gamma;$$

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{\cos \gamma}{(K_a - \sin \gamma)}; \quad (1.6)$$

$$\beta_1 = \operatorname{arctg} \left(\frac{\cos \gamma}{K_a - \sin \gamma} \right).$$

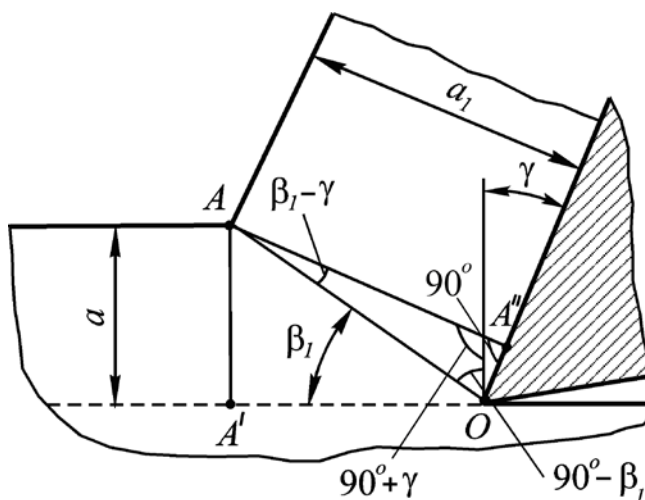


Рис. 1.15. Схема для определения зависимости усадки стружки от переднего угла

Усадка стружки является качественным показателем величины деформации. Для нахождения её количественной характеристики будем исходить из того, что деформирование и разрушение материала происходит путем простого сдвига, о чем свидетельствуют результаты многочисленных исследований.

При простом сдвиге деформация материала заключается в смещении всех точек тела относительно какой-либо одной оси, например, оси X (рис. 1.16). При этом смещение каждой точки тела будет пропорционально расстоянию её относительно этой оси.

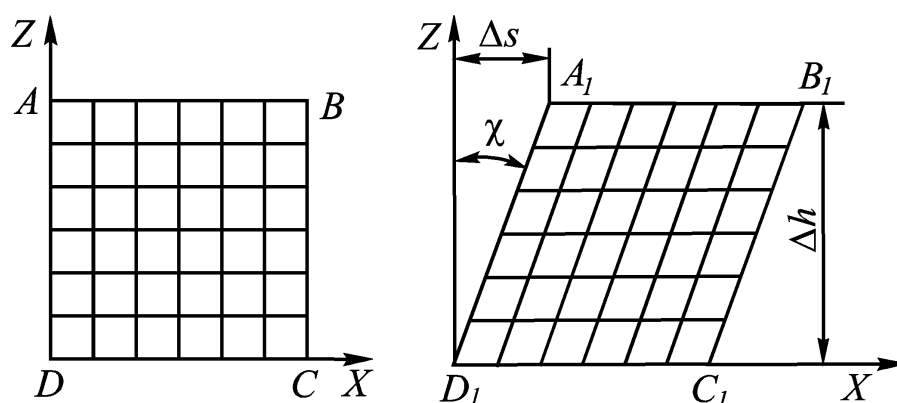


Рис. 1.16. Схема простого сдвига [3]

Применительно к рис. 1.16 расстояние Δs , на которое верхняя сторона квадрата сдвинулась относительно нижней стороны, называется абсолютным сдвигом. Количественным показателем простого сдвига или мерой его деформации является относительный сдвиг

$$\varepsilon = \frac{\Delta s}{\Delta h},$$

где Δh - расстояние между верхней и нижней сторонами квадрата.

Найдем зависимость для определения относительного сдвига при образовании в процессе обработки заготовки сливной (непрерывной) стружки. Для этого воспользуемся схемой, представленной на рис. 1.17.

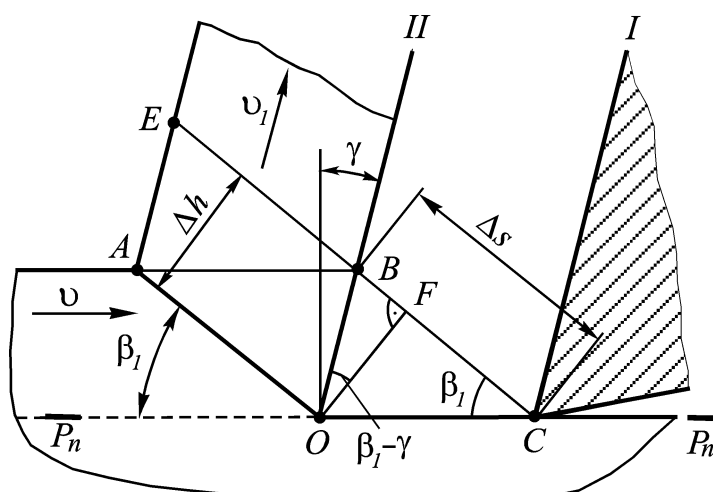


Рис. 1.17. Схема для определения относительного сдвига при резании материалов с образованием сливной стружки

В процессе резания, т.е. в процессе перемещения резца из положения I в положение II , его вершина сдвинется, соответственно, из точки C в точку O . При этом происходит деформация срезаемого слоя, в результате которого он полностью переходит в стружку. Если предположить, что сечение недеформированного снимаемого слоя имеет вид параллелограмма $OABC$, то сечение стружки будет иметь вид параллелограмма $OAEB$. При этом, как видно из рис. 1.17, линия BC займет положение EB . Из сопоставления рис. 1.16 и 1.17 видно, что $\Delta s = BC$, а $\Delta h = OF$, т.е.

$$\varepsilon = \frac{\Delta s}{\Delta h} = \frac{BC}{OF} = \frac{FC + BF}{OF} = \frac{OF \operatorname{ctg} \beta_1 + OF \operatorname{tg}(\beta_1 - \gamma)}{OF}. \quad (1.7)$$

После преобразования получим

$$\varepsilon = \operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{tg}(\beta_1 - \gamma). \quad (1.8)$$

Используя формулу (1.8) найдем непосредственную связь между относительным сдвигом и коэффициентом усадки стружки. Для этого подставим в правую часть выражения (1.8) формулу (1.6) и, учитывая, что $\operatorname{tg}(\beta_1 - \gamma) = \frac{\operatorname{tg} \beta_1 - \operatorname{tg} \gamma}{1 + \operatorname{tg} \beta_1 \cdot \operatorname{tg} \gamma}$ получим следующее выражение для определения относительного сдвига

$$\varepsilon = \frac{K_a^2 - 2K_a \sin \gamma + 1}{K_a \cos \gamma}. \quad (1.9)$$

Анализируя формулу (1.9), связывающую относительный сдвиг с усадкой стружки, можно сделать следующие выводы [8]:

1. Относительный сдвиг не равен усадке стружки и поэтому она не может использоваться в качестве количественной характеристики пластической деформации.
2. Усадка стружки может рассматриваться только в виде качественной характеристики пластической деформации.
3. При $K_a = 1$ относительный сдвиг не равен нулю, он может быть достаточно большим даже при отрицательной усадке ($K_a < 1$).

Эти выводы хорошо иллюстрируют графики зависимости относительной деформации от усадки стружки при различных значениях

переднего угла (рис. 1.18). Как видно из анализа восходящих ветвей графиков с ростом усадки стружки величина относительного сдвига увеличивается. Вместе с тем при одной и той же величине усадки стружки, но различных значениях переднего угла величины относительного сдвига существенно отличаются.

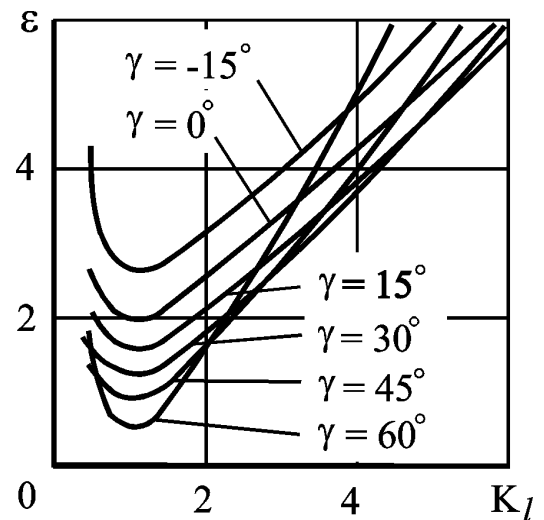


Рис. 1.18. Связь между относительным сдвигом и коэффициентом усадки стружки при различных передних углах [16]

Относительный сдвиг для суставчатых и элементных стружек ε_s может быть определен из схемы, представленной на рис. 1.19, поясняющей механизм образования стружек данного типа. При перемещении резца из положения *I* в положение *II* его передняя поверхность воздействует на объем срезаемого слоя, ограниченный параллелограммом O_oOAA_o . Когда напряжения сжатия превысят значение предела текучести обрабатываемого материала начнется пластическая деформация срезаемого слоя и его течение по передней поверхности режущего инструмента. При этом точка O_o переместится не в точку K , где она окажется при образовании сливной стружки, а в точку Q . Данный процесс сопровождается укорочением стороны параллелограмма O_oA_o до размера PQ . В результате параллелограмм O_oOAA_o срезаемого слоя материала превращается в элемент стружки $OAPQ$. Когда упрочнение срезаемого слоя мате-

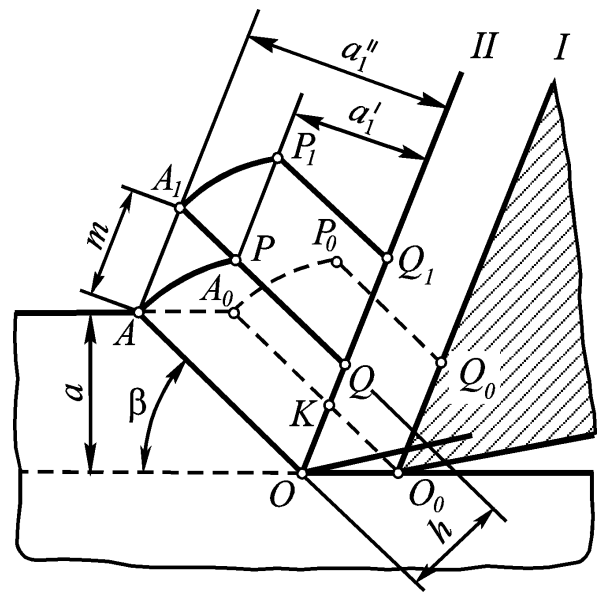


Рис. 1.19. Схема превращения срезаемого слоя в элемент слоя [5]

риала достигнет предельного значения, т.е. запас его пластичности будет полностью исчерпан, произойдет разрушение по плоскости скалывания. При этом образовавшийся элемент переместится вверх по передней поверхности инструмента. Чем больше будет деформация срезаемого слоя, тем больше будут отличаться по длине стороны трапеции OA и PQ и тем соответственно больше форма элемента стружки будет приближаться к треугольнику.

Как видно из схемы (см. рис. 1.19), относительный сдвиг ε_s для стружек данного типа равен отношению

$$\varepsilon_s = \frac{PQ}{h}, \quad (1.10)$$

которое после соответствующих преобразований примет следующий вид

$$\varepsilon_s = \varepsilon \left[1 - \frac{2a}{m_s \cos \gamma} \left(1 - \frac{K_l}{K_a K_b} \right) \right], \quad (1.11)$$

где ε_s – относительный сдвиг для суставчатых и элементных стружек; ε – относительный сдвиг (1.9) для непрерывных (сливных) стружек; a – толщина сечения среза; m_s – шаг элементов стружки (см. рис. 1.19).

Величина ε_o для суставчатых и элементных стружек в формуле (1.3) для определения продольной усадки стружки определяется по формуле

$$\varepsilon_o = \frac{a'_1 + a''_1}{2a''_1}, \quad (1.12)$$

где a'_1 – размер, характеризующий толщину сплошного участка стружки; a''_1 – размер характеризующий толщину суставчатой (элементной) стружки (см. рис. 1.19).

Для определения относительного сдвига для суставчатых и элементных стружек также может быть использована упрощенная формула

$$\varepsilon_s = \varepsilon \left(\frac{2K_l}{K_a K_b} - 1 \right). \quad (1.13)$$

Если в формулах (1.11), (1.13) принять $K_l = K_a K_b$, что имеет место для сливных стружек (см. формулу (1.4)), тогда $\varepsilon = \varepsilon_s$.

1.3. СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА РЕЗЕЦ ПРИ ТОЧЕНИИ

Одним из функциональных параметров, характеризующих процесс резания, является сила сопротивления резанию, которая возникает как при свободном, так и несвободном резании в результате действия на резец различных составляющих сил.

1.3.1. СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ СВОБОДНОМ РЕЗАНИИ

Рассмотрим систему сил, действующих на переднюю и заднюю поверхности инструмента при свободном резании (рис. 1.20, а), когда в работе принимает участие только одна режущая кромка. В процессе обработки материалов на переднюю поверхность режущего клина инструмента действуют две силы: нормальная сила N_n – со стороны

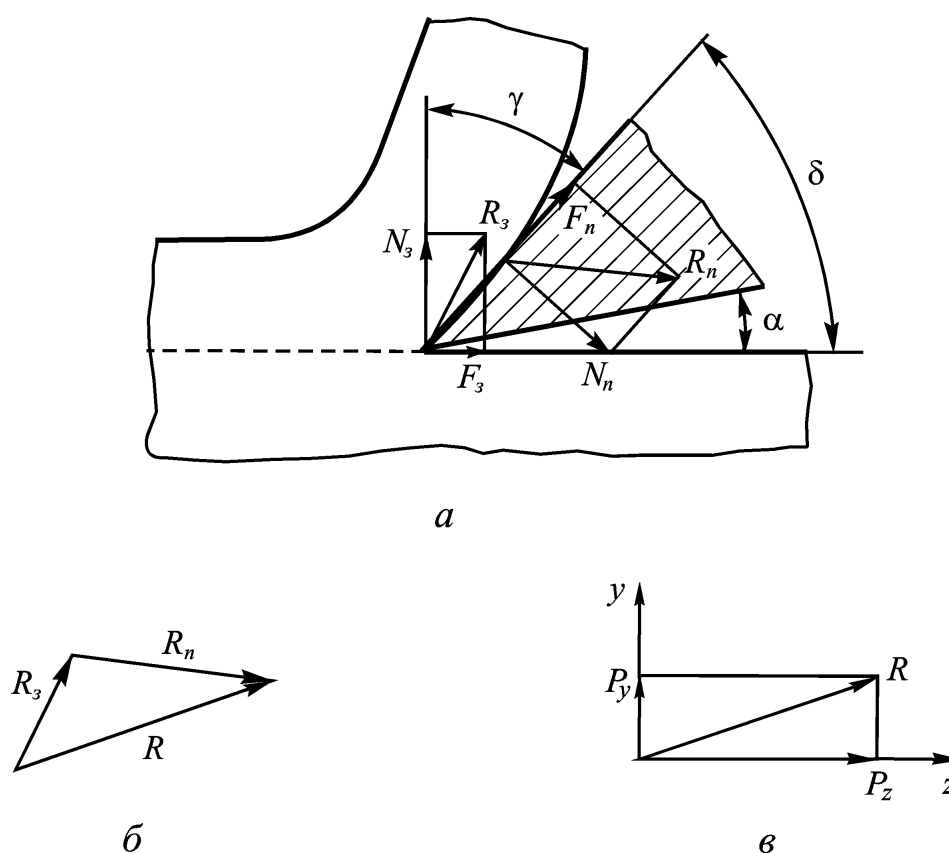


Рис. 1.20. Система сил действующих при свободном резании [21]

стружки и сила трения F_n , возникающая в результате взаимодействия передней поверхности инструмента со стружкой, равнодействующей которых является сила $\vec{R}_n = \vec{N}_n + \vec{F}_n$. В свою очередь на заднюю поверхность режущего клина действует сила N_3 , являющаяся нормальной силой упругого противодействия обрабатываемого материала, и сила трения задней поверхности режущего клина об обрабатываемую заготовку F_3 . Так как в процессе резания на задней поверхности формируется площадка износа, задний угол α на которой равен нулю, то направление силы N_3 будет перпендикулярно плоскости резания $P_n - P_n$, а сила трения F_3 будет действовать в плоскости резания (см. рис. 1.20, а). Равнодействующей этих сил является сила $\vec{R}_3 = \vec{N}_3 + \vec{F}_3$. Если сложить равнодействующие сил, действующих на передней R_n и задней R_3 поверхностях резца, то их результирующая $\vec{R} = \vec{R}_n + \vec{R}_3$ представляет собой силу сопротивления резанию (рис. 1.20, б).

Разложим силу сопротивления резания R на две составляющие: главную составляющую силы резания P_z , направление действия которой совпадает с вектором скорости главного движения резания, и радиальную составляющую силы резания P_y , лежащую в основной плоскости, проходящей через точку приложения сил, и направленную перпендикулярно плоскости резания. Определим составляющие P_z и P_y спроецировав силы, действующие на передней и задней поверхностях режущего клина, соответственно, на оси z и y (рис. 1.20, в)

$$P_z = N_n \cos \gamma + F_n \sin \gamma + F_3; \quad P_y = -N_n \sin \gamma + F_n \cos \gamma + N_3.$$

Принципиально все силы, приложенные к режущему клину, можно определить теоретически, используя зависимости, полученные на основе различных теорий механики твердого тела и других областей знаний. Однако все они далеко не в полной мере отражают сложный характер физических явлений, протекающих в зоне резания, поэтому данные зависимости являются весьма приближенными. В связи с этим на прак-

тике чаще всего применяют простые эмпирические зависимости, полученные экспериментальным путем.

1.3.2. СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ НЕСВОБОДНОМ РЕЗАНИИ

В отличие от свободного прямоугольного резания при несвободном резании силу сопротивления резанию R раскладывают на три составляющие: главную составляющую силы резания P_z , нагружающую привод главного движения станка; радиальную составляющую силы резания P_y , определяющую величину отжима инструмента от заготовки и влияющую на точность обработки; осевую составляющую силы резания P_x , нагружающую привод подач станка (рис. 1.21). Знание этих сил позволяет рассчитать конструктивные элементы станка на прочность, жесткость и виброустойчивость, а также решить ряд инженерных и технологических задач. Например, знание составляющих силы резания позволяет выполнить расчет державки резца и привода подач станка на прочность, определить момент сопротивления резанию $M_{рез}$, определить режим резания, обеспечивающий обработку заготовки с погрешностью, не превышающей заданный допуск на размер или допуск на

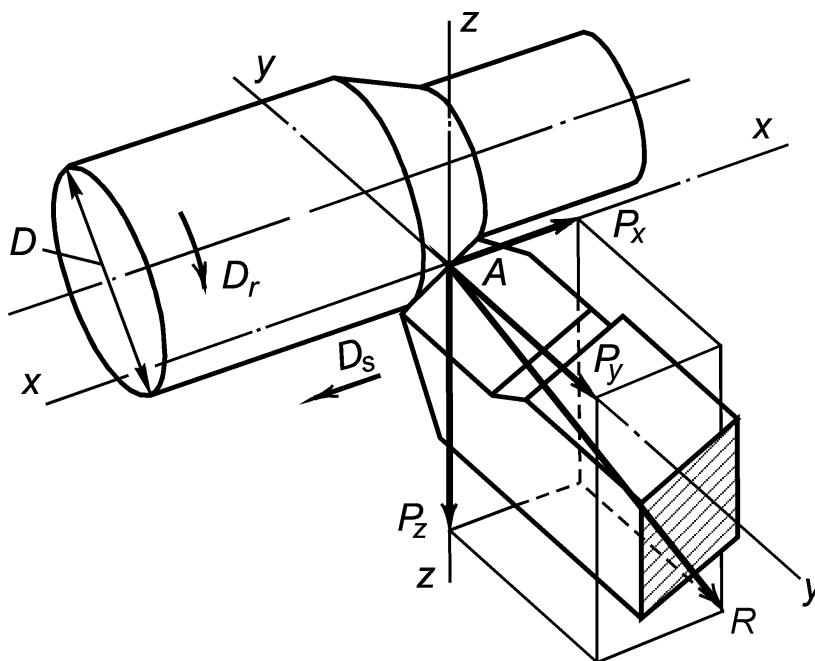


Рис. 1.21. Схема разложения результирующей силы R на составляющие P_z , P_y , P_x

отклонение формы, определить эффективную мощность, затрачиваемую на процесс резания и т.д.

Три указанные составляющие силы резания взаимно перпендикулярны; поэтому величина и направление равнодействующей силы R определяются геометрически. Следовательно

$$R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2}, \text{ чаще всего } R \approx (1,1 \dots 1,2)P_z.$$

Экспериментальные исследования показали, что соотношение составляющих P_z , P_y и P_x силы резания не остается постоянным, а зависит от условий резания, в частности, от геометрических параметров рабочей части резца, элементов режима резания (v, S, t) , износа резца, физико-механических свойств обрабатываемого материала и т.д.

Например, отношения $\frac{P_y}{P_z}$ и $\frac{P_x}{P_z}$ возрастают с увеличением износа резца; увеличение подачи приводит к увеличению отношения $\frac{P_x}{P_z}$; увеличение главного угла в плане уменьшает отношение $\frac{P_y}{P_z}$. На некоторых операциях токарной обработки одной из двух составляющих сил резания P_y или P_x может и не быть. Так при разрезке заготовки отрезным резцом сила $P_x = 0$ и тогда $R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2}$; при обточке заготовки проходным упорным резцом с $\varphi = 90^\circ$ и $\lambda = 0^\circ$ отсутствует составляющая P_y , при этом равнодействующая $R = \sqrt{P_z^2 + P_x^2}$. Сила P_z действует во всех случаях и поэтому она получила название главной составляющей силы резания.

Для осуществления процесса резания необходимо выполнение следующих условий:

$$M_{кр} = P_z \cdot \frac{D}{2} \leq M_{ун.ст}; \quad P_x \leq Q_{мн},$$

где D – диаметр заготовки; $M_{ун.ст}$ – крутящий момент на шпинделе станка; $Q_{мн}$ – сила, допускаемая механизмом подачи станка.

Составляющие силы резания при несвободном резании могут быть определены на основе использования аналитических зависимостей и экспериментальным путем. Однако на практике наибольшее применение нашли эмпирические зависимости по причинам, указанным ранее.

Для экспериментального определения составляющих силы резания применяют специальные устройства – динамометры. Независимо от конструкции они состоят из следующих основных частей: 1) датчика; 2) приемника, осуществляющего регистрацию нагрузки; 3) вспомогательных звеньев, связывающих датчик с приемником.

Эмпирические зависимости для расчета сил резания имеют вид [3, 8, 10, 17]

$$\begin{aligned} P_z &= C_{P_z}' t^{x_{P_z}} S^{y_{P_z}} v^{z_{P_z}} ; \\ P_y &= C_{P_y}' t^{x_{P_y}} S^{y_{P_y}} v^{z_{P_y}} ; \\ P_x &= C_{P_x}' t^{x_{P_x}} S^{y_{P_x}} v^{z_{P_x}} , \end{aligned} \quad (1.14)$$

где C_P' – постоянный коэффициент, учитывающий конкретные условия обработки заготовки; t – глубина резания; S – подача; v – скорость резания; x_P, y_P, z_P – показатели степеней.

Для того чтобы использовать данные зависимости для других условий обработки, необходимо вместо коэффициента C_P' ввести в них коэффициент C_P , который определяется по формуле

$$C_P = C_P' K_{M_P} K_{C_P} K_{\gamma_P} K_{\phi_P} K_{r_P} K_{O_P} K_{u_P} ,$$

где K_{M_P} – коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала; K_{C_P} – коэффициент, учитывающий состояние обрабатываемого материала; K_{γ_P} – коэффициент, учитывающий влияние переднего угла; K_{ϕ_P} – коэффициент, учитывающий влияние главного угла в плане; K_{r_P} – коэффициент, учитывающий влияние радиуса при вершине резца; K_{O_P} – коэффициент, учитывающий влияние смазывающе-охлаждающего технологического средства; K_{u_P} – коэффициент, учитывающий износ инструмента.

1.4. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

1.4.1. ИСТОЧНИКИ ОБРАЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ И УРАВНЕНИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ПРИ РЕЗАНИИ

Общее тепловыделение в процессе резания Q (Вт) является результатом трансформации в теплоту механической работы деформации в зоне резания, а также работы трения на контактных поверхностях инструмента. В теплофизических расчетах принимают обычно

$$Q = P_z \nu,$$

где P_z – главная составляющая силы резания, Н; ν – скорость резания, м/с.

В свою очередь

$$Q = Q_{деф} + Q_{тр.п} + Q_{тр.з},$$

где $Q_{деф}$, $Q_{тр.п}$, $Q_{тр.з}$ – соответственно мощности источников, возникающих как результат перехода в теплоту работы деформации и

работы трения на передней и задней поверхностях инструмента, Вт (рис. 1.22).

В соответствии с законами механики мощность теплообразующих источников может быть рассчитана по формулам [14]:

$$Q_{деф} = (P_z - F_3) \nu - F_n \nu_{стр} = (P_z - F_3) \nu - F_n \frac{\nu}{K_l} = \left(P_z - F_3 - \frac{F_n}{K_l} \right) \nu;$$

$$Q_{тр.п} = F_n \nu_{стр} = F_n \frac{\nu}{K_l}; \quad Q_{тр.з} = F_3 \nu.$$

Теплота, распространяясь по технологической системе, расходуется на нагревание инструмента $q_{ин}$, стружки $q_{стр}$, заготовки $q_{заг}$ и рассеивается в окружающую среду $q_{окр.ср}$:

$$Q = Q_{деф} + Q_{тр.п} + Q_{тр.з} = q_{ин} + q_{стр} + q_{заг} + q_{окр.ср}.$$

Количественные значения тепловых потоков зависят от различных условий резания и обычно составляют:

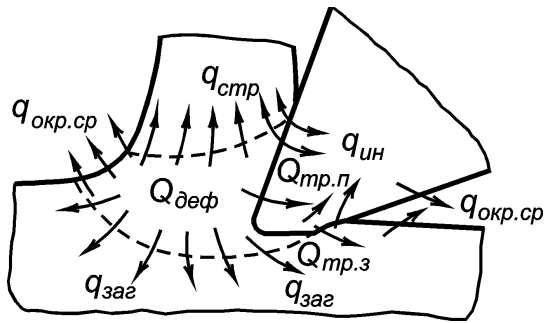


Рис. 1.22. Схема распределения тепловых потоков

$$q_{ин} = (10...40 \%)Q; \quad q_{стр} = (45...85 \%)Q;$$

$$q_{заг} = (4...10 \%)Q; \quad q_{окр.ср} = (1...4 \%)Q.$$

Зная эти соотношения при различных видах обработки, можно сознательно управлять вышеуказанными тепловыми потоками и соответственно распределением теплоты.

Для определения основных характеристик теплонапряженности процесса резания применяются экспериментальные и расчетные методы. Общее количество теплоты, выделившееся при резании, количество теплоты, ушедшее в стружку, заготовку и инструмент, можно определить с помощью калориметра. Сущность метода калориметрирования заключается в том, что перед началом обработки инструмент и заготовку помещают в изолированный объем (калориметр). После этого измеряют их начальную температуру. Затем измеряют температуру инструмента и стружки после обработки. Зная их массу и удельную теплоемкость, можно определить количество тепла, выделившееся в единицу времени.

1.4.2. ТЕМПЕРАТУРА В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ И СПОСОБЫ ЕЁ ИЗМЕРЕНИЯ. ВЛИЯНИЕ НА ТЕМПЕРАТУРУ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

Для определения температур в зоне резания используют различные методы.

Метод по цветам побежалости. Этот метод используется для определения средней температуры стружки. В зависимости от количества теплоты, выделившейся в зоне резания, образовавшаяся стружка имеет различные цвета, которые называют цветами побежалости. По цвету побежалости при использовании соответствующих таблиц можно определить среднюю температуру стружки. Данный метод весьма прост, но дает значительные погрешности, связанные с тем, что определяется только температура окисленной поверхности стружки.

Метод термокрасок. Этот метод применяется для определения поверхностной температуры нагретых частей инструмента, он прост, нагляден, но не обеспечивает высокую точность измерения температу-

ры. Специальная термочувствительная краска наносится тонким слоем на контролируемые поверхности инструмента. Тепло, концентрирующееся в определенном месте инструмента, изменяет цвет краски. Каждая краска имеет определенную шкалу «цвет-температура», позволяющую

определить зоны изменения температуры рабочей части инструмента. К недостаткам метода относится также то, что он не позволяет определить температуру контактных или близких к ним поверхностей.

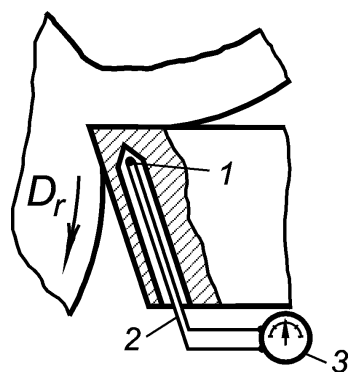


Рис. 1.23. Схема искусственной термопары

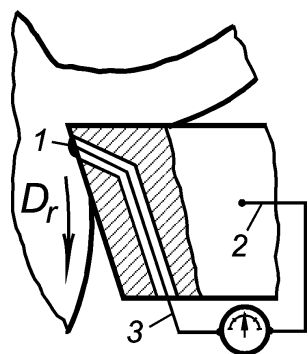


Рис. 1.24. Схема полуискусственной термопары

Метод термопар. В настоящее время используют три вида термопар: «искусственные термопары», «полуискусственные термопары» и «естественные термопары».

В случае применения «искусственной термопары» (рис. 1.23) в необходимом месте режущей части инструмента просверливается отверстие, в которое вставляется термопара, состоящая из двух изолированных проводников диаметром 0,3...0,5 мм (хромель-копель, хромель-алюмель). Спай термопары 1 располагают как можно ближе к нагретым поверхностям инструмента, а холодные концы 2 выводятся к гальванометру 3 или другому регистрирующему прибору, например осциллографу. О температуре судят по показанию прибора, регистрирующего значение термоэлектродвижущей силы (термо-ЭДС). Преимуществом данной термопары является возможность измерения температуры по глубине инструмента, а недостатком – невозможность измерения температуры на поверхности.

При использовании «полуискусственной термопары» (рис. 1.24) один изолированный проводник 1 выводится на заднюю или переднюю поверхность инструмента и расклепывается или приваривается. Вторым проводником является тело инструмента. Преимуществом

данной термопары является возможность измерения температуры на рабочих поверхностях инструмента, а недостатком – невозможность использования инструмента для дальнейшей работы.

Использование «естественной термопары», предложенной Е. Гербертом и К. Готвейном, позволяет измерять некоторую среднюю контактную температуру на передней и задней поверхностях режущего инструмента без применения специальных проводников и доработки инструмента. В этом случае проводниками являются заготовка и инструмент, которые тщательно изолируются, а горячим спаем – место контакта режущего клина с заготовкой 1 (рис. 1.25). Если заготовку и инструмент включить в замкнутую электрическую цепь, то величина термоЭДС, возникающей в данном термоэлементе, будет пропорциональна температуре скользящего горячего спая образовавшейся «естественной термопары».

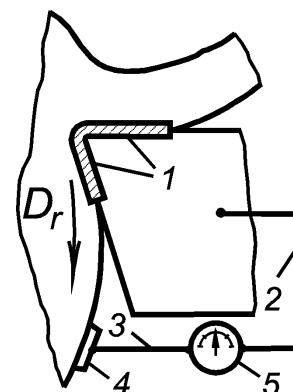


Рис. 1.25. Схема «естественной термопары»

Величина электродвижущей силы и направление термотока зависят от вида инструментального и обрабатываемого материалов. Так как при механической обработке инструмент и деталь всегда перемещаются (вращательное движение, поступательное и т.д.), для передачи термотока от горячего спая к неподвижному регистрирующему прибору 5 необходимо, помимо проводников 2 и 3, применять специальные конструкции токосъемников 4.

Радиационно-оптические и фотоэлектрические методы. Эти методы дают возможность получить представление о распределении температур в зоне резания путем регистрации ее теплового излучения (рис. 1.26). Методы связаны с применением сложных оптических установок или фотоэлектрических датчиков и нашли применение при экспериментальных исследованиях процессов резания материалов.

Метод структурного анализа. Под действием температуры в металлах происходят структурно-фазовые превращения и изменяется мик-

ротвердость. Эти явления используются в методе исследования температурного поля по анализу микроструктуры и измерениям микротвердости.

Для этого необходимо знать температуру и время структурных превращений в различных материалах. Метод позволяет построить изотермы на передней и задней поверхностях режущего инструмента.

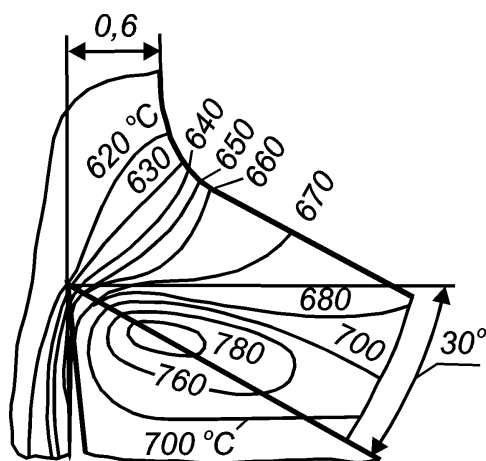


Рис. 1.26. Температурное поле в зоне резания стали 45, полученное радиационно-оптическим методом [10]:
 $v = 23$ м/мин, $a = 0,6$ мм, $\gamma = 30^\circ$

На основании большого количества экспериментов созданы эмпирические зависимости для расчета температуры в зоне резания.

В этих формулах, как и в формулах для определения составляющих силы резания, температура является функцией многих переменных, характеризующих условия обработки, режимы резания, геометрические параметры

инструмента и свойства инструментального и обрабатываемого материалов. Эмпирические зависимости имеют вид [8, 17]

$$\theta = C_\theta t^{x_\theta} S^{y_\theta} v^{z_\theta}, \quad (1.15)$$

где C_θ – коэффициент, учитывающий конкретные условия резания; t – глубина резания; S – подача; v – скорость резания; $x_\theta, y_\theta, z_\theta$ – показатели степеней.

Очень важным для теории и практики механической обработки является разработка методов расчета температурного поля в зоне резания. Как правило, решение задач подобного рода осуществляется на основе решения линейного или нелинейного дифференциального уравнения теплопроводности при определенных начальных и граничных условиях.

Линейное дифференциальное уравнение теплопроводности для

движущегося по поверхности заготовки теплового источника имеет вид [14]

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a \nabla^2 \theta + v_x \frac{\partial \theta}{\partial x} + v_y \frac{\partial \theta}{\partial y} + v_z \frac{\partial \theta}{\partial z},$$

где θ – температура; τ – время; a – коэффициент температуропроводности; v_x , v_y , v_z – проекции на оси координат вектора скорости движения теплового источника; x , y , z – координаты точек; $\nabla^2 \theta$ – оператор Лапласа.

Для решения дифференциальных уравнений в настоящее время наиболее широко используется метод источников (метод функций Грина), позволяющий путем сравнительно несложных преобразований представить температурное поле в виде определенного интеграла или сходящегося ряда и решить линейные, плоские, а также пространственные задачи распространения тепла в инструменте, стружке и заготовке.

Профессором А.Д. Макаровым сформулировано положение, согласно которому для каждой пары «инструмент – заготовка» существует оптимальная температура резания [12]. При этой температуре износ инструмента будет минимальным, а стойкость инструмента будет наибольшей. На основании этого положения установлен порядок назначения режимов резания:

- назначается максимально возможная глубина резания;
- рассчитывается максимально возможная технологическая подача;
- рассчитывается скорость резания исходя из значения оптимальной температуры резания.

1.5. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ СВЕРЛЕНИЯ И КОНСТРУКЦИИ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ

1.5.1. НАЗНАЧЕНИЕ СВЕРЛ. КИНЕМАТИКА ПРОЦЕССА СВЕРЛЕНИЯ

Свёрла – это режущие инструменты, предназначенные для обработки глухих и сквозных отверстий. При обработке отверстий свёрлами из быстрорежущих сталей обеспечивается точность в пределах 11...13 квалитетов и шероховатость поверхности $R_z = 32...80$ мкм

[1, 2, 4]. Свёрла с пластинами из твердых сплавов, работающие на более высоких скоростях резания, обеспечивают обработку отверстий с точностью по 8-11 квалитетам и шероховатостью поверхности $R_z = 20...40$ мкм [1, 2].

Процесс сверления осуществляется на сверлильных (рис. 1.27, *а*), токарных (рис. 1.27, *б*), токарно-револьверных, агрегатных и др. станках. Для осуществления процесса сверления необходимо наличие двух совместных движений: вращательного движения сверла или заготовки (главное движение резания D_r) и поступательного движения сверла вдоль его оси (движение подачи D_s).

Скорость главного движения определяет скорость резания, максимальная величина которой рассчитывается по формуле

$$v = \frac{\pi d n}{1000},$$

где d – диаметр сверла или обрабатываемого отверстия, мм; n – частота вращения сверла или детали, об/мин.

Скорость поступательного движения сверла характеризуют величиной подачи на один оборот сверла или заготовки S_o и выражают в мм/об.

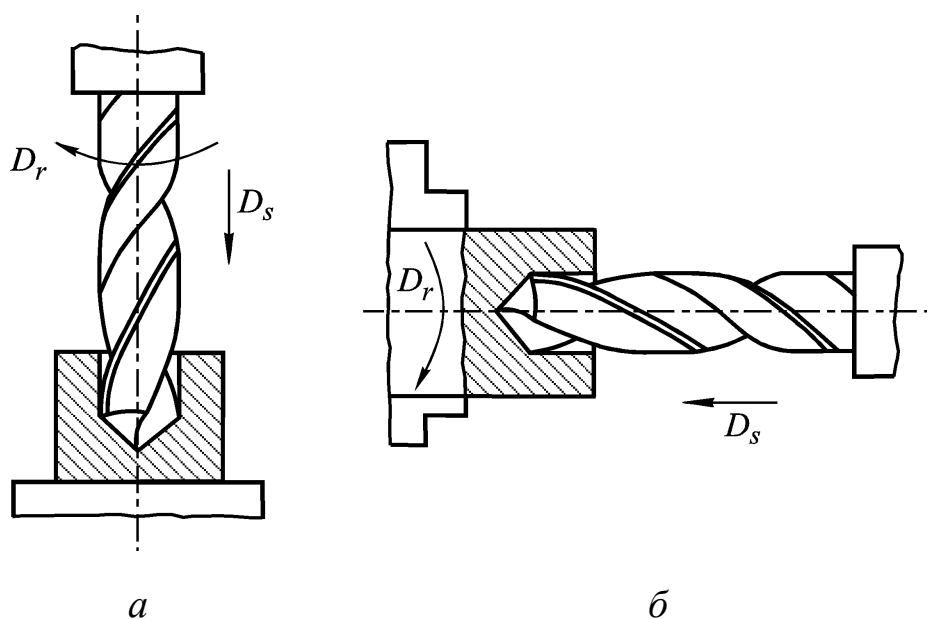


Рис. 1.27. Схемы обработки отверстий на сверлильных (*а*) и токарных (*б*) станках

1.5.2. ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СПИРАЛЬНЫХ СВЁРЛ

Наибольшее распространение при обработке отверстий глубиной до $(5...10)d$ получили спиральные или винтовые свёрла (рис. 1.28). Они состоят из рабочей части l и хвостовика l_x . На рабочей части, в свою очередь, можно выделить режущую часть l_p и направляющую l_n .

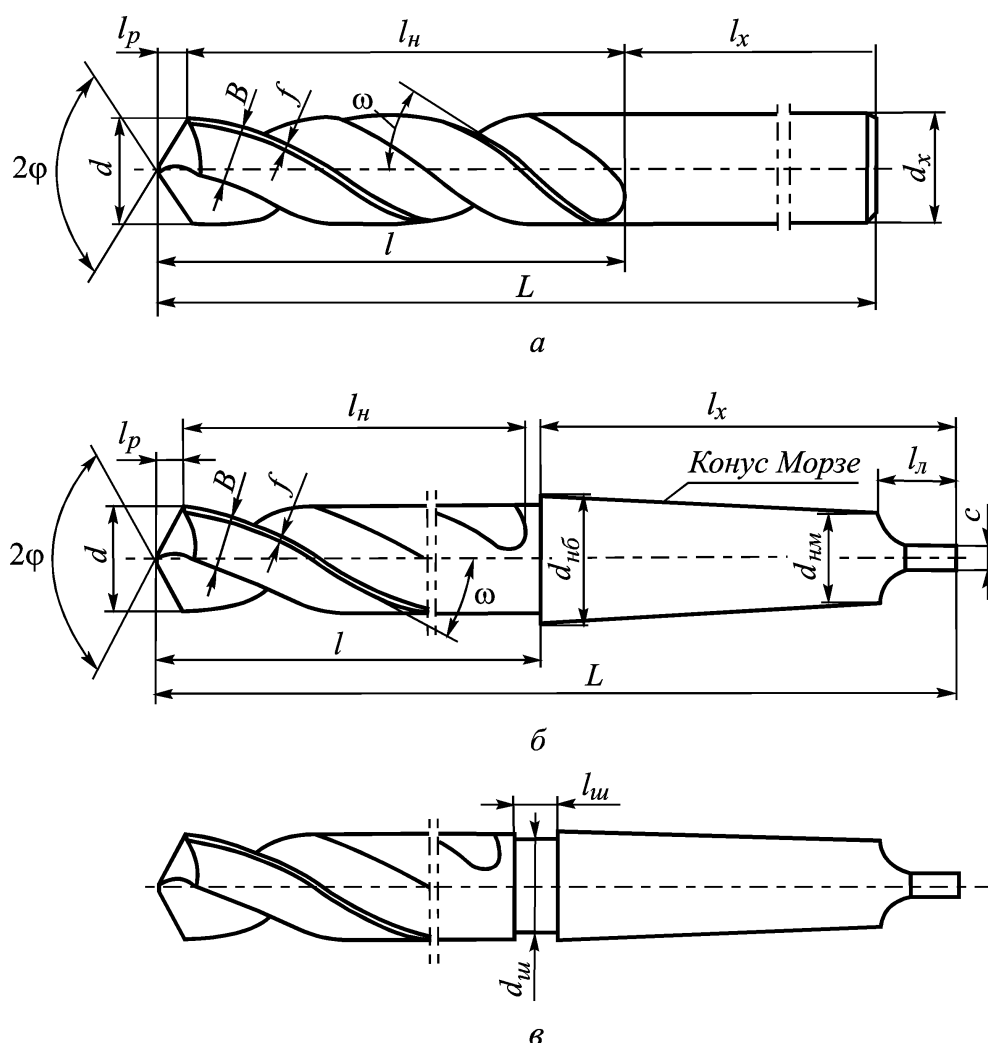


Рис. 1.28. Конструкции цельных спиральных свёрл:
а - с цилиндрическим хвостовиком; б - с коническим хвостовиком;
в - с коническим хвостовиком и шейкой

Спиральные свёрла изготавливают либо цельными из быстрорежущих сталей Р6М3, Р6М5, Р12, Р9К5, Р9Ф5К5, Р18 и др., либо составными, оснащенными пластинками или коронками из твердых сплавов ВК8, ВК10-М, ВК15-М и др. Свёрла малых диаметров могут

изготавливаться также из пластифицированных твёрдых сплавов. Для экономии инструментальных материалов свёрла часто выполняют сварными: рабочую часть изготавливают из быстрорежущей стали или твердого сплава, а хвостовую – из сталей 45, 40Х, 9ХС, Р6М5 (только у твердосплавных свёрл).

Как видно из рис. 1.28, спиральные свёрла могут иметь цилиндрический хвостовик (при диаметре $d = 0,1...20$ мм) или конический хвостовик (при $d = 6...80$ мм). Основные типы и размеры свёрл стандартизированы. В зависимости от длины рабочей части свёрла с цилиндрическим хвостовиком разделены на три серии: короткие (ГОСТ 4010–77), средние (ГОСТ 10902–77) и длинные (ГОСТ 12122–77). Свёрла с коническим хвостовиком выпускаются с нормальной длиной (ГОСТ 10903–77), удлиненные (ГОСТ 2092–77) и длинные (ГОСТ 12121–77).

Режущая часть спирального сверла (рис. 1.29, а) выполнена в виде усеченного конуса и имеет два режущих лезвия и, соответственно, две передние поверхности A_γ , две главные задние поверхности A_α и две вспомогательные задние поверхности A'_α .

Передние поверхности представляют собой винтовые линейчатые конволютные поверхности, плавно сопрягающиеся с поверхностями стружкоотводящих канавок. Главные задние поверхности обращены к поверхности резания и в зависимости от принятой схемы заточки могут быть коническими, винтовыми или плоскими.

Линии пересечения передних поверхностей с главными задними поверхностями образуют две главные режущие кромки K , со вспомогательными задними поверхностями – две вспомогательные режущие кромки K' .

Угол между режущими кромками определяет угол при вершине сверла (двойной угол в плане) 2φ и является одним из важных геометрических параметров его режущей части.

Величина этого угла выбирается в зависимости от механических

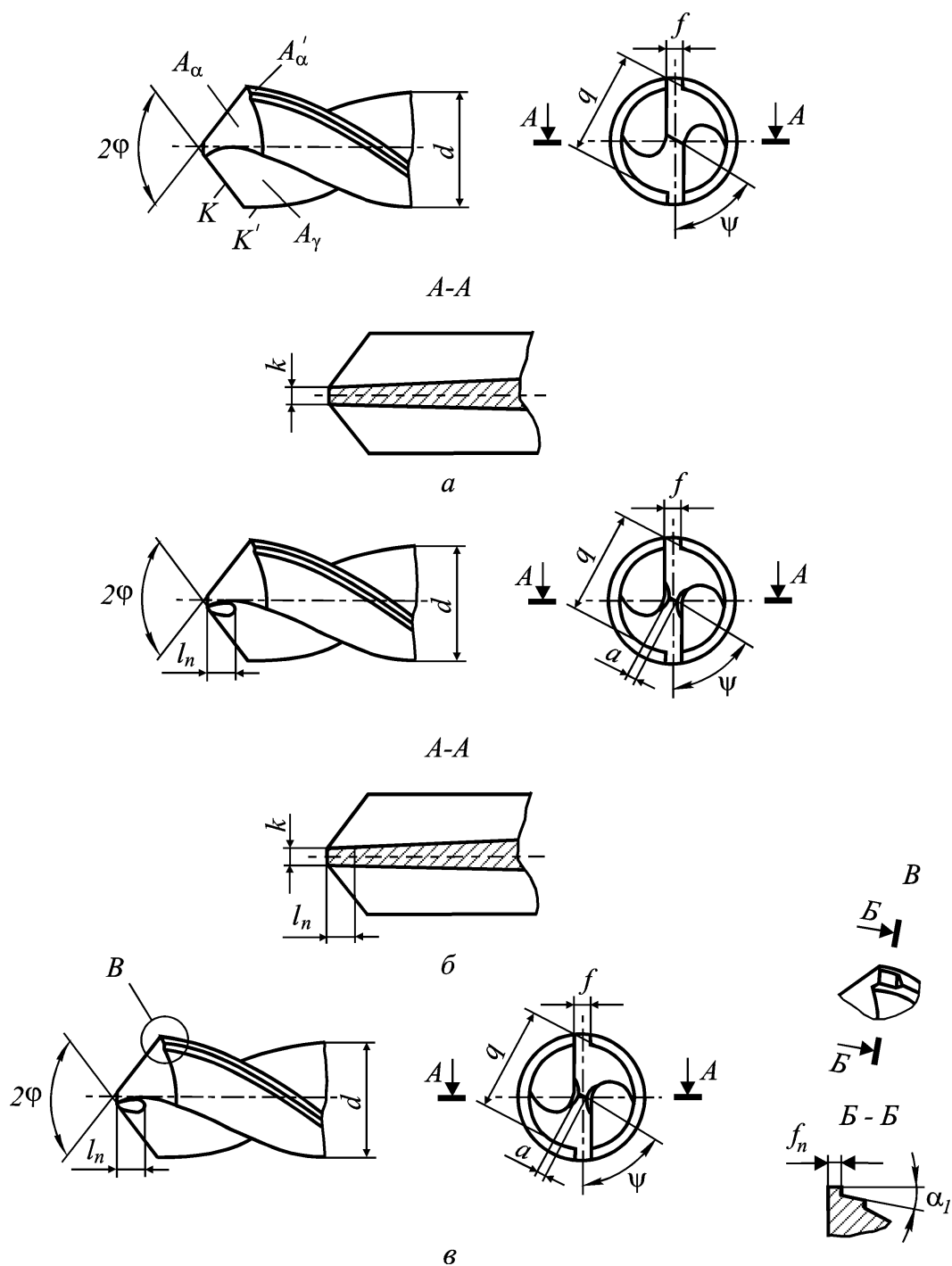


Рис. 1.29. Режущая часть сверла при нормальной заточке:
a – без подточек; *б* – с подточкой поперечной кромки (НП);
в – с подточкой поперечной кромки и направляющей ленточки (НПЛ)

характеристик обрабатываемых материалов. При обработке конструкционных сталей угол 2φ обычно равен $116...120^\circ$, коррозионно-стойких и высокопрочных сталей $2\varphi = 125...150^\circ$, чугуна и бронзы

$2\varphi = 90...100^\circ$, чугуна высокой твердости $2\varphi = 120...125^\circ$, цветных металлов (алюминиевых сплавов, латуни, меди) $2\varphi = 118...140^\circ$ [4, 7]. Для повышения прочности вершин лезвий (уголков сверла) и снижения износа на периферийных участках режущих кромок часто производят двойную заточку режущей части (рис. 1.30) с уменьшенным углом в плане в местах перехода к направляющей части сверла: $2\varphi = 116^\circ$, $2\varphi_0 = 70...90^\circ$, с шириной дополнительной заточки по уголкам $b = (0,1...0,2)d$ [7].

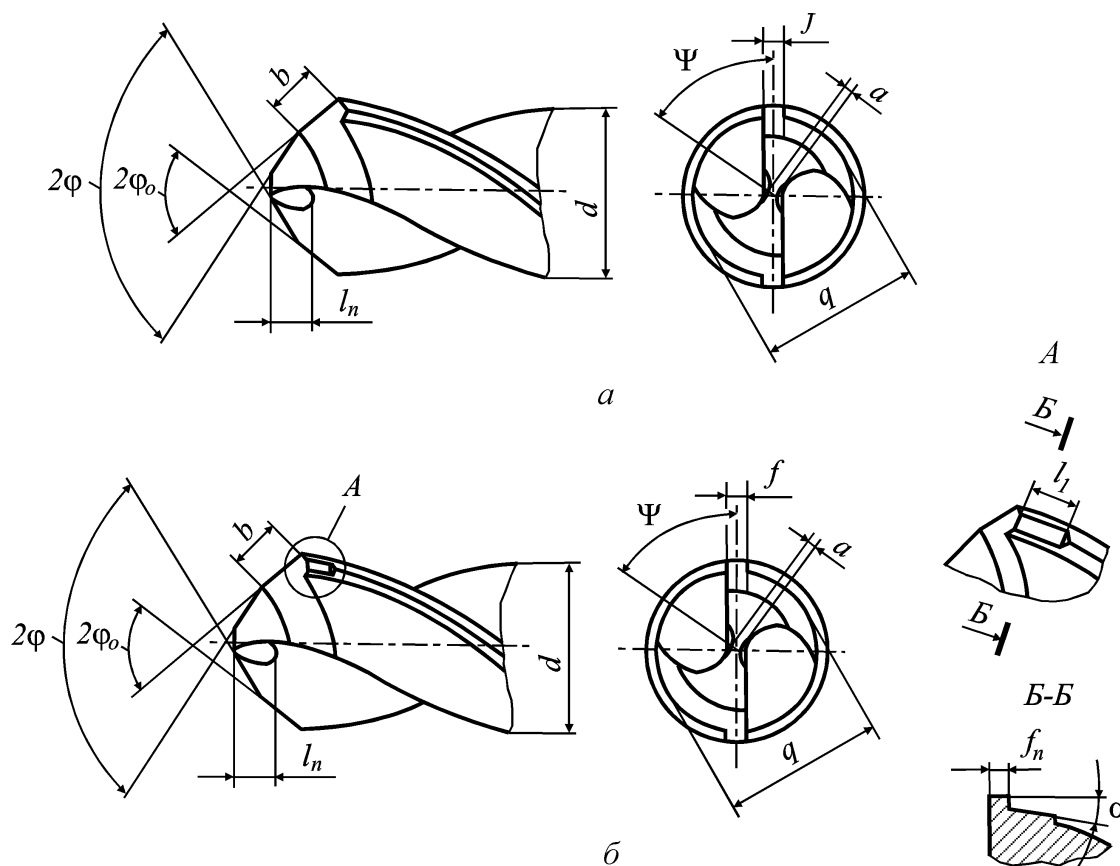


Рис. 1.30. Режущая часть сверла при двойной заточке:
 а – с подточкой поперечной кромки (ДП); б – с подточкой поперечной кромки и направляющей ленточки (ДПЛ)

Помимо главных и вспомогательных кромок на режущей части сверла имеется еще поперечная кромка, образуемая как линия пересечения главных задних поверхностей. Ее расположение относительно проекции главных режущих кромок на плоскость, перпендикулярную оси сверла, характеризуется углом ψ , который принято

называть углом наклона поперечной кромки. Величина этого угла при правильной заточке задних поверхностей составляет $50...55^\circ$.

Размеры поперечной кромки оказывают существенное влияние на величину осевой силы, действующей на сверло. Так, исследованиями [7, 15] установлено, что на поперечную кромку приходится $50...60\%$ от величины осевой силы. В связи с этим для уменьшения осевой силы в ряде случаев производят подточку поперечной кромки с целью уменьшения ее длины (см. рис. 1.29, б, в и 1.30, а).

Направляющая часть сверла обеспечивает его направление в процессе резания. Она имеет две (в некоторых случаях – четыре) направляющие ленточки шириной f и две винтовые канавки, через которые отводится стружка и поступает смазочно-охлаждающая жидкость.

Как видно из рис. 1.29 и 1.30, поверхности ленточек на участках, примыкающих к вершинам режущих лезвий, играют роль вспомогательных задних поверхностей A'_α . Для уменьшения трения ленточек о поверхность обрабатываемого отверстия и устранения защемления сверла его направляющая часть может выполняться с обратной конусностью, составляющей, в зависимости от диаметра сверла, от 0,06 до 0,15 мм на 100 мм длины. Кроме того, в ряде случаев производится подточка ленточек на длине l_1 (см. рис. 1.29, в и 1.30, б). При этом ширина ленточек на участках, примыкающих к вершинам режущих лезвий, уменьшается до $f_n = 0,1...0,3$ мм.

Линии пересечения цилиндрических ленточек с поверхностями стружкоотводящих канавок называются направляющими кромками ленточек и на участках, примыкающих к вершинам лезвий, могут рассматриваться как вспомогательные режущие кромки K' (см. рис. 1.29, 1.30), а угол обратного конуса сверла – как вспомогательный угол в плане φ_1 . Величина этого угла невелика (не более $5'$) и может быть определена по формуле

$$\varphi_1 = \arctg \frac{d_{нач} - d_{кон}}{2l_n}, \quad (1.16)$$

где $d_{нач}$ и $d_{кон}$ диаметры сверла в начале и в конце направляющей части; l_n – длина направляющей части.

Условия отвода стружки и охлаждения сверла в значительной мере зависят от размеров и формы поперечного сечения канавок, от шероховатости их поверхностей и от угла наклона винтовых канавок ω . Под углом наклона винтовых канавок понимают угол между осью сверла и касательной к кромке ленточки сверла. Величина этого угла в зависимости от диаметра сверла и свойств обрабатываемых материалов выбирается в пределах $\omega = 18...30^\circ$.

В некоторых случаях, когда выход стружки не встречает затруднений, угол ω может быть равен 0° . Сверла с углом $\omega = 0^\circ$ получили название перовых (рис. 1.31, а).

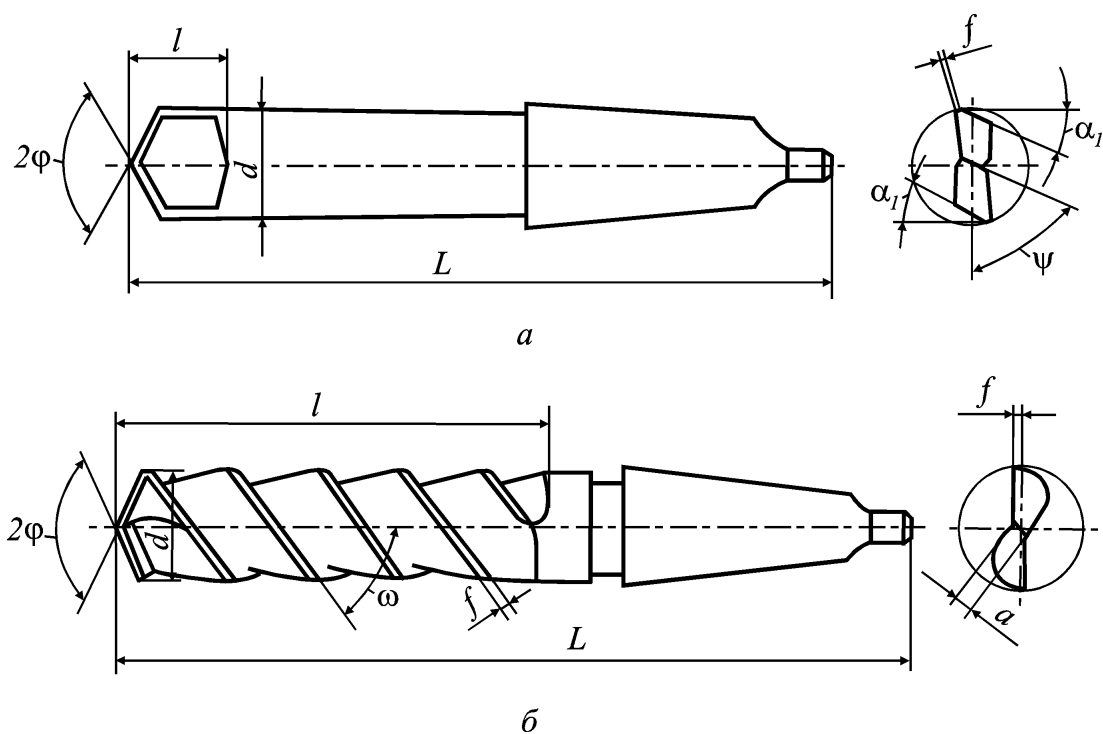


Рис. 1.31. Перовое (а) и шнековое (б) сверла

При обработке материалов, дающих мелкодробленую сыпучую стружку (стружку надлома), например, при обработке чугуна, бронзы и некоторых видов пластмасс, угол ω целесообразно увеличить до $55...65^\circ$. Сверла с такими углами получили название шнековых (рис. 1.31, б).

При известном шаге сверла P угол ω определяют по формуле [7]

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\pi d}{P}. \quad (1.17)$$

Хвостовик служит для закрепления сверла и передачи крутящего момента от шпинделя при обработке отверстий на сверлильных станках. В зависимости от диаметра свёрла могут изготавливаться с цилиндрическим (см. рис. 1.28, *а*) или коническим (рис. 1.28, *б*) хвостовиками.

Конический хвостовик выполняется в виде конуса Морзе с углом, примерно равным $1^{\circ}30'$, что обеспечивает передачу крутящего момента от шпинделя станка за счет возникающих сил трения.

Размеры конусов Морзе стандартизованы и определяют номер конуса. Наибольшие диаметры конусов приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Наибольшие значения диаметров у конусов Морзе

Номер конуса Морзе	0	1	2	3	4	5	6
Наибольший диаметр конуса $d_{нб}$, мм	9,2	12,2	18,0	24,1	31,6	44,7	63,8

Для выбивания сверл с коническим хвостовиком из отверстия шпинделя предусмотрена лапка $l_{л}$, (см. рис. 1.28, *б*).

Между рабочей частью и коническим хвостовиком сверла довольно часто имеется переходная часть в виде шейки $l_{ш}$ (рис. 1.28, *б*), служащей для выхода абразивного круга при шлифовании направляющей части и конуса сверла. На ней маркируется диаметр сверла, материал режущей части и товарный знак завода-изготовителя.

1.5.3. ГЕОМЕТРИЯ РЕЖУЩИХ ЛЕЗВИЙ СВЕРЛА

Геометрия режущих лезвий сверла, как и любого режущего инструмента, определяется в соответствии с ГОСТ 25762–83, регламентирующим термины, определения и обозначения общих понятий, относящихся к обработке резанием. Она характеризуется передним уг-

лом γ и задним углом α . Базами для отсчета величин этих углов, согласно стандарту, являются две координатные плоскости: основная – P_o и плоскость резания – P_n .

Углы спирального сверла могут рассматриваться в статическом состоянии (в инструментальной или статической системе координатных плоскостей) и в процессе резания (в кинематической системе координатных плоскостей).

На рис. 1.32 показаны углы режущего лезвия сверла в статической системе координат, в сечениях главной $P_{\tau c}$ и нормальной P_{nc}

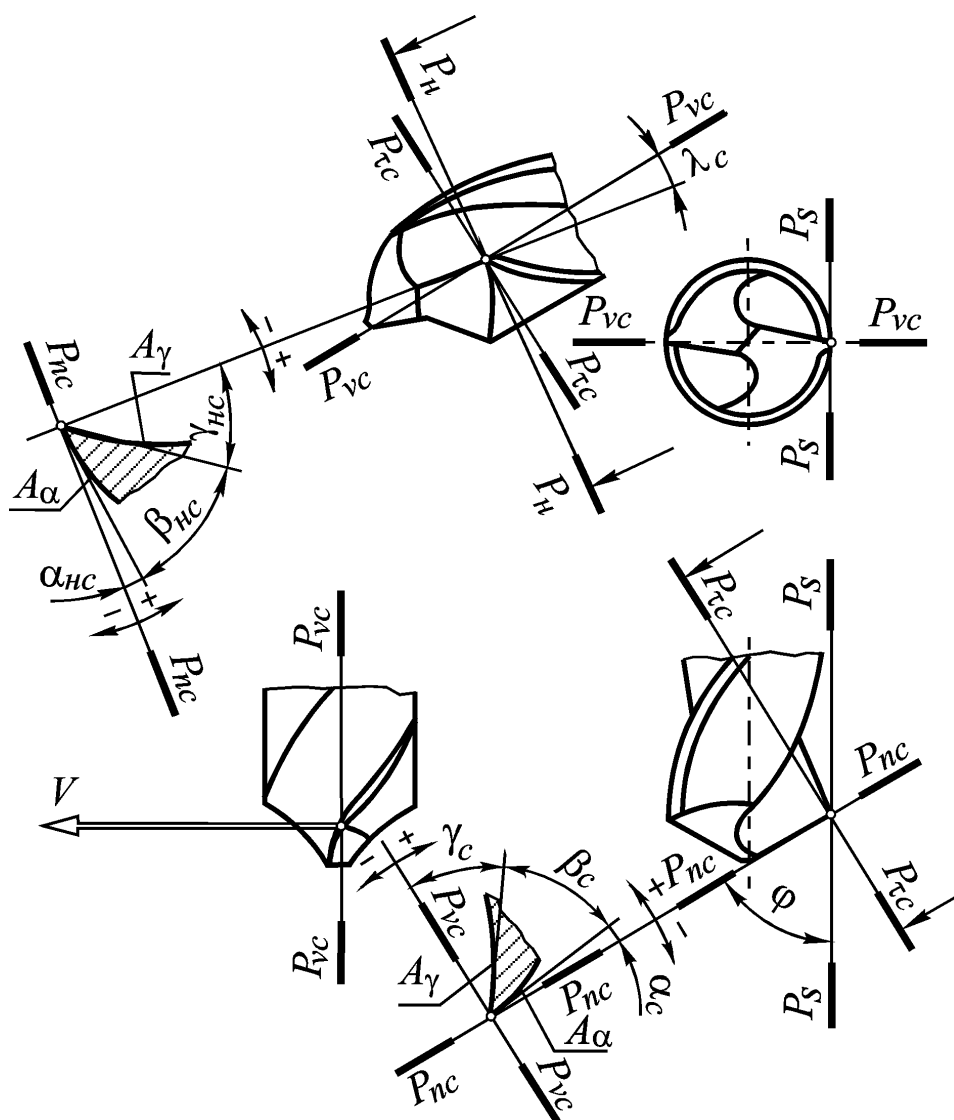


Рис. 1.32. Геометрия режущего лезвия сверла в статической системе координат

секущими плоскостями. На этом же рисунке показана рабочая плоскость P_s , в которой расположены направления скоростей главного движения резания и движения подачи. В том случае, если статический угол наклона режущей кромки λ_c равен нулю, то статические главная и нормальная секущие плоскости совпадают.

Статический главный передний угол γ_c – это угол в статической главной секущей плоскости P_{π} между передней поверхностью лезвия и статической основной плоскостью $P_{\nu c}$.

Статический главный задний угол α_c – это угол в статической главной секущей плоскости между задней поверхностью лезвия и статической плоскостью резания P_n .

На практике геометрию режущего лезвия сверла рассматривают в нормальной и осевой (рабочей) секущих плоскостях. В частности, для удобства контроля задний угол α_o измеряют в осевой плоскости.

Этот угол представляет собой угол между касательной к задней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и касательной в этой же точке к окружности, образующейся при вращении данной точки вокруг оси сверла.

В отличие от резцов передний и задний углы сверла не остаются постоянными по длине режущей кромки.

Изменения переднего угла связаны с тем, что передняя поверхность сверла, как правило, представляет собой винтовую поверхность и величина переднего угла определяется углом наклона винтовой линии, который от периферии к центру сверла уменьшается. Это приводит к соответствующему изменению переднего угла. Величина нормального переднего угла в любой точке режущей кромки рассчитывается по формуле² [7]

$$\operatorname{tg} \gamma_{hi} = \frac{d_i}{d} \cdot \frac{\operatorname{tg} \omega}{\sin \varphi},$$

² Индекс «С» при передних и задних углах для удобства написания в данной и последующих формулах – опущен.

где d_i – диаметр окружности, на которой расположена рассматриваемая i -ая точка режущей кромки; d – диаметр сверла; ω – угол наклона винтовой канавки (угол наклона винтовой линии на периферии сверла); φ – угол в плане главной режущей кромки, равный половине угла при вершине.

Для определения величины переднего угла в любой i -ой точке режущей кромки в осевой плоскости используется зависимость вида [7]

$$\operatorname{tg} \gamma_{oi} = \frac{d_i}{d} \operatorname{tg} \omega,$$

т.е. на периферии сверла в осевой плоскости передний угол равен углу наклона винтовой канавки.

Нормальный задний угол определяется по формуле [10]

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha_o \sin \varphi.$$

Уменьшение переднего угла γ от периферии к центру сверла (в некоторых случаях угол γ может приобретать даже отрицательные значения) затрудняет процесс стружкообразования на участках режущих кромок, примыкающих к поперечной кромке. Чтобы устранить этот недостаток и обеспечить постоянство переднего угла по длине режущей кромки, в ряде случаев производят заточку передней поверхности сверла по плоскости.

Вторая причина, вызывающая изменение переднего и заднего углов сверла, связана с кинематикой процесса резания, а именно с наличием движения подачи. Если учесть движение подачи, то оказывается, что действительный передний угол сверла, по сравнению с полученным при заточке, увеличивается, а действительный задний угол – уменьшается, и тем значительно, чем ближе рассматриваемая точка к центру сверла.

Увеличение действительного переднего угла существенно не отражается на работоспособности сверла, а уменьшение действительного заднего угла, напротив, приводит к увеличению площади контакта по задней поверхности сверла и более интенсивному его износу, особенно, на участках вблизи поперечной кромки.

Во избежание этого сверла затачивают таким образом, чтобы задний угол в статическом состоянии увеличивался по мере приближения к оси сверла (см. рис. 1.32): на периферии угол α делают равным $8...12^\circ$ с постепенным его увеличением к центру до $20...25^\circ$. В результате в процессе резания происходит некоторое выравнивание действительных значений заднего угла.

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

«ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, ГЕОМЕТРИИ И КОНТРОЛЬ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ»

2.1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы – закрепление теоретических знаний в области классификации, конструкции и геометрии токарных резцов, а также приобретение практических навыков их эскизирования и измерения.

Задачи:

- изучить назначение, типы, конструкции и геометрию токарных резцов;
- ознакомиться со средствами измерений, применяемыми для контроля геометрических параметров резцов, и выполнить измерения этих параметров;
- изобразить схемы обработки заготовок различными типами токарных резцов и выполнить эскиз резца.

2.2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить инструкцию по технике безопасности при выполнении лабораторной работы.
2. Изучить методические указания по выполнению данной работы.
3. Получить практическое представление о назначении, конструкциях и геометрии токарных резцов, а также схемах обработки ими.

4. Изобразить заданные преподавателем схемы обработки заготовок различными резцами с указанием главного движения и движения подачи, а также главного и вспомогательного углов в плане резца.

5. Ознакомиться со средствами и методикой измерений линейных и угловых размеров резцов.

6. Измерить линейные и угловые параметры резца.

7. Выполнить эскиз резца с необходимыми сечениями.

8. Оформить отчет по работе.

2.3. ИНСТРУМЕНТЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В РАБОТЕ

Режущие инструменты:

- различные виды токарных резцов с напайными пластинами;
- токарные резцы со сменными многогранными пластинами;
- круглые и призматические фасонные резцы.

Средства измерений:

- измерительные металлические линейки и штангенциркули для определения линейных размеров инструментов;
- настольные угломеры конструкции ЛМТ и универсальные угломеры с нониусом типа УМ для измерения угловых размеров инструментов.

2.4. ВЫПОЛНЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ РАБОТЫ

2.4.1. ИЗУЧЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ И ОСНОВНЫХ ТИПОВ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ

Руководствуясь материалом, приведенным в подразделе 1.1, необходимо изучить основные операции токарной обработки и основные типы токарных резцов, используемых на этих операциях.

С целью усвоения и закрепления знаний о типах резцов и характере выполняемых ими операций точения каждый студент получает задание на вычерчивание трех схем обработки, указанных в бланке отчета (приложение 1). Сочетание операций и типов резцов может

быть различным, например, обточка подрезным, расточка упорным и торцовка проходным резцами и т.д.

На схемах указываются направление главного движения резания (D_r), направление движения подачи (D_S), главный φ и вспомогательный φ_1 углы в плане.

Помимо ранее указанного задания в бланке отчета студентом дается также определение двум стандартным терминам, из приведенных в скобках (P_v , P_n , P_τ , P_S , γ , α , β , φ , φ_1 , λ).

2.4.2. ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗЦОВ

С помощью штангенциркуля измеряются линейные размеры (см. рис. 1.2, 1.8, z): L – общая длина резца; H – высота державки; B – ширина державки; m – смещение головки; l_n – длина пластины; b_n – ширина пластины; s_n – толщина пластины;

Все пластины из инструментальных материалов для оснащения режущих инструментов, в частности резцов (методами сварки, пайки или склеивания), стандартизированы по форме и размерам и имеют четырехзначный (для пластин из быстрорежущих сталей) или пятизначный (для пластин из твердых сплавов) номер. Первые две цифры указывают на инструментальный материал, тип и форму пластины, а последующие – условно связаны с размерами.

По размерам l_n , b_n , и s_n , используя таблицы, представленные в работе [20], устанавливают, какая из стандартных пластин была применена для оснащения изучаемого резца. При этом следует иметь в виду, что исходные размеры пластины могли уменьшиться в связи с заточкой.

Результаты измерения линейных параметров заносятся в соответствующую таблицу бланка отчета (см. приложение 1).

Угловые параметры резцов могут быть измерены, например, с помощью настольного угломера конструкции ЛМТ и универсального угломера с нониусом типа УМ.

Настольный угломер позволяет измерить главный γ и вспомогательный γ_1 передние углы, главный α и вспомогательный α_1 задние

углы, углы наклона главной λ и вспомогательной λ_1 режущих кромок, а также главный φ и вспомогательный φ_1 углы в плане. С помощью универсального угломера с нониусом можно измерить главный и вспомогательный углы в плане и угол при вершине резца ε .

Настольный угломер (рис. 2.1) состоит из основания 1, выполненного в виде плиты с базовой поверхностью (плоскостью) А для установки на нее измеряемого резца, колонки 2, по которой перемещается измерительный блок, включающий вертикальную 3 и горизонтальную 7 угловые шкалы с поворотными указателями 4 и 6, и направляющей планки 5.

Вертикальная угловая шкала 3 с поворотным указателем 4 применяется при измерении углов в главной и вспомогательной секущих плоскостях, плоскости резания, а также в плоскости, проходящей через вспомогательную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости. При этом измерительная линейка Б используется при измерении углов γ , γ_1 , λ , λ_1 , а измерительная линейка В – при измерении углов α , α_1 (см. рис. 2.1, а). При установке штриховой отметки указателя 4 против нуля измерительная линейка Б занимает положение параллельное плоскости А, а измерительная линейка В – перпендикулярное плоскости А.

Измерение углов в основной плоскости производится с помощью горизонтальной угловой шкалы 7 с поворотным указателем 6, имеющим измерительную линейку Г (см. рис. 2.1, б). Для обеспечения правильной установки резца при измерении углов φ и φ_1 применяется направляющая планка. В процессе измерения боковая поверхность державки резца должна быть плотно прижата к направляющей планке.

Схемы измерения углов в главной секущей плоскости показаны на рис. 2.2, а, б. При измерении главного переднего γ и главного заднего α углов резец устанавливают на базовую плоскость А настольного угломера так, чтобы плоскость, в которой располагается поворотный указатель 4 совпала с главной секущей плоскостью P_τ в

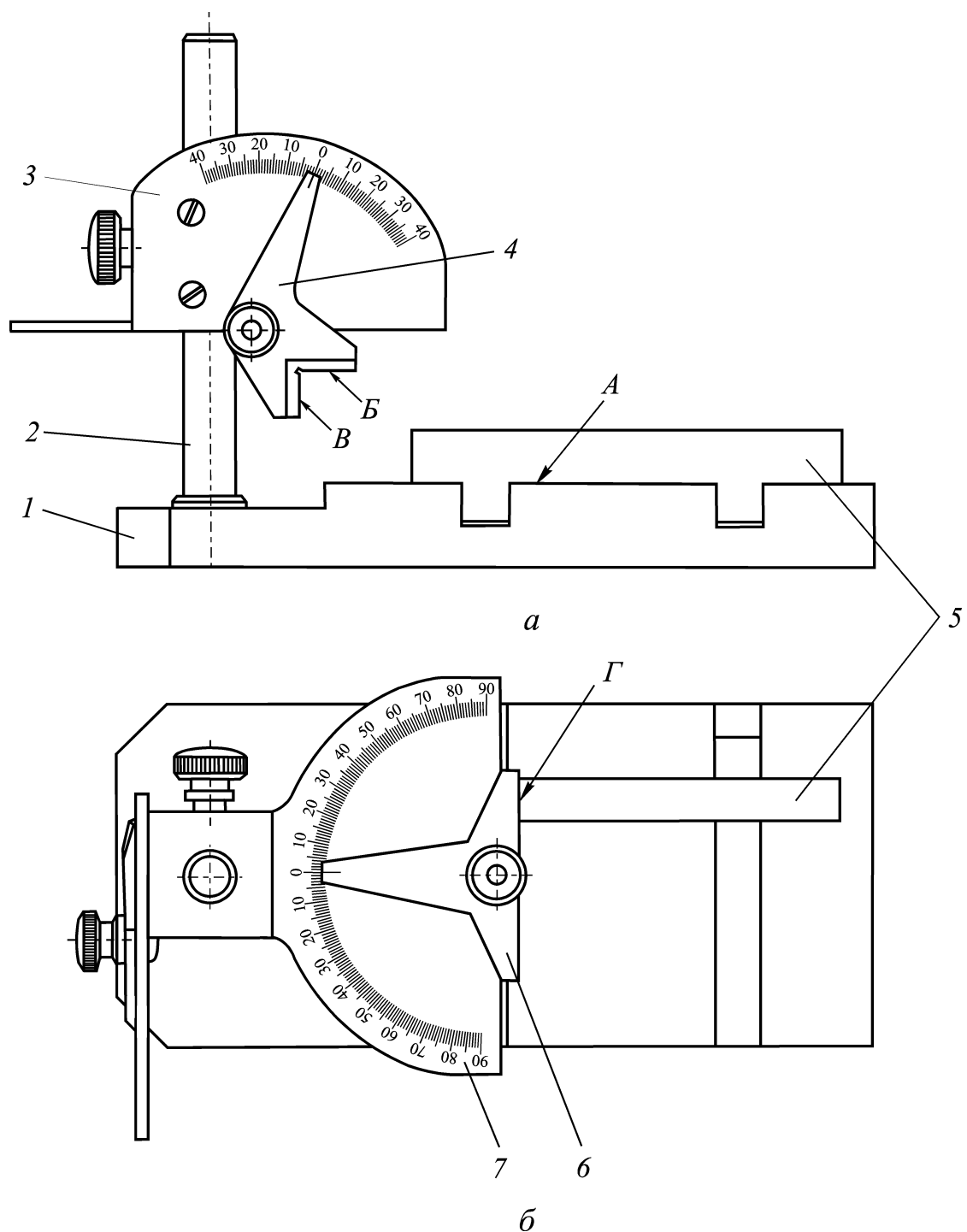


Рис. 2.1. Настольный угломер конструкции ЛМТ:

a – положение для измерения углов в главной и вспомогательной секущих плоскостях, в плоскости резания и в плоскости, проходящей через вспомогательную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости; *б* – положение для измерения углов в основной плоскости

рассматриваемой точке режущей кромки. После чего измерительные линейки Б и В поворотного указателя вертикальной угловой шкалы поочередно подводятся до соприкосновения без зазора с передней и

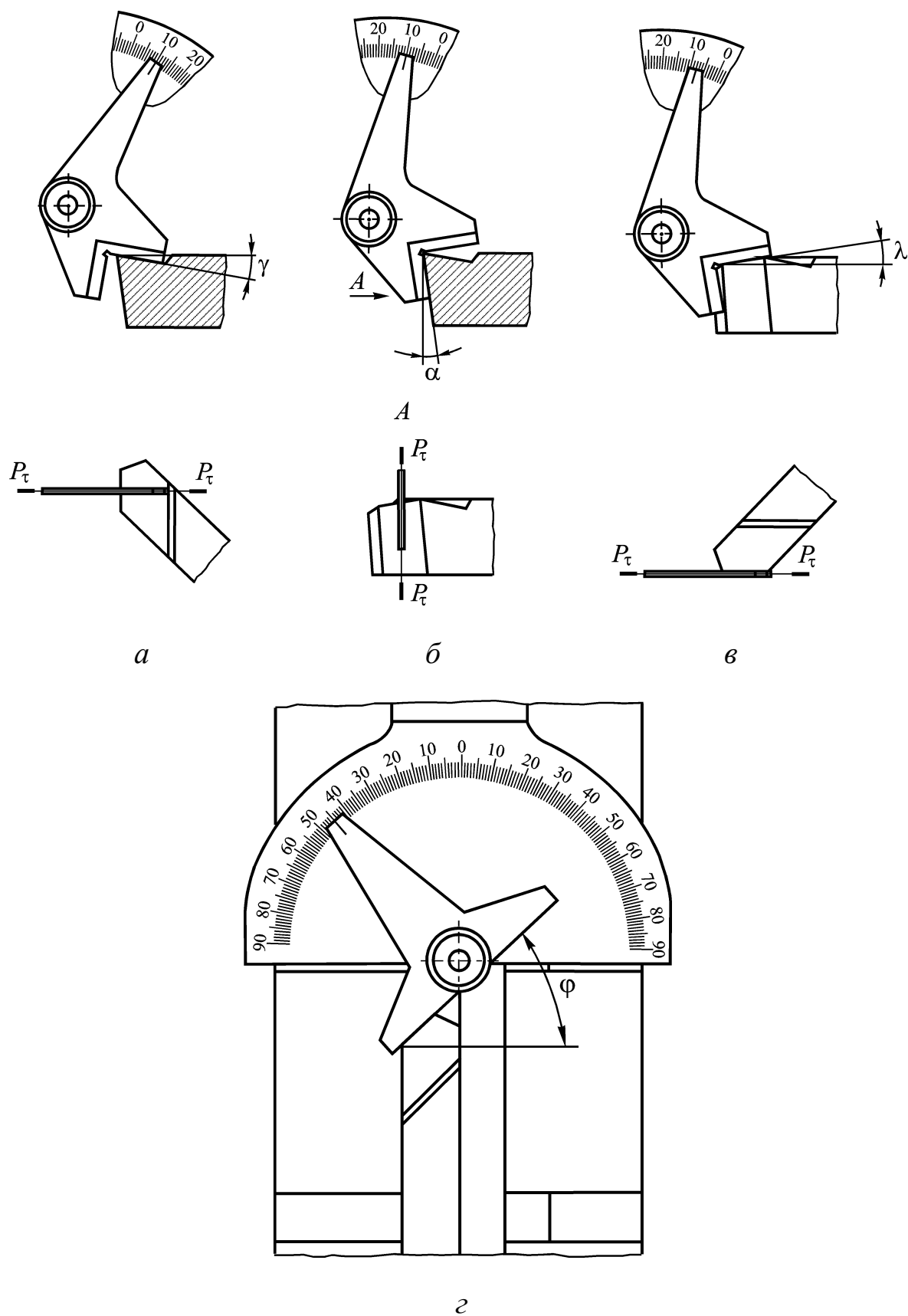


Рис. 2.2. Схемы измерения углов резца:

a – главного переднего γ ; *б* – главного заднего α ; *в* – угла наклона главной режущей кромки λ ; *г* – главного угла в плане φ

задней поверхностями резца и фиксируются винтом. Значения переднего γ и заднего α углов определяются по вертикальной угловой шкале. Аналогично определяются углы γ_1 и α_1 во вспомогательной секущей плоскости.

Схема измерения угла наклона главной режущей кромки λ показана на рис. 2.2, в. Для измерения данного угла плоскость расположения поворотного указателя 4 (см. рис. 2.1, а) совмещается с плоскостью резания, при этом измерительная линейка Б устанавливается без зазора на главную режущую кромку. Значение угла λ определяется по вертикальной угловой шкале. Таким же образом определяется угол наклона вспомогательной режущей кромки λ_1 .

Измерение главного угла в плане φ с помощью настольного угломера показано на рис. 2.2, г.

Как видно из данного рисунка, резец опорной поверхностью устанавливается на базовую поверхность А настольного угломера, при этом боковая поверхность державки должна быть совмещена с боковой поверхностью направляющей планки (см. рис. 2.2, г).
Главный

угол в плане φ определяется по горизонтальной угловой шкале при совмещении измерительной линейки Г горизонтального поворотного указателя (см. рис. 2.1, б) с главной режущей кромкой. Аналогичным образом измеряется вспомогательный угол в плане φ_1 .

Как уже ранее отмечалось, углы в основной плоскости могут быть измерены с помощью универсального угломера с нониусом типа УМ (рис. 2.3).

Угломер УМ состоит из основания 2 с угловой шкалой, имеющей диапазон показаний от 0° до 90° и цену деления $C = 1^\circ$. На основании 2 жестко закреплена линейка основания 7. Подвижная линейка 4 выполнена заодно с сектором 8, несущим нониус 1. Сектор поворачивается вокруг оси винта 3 и фиксируется стопором 10. На подвижной линейке с помощью державки 5 может быть установлен угольник 6. Для точной установки нониуса сектор перемещают микровинтом 9.

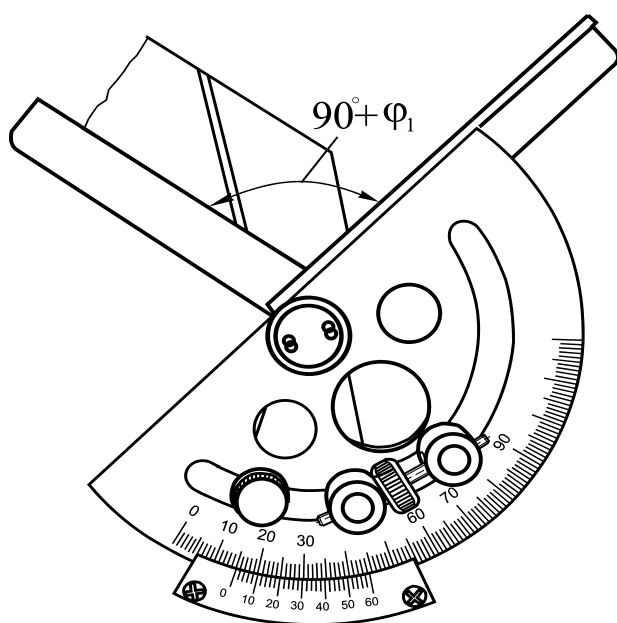


Рис. 2.4. Схема измерения вспомогательного угла в плане φ_1

вая, что тупой угол в этом случае, исходя из геометрических построений, равен $(\varphi_1 + 90^\circ)$ по шкале прибора сразу определяется значение угла φ_1 . Измерение главного угла в плане φ может быть выполнено по подобной схеме.

Схема измерения угла ε приведена на рис. 2.5. Для измерения данного угла резец главной режущей кромкой прижимается к неподвижной линейке, а вспомогательной режущей кромкой к подвижной линейке основания, после чего производится отсчет величины угла.

Учитывая, что $\varphi + \varepsilon + \varphi_1 = 180^\circ$, один из данных углов может быть определен расчетом после измерения остальных двух.

Схема измерения вспомогательного угла в плане φ_1 приведена на рис. 2.4. Резец боковой стороной державки прижимается к подвижной линейке, а вспомогательной режущей кромкой к неподвижной линейке основания. При этом точная установка осуществляется микровинтом. Величину тупого угла между боковой стороной державки и вспомогательной режущей кромкой отсчитывают по угловой шкале и шкале нониуса. Учиты-

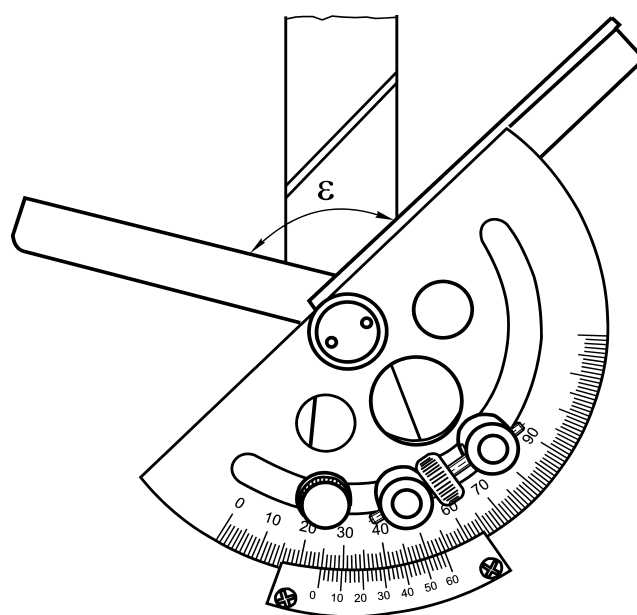


Рис. 2.5. Схема измерения угла при вершине резца ε

Результаты измерений углов заносятся в соответствующую таблицу бланка отчета.

2.4.3. ЭСКИЗИРОВАНИЕ РЕЗЦОВ

Эскизы выполняются в соответствии с требованиями ЕСКД.

В качестве главного вида принимается проекция резца на основную плоскость. Длинная сторона державки располагается параллельно большой стороне формата (бланка). При этом главный вид размещается так, чтобы сверху его оставалось поле для свободного изображения сечений головки резца главной и вспомогательной секущими плоскостями.

На главном виде изображается наложенное на него сечение державки. Далее в правом верхнем углу изображается сечение режущей части резца главной секущей плоскостью P_τ , а в левом – сечение режущей части резца вспомогательной секущей плоскостью P'_τ . При этом предварительно необходимо изобразить следы координатных плоскостей P_v и P_n под углом 90° друг к другу, а затем проекции передних и задних поверхностей режущих лезвий. Следует обратить внимание на соответствие положения передних поверхностей реальному знаку (+ или –) передних углов γ и γ_1 (см. рис. 1.10).

2.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В процессе выполнения работы оформляется отчет. В отчете приводятся: три схемы для различных операций точения, эскиз контролируемого резца; таблицы с замеренными значениями линейных и угловых параметров резца; выводы по работе. Бланк отчета приведен в приложении 1.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Назовите основные конструктивные элементы резца?
2. Дайте определение передней поверхности.

3. Дайте определение главной и вспомогательной задним поверхностям.
4. Перечислите основные типы токарных резцов.
5. Какие резцы предназначены для обработки наружных цилиндрических поверхностей?
6. Какими резцами может быть выполнена подрезка торцов заготовок?
7. Назовите резцы, применяемые для обработки отверстий.
8. В каких системах координат может рассматриваться геометрия режущей части инструмента?
9. Какие плоскости относятся к координатным плоскостям?
10. Какие углы режущего лезвия определяются в главной секущей плоскости?
11. Какие углы режущего лезвия определяются в вспомогательной секущей плоскости?
12. Какие углы режущего лезвия определяются в плоскости резания?
13. Какие углы режущего лезвия определяются в основной плоскости?
14. Дайте определение термину – главный передний угол.
15. Дайте определение термину – главный задний угол.
16. С помощью каких средств измерений можно измерить главный и вспомогательный углы в плане?
17. Какие углы резца можно измерить при помощи универсального угломера?
18. Какие углы резца можно измерить при помощи угломера с нониусом типа УМ?

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

«ДЕФОРМАЦИЯ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ»

3.1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы – закрепление теоретических знаний в области стружкообразования и деформации срезаемого слоя материала, а

также получение практических навыков исследования данных процессов.

Задачи:

- ознакомиться с экспериментальным методом определения деформации срезаемого слоя при точении и средствами измерений, используемыми при проведении исследований;
- ознакомиться с методикой проведения однофакторного эксперимента при исследовании усадки стружки и относительного сдвига при точении;
- приобрести практические навыки проведения исследований и обработки опытных данных.

3.2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить инструкцию по технике безопасности при выполнении лабораторной работы.
2. Изучить методические указания по выполнению данной работы.
3. Ознакомиться с экспериментальным методом определения усадки стружки и средствами измерений, используемыми при проведении исследований.
4. Ознакомиться с методикой проведения исследований и обработки опытных данных.
5. Провести экспериментальные исследования по определению влияния элементов режима резания на коэффициент усадки стружки и относительный сдвиг при точении.
6. Оформить отчет по работе.

3.3. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В РАБОТЕ

Металлорежущее оборудование:

- токарно-винторезный станок.

Режущие инструменты:

- проходные токарные резцы.

Средства измерений:

- штангенциркуль для измерения диаметра заготовки;
- тахометр для определения числа оборотов заготовки;
- резьбовой и гладкий микрометры для измерения соответственно толщины и ширины сливной (непрерывной) стружки;
- большой инструментальный микроскоп (БМИ) для измерения толщины суставчатой и элементной стружек и гладкий микрометр для измерения толщины этих стружек.

3.4. ВЫПОЛНЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ РАБОТЫ

3.4.1. ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ МЕТОДОМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСАДКИ СТРУЖКИ

Усадка стружки может быть определена экспериментальным путем на основе измерения её геометрических параметров. При этом в зависимости от типа стружек используются различные средства измерения.

Для измерения параметров сливной (непрерывной) стружки обычно используются резьбовой и гладкий микрометры, конструкции и принцип работы которых были подробно рассмотрены при изучении курса «Метрология, стандартизация и сертификация». При этом для измерения толщины стружки a_1 (см. рис. 1.14) используется резьбовой микрометр, а для измерения её ширины b_1 – гладкий микрометр. Толщина a и ширина b срезаемого слоя (среза) материала определяются исходя из величин подачи S_o и глубины резания t , при которых была получена исследуемая стружка

$$a = S_o \sin \varphi; \quad b = \frac{t}{\sin \varphi},$$

где φ – главный угол в плане.

По результатам измерения величин a_1 , b_1 и результатам расчета величин a и b , используя выражения (1.2), определяются коэффици-

енты усадки стружки по толщине K_a и ширине K_b , а по формуле (1.4) коэффициент продольной усадки стружки K_l .

Для измерения геометрических параметров суставчатой или элементной стружек целесообразно использовать гладкий микрометр и большой инструментальный микроскоп БМИ, конструкция и принцип работы которого также изучены в курсе «Метрология, стандартизация и сертификация», оснащенный объективом с 50-кратным увеличением. Гладкий микрометр следует применять при измерении ширины стружки b_1 , а БМИ – использовать для измерения толщин a'_1 и a''_1 (см. рис. 1.19). В последнем случае стружка, например, при помощи пластилина боковой стороной закрепляется на плоскопараллельной пластине, которая в свою очередь устанавливается на столе инструментального микроскопа. Полученное изображение боковой стороны стружки проецируется в фокальную плоскость окуляра угломерной головки, в которой расположена поворотная сетка. Поворотом стола микроскопа вокруг его вертикальной оси стружка устанавливается таким образом, чтобы размерные линии a'_1 и a''_1 (см. рис. 1.19) были параллельны горизонтальной штриховой линии сетки окуляра. Затем при помощи микрометрических устройств продольного и поперечного перемещений стола микроскопа производится измерение размеров a'_1 , a''_1 и m , которые используются для определения по формуле (1.12) коэффициента полноты (сплошности) стружки ε_o , необходимого для расчета коэффициента продольной усадки стружки K_l по формуле (1.3).

Однако следует отметить, что измерение таких параметров как a'_1 , a''_1 и m указанным ранее способом не обеспечивает необходимую точность. Невысокая точность измерения обусловлена искажением профиля стружки из-за наличия краевого эффекта. Более точные результаты исследуемых параметров могут быть получены при их измерении в продольном сечении стружки, расположенном в средней

части её ширины, например, при помощи металлографического метода.

Металлографический метод является одним из наиболее эффективных и достаточно точных методов, позволяющих исследовать как деформацию срезаемого слоя, так и всей зоны резания. В частности, данный метод позволяет наряду с линейными параметрами стружки определить такие характеристики деформированного состояния, как углы сдвига, текстуры, а также микротвердость стружки и различных участков зоны резания.

Сущность данного метода заключается в фотографировании на металлографическом микроскопе с увеличением $\times 70 \dots 120$ специальным образом подготовленных микрошлифов. Используя полученные микрофотографии можно определить необходимые параметры стружек и их корней. На рис. 3.1 в качестве примера приведена микрофотография корня стружки с обозначением некоторых контролируемых параметров нержавеющей деформируемой стали 1X18H9T.

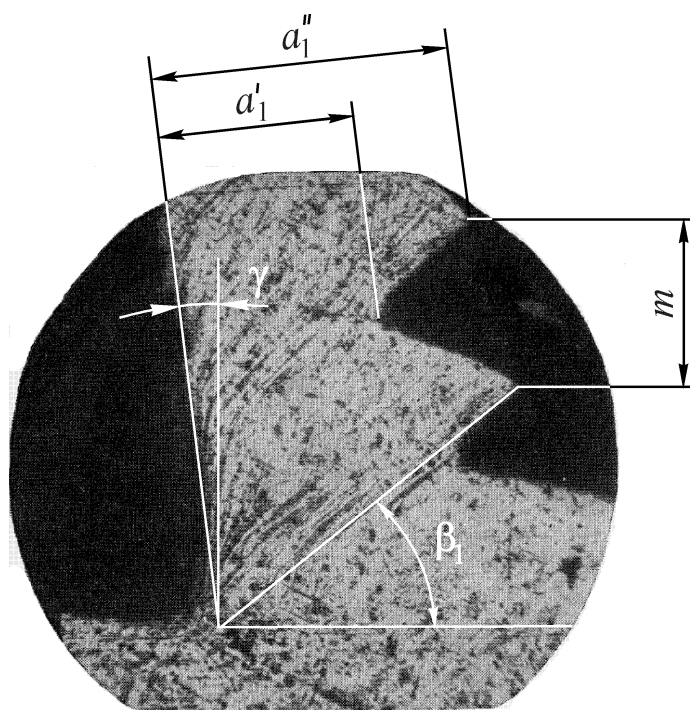


Рис. 3.1. Микрофотография корня стружки нержавеющей стали 1X18H9T [15]:

$\times 90$

3.4.2. ОЗНАКОМЛЕНИЕ С МЕТОДИКОЙ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ И ОБРАБОТКИ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ

Исследование деформации срезаемого слоя производится при продольном течении заготовки.

Для изучения различных типов стружек и их характеристик, а также для экспериментального исследования зависимостей усадки стружки и относительного сдвига от элементов режима резания все опыты проводятся на основе однофакторного эксперимента, т.е. последовательным изменением одного из факторов. В процессе проведения экспериментального исследования выполняются две серии опытов.

В первой серии опытов варьируемым параметром является скорость резания ($v = var$), остальные параметры (глубина резания, подача, геометрия резца и др.) остаются постоянными. В результате в табличной форме находятся частные зависимости:

$$K_l = f(v); \quad \varepsilon = f(v). \quad (3.1)$$

Во второй серии опытов варьируемым параметром является подача ($S_o = var$), остальные параметры остаются постоянными. В результате в табличной форме находятся частные зависимости:

$$K_l = f(S_o); \quad \varepsilon = f(S_o). \quad (3.2)$$

План опытов проведения однофакторного эксперимента для исследования влияния элементов режима резания на величины усадки стружки и относительного сдвига приведены в табл. 3.1. Результаты измерений заносятся в протокол отчета (приложение 2).

Таблица 3.1

План проведения однофакторного эксперимента

Номер опыта	Серия опытов с изменением	Факторы			Результат
		t , мм	S_o , мм/об	v , мм/мин	
1	скорости резания	$t = const$	$S_o = S_{o2} = const$	v_1	Зависимости $K_l = f(v)$,
2				v_2	

3				ν_3	$\varepsilon = f(\nu)$ в табличной форме
4				ν_4	
5	подачи	$t = const$	S_{o1}	$\nu = \nu_2 =$ $= const$	Зависимости $K_l = f(S_o)$ $\varepsilon = f(S_o)$ в табличной форме
6			S_{o2}		
7			S_{o3}		
8			S_{o4}		
Примечания. 1. Обрабатываемый материал – сталь 45. 2. Резец: материал ре- жущей пластины T15K6; $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_1 = 45^\circ$; $\gamma = 10^\circ$; $\alpha = \alpha_1 = 8^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $r = 0,5$ мм.					

В зависимости от типа полученной стружки выбираются соответствующие средства измерений для определения её параметров (см. 3.4.1).

Полученные при экспериментальном исследовании данные используются для расчета продольной усадки стружки K_l и относительного сдвига ε по формулам, приведенным в п.1.2.3. На основании расчетных данных в простых координатах строятся графики (3.1) и (3.2).

3.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В процессе выполнения работы оформляется отчет. В отчете приводятся: рисунки различных видов стружек; схемы для определения усадки стружки и относительного сдвига; исходные данные и результаты однофакторного эксперимента; расчетные формулы для определения коэффициентов усадки стружки и относительного сдвига при резании; графические зависимости коэффициента продольной усадки стружки и относительного сдвига от скорости резания и подачи; ответы на 2-3 контрольных вопроса; выводы по работе. Бланк отчета приведен в приложении 2.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Какие виды стружек образуются при резании металлов?
2. Дайте характеристику сливной стружке.
3. Дайте характеристику суставчатой стружке.
4. Дайте характеристику элементной стружке.
5. При обработке каких материалов образуется стружка надлома?
6. Изложите механизм образования стружки.
7. Что такое усадка стружки?
8. Какими параметрами характеризуется усадка стружки?
9. В каких пределах изменяются обычно коэффициенты продольной усадки стружки, усадки стружки по толщине и усадки стружки по ширине?
10. При обработке каких материалов имеет место отрицательная усадка стружки?
11. Что является количественной характеристикой величины деформации?
12. Какой вид деформации имеет место при резании?
13. Какой параметр является качественной характеристикой величины деформации?
14. Какая зависимость связывает относительный сдвиг с коэффициентом усадки стружки?

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 «СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ»

4.1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы – ознакомление с методикой экспериментального исследования сил резания при точении и приобретение навыков обработки результатов наблюдений.

Задачи:

- ознакомиться с динамометрической и регистрирующей аппаратурой, используемой при проведении экспериментальных исследований;
- ознакомиться с методикой проведения однофакторного эксперимента при исследовании составляющих силы резания и графическим методом обработки экспериментальных данных;

- приобрести практические навыки проведения экспериментальных исследований и обработки опытных данных.

4.2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить инструкцию по технике безопасности при выполнении лабораторной работы.
2. Изучить методические указания по выполнению данной работы.
3. Ознакомиться со средствами и методикой измерений составляющих силы резания при точении.
4. Ознакомиться с методикой обработки результатов экспериментальных исследований.
5. Провести экспериментальные исследования по определению влияния глубины резания, подачи и скорости резания на составляющие силы резания.
6. Обработать результаты экспериментальных исследований и получить эмпирические зависимости для расчета составляющих P_z , P_y , P_x силы резания при точении.
7. Оформить отчет по работе.

4.3. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В РАБОТЕ

Металлорежущее оборудование:

- токарно-винторезный станок.

Режущие инструменты:

- проходные токарные резцы с различными значениями переднего угла.

Средства измерений:

- штангенциркуль для измерения диаметра заготовки;
- тахометр для определения числа оборотов заготовки;
- динамометрическая и измерительная аппаратура (универсальный трехкомпонентный динамометр УДМ–1200, усили-

тель ТА-5, стабилизатор напряжения СН-170, приборный щиток с микроамперметрами М109).

4.4. ВЫПОЛНЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ РАБОТЫ

4.4.1. ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМОМЕТРИЧЕСКОЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Динамометрическая и измерительная аппаратура, применяемая в лабораторной работе, включает (рис. 4.1): универсальный трехкомпонентный динамометр УДМ–1200 1 конструкции Б.И. Мухина [9], усилитель ТА-5 2, стабилизатор напряжения СН-170 3 и приборный щиток с микроамперметрами М109 4.

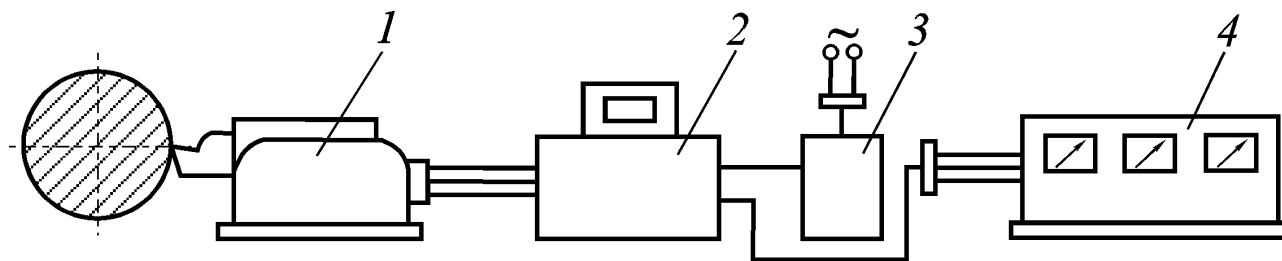


Рис. 4.1. Динамометрическая и измерительная аппаратура, применяемая при измерении составляющих силы резания

Динамометры типа УДМ позволяют измерять три составляющие силы резания P_z , P_y , P_x при точении, нарезании резьбы резцом, фрезеровании и шлифовании, а также осевую силу и крутящий момент при сверлении, зенкеровании, развертывании и нарезании резьбы метчиком. Конструкция универсального динамометра УДМ–1200 показана на рис. 4.2.

Динамометр состоит из корпуса 1, крышки 2 и державки 3, которая имеет вид квадратной пластины с круглым фланцем в верхней части. Державка позиционируется в корпусе динамометра при помощи шестнадцати специальных упругих опор. Контакт опор с державкой осуществляется по углам (см. рис. 4.2). На круглом фланце державки закрепляются сменные приспособления – резцедержатель или столик.

Каждая опора динамометра состоит из тонкостенной втулки 7 и двух опорных ножек 5 и 6, которые с сопрягаемыми деталями обра-

зуют два упругих шарнира. Жесткость такой опоры в продольном направлении, примерно, в 100 раз больше, чем в поперечном, поэтому она может воспринимать нагрузку только в одном направлении – осевом. Площади сечений втулки и ножек опоры равновелики и выбраны так, чтобы материал опоры работал в области упругих деформаций. При этом вертикальные и горизонтальные опоры рассчитаны на различные нагрузки. Опоры установлены в направляющих втулках 4 и имеют предварительный натяг, устраняющий зазоры и контактные деформации в стыках деталей динамометра.

На каждую из опор точно вдоль образующей втулки опоры наклеены проволочные датчики сопротивления (тензодатчики) 10 с базой, составляющей 10 мм, и номинальным электросопротивлением 100 Ом.

Соединительные провода от каждого датчика выведены через отверстия в корпусе динамометра на панель 8 и присоединены к клеммам 9. На панели 8 датчики соединены в измерительные схемы.

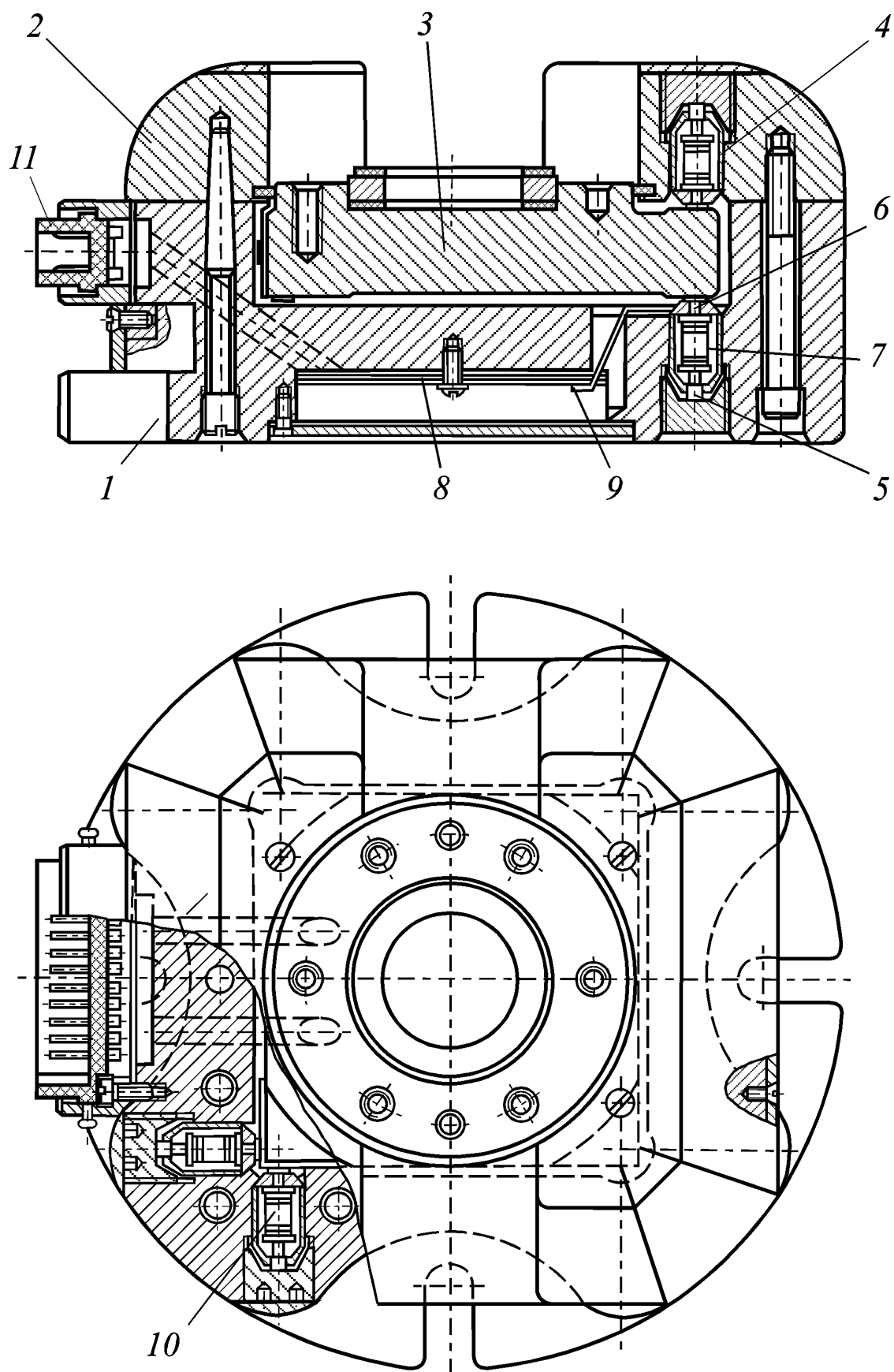


Рис. 4.2. Конструкция универсального динамометра УДМ-1200 [9]

Провода от диагоналей измерительных мостов выведены на разъемное шасси 11, к которому подсоединяют экранированный кабель от усилителя. Тензодатчики в совокупности с сопротивлениями усилителя ТА-5 (см. рис. 4.1) образуют мостовые электрические схемы, одна из которых, предназначенная для измерения главной составляющей силы P_z , приведена на рис. 4.3.

Плечи мостовой электрической схемы AE и EB состоят из сопротивлений R_{P_z} тензодатчиков динамометра, а плечи AD и DB – из

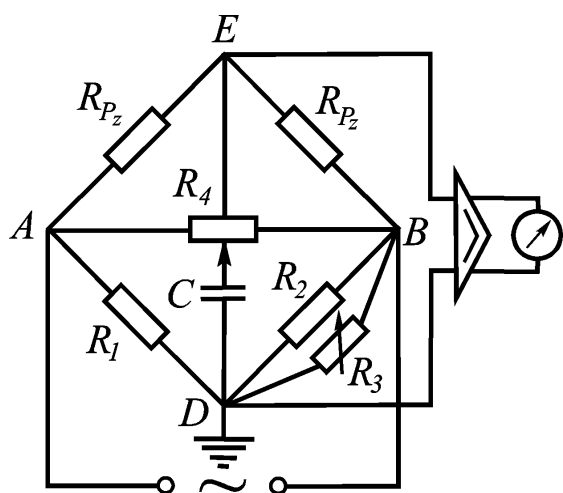


Рис. 4.3. Мостовая электрическая схема для измерения силы P_z

сопротивлений R_1 , R_2 и R_3 , усилителя ТА-5.

Перед началом эксперимента с помощью потенциометра R_3 производят балансировку активных сопротивлений плеч. Компенсация емкостных сопротивлений соединительных проводов осуществляется сопротивлением R_4 и конденсатором C , включенным параллельно плечам R_1 и R_2 . В статическом состоянии номинальные сопротивления всех плеч схемы равны ($R_1 = R_2 = R_{P_z}$).

Принцип работы динамометра заключается в следующем. Под действием составляющих силы резания деформируются упругие опоры динамометра. Например, под действием главной составляющей P_z силы резания одни из вертикальных стержней растягиваются, а другие сжимаются. В результате этих деформаций увеличивается или уменьшается электрическое сопротивление наклеенных тензодатчиков. По изменению электрического тока в цепи динамометра можно судить о действующих на динамометр нагрузках.

Электрический сигнал измерительной схемы динамометра пропорционален алгебраической сумме деформаций всех верхних и

нижних вертикальных опор. При указанном расположении и схеме включения тензодатчиков показания динамометра не зависят от точки приложения силы резания [9]. Электрический сигнал с диагонали ED для составляющей силы резания P_z поступает на усилитель ТА5, а затем передается на регистрирующую аппаратуру. В качестве регистрирующей аппаратуры могут использоваться либо микроамперметры, либо осциллограф.

Для того чтобы показания регистрирующих приборов, выраженные в электрических единицах ($мкА$), перевести в единицы измерения силы ($Н$) производится тарировка динамометра. Суть тарировки заключается в том, что динамометр последовательно подвергается статическому нагружению в направлениях z , y , x заранее заданными силами, которым соответствуют определенные значения величин электрического тока, снимаемые с регистрирующих приборов. По результатам тарировки строятся тарировочные графики в координатах «микроамперы – ньютоны».

4.4.2. ОЗНАКОМЛЕНИЕ С МЕТОДИКОЙ ПРОВЕДЕНИЯ ОДНОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследование составляющих P_z , P_y , P_x силы резания от элементов режима резания и переднего угла γ может производиться на основе использования методик однофакторного и многофакторного экспериментов. В предлагаемой лабораторной работе используется методика однофакторного эксперимента.

При однофакторном эксперименте закономерности изменения составляющих P_z , P_y , P_x силы резания в зависимости от элементов режима резания (глубины резания t , подачи S_o и скорости резания v) определяются последовательно. С этой целью проводится три серии опытов.

В первой серии опытов варьируемым параметром является глубина резания ($t = var$), остальные параметры (подача, скорость резания, геометрия резца и др.) остаются постоянными. В результате

находятся частные зависимости составляющих силы резания от глубины резания:

$$P_{z,y,x} = f(t). \quad (4.1)$$

Во второй серии опытов варьируемым параметром является подача ($S_o = var$), все остальные параметры остаются постоянными. По результатам этой серии опытов находятся частные зависимости составляющих силы резания от подачи:

$$P_{z,y,x} = f(S_o). \quad (4.2)$$

В третьей серии опытов варьируемым параметром является скорость резания ($v = var$), а все остальные параметры остаются постоянными. По результатам этой серии опытов определяются частные зависимости составляющих силы резания от скорости:

$$P_{z,y,x} = f(v). \quad (4.3)$$

Четвертая серия опытов проводится с целью получения зависимостей влияния переднего угла на составляющие силы резания:

$$P_{z,y,x} = f(\gamma). \quad (4.4)$$

В этой серии опытов варьируемым параметром является только передний угол ($\gamma = var$), а все остальные параметры, как и в предыдущих сериях опытов, остаются постоянными.

План опытов проведения однофакторного эксперимента для исследования влияния элементов режима резания и переднего угла на составляющие силы резания приведен в табл. 4.1. Следует отметить, что для более точного представления частных зависимостей количество опытов в каждой серии должно быть не менее 4–5. Результаты измерений заносятся в протокол отчета (приложение 3).

При монотонном изменении составляющих силы резания частные зависимости (4.1)–(4.3) наиболее удобно аппроксимировать степенными функциями [3], поэтому, например, для главной составляющей силы резания P_z они могут быть представлены в виде:

$$P_z = C_{1_{P_z}} \cdot t^{x_{P_z}}, \quad (4.5)$$

$$P_z = C_{2P_z} \cdot S_o^{y_{P_z}}, \quad (4.6)$$

$$P_z = C_{3P_z} \cdot v^{-z_{P_z}}. \quad (4.7)$$

Таблица 4.1

План проведения однофакторного эксперимента

Номер опыта	Серия опытов с изменением	Факторы				Результат
		t , мм	S_o , мм/об	v , мм/мин	γ , град	
1	глубины резания	t_1	Одно из значений, взятых из серии подач $S_o = S_{o3} = \text{const}$	Одно из значений, взятых из серии скоростей $v = v_3 = \text{const}$	Одно из значений, взятых из серии углов $\gamma = \gamma_3 = \text{const}$	Частная зависимость $P_{z,y,x} = f(t)$ в табличной форме
2		t_2				
3		t_3				
4		t_4				
5	подачи	Одно из значений, взятых из серии глубин $t = t_3 = \text{const}$	S_{o1}	$v = v_3 = \text{const}$	$\gamma = \gamma_3 = \text{const}$	Частная зависимость $P_{z,y,x} = f(S_o)$ в табличной форме
6			S_{o2}			
7			S_{o3}			
8			S_{o4}			
9	скорости резания	$t = t_3 = \text{const}$	$S_o = S_{o3} = \text{const}$	v_1	$t = t_3 = \text{const}$	Частная зависимость $P_{z,y,x} = f(v)$ в табличной форме
10				v_2		
11				v_3		
12				v_4		
13	переднего угла	$t = t_3 = \text{const}$	$S_o = S_{o3} = \text{const}$	$v = v_3 = \text{const}$	γ_1	Частная зависимость $P_{z,y,x} = f(\gamma)$ в табличной форме
14					γ_2	
15					γ_3	
16					γ_4	

Примечания. 1. Обрабатываемый материал – сталь 45. 2. Резец: материал режущей пластины Р6М5 или Т15К6; $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_1 = 17^\circ$; $\alpha = \alpha_1 = 8^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $r = 1$ мм.

Показатели степеней и коэффициенты в формулах (4.5)-(4.7) могут быть найдены на основе применения метода логарифмических анаморфоз [3] (графического метода), который отличается простотой и удовлетворительной точностью при достаточно плотном группировании экспериментальных точек.

4.4.3. ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сущность метода логарифмических анаморфоз заключается в построении в двойных логарифмических координатах графиков функций (4.5)-(4.7) или аналогичных им функций, описывающих силы P_y , P_x . В логарифмических координатах, как видно из рис. 4.4, эти функции будут представлены прямыми линиями.

Для пояснения процесса построения графиков прологарифмируем выражения (4.5)-(4.7).

$$\lg P_z = \lg C_{1_{P_z}} + x_{P_z} \lg t,$$

$$\lg P_z = \lg C_{2_{P_z}} + y_{P_z} \lg S_o,$$

$$\lg P_z = \lg C_{3_{P_z}} - z_{P_z} \lg v.$$

Видно, что полученные после логарифмирования выражения являются ничем иным, как уравнениями прямых линий $y = a \pm bx$. В этом случае искомые показатели степеней x_{P_z} , y_{P_z} , z_{P_z} , соответственно, при глубине резания t , подаче S_o и скорости резания v в формулах (4.5)-(4.7) могут быть найдены через угловые коэффициенты этих прямых, которые в свою очередь равны тангенсам углов наклона прямых к оси абсцисс, что видно из рис. 4.4:

$$x_{P_z} = \operatorname{tg} \alpha_1, \quad y_{P_z} = \operatorname{tg} \alpha_2, \quad z_{P_z} = \operatorname{tg} \alpha_3.$$

Коэффициенты $C_{1_{P_z}}$, $C_{2_{P_z}}$, $C_{3_{P_z}}$ в этих частных зависимостях определяются по графикам как значения силы P_z соответственно при $t = 1$ мм, $S_o = 1$ мм/об и $v = 1$ м/мин (см. рис. 4.4).

Экспериментальные точки, полученные при измерении составляющих силы резания, из-за наличия погрешностей измерения далеко

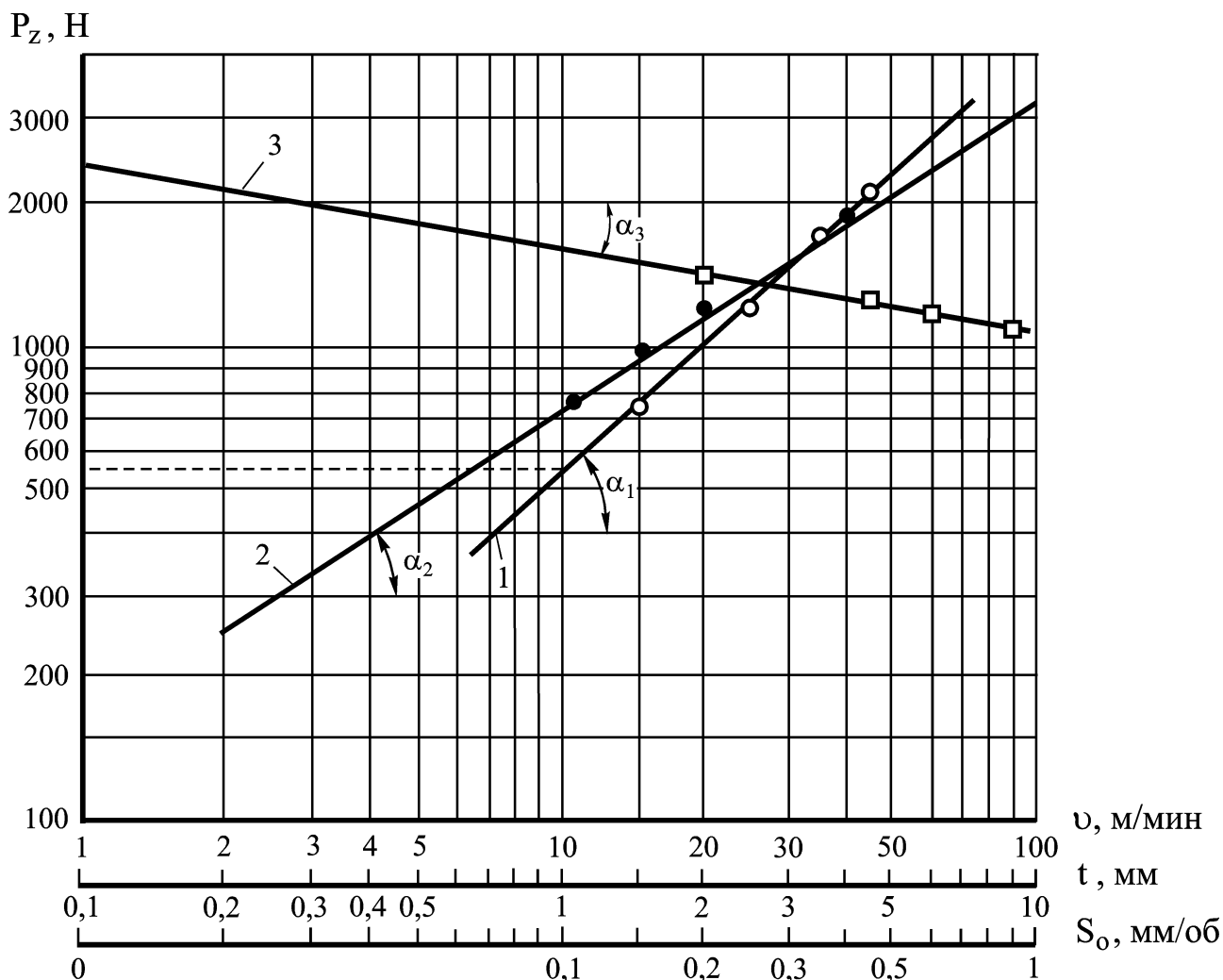


Рис. 4.4. Графики частных зависимостей главной составляющей силы резания от элементов режима резания в двойных логарифмических координатах:

сталь 45; резец P6M5: $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 10^\circ$; $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$; $\lambda = 0^\circ$;

$$1 - P_z = 550t^{0,94}; \quad 2 - P_z = 3250S_o^{0,65}; \quad 3 - P_z = 2400v^{-0,18}.$$

не всегда располагаются на одной прямой. В связи с этим графики частных зависимостей следует проводить таким образом, чтобы экспериментальные точки располагались на наименьшем удалении от прямых линий. Аналогичным образом определяются показатели степеней и коэффициенты в частных зависимостях для составляющих P_y , P_x силы резания. Однако, если поле рассеивания экспериментальных точек велико или предъявляются повышенные требования к точности получаемых зависимостей, вместо графического метода следует применять общеизвестный аналитический метод наименьших квадратов [5].

4.4.4. ПОЛУЧЕНИЕ ОБЩИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

На основе полученных частных зависимостей составляющих P_z , P_y , P_x силы резания от глубины, подачи и скорости резания можно получить общие эмпирические зависимости для их расчета, которые, как показано ранее, принято представлять в виде степенных функций (1.14) [3, 8, 10, 17]. При этом предполагается, что показатели степеней при глубине резания, подаче и скорости резания в общих формулах идентичны значениям, имеющим место в частных зависимостях.

Числовые значения коэффициентов C_{P_z} , C_{P_y} , C_{P_x} определяются расчетом путем подстановки в формулы (1.14) различных значений t , S_o и v , определенных планом эксперимента (см. табл. 4.1), и измеренных при данных условиях обработки величин составляющих силы резания, взятых из протокола экспериментальных исследований (приложение 3). Решая полученные уравнения относительно коэффициентов C_{P_z} , C_{P_y} , C_{P_x} определяют ряд их значений, например, равный половине от общего числа опытов в первых трех сериях, и находят средние арифметические значения, которые и принимают в качестве обобщенных коэффициентов. Так для главной составляющей силы резания

$$C_{P_{zi}} = \frac{P_{zi}}{t_i^{x_{P_z}} S_{oi}^{y_{P_z}} v_i^{z_{P_z}}},$$

где t_i , S_{oi} и v_i – глубина, подача и скорость резания в i -ом опыте; P_{zi} – измеренное значение главной составляющей силы резания в i -ом опыте.

Окончательно

$$C_{P_z} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{P_{zi}}}{n}, \quad (4.8)$$

где n – количество опытов, взятых для расчета обобщенного коэффициента.

Следует отметить, что для более точного определения значений

обобщенных коэффициентов количество опытов в формуле (4.8) и аналогичных ей (при определении C_{P_y} и C_{P_x}) следует принимать равным общему количеству опытов в первых трех сериях (см. табл. 4.1).

После нахождения коэффициентов C_{P_z} , C_{P_y} , C_{P_x} общие формулы (1.14) записываются окончательно с указанием числовых значений коэффициентов и показателей степеней.

На основании проведенных исследований динамики процесса резания для максимального и минимального сечений среза определяются:

- удельная сила резания

$$p = \frac{P_z}{tS_o};$$

- соотношение составляющих силы резания

$$P_z : P_y : P_x = 1 : \left(\frac{P_y}{P_z} \right) : \left(\frac{P_x}{P_z} \right).$$

Кроме того, определяется максимальная мощность, затрачиваемая на процесс резания (Вт)

$$N_{эф} = P_{z \max} \nu,$$

где ν скорость резания, м/с.

4.4.5. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕДНЕГО УГЛА НА СОСТАВЛЯЮЩИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

Для исследования влияния переднего угла на составляющие силы резания проводится четвертая серия опытов, в процессе которой заготовка обрабатывается резцами, заточенными с различными передними углами γ . При этом элементы режима резания (t , S_o и ν) во всех опытах этой серии остаются постоянными, что видно из плана эксперимента, представленного в табл. 4.1. В таблицу протокола исследований (см. приложение 3) заносятся результаты измерений составляющих силы резания P_z , P_y , P_x , по которым в простых координатах строятся графики зависимостей составляющих силы резания от переднего угла.

4.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В процессе выполнения работы оформляется отчет. В отчете приводятся: исходные данные и результаты однофакторного эксперимента; графики частных зависимостей составляющих силы резания от глубины t , подачи S_o и скорости резания v ; частные зависимости и обобщенные формулы для расчета составляющих силы резания; расчет удельной силы и мощности резания; зависимости влияния переднего угла на составляющие силы резания; ответы на 2-3 контрольных вопроса; выводы по работе. Бланк отчета приведен в приложении 3.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Какие силы действуют на инструмент при свободном прямоугольном резании?
2. Какие силы действуют на инструмент при несвободном резании?
3. Для решения каких задач необходимо знать составляющие силы резания P_z , P_y , P_x ?
4. Какая динамометрическая и измерительная аппаратура используется для определения составляющих P_z , P_y , P_x силы резания при точении?
5. Каков принцип действия универсального тензометрического динамометра?
6. В чем заключается сущность тарировки динамометра?
7. В чем сущность методики однофакторного эксперимента при исследовании зависимостей составляющих силы резания от элементов режима резания и геометрии инструмента?
8. Какие математические функции чаще всего используются для аппроксимации зависимостей составляющих силы резания от элементов режима резания?
9. В чем сущность графического метода обработки результатов эксперимента? Его основные преимущества и недостатки?
10. Как и в какой степени, элементы режима резания влияют на составляющие силы резания при точении?
11. Как величина переднего угла инструмента влияет на составляющие силы резания?

12. На какой операции токарной обработки осевая составляющая силы резания P_x будет равна нулю.

13. На какой операции токарной обработки и при резании каким резцом радиальная составляющая силы резания P_y будет равна нулю?

14. Как получаются обобщенные формулы для расчета составляющих силы резания?

15. Что представляют собой удельная сила и мощность резания и как эти параметры изменяются с увеличением глубины резания и подачи?

5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

«ТЕМПЕРАТУРА РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ»

5.1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы – ознакомление с методикой экспериментального исследования температуры резания при точении и приобретение навыков обработки результатов наблюдений.

Задачи:

- ознакомиться с измерительной и регистрирующей аппаратурой, используемой при проведении экспериментальных исследований;
- ознакомиться с методикой проведения однофакторного эксперимента при исследовании температуры резания и графическим методом обработки экспериментальных данных;
- приобрести практические навыки проведения экспериментальных исследований и обработки опытных данных.

5.2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить инструкцию по технике безопасности при выполнении лабораторной работы.
2. Изучить методические указания по выполнению данной работы.
3. Ознакомиться со средствами и методикой измерений температуры резания при точении.

4. Ознакомиться с методикой обработки результатов экспериментальных исследований.

5. Провести экспериментальные исследования по определению влияния глубины, подачи и скорости резания на температуру резания.

6. Обработать результаты экспериментальных исследований и получить эмпирическую зависимость для расчета температуры резания при точении.

7. Оформить отчет по работе.

5.3. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В РАБОТЕ

Металлорежущее оборудование:

- токарно-винторезный станок.

Режущие инструменты:

- проходной токарный резец.

Средства измерений:

- штангенциркуль для измерения диаметра заготовки;
- тахометр для определения числа оборотов заготовки;
- термопара и измерительная аппаратура («естественная термопара» – резец-заготовка, милливольтметр).

5.4. ВЫПОЛНЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ РАБОТЫ

5.4.1. ИЗУЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ

Измерительная аппаратура, применяемая в данной лабораторной работе для исследования температуры резания, включает (рис. 5.1): «естественную термопару», состоящую из находящихся в контакте резца и заготовки, описание и принцип работы которой приведены в п. 1.3.1., и милливольтметра.

Схема измерения температуры резания при точении представлена на рис. 5.1. Как видно из данной схемы, заготовка 3 закрепляется в трехкулачковом патроне 1 станка и поджимается центром задней

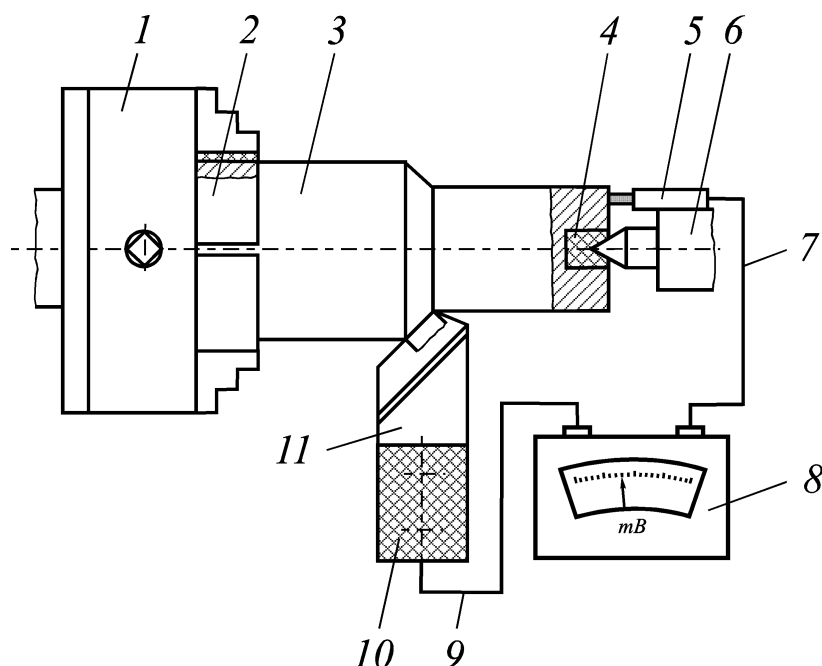


Рис. 5.1. Схема измерения температуры при точении
«естественной термопарой»

бабки 6. После сообщения заготовке вращательного движения к ней подводится резец 11. По лимбу поперечной подачи станка устанавливается необходимая глубина резания и включается заданная режимом резания продольная подача. Для регистрации при помощи милливольтметра 8 возникающей в процессе резания термоЭДС создается замкнутая электрическая цепь, включающая: заготовку, резец, проводник 9, милливольтметр, проводник 7, токосъемник 5 и заготовку. Токосъемник, включающий бронзовое кольцо и медно-графитовую щетку, обеспечивает в процессе обработки непрерывный скользящий контакт вращающейся заготовки с измерительным прибором. Для исключения возможности возникновения паразитных термопар между отдельными деталями станка, снижающими точность измерений, заготовка и резец тщательно изолируются от станка при помощи разрезного кольца 2, пробки 4 и прокладок 10, выполненных из диэлектрических материалов.

Для перевода показаний милливольтметра в градусы Цельсия «естественная термопара» предварительно тарируется. Суть данной тарировки заключается в следующем. В электрическую печь 1

(рис. 5.2) помещают тигель 2, загруженный металлом с низкой температурой плавления, после чего данный металл плавят. Затем в полученный расплав на одинаковую глубину помещают стержни из инструментального 4 и обрабатываемого 5 материалов, к холодным концам которых прикреплены проводники, соединяющие стержни с милливольтметром 7. Для исключения появления паразитных термоЭДС холодные концы стержней в процессе тарировки охлаждаются посредством трубки 6 с проточной водой. Рядом со стержнями устанавливают образцовую хромель-алюмелевую термопару 3, соединенную со вторым милливольтметром 8, для которой известна зависимость температура – термоЭДС. Нагревая и охлаждая расплавленный металл, находящийся в тигле, при помощи образцовой хромель-алюмелевой термопары и тарировочного графика к ней, а также милливольтметра 8 определяют температуру этого металла. В это же время по милливольтметру 7 определяют термоЭДС, возникающую в «естественной термопаре» при данной температуре металла. По результатам измерения строят график температура-термоЭДС для «естественной термопары».

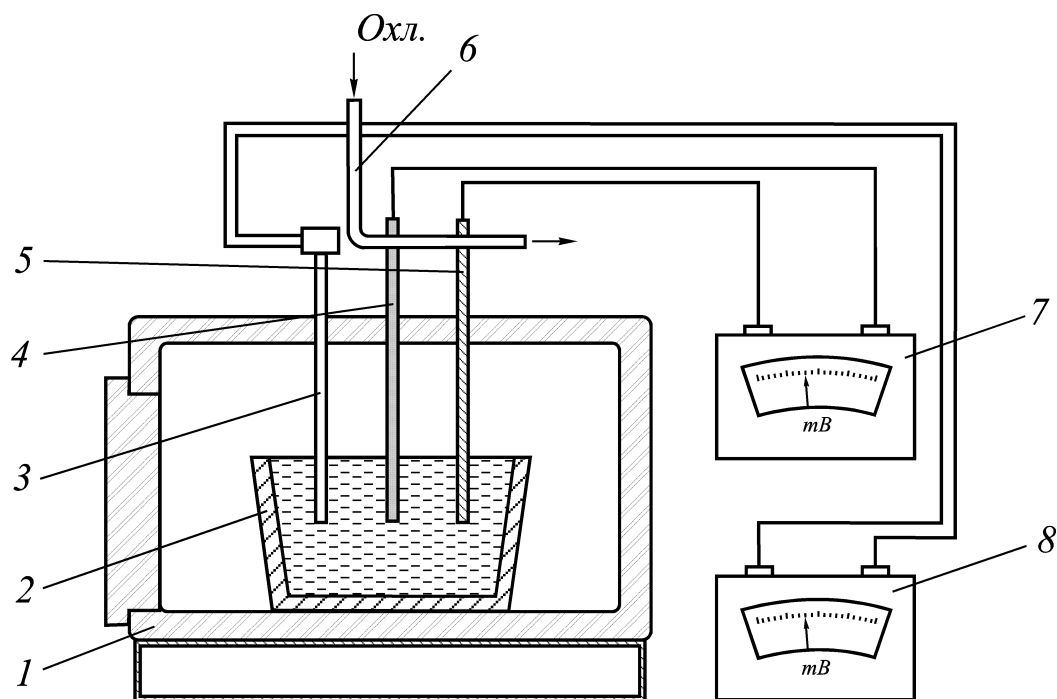


Рис. 5.2. Схема градуировки термопары «резец-заготовка»

5.4.2. ОЗНАКОМЛЕНИЕ С МЕТОДИКОЙ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследование температуры в зоне обработки при точении от элементов режима резания производится по аналогии с исследованием составляющих силы резания, т.е. на основе использования методики однофакторного эксперимента (см. 4.4.2). В этом случае закономерности изменения температуры резания от элементов режима обработки (глубины t , подачи S_o и скорости v), как уже отмечалось ранее, определяются последовательно. Для этого планом эксперимента предусмотрено проведение трёх серий опытов, по четыре опыта в каждой серии.

Варьируемым параметром в первой серии опытов является глубина резания ($t = var$), а остальные параметры (подача, скорость резания, геометрия резца и др.) остаются постоянными. По результатам данной серии в табличной форме находится частная зависимость температуры резания от глубины обработки:

$$\theta = f(t). \quad (5.1)$$

Во второй серии опытов варьируемым параметром является подача ($S_o = var$), все остальные параметры, как и в предыдущей серии опытов, остаются постоянными. По результатам этой серии опытов находится частная зависимость температуры резания от подачи:

$$\theta = f(S_o). \quad (5.2)$$

Варьируемым параметром в третьей серии опытов является скорость резания ($v = var$), а все остальные параметры остаются постоянными. По результатам этой серии опытов определяется частная зависимость температуры резания от скорости обработки:

$$\theta = f(v). \quad (5.3)$$

В табл. 5.1 приведен план опытов проведения однофакторного эксперимента для исследования влияния элементов режима резания при точении на температуру резания. Результаты полученных измерений заносятся в протокол отчета по работе, представленный в приложении 4.

Таблица 5.1

План проведения однофакторного эксперимента

Номер опыта	Серия опытов с изменением	Факторы			Результат
		t , мм	S_o , мм/об	v , мм/мин	
1	глубины резания	t_1	Одно из значений, взятых из серии подач $S_o = S_{o3} =$ $= const$	Одно из значений, взятых из серии скоростей $v = v_3 =$ $= const$	Частная зависимость $\theta = f(t)$ в табличной форме
2		t_2			
3		t_3			
4		t_4			
5	подачи	Одно из значений, взятых из серии глубин $t = t_3 =$ $= const$	S_{o1}	$v = v_3 =$ $= const$	Частная зависимость $\theta = f(S_o)$ в табличной форме
6			S_{o2}		
7			S_{o3}		
8			S_{o4}		
9	скорости резания	$t = t_3 =$ $= const$	$S_o = S_{o3} =$ $= const$	v_1	Частная зависимость $\theta = f(v)$ в табличной форме
10				v_2	
11				v_3	
12				v_4	

Примечания. 1. Обрабатываемый материал – сталь 45. 2. Резец: материал режущей пластины Т5К10; $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_1 = 17^\circ$; $\gamma = 0$; $\alpha = \alpha_1 = 8^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $r = 1$ мм.

Частные зависимости (5.1)-(5.3) при монотонном изменении температуры удобно аппроксимировать степенными функциями, поэтому их можно представить в следующем виде:

$$\theta = C_{1\theta} \cdot t^{x_\theta}, \quad (5.4)$$

$$\theta = C_{2\theta} \cdot S_o^{y_\theta}, \quad (5.5)$$

$$\theta = C_{3\theta} \cdot v^{z_\theta}. \quad (5.6)$$

Показатели степеней и коэффициенты в формулах (5.4)-(5.6) могут быть найдены, так же как при получении частных зависимостей

для составляющих сил резания (см. 4.4.3), на основе применения метода логарифмических анаморфоз [3] (графического метода).

5.4.3. ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сущность графического метода заключается в построении в двойных логарифмических координатах графиков функций (5.4)-(5.6).

Для пояснения процесса построения графиков прологарифмируем выражения (5.4)-(5.6):

$$\lg \theta = \lg C_{1\theta} + x_{\theta} \lg t,$$

$$\lg \theta = \lg C_{2\theta} + y_{\theta} \lg S_o,$$

$$\lg \theta = \lg C_{3\theta} + z_{\theta} \lg v.$$

Полученные после логарифмирования выражения являются ничем иным, как уравнениями прямых линий вида $y = a \pm bx$ (рис. 5.3). В этом случае искомые показатели степеней x_{P_z} , y_{P_z} , z_{P_z} , соответствен-

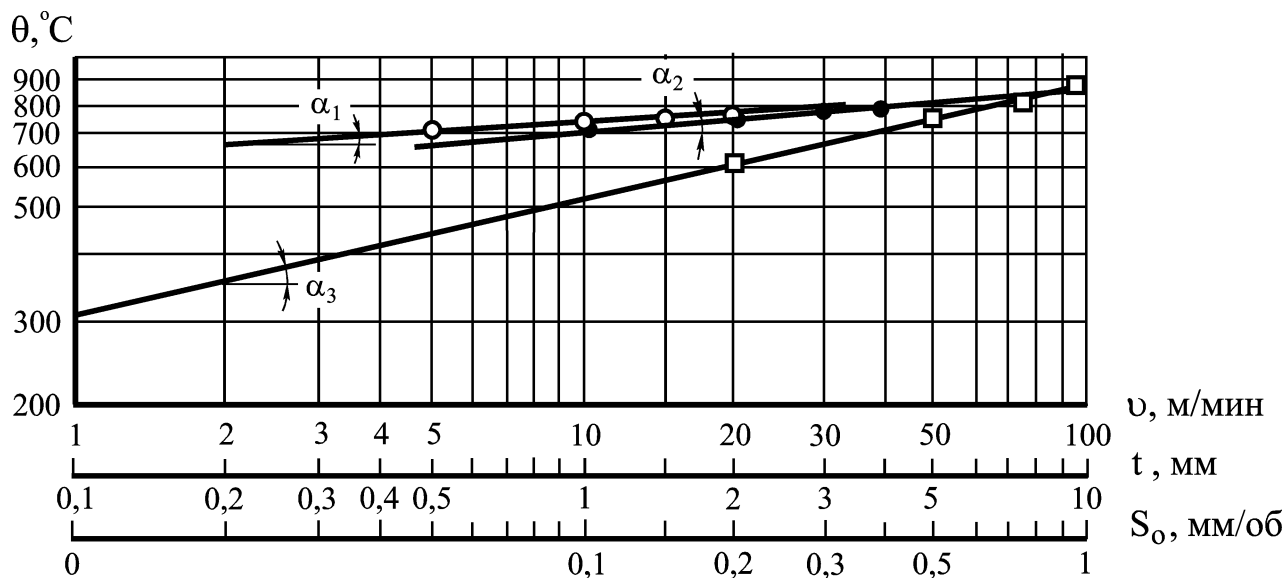


Рис. 5.3. Графики частных зависимостей температуры резания при токарной обработке от элементов режима резания в двойных логарифмических координатах:

сталь 45; резец Т15К6: $\gamma = 8^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 15^\circ$; $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$; $r = 1,0 \text{ мм}$;

$$1 - \theta = 735t^{0,05}; \quad 2 - \theta = 870S_o^{0,08}; \quad 3 - \theta = 310v^{0,22}.$$

но при глубине резания t , подаче S_o и скорости резания v в формулах (5.4)-(5.6) могут быть найдены через угловые коэффициенты этих прямых, которые в свою очередь равны тангенсам углов наклона прямых к оси абсцисс, что видно из рис. 5.3:

$$x_{P_z} = tg \alpha_1, y_{P_z} = tg \alpha_2, z_{P_z} = tg \alpha_3.$$

Коэффициенты $C_{1_{\theta_z}}$, $C_{2_{\theta_z}}$, $C_{3_{\theta_z}}$ в этих частных зависимостях определяются по графикам как значения температуры резания соответственно при $t = 1$ мм, $S_o = 1$ мм/об и $v = 1$ м/мин (см. рис. 5.3).

Экспериментальные точки, полученные при измерении температуры резания, из-за наличия погрешностей измерения далеко не всегда располагаются на одной прямой. В связи с этим графики частных зависимостей (5.4)-(5.6) следует проводить таким образом, чтобы экспериментальные точки располагались на наименьшем удалении от прямых линий. Однако, если поле рассеивания экспериментальных точек достаточно велико или предъявляются повышенные требования к точности получаемых зависимостей вместо графического метода следует применять аналитический, в частности, метод наименьших квадратов [5].

5.4.4. ПОЛУЧЕНИЕ ОБЩЕЙ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ

На основе полученных частных зависимостей температуры резания от глубины, подачи и скорости обработки можно получить общую эмпирическую зависимость для её расчета, которую, как показано ранее, принято представлять в виде степенной функции (1.15) [8, 17]. При этом считается, что показатели степеней при глубине резания, подаче и скорости в общей формуле для расчета температуры резания идентичны значениям, полученным для частных зависимостей.

Значение коэффициента C_θ определяется расчетом путем подстановки в формулу (1.15) различных значений t , S_o и v , определенных планом эксперимента (см. табл. 5.1), и измеренных при данных

условиях обработки величин температуры резания, взятых из протокола экспериментальных исследований (приложение 4). Решая полученные уравнения относительно коэффициентов C_θ , определяют ряд их значений, например, равный половине от общего числа опытов и находят среднее арифметическое значение, которое и принимают в качестве обобщенного коэффициента:

$$C_{\theta_i} = \frac{\theta_i}{t_i^{x_\theta} S_{oi}^{y_\theta} v_i^{z_\theta}},$$

где t_i , S_{oi} и v_i – глубина, подача и скорость резания в i -ом опыте; θ_i – измеренное значение температуры резания в i -ом опыте.

Окончательно

$$C_\theta = \frac{\sum_{i=1}^n C_{\theta_i}}{n}, \quad (5.7)$$

где n – количество опытов, взятых для расчета обобщенного коэффициента.

Следует отметить, что для более точного определения значения обобщенного коэффициента количество опытов в формуле (5.7) следует принимать равным общему количеству опытов (см. табл. 5.1).

После нахождения коэффициента C_θ общая формула (1.15) записываются окончательно с указанием числового значения коэффициента C_θ и показателей степеней.

5.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В процессе выполнения работы оформляется отчет. В отчете приводятся: исходные данные и результаты однофакторного эксперимента; графики частных зависимостей температуры резания от глубины t , подачи S_o и скорости резания v ; частные зависимости и обобщенная формула для расчета температуры резания; ответы на 2-3 контрольных вопроса; выводы по работе. Бланк отчета приведен в приложении 4.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Как определяется мощность источника тепла в зоне резания?
2. Как записывается уравнение теплового баланса?
3. Какие методы определения температуры используются при резании металлов?
4. Назовите преимущества и недостатки «искусственной термопары»?
5. Назовите преимущества и недостатки «полуискусственной термопары»?
6. Назовите преимущества и недостатки «естественной термопары»?
7. Какой вид имеет эмпирическая зависимость для определения температуры в зоне резания?
8. Какой из параметров режима резания оказывает наибольшее влияние на температуру резания при точении?
9. Какой из параметров режима резания оказывает наименьшее влияние на температуру резания при точении?
10. Напишите линейное дифференциальное уравнение теплопроводности для движущегося по поверхности заготовки теплового источника.
11. С какой целью изолируются от станка инструмент и заготовка при использовании для измерения температуры в зоне резания «естественной термопары»?
12. Как осуществляется передача термотока с вращающейся заготовки к регистрирующему прибору?

6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5 «ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, ГЕОМЕТРИИ И КОНТРОЛЬ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ»

6.1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы – закрепление теоретических знаний в области конструкции и геометрии спиральных сверл, а также приобретение практических навыков их эскизирования и измерения.

Задачи:

- изучить назначение, конструкции и геометрию спиральных сверл;
- ознакомиться со средствами измерений, применяемыми для контроля геометрических параметров сверл, и выполнить измерения этих параметров;
- выполнить эскиз спирального сверла.

6.2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить инструкцию по технике безопасности при выполнении лабораторной работы.
2. Изучить методические указания по выполнению данной работы.
3. Получить практическое представление о назначении, конструкциях и геометрии спиральных сверл.
4. Ознакомиться со средствами и методикой измерений геометрических параметров сверл.
5. Измерить линейные и угловые параметры спирального сверла.
6. Выполнить эскиз сверла с необходимыми видами.
7. Оформить отчет по работе.

6.3. ИНСТРУМЕНТЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В РАБОТЕ

Режущие инструменты:

- спиральные сверла из быстрорежущей стали с различными видами заточки;
- спиральные сверла, оснащенные пластинами из твердого сплава.

Средства измерений:

- измерительные металлические линейки, штангенциркули, гладкие и резьбовые микрометры для определения линейных и диаметральных размеров инструментов;
- универсальные угломеры типа УН и УМ и большой инструментальный микроскоп для измерения угловых размеров инструментов.

6.4. ВЫПОЛНЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ РАБОТЫ

6.4.1. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ И ГЕОМЕТРИИ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ

Руководствуясь материалом, приведенным в подразделе 1.5, необходимо изучить конструкции и геометрию спиральных сверл с

цилиндрическими или коническим хвостовиками, получить представление о формах заточки режущей части: нормальной (Н), нормальной с подточкой поперечной кромки (НП), нормальной с подточкой поперечной кромки и ленточки (НПЛ), двойной с подточкой поперечной кромки (ДП), двойной с подточкой поперечной кромки и ленточки (ДПЛ).

В ходе изучения определяются диаметр и тип сверла, выданного студенту, материал режущей части, устанавливаются конструктивные и геометрические параметры сверла и их числовые значения, полученные в результате прямых и косвенных измерений, а именно (см. рис. 1.28 – 1.30):

- номинальный диаметр сверла – d ;
- диаметры сверла в начале и в конце направляющей части – $d_{нач}$, $d_{кон}$;
- общая длина сверла – L ;
- длина рабочей части – l ;
- длина режущей части – l_p ;
- длина направляющей части – l_n ;
- длина хвостовика – l_x ;
- диаметр хвостовика, если он цилиндрический – d_x ;
- наибольший и наименьший диаметры конического хвостовика $d_{к.нб}$ и $d_{к.нм}$, номер конуса Морзе;
- длина лапки – l_l ;
- толщина лапки – c ;
- длина шейки – $l_{ш}$;
- диаметр шейки – $d_{ш}$;
- диаметр спинки – q ;
- ширина пера – B ;
- ширина направляющих ленточек – f ;
- толщина сердцевины сверла – k ;
- длина поперечной кромки без подточки – $l_{нк}$

- и с подточкой – a ;
- длина подточки – l_n ;
- угол наклона поперечной кромки – ψ ;
- угол при вершине сверла – 2φ ;
- угол между переходными режущими кромками при двойной заточке режущей части – $2\varphi_o$;
- длина переходной режущей кромки – b ;
- угол наклона винтовой канавки – ω ;
- шаг винтовой канавки – P (см. формулу (1.17));
- обратная конусность Δd – (угол обратного конуса на рабочей части сверла – φ_1 (см. формулу в (1.16)));
- передний угол сверла на периферии режущей кромки – γ_o ;
- задний угол сверла на периферии режущей кромки – α_o .

6.4.2. ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СВЕРЛ

Линейные размеры: $L, l, l_p, l_n, l_x, l_l, c, l_{ш}, k, l_{нк}, a, l_n, b$ – измеряют штангенциркулем и линейкой.

Диаметральные размеры: $d, q, d_{ш}, d_x, d_{к.нб}, d_{к.нм}$ – измеряют с помощью штангенциркуля, а $d_{нач}$ и $d_{кон}$ с помощью микрометра.

Угловые размеры: $2\varphi, 2\varphi_o, \omega, \alpha_o$ (на периферии сверла), а также линейные размеры B, f, l_n можно измерить с помощью большого инструментального микроскопа БМИ.

Углы при вершине сверла $2\varphi, 2\varphi_o$ и ψ могут быть также измерены с помощью универсальных угломеров: типа УН – для измерения наружных и внутренних углов и типа УМ – для измерения наружных углов, а угол наклона винтовой канавки – путем прокатывания сверла по копировальной бумаге.

Перед измерением угловых размеров сверло 1 помещается на призмы 2, установленные на основании 3, в свою очередь закреплённом на столе микроскопа 4 (рис. 6.1). Перемещением стола в продольном и поперечном направлениях режущую часть сверла вводят в

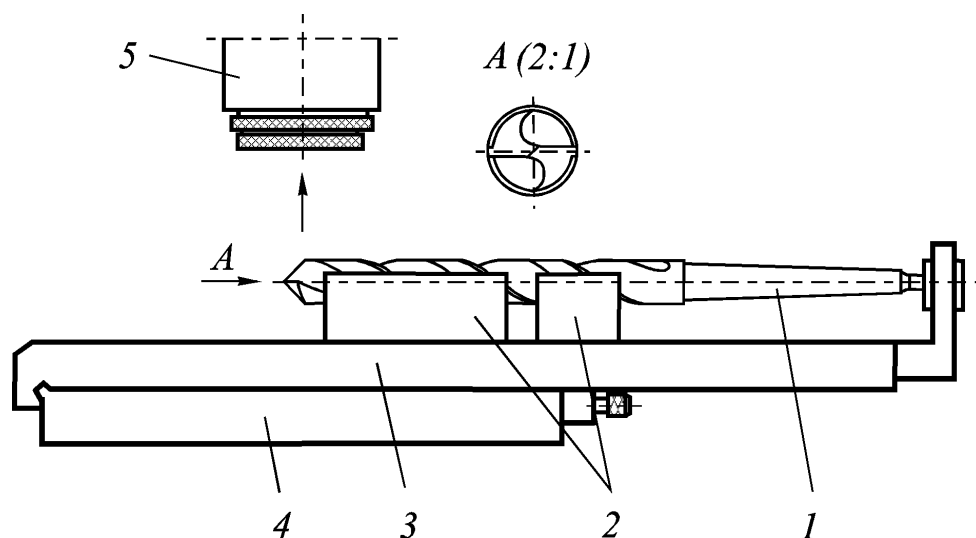


Рис. 6.1. Схема установки сверла перед измерением геометрии на большом инструментальном микроскопе БМИ:
1 – сверло; 2 – призмы; 3 – основание; 4 – стол микроскопа;
5 – тубус микроскопа

поле зрения окуляра микроскопа и добиваются резкого его изображения. После чего сверло поворачивают в призмах таким образом, чтобы режущие кромки сверла заняли положение, параллельное плоскости стола (см. рис. 6.1). Затем путем поворота и перемещения стола при нулевом отсчете по угловым шкалам совмещают горизонтальную визирную (штриховую) линию основного окуляра микроскопа с боковой стороной направляющей части сверла, закрепляют стол микроскопа в данном угловом положении и приступают к измерению углов φ , φ_o , ω .

Для измерения угла φ стол микроскопа вместе со сверлом перемещают так, чтобы перекрестие линий в поле зрения основного окуляра микроскопа совместилось с изображением режущей кромки сверла (рис. 6.2, а). Затем горизонтальную визирную линию в поле зрения окуляра поворачивают до ее совмещения с режущей кромкой сверла (рис. 6.2, б) и снимают показания по угловым шкалам окулярной головки микроскопа.

Величина этого показания будет соответствовать углу φ , удвоив значение которого, можно получить угол при вершине сверла 2φ . Аналогично определяют углы φ_o и $2\varphi_o$.

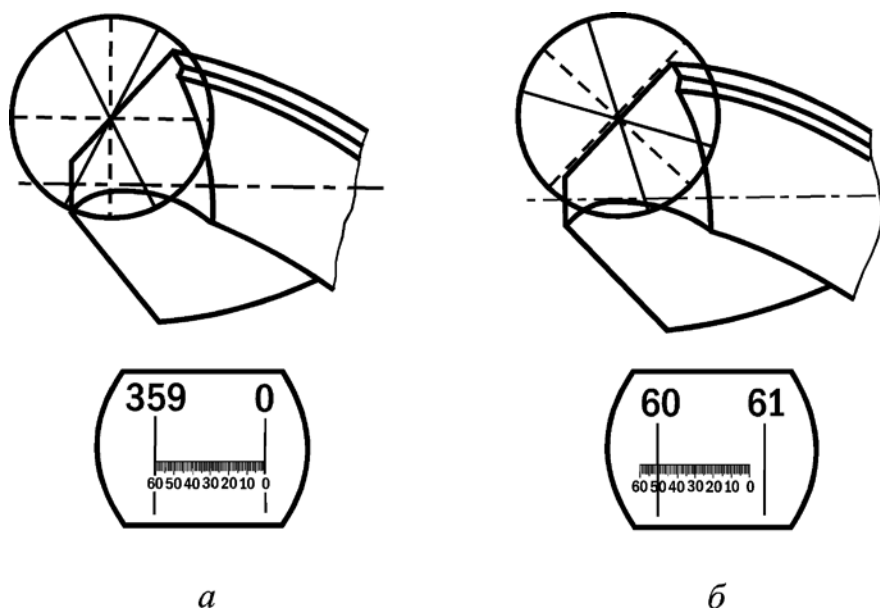


Рис. 6.2. Схема измерения главного угла в плане φ :
 a – исходное положение; b – положение при измерении угла φ

Для измерения угла наклона винтовой канавки ω совмещают перекрестие линий в поле зрения основного окуляра с винтовой кромкой ленточки в точке, проекция которой лежит на оси сверла (рис. 6.3, a), и поворачивают окулярную сетку так, чтобы горизонтальная визирная линия заняла положение касательной к винтовой линии (рис. 6.3, b). Отсчет по угловым шкалам даст величину ω .

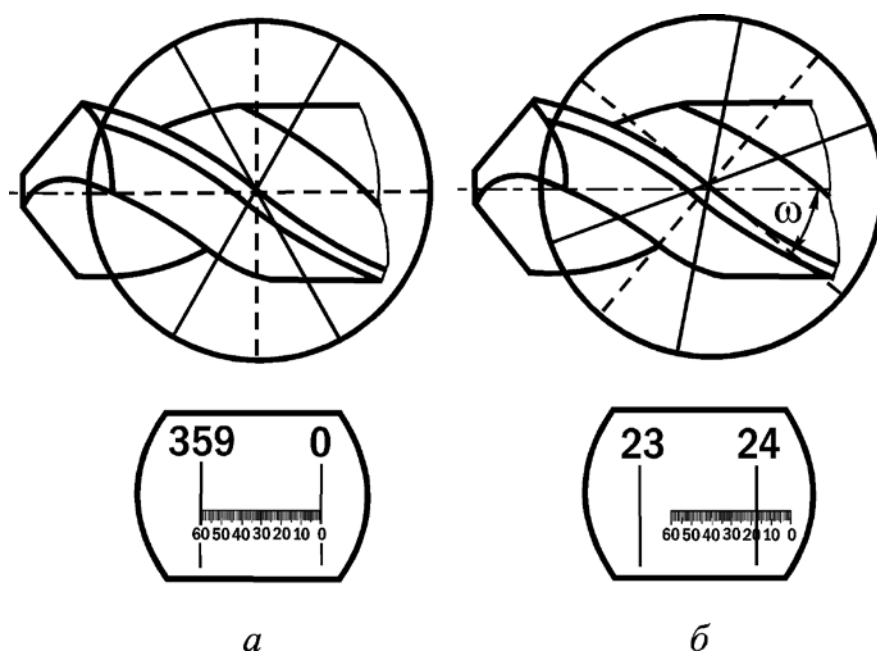


Рис. 6.3. Схема измерения угла наклона винтовой канавки ω :
 a – исходное положение; b – положение при измерении угла ω

Схема измерения угла 2φ с помощью универсального угломера УМ приведена на рис. 6.4. В связи с тем, что угол 2φ является тупым углом, угломер используется без угольника. Как видно из рис. 6.4, величина угла $2\varphi = 90^\circ + 25^\circ = 115^\circ$. При измерении угла $2\varphi_0$ на подвижную линейку угломера устанавливается угольник, так как величина угла $2\varphi_0$ меньше 90° .

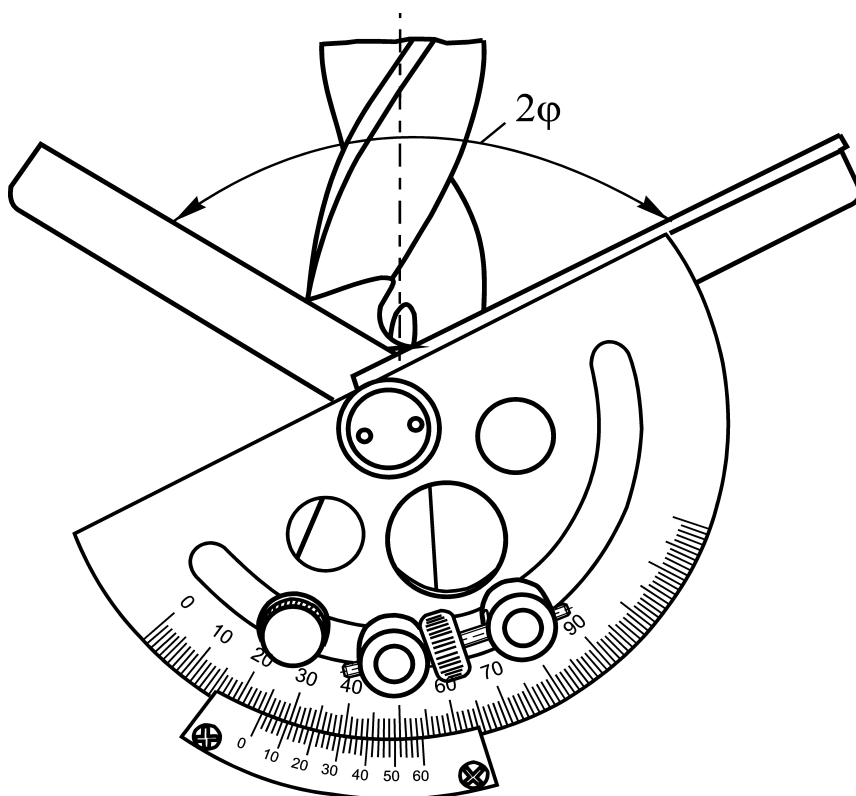


Рис. 6.4. Схема измерения угла 2φ при вершине сверла

Измерение угла наклона поперечной кромки ψ осуществляется при помощи универсального угломера УН. Схема измерения угла ψ приведена на рис. 6.5. Как видно из рис. 6.5, основная линейка устанавливается на главную режущую кромку, а съемная линейка совмещается с поперечной кромкой сверла. Показания угла ψ определяются по угловой шкале угломера. На рис. 6.5 величина угла $\psi = 50^\circ$.

Для измерения заднего угла сверла α_0 на периферии режущей кромки сверло в призмах поворачивают вокруг своей оси на 90° по

отношению к положению, представленному на рис. 6.1, т.е. таким образом, чтобы главная режущая кромка, измеряемого лезвия, располагалась в вертикальной плоскости (рис. 6.6). Затем, после настройки микроскопа на резкость, путем перемещения стола в продольном и

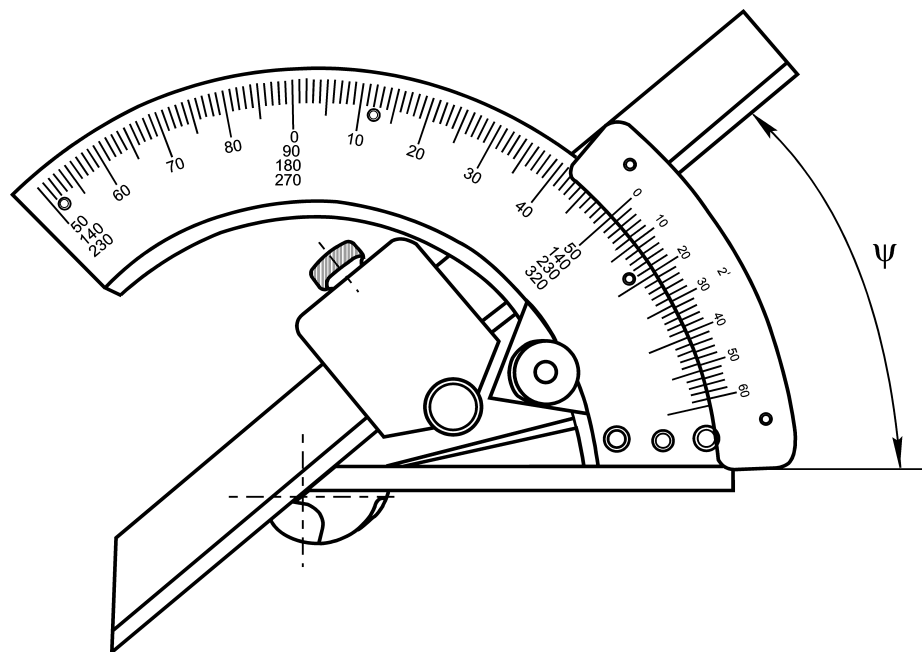


Рис. 6.5. Схема измерения угла наклона поперечной кромки ψ

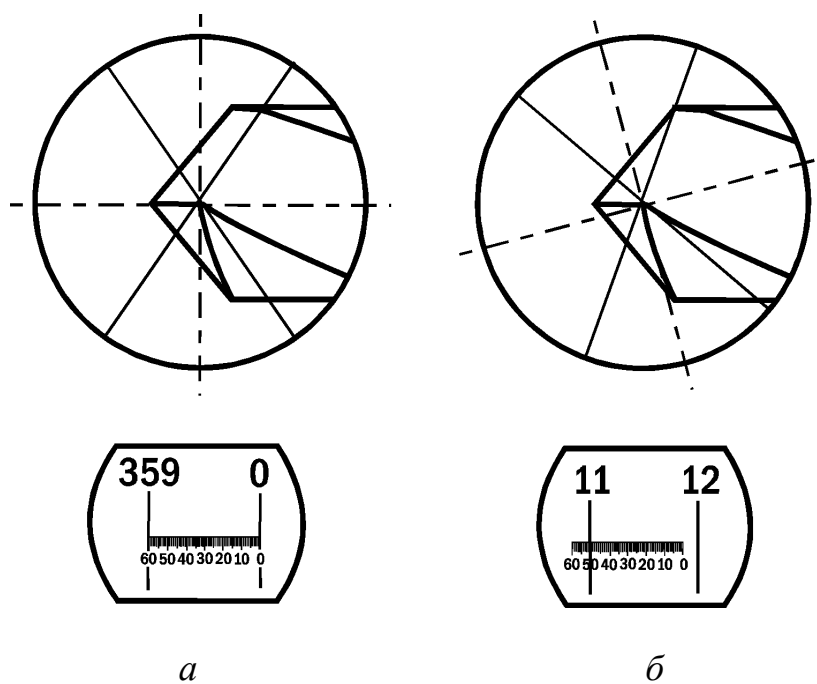


Рис. 6.6. Схема измерения заднего угла в осевой плоскости на периферии режущей кромки α_o

поперечном направлениях перекрестие линий в поле зрения окуляра микроскопа устанавливают на периферийную точку режущей кромки сверла (рис. 6.6, а). При этом на угловых шкалах микроскопа должно быть нулевое значение. После чего вертикальную визирную линию путем поворота окулярной сетки устанавливают таким образом, чтобы она заняла положение касательной к главной задней поверхности сверла (рис. 6.6, б). По угловым шкалам производится отсчет величины угла α_o .

6.4.3. ВЫПОЛНЕНИЕ ЭСКИЗА СПИРАЛЬНОГО СВЕРЛА

Эскиз должен содержать общий вид сверла в двух проекциях и увеличенное изображение режущей части с сечениями нормальной секущей плоскостью $P_{нс}$ и осевой (рабочей) плоскостью P_s , касательной к цилиндрической поверхности, на которой лежит рассматриваемая точка режущей кромки (см. рис. 1.28 – 1.30 и 1.32).

На эскизе должны быть указаны: основные конструктивные и геометрические параметры сверла и материал, из которого изготовлена режущая часть сверла.

6.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В процессе выполнения работы оформляется отчет. В отчете приводятся: эскиз сверла с увеличенным видом режущей части; таблица с замеренными значениями отдельных параметров сверла; результаты расчетов и схемы, поясняющие методику измерений; ответы на 2-3 контрольных вопроса. Бланк отчета приведен в приложении 5

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Каково назначение спирального сверла?
2. Какие движения необходимы для осуществления процесса сверления?
3. Какая точность обработки и шероховатость поверхности могут быть обеспечены на операциях сверления и рассверливания?

4. Для обработки отверстий какой глубины используются спиральные сверла?
5. Какие инструментальные материалы используются для изготовления спиральных сверл?
6. Какие типы стандартных спиральных сверл выпускаются промышленностью?
7. Для чего предназначена лапка у сверл с коническим хвостовиком?
8. Перечислите способы улучшения геометрии спиральных сверл путем заточки.
9. Каким образом необходимо изменить геометрию сверла для уменьшения осевой составляющей силы резания?
10. С какой целью выполняется обратная конусность сверла?
11. Как изменяются значения переднего угла γ_c от периферии к центру сверла?
12. Как затачивают задний угол по длине режущей кромки от периферии к центру сверла.
13. Какие средства измерения используются для контроля углов φ , 2φ , φ_o , $2\varphi_o$?
14. Какие средства измерения используются для контроля углов ω и ψ , α_o ?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранчиков, В.И. Обработка специальных материалов в машиностроении: справочник / В.И. Баранчиков, А.С. Тарапанов, Г.А. Харламов.– М.: Машиностроение, 2002. – 264 с. – ISBN 5-217-03132-8.
2. Баранчиков, В.И. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: справочник / В.И. Баранчиков, А.В. Жаринов, Н.Д. Юдина, А.И. Садыхов; под общ. ред. В.И. Баранчикова.– М.: Машиностроение, 1990.– 400 с.– ISBN 5-217-01118-1.
3. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
4. Бобровский, А.В. Резание цветных металлов: справочник / А.В. Бобровский, О.И. Драчев, А.В. Рыбьяков.– СПб.: Политехника, 2001. – 200 с. – ISBN 5-7325-0536-9.

5. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544 с.
6. Васильев А.С. Основы метрологии и технические измерения: учебное пособие для сред. ПТУ. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
7. Кожевников Д.В. Режущий инструмент: учебник для вузов / Д.В. Кожевников [и др.]; под ред. С.В. Кирсанова. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с. – ISBN 5-217-032250-2.
8. Кожевников Д.В. Резание материалов: учебник / Д.В. Кожевников, С.В. Кирсанов; под общ. ред. С.В. Кирсанова. – М.: Машиностроение, 2007. – 304 с. – ISBN – 5-217-03357-6.
9. Кривоухов В.А. Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки: учебник / В.А. Кривоухов [и др.]; под общ. ред. В.А. Кривоухова. – М.: Машиностроение, 1967. – 654 с.
10. Кривоухов В.А. Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки: учебник / В.А. Кривоухов [и др.]; под ред. П.Г. Петрухи. – М.: Машиностроение, 1974. – 616 с.
11. Лепилин В.И. Режимы резания авиационных материалов при точении: учебное пособие / В.И. Лепилин. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2000. – 128 с. – ISBN 5-7883-0092-4.
12. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания / А.Д. Макаров. – М.: Машиностроение, 1976. – 278 с.
13. Петруха П.Г. Технология обработки конструкционных материалов: учебник для вузов / П.Г. Петруха [и др.]; под ред. П.Г. Петрухи. – М.: Высшая школа, 1991. – 512 с. – ISBN 5-06-000703-0.
14. Резников А.Н. Основы расчета тепловых процессов в технологических системах: учебное пособие / А.Н. Резников, Л.А. Резников; Тольят. политехн. ин-т. – Куйбышев: Куйбышев. авиац. ин-т, 1986. – 153 с.
15. Резников Н.И. Производительная обработка нержавеющей и жаропрочных материалов / Н.И. Резников [и др.]; под ред. Н.И. Резникова. – М.: Машгиз, 1960. – 200 с.
16. Розенберг А.М. Элементы теории процесса резания металлов / А.М. Розенберг, А.Н. Ерёмин. – М.- Свердловск: Машгиз, 1956. – 318 с.
17. Рыжкин А.А. Обработка материалов резанием: учебное пособие / А.А. Рыжкин, К.Г. Шучев, М.М. Климов. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 411 с. – ISBN – 978-5-222-14019-2.
18. Скуратов Д.Л. Формообразование поверхностей деталей. Обработка материалов резанием. Ч.1.: учеб. пособие. / Д.Л. Скуратов, В.Н. Трусов, Т.Н. Ан-

дрюхина. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2011. – 175 с. – ISBN 978-5-7964-1442-2.

19. Солоненко В.Г. Резание металлов и режущие инструменты: учебное пособие / В.Г. Солоненко, А.А. Рыжкин. – М.: Высшая школа, 2007. – 414 с. – ISBN–978-5-06-005349-4.

20. Фельдштейн Е.Э. Metallорежущие инструменты: справочник конструктора / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2009. – 1039 с. – ISBN 978-985-475-346-1.

21. Ящерицын П.И. Теория резания: учебник / П.И. Ящерицын, Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2006. – 512 с. – ISBN – 985-475-195-36.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. ОБЩАЯ ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ К ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ.....	5
1.1. Общие сведения о процессе точения, конструкции и геометрии токарных резцов.....	5
1.1.1. Назначение резцов. Кинематика процесса точения.....	5
1.1.2. Конструкция и геометрия токарного резца.....	7
1.1.3. Типы токарных резцов.....	12
1.2. Стружкообразование при резании материалов.....	17
1.2.1. Виды стружки и условия её образования.....	18
1.2.2. Механизм образования стружки при свободном прямоугольном резании.....	20
1.2.3. Деформация срезаемого слоя и стружки при свободном прямоугольном резании.....	22
1.3. Силы, действующие на резец при точении.....	29
1.3.1. Силы резания при свободном резании.....	29
1.3.2. Силы резания при несвободном резании.....	31
1.4. Тепловые явления при резании металлов.....	34
1.4.1. Источники образования теплоты и уравнение теплового баланса при резании.....	34
1.4.2. Температура в зоне резания и способы её измерения. Влияние на температуру режимов резания.....	35
1.5. Общие сведения о процессе сверления и конструкции спиральных сверл.....	39
1.5.1. Назначение сверл. Кинематика процесса сверления.....	39
1.5.2. Основные конструктивные и геометрические параметры спиральных сверл.....	41
1.5.3. Геометрия режущих лезвий сверла.....	47
2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1 «ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, ГЕОМЕТРИИ И КОНТРОЛЬ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ».....	51
2.1. Цель и задачи работы.....	51
2.2. Последовательность выполнения работы.....	51
2.3. Инструменты и средства измерений, применяемые в работе.....	52
2.4. Выполнение практической части работы	52

2.4.1. Изучение операций токарной обработки и основных типов токарных резцов.....	52
2.4.2. Измерение геометрических параметров резцов.....	53
2.4.3. Эскизирование резцов.....	59
2.5. Содержание отчета.....	60
Контрольные вопросы к лабораторной работе	60
3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2 «ДЕФОРМАЦИЯ СРЕЗАЕМОГО СЛОЯ».....	61
3.1. Цель и задачи работы.....	61
3.2. Последовательность выполнения работы.....	61
3.3. Оборудование, инструменты и средства измерений, применяемые в работе.....	62
3.4. Выполнение практической части работы	62
3.4.1. Ознакомление с экспериментальным методом определения усадки стружки.....	62
3.4.2. Ознакомление с методикой исследования деформации срезаемого слоя и обработки опытных данных.....	65
3.5. Содержание отчета.....	67
Контрольные вопросы к лабораторной работе	67
4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 «СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ».....	68
4.1. Цель и задачи работы.....	68
4.2. Последовательность выполнения работы.....	68
4.3. Оборудование, инструменты и средства измерения, применяемые в работе.....	69
4.4. Выполнение практической части работы	69
4.4.1. Изучение динамометрической и измерительной аппаратуры....	69
4.4.2. Ознакомление с методикой проведения однофакторного эксперимента.....	73
4.4.3. Ознакомление с графическим методом обработки результатов исследований.....	76
4.4.4. Получение общих зависимостей для расчета составляющих силы резания.....	78
4.4.5. Исследование влияния переднего угла на составляющие силы резания.....	79
4.5. Содержание отчета.....	80
Контрольные вопросы к лабораторной работе	80

5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 «ТЕМПЕРАТУРА РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ.....	81
5.1. Цель и задачи работы.....	81
5.2. Последовательность выполнения работы.....	81
5.3. Оборудование, инструменты и средства измерения, применяемые в работе.....	82
5.4. Выполнение практической части работы	82
5.4.1. Изучение средств измерений, применяемых при исследовании температуры резания.....	82
5.4.2. Ознакомление с методикой проведения эксперимента.....	85
5.4.3. Ознакомление с графическим методом обработки результатов исследований.....	87
5.4.4. Получение общей зависимости для расчета составляющей силы резания.....	88
5.5. Содержание отчета.....	89
Контрольные вопросы к лабораторной работе	90
6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5 «ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, ГЕОМЕТРИИ И КОНТРОЛЬ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ».....	90
6.1. Цель и задачи работы.....	90
6.2. Последовательность выполнения работы.....	91
6.3. Инструменты и средства измерения, применяемые в работе.....	91
6.4. Выполнение практической части работы	91
6.4.1. Изучение конструкции и геометрии спиральных сверл.....	91
6.4.2. Измерение геометрических параметров сверл.....	93
6.4.3. Выполнение эскиза спирального сверла.....	98
6.5. Содержание отчета.....	98
Контрольные вопросы к лабораторной работе	98
Список литературы.....	99
Приложения.....	105

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Кафедра
инструментальных систем
и сервиса автомобилей

Студент _____

Группа _____ Дата _____

Лабораторная работа 1

«Изучение конструкции, геометрии и контроль токарных резцов»

1. Схемы работы резцов

Изобразить три схемы по указанию преподавателя.

На схемах показать направление S и углы φ , φ_1 .

Схема работы резца	При выполнении операций		
	обточки	расточки	торцовки
проходного			
упорного			
подрезного			
отрезного			

<p>1.1. Схема работы _____ резца</p>	<p>1.2. Схема работы _____ резца</p>
<p>1.3. Схема работы _____ резца</p>	<p>2. Стандартное определение 2-х терминов (P_v, P_n, P_τ, P_S, γ, α, β, φ, φ_1, λ)</p> <p>2.1</p> <p>2.2</p>

3. Эскиз проходного резца

4. Линейные размеры

Пластина						Резец	Державка	
Материал	Марка	Номер	l_n	b_n	s_n	L	H	B

5. Угловые размеры

№ п/п	Наименование углов	Главная режущая кромка		Вспомогательная ре- жущая кромка	
1	Передний угол	γ		γ_1	
2	Задний угол	α		α_1	
3	Угол заострения	β		β_1	
4	Угол резания	δ		δ_1	
5	Угол наклона кромки	λ		λ_1	
6	Угол в плане	φ		φ_1	
7	Угол при вершине	ε			

6. Выводы по работе

Преподаватель _____

Кафедра
инструментальных систем
и сервиса автомобилей

Студент _____

Группа _____ Дата _____

Лабораторная работа 2
«Деформация срезаемого слоя»

Цель работы:

1. Типы стружек

2. Схемы для определения:

а) усадки стружки

б) относительного сдвига

3. Исходные данные и результаты эксперимента
Обрабатываемый материал – сталь 45.

Резец: материал режущей пластины: ; $\phi =$; $\Phi_1 =$; $\gamma =$; $\alpha = \alpha_1 =$; $\lambda =$; $r =$.

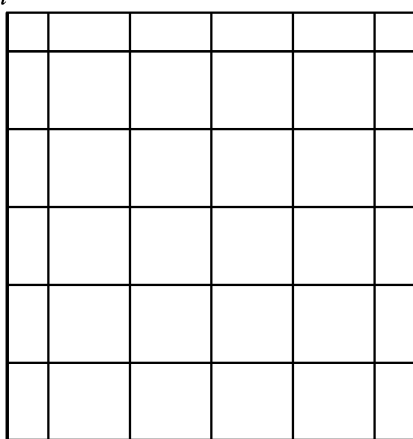
Номер опыта	Серия опытов	Режим резания				Тип стружки	Параметры срезаемого слоя						Параметры степени пластической деформации			
		п, об/мин	v, м/мин	S _o , мм/об	t, мм		a, мм	b, мм	a ₁ , мм	a ₂ , мм	m _э , мм	b _l , мм	K _a	K _b	K _l	ε
1	K _l = f(v), ε = f(v)															
2																
3																
4																
5	K _l = f(v), ε = f(v)															
6																
7																
8																

4. Расчетные зависимости для определения параметров сечения среза, коэффициентов усадки стружки и относительного сдвига при резании

5. Графические зависимости:

а) коэффициента продольной усадки стружки от скорости резания

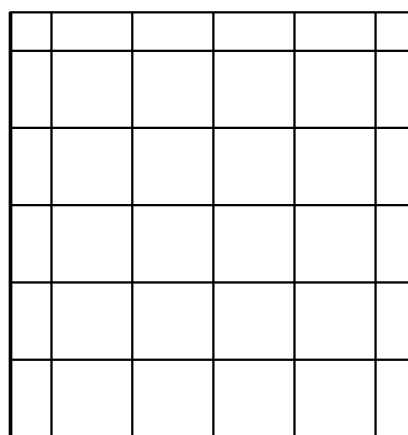
K_l



$v, \text{ м/мин}$

б) относительного сдвига от скорости резания

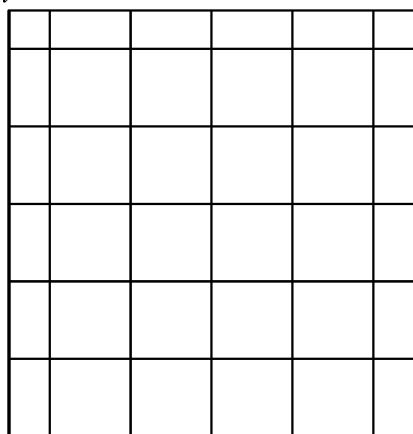
ε



$v, \text{ м/мин}$

в) коэффициента продольной усадки стружки от подачи

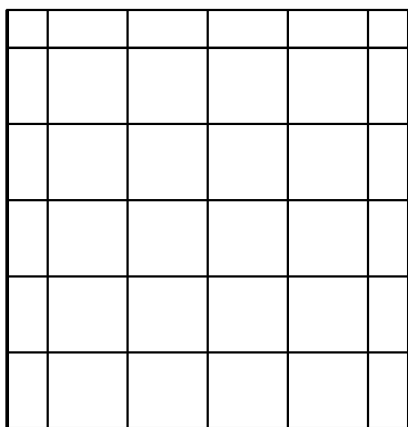
K_l



$S_o, \text{ мм/об}$

г) относительного сдвига от подачи

ε



$S_o, \text{ мм/об}$

6. Индивидуальное задание (2-3 контрольных вопроса из методических указаний к лабораторной работе)

7. Выводы по работе

Преподаватель _____

Кафедра
инструментальных систем
и сервиса автомобилей

Студент _____

Группа _____ Дата _____

Лабораторная работа 3 «Силы резания при точении»

Цель работы:

1. Исходные данные и результаты однофакторного эксперимента

Обрабатываемый материал – сталь 45.

Диаметр заготовки $D_{\text{заг}} =$

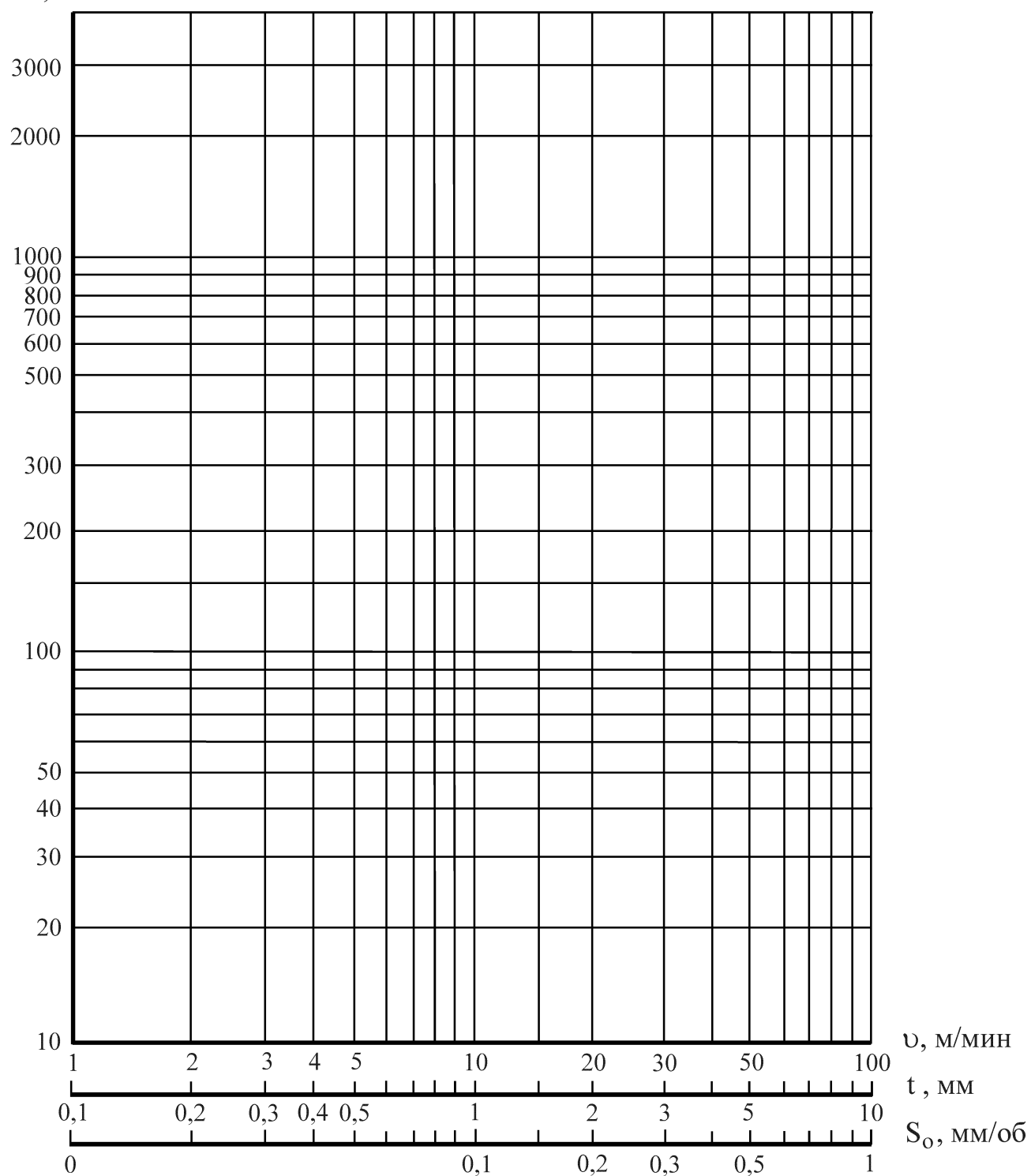
Резец: материал режущей пластины ; $\varphi =$; $\varphi_1 =$; $\alpha = \alpha_1 =$;

$\lambda =$; $r =$.

Но- мер опыта	Серия опытов с измене- ниями	Режимы резания				Перед- ний угол	Показания приборов			Составляющие силы резания		
		t , мм	S_o , $\frac{\text{мм}}{\text{об}}$	v , $\frac{\text{м}}{\text{мин}}$	n , $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$		P_z , мкА	P_y , мкА	P_x , мкА	P_z , Н	P_y , Н	P_x , Н
1	глубины резания											
2												
3												
4												
5	подачи											
6												
7												
8												
9	скорости резания											
10												
11												
12												
13	передне- го угла											
14												
15												
16												

2. Графики частных зависимостей составляющих силы резания от глубины t , подачи S_o и скорости резания v .

P , Н



Показатели степеней:

Коэффициенты:

3. Частные зависимости и обобщенные формулы для расчета составляющих силы резания

4. Расчет удельной силы и мощности резания

5. Зависимость составляющей (P_z , P_y или P_x) силы резания от переднего угла

P , Н

γ , град

6. Индивидуальное задание (2-3 контрольных вопроса из методических указаний к лабораторной работе)

7. Выводы по работе

Преподаватель _____

Кафедра
инструментальных систем
и сервиса автомобилей

Студент _____

Группа _____ Дата _____

Лабораторная работа 4 «Температура резания при точении»

Цель работы:

1. Исходные данные и результаты однофакторного эксперимента

Обрабатываемый материал – сталь 45.

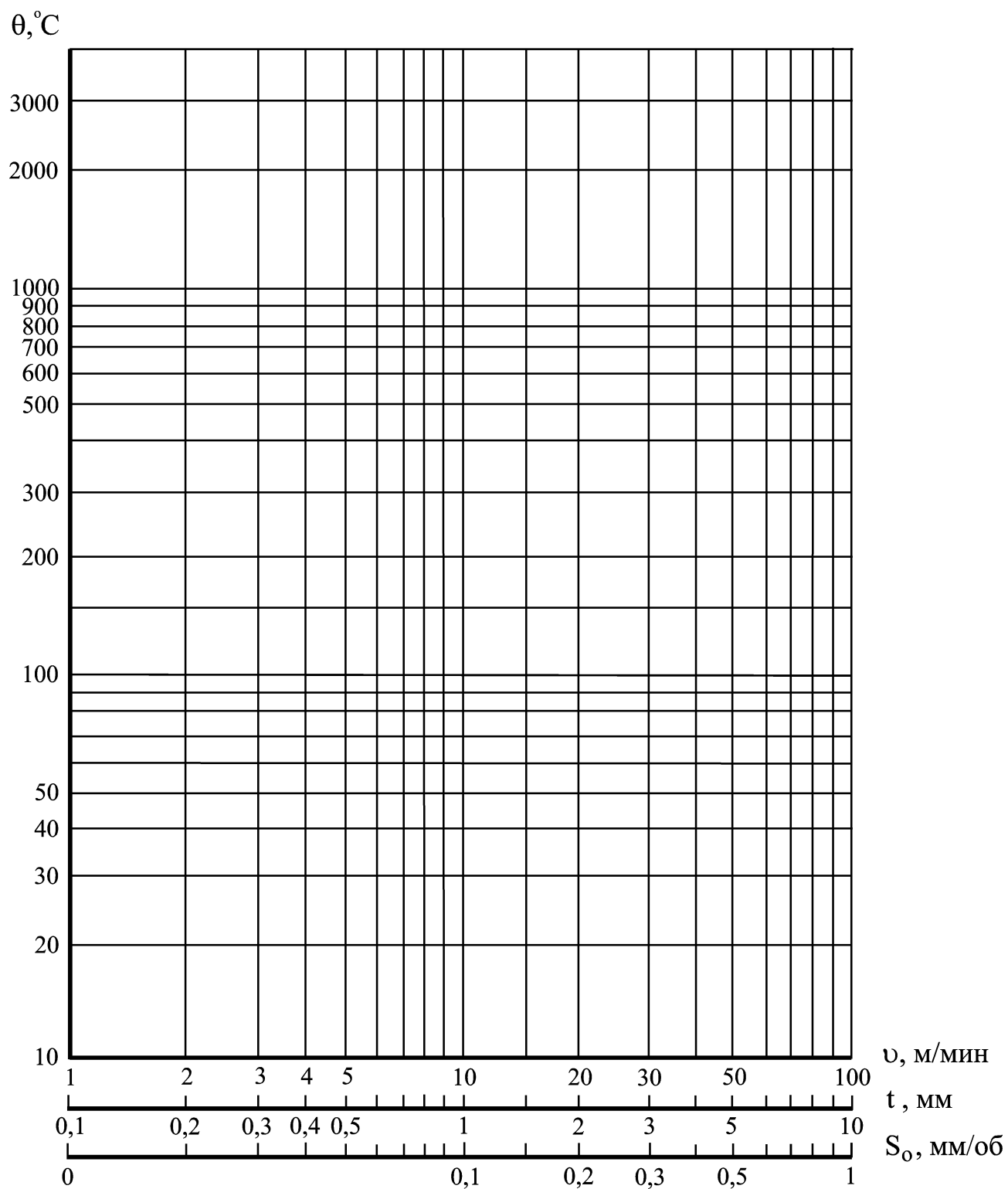
Диаметр заготовки $D_{\text{заг}} =$

Резец: материал режущей пластины ; $\varphi =$; $\varphi_1 =$; $\alpha = \alpha_1 =$;

$\lambda =$; $r =$.

Номер опыта	Серия опытов с изменениями	Режимы резания				Показания прибора	Температура
		t , мм	S_o , $\frac{\text{мм}}{\text{об}}$	v , $\frac{\text{м}}{\text{мин}}$	n , $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$	θ , мВ	θ , °C
1	глубины резания						
2							
3							
4							
5	подачи						
6							
7							
8							
9	скорости резания						
10							
11							
12							

2. Графики частных зависимостей температуры резания от глубины t , подачи S_o и скорости резания v .



Показатели степеней:

Коэффициенты:

3. Частные зависимости и обобщенная формула для расчета температуры резания

4. Индивидуальное задание (2-3 контрольных вопроса из методических указаний к лабораторной работе)

5. Выводы по работе

Преподаватель _____

Кафедра
инструментальных систем
и сервиса автомобилей

Студент _____

Группа _____ Дата _____

Лабораторная работа 5
«Изучение конструкции, геометрии и контроль
спиральных сверл»

Цель работы:

1. Эскиз сверла

2. Линейные и угловых размеры сверла

№ п/п	Наименование		Значения параметров	
			измеренные	расчетные
1	2	3	4	5
1	Диаметр сверла	d		
2	Общая длина	L		
3	Длина рабочей части	l		
4	Длина режущей части	l_p		
5	Длина направляющей части	l_n		
6	Длина хвостовика	l_x		
7	Длина лапки	l_l		

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
8	Толщина лапки	c		
9	Диаметр хвостовика (цилиндрического)	d_x		
10	Наибольший и наименьший диаметры конического хвостовика; номер конуса Морзе	$d_{к.нб}$ $d_{к.нм.}$		
11	Длина шейки	$l_{ш}$		
12	Диаметр шейки	$d_{ш}$		
13	Диаметр спинки	q		
14	Ширина пера	B		
15	Ширина направляющих ленточек	f		
16	Толщина сердцевины сверла	k		
17	Длина поперечной кромки без подточки	$l_{нк}$		
18	Длина подточки	l_n		
19	Угол наклона поперечной кромки	ψ		
20	Угол при вершине сверла	2φ		
21	Угол между переходными режущими кромками при двойной заточке режущей части	$2\varphi_0$		
22	Длина переходной режущей кромки	b		
23	Угол наклона винтовой канавки	ω		
24	Шаг винтовой канавки	P		
25	Обратная конусность (угол обратного конуса на рабочей части сверла)	Δd (φ_1)		
26	Передний угол сверла на периферии	γ_o		
27	Задний угол сверла на периферии	α_o		

3. Схемы измерения углов

4. Индивидуальное задание (2-3 контрольных вопроса по указанию преподавателя из методических указаний к лабораторной работе)

5. Выводы по работе

Преподаватель_____

Учебное издание

*СКУРАТОВ Дмитрий Леонидович
ТРУСОВ Владимир Николаевич
БУРОЧКИН ЮРИЙ ПАВЛОВИЧ*

**Резание и режущий инструмент
Часть 1**

Редактор
Компьютерная верстка
Выпускающий редактор

Подписано в печать
Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.
Усл. п.л. 7,5. Уч.-изд. л.
Тираж 50 экз. Рег. №
Заказ №

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Самарский государственный технический университет»
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Главный корпус

Отпечатано в типографии
Самарского государственного технического университета
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Корпус №8