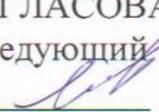
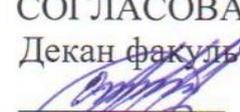


Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»
Машиностроительный факультет
Кафедра «Машиностроение и эксплуатация автомобилей»

СОГЛАСОВАНО
Заведующий кафедрой

С. В. Монтик
«13» 05 2025 г.

СОГЛАСОВАНО
Декан факультета

С. Р. Онысько
«13» 05 2025 г.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

«ТЕОРИЯ РЕЗАНИЯ»

(название дисциплины)

для специальности
6-05-0714-02 Технология машиностроения, металлорежущие станки
и инструменты
Профилизация: Технология машиностроения
Технологическое оборудование машиностроительного производства

Составители: Сокол Виктор Александрович, старший преподаватель

Парфиевич Андрей Николаевич, доцент, канд. техн. наук, доцент

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета
университета 26.06.2025 г., протокол № 4.

рег. в УМК 24125-132

Пояснительная записка

Актуальность изучения дисциплины

Большинство деталей машин из различных материалов получает окончательную форму и размеры в результате механической обработки. Важная роль в этом принадлежит обработке материалов резанием, особенно в случаях, когда требуется получить детали с высокой точностью и малой шероховатостью обработанных поверхностей. Для того чтобы такая обработка была производительной, экономичной и обеспечивала высокое качество изготовленных деталей, необходимо знать основные закономерности процесса резания, на основании которых можно сознательно управлять явлениями, протекающими в его зоне. Поскольку обработка может выполняться различными режущими инструментами из различных инструментальных материалов и с различными геометрическими параметрами, изучение закономерностей процесса резания нужно проводить неотрывно от установления основных путей совершенствования режущего инструмента.

В связи с этим, актуальность дисциплины «Теория резания» определяется тем, что в ней рассматриваются способы и виды обработки материалов, а также физические процессы, происходящие при обработке. Владение данными и навыками их использования является неотъемлемой частью компетенций инженера по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», профилизация «Технология машиностроения», «Технологическое оборудование машиностроительного производства».

Цели дисциплины

- формирование базовых знаний, необходимых при изучении основных дисциплин специального курса;
- освоение методик решения задач по оптимизации процесса резания и технологического процесса в целом при лезвийной и абразивной обработке материалов.

Задачи дисциплины

- изучение студентами теоретических основ науки о резании металлов;
- приобретение знаний о влиянии различных факторов на условия протекания процесса резания;
- формирование навыков, необходимых при назначении рациональных режимов обработки, геометрических параметров инструментов для заданных условий производства, оборудования, обрабатываемых материалов.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) объединяет структурные элементы учебно-методического обеспечения образовательного процесса, и представляет собой сборник материалов теоретического и

практического характера для организации работы студентов специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», профилизация «Технология машиностроения», «Технологическое оборудование машиностроительного производства» дневной и заочной формы обучения по изучению дисциплины «Теория резания».

ЭУМК разработан на основании Положения об учебно-методическом комплексе на уровне высшего образования, утвержденного Постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 8 ноября 2022 г., № 427, и предназначен для реализации требований учебной программы по учебной дисциплине «Теория резания» для специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», профилизация «Технология машиностроения», «Технологическое оборудование машиностроительного производства».

Цели УМК:

- обеспечение качественного методического сопровождения процесса обучения;
- организация эффективной самостоятельной работы студентов.

Содержание и объем ЭУМК полностью соответствуют образовательному стандарту высшего образования специальности ОСВО 6-05-0714-02-2023 Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты, а также учебной программе дисциплины государственного компонента «Теория резания». Материал представлен на требуемом методическом уровне и адаптирован к современным образовательным технологиям.

Структура электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Теория резания»:

Теоретический раздел ЭУМК содержит материалы для теоретического изучения учебной дисциплины и представлен конспектом лекций.

Практический раздел УМК содержит материалы для проведения лабораторных учебных занятий в виде методических указаний для выполнения лабораторных работ.

Раздел контроля знаний ЭУМК содержит материалы для итоговой аттестации (вопросы к экзамену), позволяющие определить соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации образовательных программ высшего образования.

Вспомогательный раздел включает учебную программу учреждения высшего образования по дисциплине «Теория резания».

Рекомендации по организации работы с ЭУМК:

- лекции проводятся с использованием представленных в ЭУМК теоретических материалов; при подготовке к экзамену, студенты могут использовать конспект лекций;

- экзамен проводится в письменном виде, вопросы к экзамену приведены в разделе контроля знаний.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

**Конспект лекций по дисциплине
«Теория резания»**

Тема 1: Введение. Дисциплина «Теория резания», её предмет, цели и задачи

1. Значение дисциплины «Теория резания» и её место в учебном плане подготовки инженеров по специальности. Связь дисциплины с фундаментальными, общетехническими и специальными науками. История развития науки о резании материалов.

Учебная дисциплина «Теория резания» является первой дисциплиной технологического цикла, формирующей у студентов основы знаний по механической обработке материалов, она является отправным пунктом в изучении таких учебных дисциплин, как «Резущие инструменты», «Оборудование машиностроительного производства» и «Технология машиностроения». Знания по «Резанию материалов» необходимы для осознанного восприятия и оценки всех сопровождающих процесс резания явлений и их влияния на эффективность механической обработки.

Первые экспериментальные исследования процесса резания металлов проведены во Франции. В 1848–1849 годах капитан французской артиллерии Кокилья проделал опыты по сверлению отверстий в орудийных стволах. Подача сверла осуществлялась с помощью груза. В опытах определялась работа, затрачиваемая на сверление.

В 1851 году Коквилхэт исследовал работу, необходимую для сверления отверстий в железе, бронзе, камне и других материалах. В 1862 году опыты Кокилья повторил капитан французской артиллерии Кларинваль на отличающихся по своим свойствам обрабатываемых материалах: чугуна, стали и бронзе. В 1864 году французский исследователь Джоссель сделал сообщение о влиянии геометрии резца на силу резания.

В конце 70-х годов 19-ого века интенсивно развиваются науки о строении и свойствах металлов. Так, в 1968 году Д.К. Чернов исследует строение металлов и закладывает основы металлургии, в том же году французский академик Треска публикует первые работы по пластической деформации металлов.

В 1880 году Иван Августович Тиме (1838-1920), профессор Петербургского Горного Института, публикует труд «Сопrotивление металлов и дерева резанию», в котором он «... впервые рассмотрел процесс деформации металла при стружкообразовании». Этот труд и считается началом науки о резании металлов, а его автор, Иван Августович Тиме — её основоположником.

В 1893 году вышла в свет книга профессора Харьковского Технологического Института Константина Алексеевича Зворыкина (1861–1928) «Работа и усилие, необходимые для отделения металлических стружек». Эта работа явилась ценным вкладом в мировую техническую литературу и поставила К.А.Зворыкина в ряд крупнейших ученых основоположников науки о резании металлов. За своё исследование, описанное в этой книге, К.А. Зворыкин был удостоен премии Русского технического общества. В своём исследовании для измерения усилий он впервые применил гидравлический динамометр. Методика изложенного исследования была настолько совершенна и тщательно продумана, что от современных исследований она отличается только технической оснащённостью. К.А. Зворыкиным была предложена схема сил, действующих на резец, в которой были учтены силы трения на передней и задней поверхностях. К.А. Зворыкин теоретически определил

положение плоскости скалывания и высказал предположение, что в плоскости скалывания действуют нормальные силы, вызывающие силы трения между элементами стружки, препятствующие их движению. Значительная часть работы посвящена исследованию зависимости сил резания от толщины стружки.

В 1896 году опубликована работа преподавателя Михайловской артиллерийской академии, капитана А.А. Брикса «Резание металлов». В своей книге автор дал глубокий анализ работ отечественных и зарубежных исследователей, систематизировал понятия и уточнил терминологию, принятую в резании. Такие термины, как «режущее лезвие», «передняя грань», «задняя грань», «угол заострения», «задний угол», «передний угол» утвердились в науке о резании металлов и сохранились до наших дней.

В 1905-1910 годах – Н.Н. Савиным выполнены исследования влияния смазочно-охлаждающей жидкости на процесс резания и качество обработанной поверхности. Результаты исследования опубликованы в «Известиях Политехнического института» и в «Вестнике общества технологов» в 1910 году.

В 1914 году в «Известиях Донского политехнического института» была опубликована работа Б.Г. Соколова «О форме обдирочных резцов». В этой работе автор обращает внимание на то, что процесс образования стружки следует рассматривать в плоскости «схода стружки», которую в настоящее время мы называем главной секущей плоскостью.

Выдающейся работой после работ И.А. Тиме и К.А. Зворыкина была работа мастера механических мастерских Петроградского политехнического института Якова Григорьевича Усачева (1873–1941) «Явления, происходящие при резании металлов». Для изучения пластической деформации в зоне образования стружки Я.Г. Усачев впервые применил микроструктурный анализ корней стружек, позволивший увидеть плоскости скалывания и плоскости сдвигов внутри элементов стружки. При микроструктурном анализе корней стружек Я.Г. Усачев обратил внимание на явление образования нароста на передней поверхности резца, которое он охарактеризовал как явление приспособляемости металла к условиям резания и указал, что «...нарост образуется всегда, если форма резца не соответствует условиям наименьшего сопротивления резанию...».

Я.Г. Усачев был выдающимся экспериментатором и большим мастером своего дела, опубликованные им фотографии микроструктур корней стружек и нароста, удивляют исключительно высоким качеством их выполнения, собственноручно им изготовленные и применяемые в экспериментах резцы со встроенными полумискусственными термопарами, являют собой образцы ювелирного их исполнения.

Начало работам советского послереволюционного периода времени было положено Андреем Николаевичем Челюсткиным (1891–1926), преподавателем Ленинградской артиллерийской академии. За 7 лет своей научно-педагогической работы он опубликовал целый ряд сочинений, сыгравших большую роль в развитии отечественной науки о резании металлов. Особое место среди его работ занимает сочинение «Влияние размеров стружки на усилие резания металлов».

В годы первой пятилетки 1928–1933 в Советском Союзе развернулось широкое строительство новых предприятий тяжелой индустрии и реконструкция существующих машиностроительных заводов. В этот период строятся такие гиганты индустрии, как Горьковский Автозавод, Сталинградский, Харьковский и

Челябинский тракторные заводы, авиационные заводы в Москве, Воронеже и в Горьком, Уралмаш, Ново-Краматорский завод тяжелого машиностроения и другие.

Резкое расширение парка металлорежущих станков и увеличение объема металлообработки потребовало создания научно-обоснованных руководящих материалов по рациональному использованию имеющихся мощностей, выбору оптимальных режимов резания и условий обработки.

Развитие массового производства требовало освоения высокопроизводительных методов обработки металлов с применением специализированных инструментов.

Эти задачи в целом потребовали расширения научно-исследовательских работ в металлообработке. Поэтому в 1936 году по инициативе Наркома тяжелой промышленности СССР Григория Константиновича Орджоникидзе была создана «Комиссия по резанию металлов» под председательством профессора МВТУ имени Н.Э.Баумана, Е.П. Надеинской. Членами комиссии стали А.И. Каширин, В.А. Кривоухов, И.М. Беспрозванный и С.Д. Тишин. На основании работ, выполненных под руководством комиссии, впервые в мировой практике металлообработки разработаны справочные материалы по режимам резания всех применявшихся в то время конструкционных материалов и всех видов обработки всеми видами инструмента.

Эти материалы были положены в основу государственных нормативов по режимам резания.

В результате работ Комиссии были прочно заложены основы Советской школы резания металлов. Впервые в мировой практике созданы нормативно-справочные материалы по резанию металлов.

В период Великой Отечественной Войны проведены широкие исследования, направленные на определение режимов резания максимальной производительности.

Послевоенный период характеризуется глубокими исследованиями накопившихся за время войны узких вопросов по теории резания металлов.

Результаты исследований опубликованы авторами:

1945 г. – В.А. Кривоуховым «Деформирование поверхностных слоев металла в процессе резания».

1946 г. – И.М. Беспрозванным «Физические основы теории резания металлов».

1949 г. – С.Ф. Глебовым «Механизм пластической деформации при резании металлов».

1950 г. – А.И. Исаевым «Процесс образования поверхностного слоя при обработке металлов резанием».

1953 и 1958 г. – опубликованы две монографии М.И. Клушина «Резание металлов».

По вопросам тепловых явлений и износа режущего инструмента опубликованы работы:

1946 г. – А.М. Даниеляна «Износ инструмента и тепловые явления при резании металлов».

1949 г. – Б.И. Костецкого «Стойкость режущего инструмента».

1949 г. – М.П. Левицкого «Проблема стойкости резцов».

Наряду с теоретическими исследованиями в послевоенный период решаются и новые практические задачи. В этот период осваивается производство новых мощных турбин, атомных реакторов, реактивных двигателей. Детали этих устройств, работающие в условиях действия высоких температур и давлений, изготавливаются

из специальных жаропрочных, нержавеющей, эрозионно-стойких и тугоплавких материалов и сплавов, которые трудно поддаются механической обработке. Работы послевоенного периода и были направлены на определение оптимальных условий обработки таких материалов. В 1947 году интенсивно внедряется скоростное резание твердосплавными инструментами.

2. Предмет, цели и задачи курса. Тенденции и перспективы развития обработки материалов резанием, как метода окончательного формирования формы и размеров детали.

Резание материалов – это способы и виды обработки материалов, основанные на срезании припуска и превращении его в стружку, подчиняющуюся общим закономерностям.

Припуск – это некоторая масса материала, специально оставленная на обработку.

Стружка – это материал припуска, отделённый от обрабатываемой заготовки, и имеющий характерную форму.

Теория резания направлена на достижение следующей цели при лезвийной и абразивной обработке материалов: оптимизация процесса резания и технологического процесса в целом с целью создания экономичной технологии при заданном уровне качества деталей.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач, рассматриваемых в курсе теории резания:

- проведение анализа влияния различных факторов на условия протекания процесса резания;*
- назначение рациональных режимов обработки, геометрических параметров инструментов, металлорежущих станков и технологических процессов механической обработки.*

Тенденции развития ТР в настоящее время:

- разработка новых высокопродуктивных методов резания, в том числе при автоматизации и механизации процесса, а также при обработке труднообрабатываемых материалов;*
- создание методов обработки конструкционных материалов с использованием электрической, химической, тепловой энергии;*
- использование автоматизированных систем проектирования и управления технологическими процессами.*

Современное состояние науки о резании материалов характеризуется глубокими исследованиями физико-химических явлений в зоне резания, исследуются процессы взаимодействия обрабатываемого материала и инструмента, новые инструментальные материалы, исследуется сверхскоростное резание.

Также необходимо отметить, что в настоящее время обнаруживается несоответствие возможностей металлургической промышленности и металлообработки. Металлургическая промышленность может поставлять промышленности материалы высочайшей прочности, обрабатывать которые обработчики еще не научились или обработка их стоит непомерно дорого. И в этом направлении ведутся исследовательские работы.

Применение фундаментальных основ теории резания способствует достижению значительных успехов в решении практических задач технологии машиностроения. Они являются научной базой для разработки автоматизированных и компьютеризированных систем проектирования и управления технологическими процессами. Информация о закономерностях процесса резания является отправной точкой для разработки новых видов промышленного оборудования. Большое внимание в настоящее время уделяется минимизации экспериментальных исследований путём их замены на различные виды компьютерного моделирования.

Тема 2: Основные понятия, термины и определения теории резания

1. Движения инструмента и заготовки, необходимые для обеспечения процесса резания, и поверхности, образуемые на заготовке

В настоящее время в промышленности используются режущие инструменты, отличающиеся друг от друга по кинематике движения, виду оборудования, способу изготовления, материалу режущей части, конструктивному исполнению и т. д. Однако в каждом из них можно выделить режущий клин, определяющий возможности срезания слоя металла (припуска). Форма режущего клина бывает различной и определяет геометрические параметры режущей части инструмента. На основании понятий и определений геометрии простейшего инструмента, например токарного резца, имеющего в своем сечении режущий клин, изучают особенности геометрии более сложных инструментов.

Возможности срезания припуска независимо от вида инструмента определяет режущий клин, характеризуемый геометрическими параметрами режущей части инструмента.

Процесс резания возможен только при непрерывном относительном взаимном перемещении обрабатываемой заготовки и режущего инструмента. Выделяют следующие движения (рисунок 1):

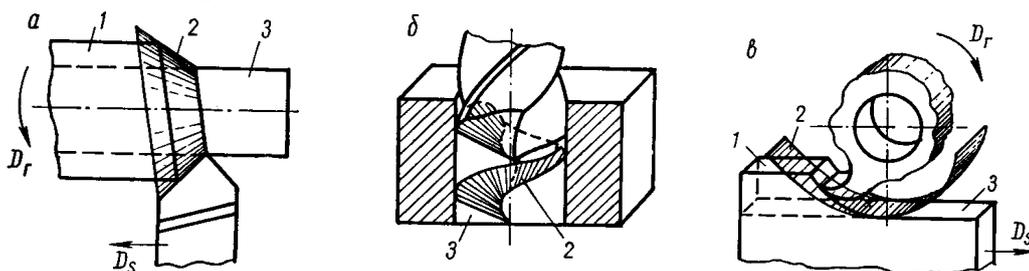


Рисунок 1 – Поверхности обработки при точении, сверлении, фрезеровании

Главное движение резания D_r – поступательное или вращательное движение заготовки или режущего инструмента, осуществляемое в процессе резания с наибольшей скоростью v .

Движение подачи D_s – поступательное или вращательное движение инструмента или заготовки, скорость которого v_s меньше скорости главного движения резания и позволяющее отделять слой материала на всей обработанной поверхности. Движения подачи могут различаться по направлениям (рисунок 2).

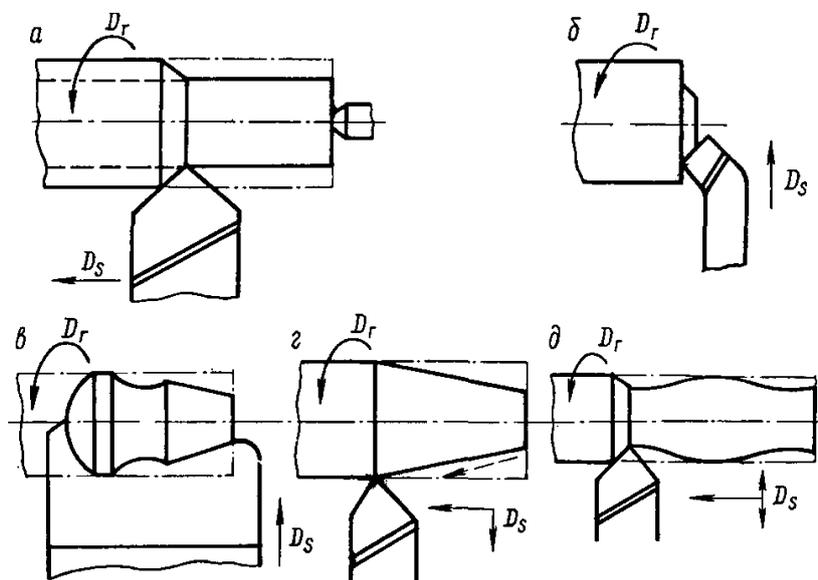


Рисунок 2 – Главное движение и движение подачи при обработке различных поверхностей деталей резанием: а – цилиндрической; б – торцовой; в – фасонной; г – конической; д – криволинейной

При точении перемещение резца параллельно оси заготовки называют продольной подачей (рисунок 2, а), а перпендикулярно к оси – поперечной (рисунок 2, б, в).

При этом образуется соответственно деталь цилиндрической формы или плоскость, перпендикулярная к оси центров (рисунок 2, а, б). Фасонные резцы при поперечной подаче создают различные поверхности вращения (рисунок 2, в). При перемещении резца под некоторым углом к оси центров образуется коническая поверхность (рисунок 2, г). Перемещение резца может осуществляться по заданной кривой по программе или копиру в плоскости, проходящей через ось центров, при этом получается поверхность с криволинейной образующей (рисунок 2, д).

Количество движений, с помощью которых производится процесс резания, различно. Сочетание движений, сообщаемых механизмом станка в процессе резания инструменту и обрабатываемой детали, представляет кинематическую схему резания.

На обрабатываемой заготовке при снятии стружки различают три поверхности:

- 1 – обрабатываемую, которая частично или полностью удаляется при обработке;
- 2 – обработанную, образованную на заготовке в результате обработки;
- 3 – поверхность резания, образуемую режущей кромкой в результирующем движении резания (рисунок 1).

Поверхность резания является переходной между обрабатываемой и обработанной поверхностями.

2. Рабочие поверхности инструмента

Рабочая часть любого режущего инструмента состоит из одного или нескольких режущих лезвий (зубьев).

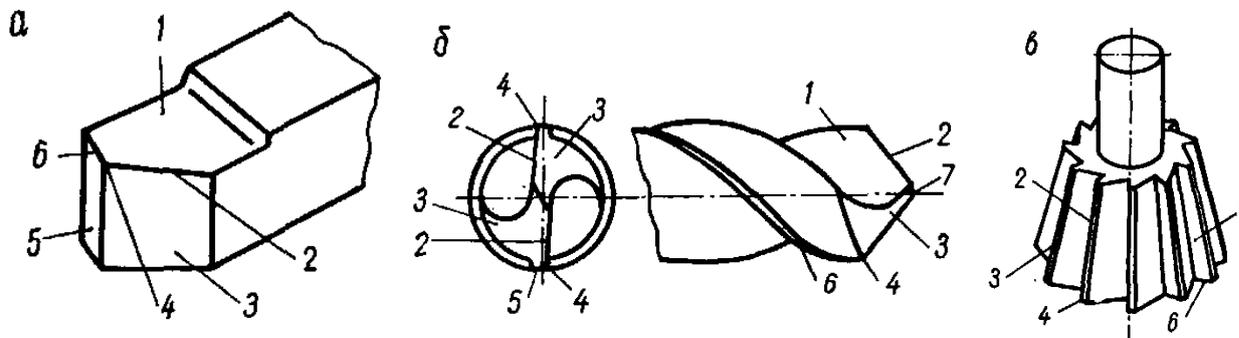


Рисунок 3 – Рабочие поверхности и режущие кромки: а – резца, б – сверла, в – фрезы; 1 – передняя поверхность, 2 – главная режущая кромка, 3 – главная задняя поверхность, 4 – вспомогательная задняя поверхность, 5 – вспомогательная режущая кромка, 6 – вершина инструмента

На зубе затачиваются передняя поверхность 1, контактирующая в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой; главная задняя поверхность 3, контактирующая с поверхностью резания; вспомогательная задняя поверхность 5, обращенная к обработанной поверхности (рисунок 3).

Главная режущая кромка 2 образуется при пересечении передней и главной задней поверхностей, а вспомогательная режущая кромка б - передней и вспомогательной задней.

Режущие кромки никогда не бывают абсолютно острыми; образующие их поверхности сопрягаются по радиусу округления ρ .

Место сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок называется вершиной режущего лезвия. Сопряжение бывает острозаточенное, по дуге окружности радиуса или по переходной кромке под углом φ_0 .

Расположение режущих кромок в пространстве оценивается относительно координатных плоскостей.

3. Координатные плоскости и системы координат для оценки параметров режущей части инструмента

Оценка геометрических параметров (углов) режущего инструмента должна производиться в определённой системе координат. Геометрию режущего инструмента можно рассматривать в следующих системах координат:

- статическая – с началом в рассматриваемой точке режущей кромки и ориентирована относительно направления скорости главного движения резания;
- кинематическая – с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости результирующего движения резания;
- инструментальная – с началом в вершине лезвия, ориентированная относительно элементов режущего инструмента, принятых за базу.

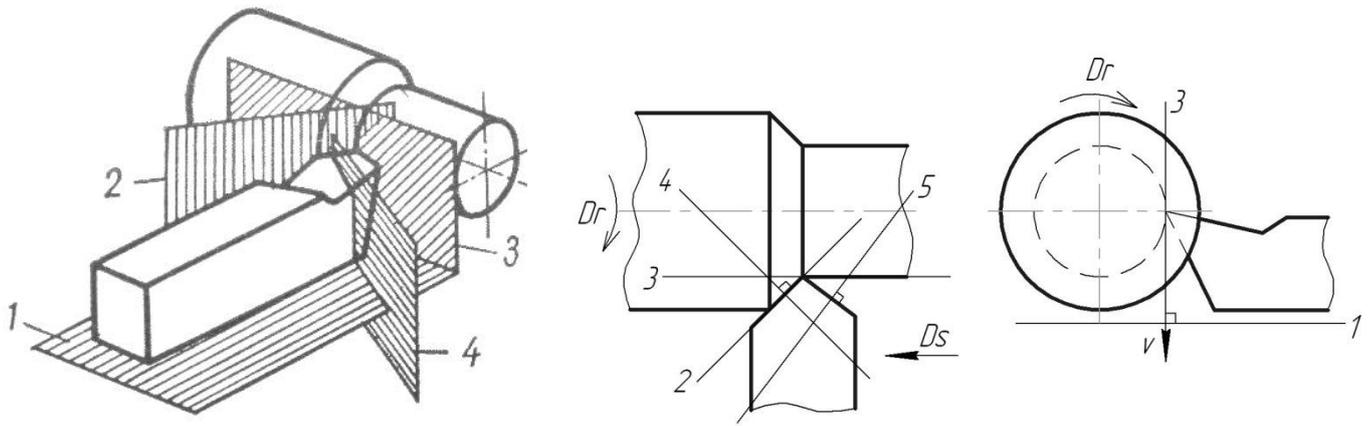


Рисунок 4 – Координатные плоскости реза

Для определения положения режущих кромок реза принимают следующие координатные плоскости:

1 – основная плоскость (в статической системе координат) – расположена перпендикулярно к направлению скорости главного движения; у токарных резцов эта плоскость совпадает с нижней опорной поверхностью;

2 – плоскость резания – это плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная основной плоскости;

3 – рабочая плоскость – это плоскость, в которой расположены направления (векторы) скоростей главного движения и движения подачи;

4 – главная секущая плоскость – это координатная плоскость, перпендикулярная плоскости резания в рассматриваемой точке режущей кромки (первая линия пересечения основной плоскости и плоскости резания);

5 – вспомогательная секущая плоскость – это координатная плоскость, перпендикулярная проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость.

4. Геометрические параметры режущей части инструмента

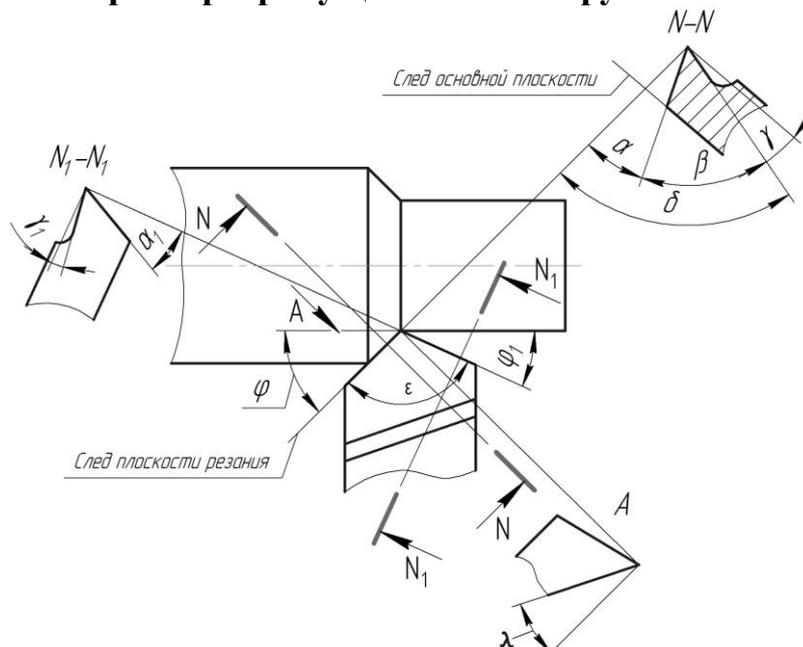


Рисунок 5 – Геометрические параметры режущей части токарного резца

Углы, определяемые в главной секущей плоскости, называются главными, они определяют режущий клин, отделяющий от припуска слой металла, превращаемый в стружку, во вспомогательной секущей плоскости – вспомогательными.

В главной секущей плоскости $N-N$ рассматривают главные задний и передний углы, углы заострения и резания (рисунок 5).

Главным передним углом γ называется угол между передней поверхностью резца и основной плоскостью в рассматриваемой точке главной режущей кромки.

Он имеет положительное значение, если передняя поверхность направлена вниз от режущей кромки; отрицательное – если передняя поверхность направлена вверх от нее; равен нулю – если передняя поверхность параллельна основной плоскости

Главным задним углом α называется угол между главной задней поверхностью резца (или касательной к ней) и плоскостью резания.

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

Углом резания δ называется угол между плоскостью резания и передней поверхностью резца (или касательной к ней).

Между этими углами существует соотношение $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$.

Во вспомогательной секущей плоскости N_1-N_1 рассматривают вспомогательные задний α_1 и передний γ_1 углы.

α_1 – это угол между касательной к вспомогательной задней поверхности резца и плоскостью, проведенной через точку вспомогательной режущей кромки перпендикулярно к основной плоскости.

γ_1 – угол между передней поверхностью резца и основной плоскостью в рассматриваемой точке вспомогательной режущей кромки

В основной плоскости измеряются углы в плане.

Главным углом в плане φ называется угол между плоскостью резания и рабочей плоскостью.

Для резца он определяется проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи.

Вспомогательным углом в плане φ_1 называется угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и рабочей плоскости.

Угол в плане при вершине ε – угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость. $\varphi + \varepsilon + \varphi_1 = 180^\circ$.

В плоскости резания измеряется угол наклона главной режущей кромки λ – угол между главной режущей кромкой и основной плоскостью. Если вершина резца – низшая точка кромки, то угол λ , – положительный, если высшая – отрицательный.

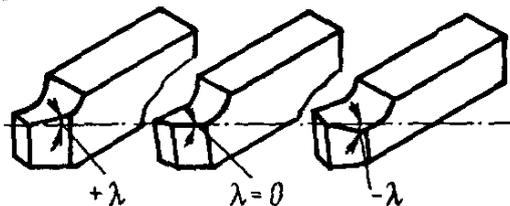


Рисунок 6 – Угол наклона главной режущей кромки λ

Все перечисленные углы резца соответствуют данным определениям, если вершина резца установлена на уровне оси вращения обрабатываемой детали и геометрическая ось стержня резца расположена перпендикулярно к оси вращения обрабатываемой детали. При такой установке резца на станке инструментальная система координат совпадает со статической. При этом основная плоскость совпадает с опорной поверхностью резцов, а поверхность резания расположена вертикально.

5. Классификация видов резания

Существующее в настоящее время разнообразие обработки резанием, конструкций и геометрии инструментов, свойств обрабатываемых материалов, широкие пределы изменения режимов резания обуславливают практически бесконечное число возможных комбинаций условий резания. Однако все они могут быть сведены к сравнительно небольшому числу основных случаев работы режущего лезвия.

Классификация может быть проведена по следующим признакам:

1. по количеству участвующих в резании режущих кромок – свободное и несвободное.

При свободном резании в работе принимает участие только одна режущая кромка (рисунок 7,а,б). В этом случае все участки режущей кромки находятся практически в одинаковых условиях, а направления перемещения всех частиц стружки практически одинаковы.

Но гораздо чаще приходится иметь дело с процессом несвободного резания, при котором вспомогательная режущая кромка принимает большее или меньшее участие. Оно создает так называемое побочное резание в дополнение к главному, осуществляемому главной режущей кромкой.

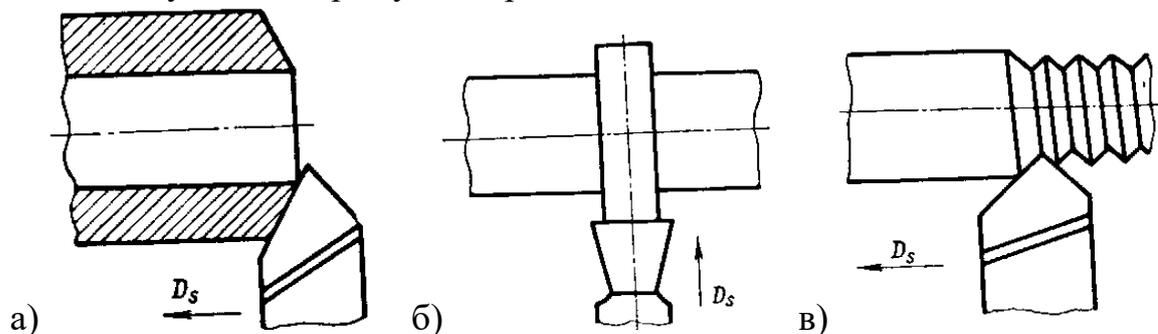


Рисунок 7 – Примеры свободного (а, б) и несвободного резания (в)

2. по ориентации режущей кромки относительно вектора скорости главного движения – прямоугольное и косоугольное.

Если режущая кромка перпендикулярна к направлению главного движения резания, оно является прямоугольным, а если не перпендикулярна – косоугольным.

Положение режущей кромки относительно направления движения характеризуется углом наклона режущей кромки λ

3. по количеству одновременно участвующих в работе лезвий – одно- и многолезвийное. К первому виду относятся точение, строгание, долбление; ко второму – сверление, фрезерование и т. д.

4. по форме сечения среза – с постоянным и переменным сечениями, К первому виду относятся, например, точение, сверление; ко второму – фрезерование.

5. по времени контакта режущего лезвия с деталью – непрерывное и прерывистое.

Первый вид характеризуется непрерывным контактом рабочих поверхностей лезвия с деталью; перерыв наступает только при переходе к обработке другой детали. Прерывистый процесс резания осуществляется путем периодического повторения цикла резание – отдых лезвия. При этом существенную роль играют процессы, связанные с врезанием и выходом режущего клина из контакта с деталью.

6. Элементы режима резания и срезаемого слоя при точении

Элементы режима резания:

- скорость главного движения v ,
- подача S ;
- глубина резания t .

Скорость главного движения резания (скорость резания) v – скорость рассматриваемой точки режущей кромки или заготовки в направлении главного движения резания. Единица измерения м/мин.

При точении, когда заготовка вращается с частотой вращения n (мин⁻¹), скорость резания (м/мин) в разных точках режущей кромки будет разная. В расчетах принимается ее максимальное значение:

$$v = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ м/мин}$$

где D – наибольший диаметр поверхности резания, мм.

При продольном точении скорость резания постоянна, а при подрезании торца или отрезании при постоянной частоте вращения – переменная, наибольшее ее значение у периферии заготовки.

Аналогичным образом рассчитывается скорость главного движения при сверлении, фрезеровании и других видах обработки с вращательным главным движением.

Подача S – перемещение режущей кромки относительно обработанной поверхности в направлении движения подачи.

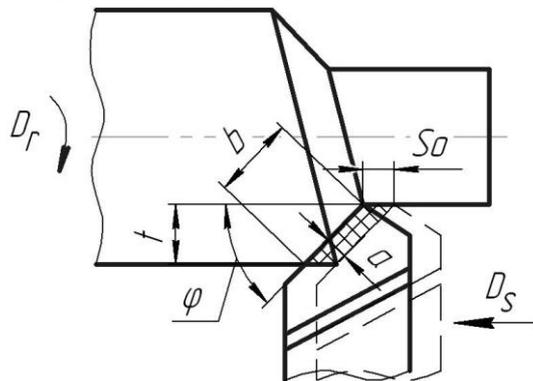


Рисунок 8 – Элементы режима резания и срезаемого слоя

Различают:

S_0 – оборотная подача (подачу за один оборот заготовки (инструмента)), мм/об

$S_M = S_0 \cdot n$ – минутная подача, мм/мин

$S_z = S_0/z$ – подача на зуб, где z – число зубьев

Глубина резания t – величина срезаемого слоя, удаляемого за один проход, измеренная в направлении, перпендикулярном к обработанной поверхности. Глубина резания всегда перпендикулярна к направлению подачи.

При продольном точении (нарисовать эскиз для отрезания и попереч. точения)

$$t = (D - d)/2,$$

где D – диаметр заготовки;

d – диаметр обработанной поверхности.

Элементы срезаемого слоя.

Глубина резания, частота вращения детали или инструмента и подача характеризуют процесс резания с технологической стороны: с точки зрения положения и движения инструмента, обеспечивающих процесс резания. Но при одной и той же подаче и глубине резания в зависимости от формы режущей кромки и ее расположения (углов в плане) изменяются ширина и толщина поперечного сечения срезаемого слоя, от которых, как будет рассмотрено далее, зависят процесс пластической и упругой деформации, сопротивление металла деформированию, количество выделившейся теплоты и условия теплоотвода.

Ширина срезаемого слоя, или ширина среза b (мм) – длина стороны сечения срезаемого слоя, образованная поверхностью резания:

$$b = t / \sin \varphi$$

Толщина срезаемого слоя (толщина среза) a (мм) – длина нормали к поверхности резания, проведенной через рассматриваемую точку режущей кромки, ограниченная сечением срезаемого слоя:

$$a = S_0 \cdot \sin \varphi$$

Толщина среза a измеряется в направлении, перпендикулярном к режущей кромке, ширина среза b вдоль режущей кромки (в миллиметрах)

7. Резание материалов как система

С развитием системно-структурного подхода к изучению различных объектов и явлений появилась необходимость выработать общее понятие системы. Каждая система состоит из множества элементов, имеющих между собой реальные связи. Природа элементов может быть различной, в частности они могут являться процессами. Состояние системы в каждый момент времени характеризуется набором ряда переменных, а поведение системы – определенной последовательностью ее состояний во времени. Система обладает свойством относительной устойчивости, т. е. она сохраняется только в определенных границах изменений ее переменных.

Целью обработки материалов резанием является получение на детали поверхности с заданными характеристиками качества. Достижение этого результата сопровождается упругой и пластической деформацией срезаемого слоя и

обработанной поверхности и изнашиванием контактных площадок режущего инструмента. Эти процессы совершаются одновременно, тесно связаны между собой и образуют единую систему, которая называется системой резания.

Система резания представляет собой необходимую для обработки данной заготовки регулируемую технологическую систему, т. е. совокупность станка, инструментов, приспособлений, технологической среды, с одной стороны, и процесса резания – с другой. Процесс резания – механизм системы, связывающий технологическую систему, и получающиеся в результате обработки технологические параметры детали.

Поскольку в настоящее время реальное физическое содержание механизмов, через которые входные факторы состояния влияют на выходные, до конца не выявлено, то связь между первыми и вторыми можно рассматривать как «черный ящик», параметры которого определяются совокупным действием кинематики процесса резания и физические явления, вызванных этим процессом.

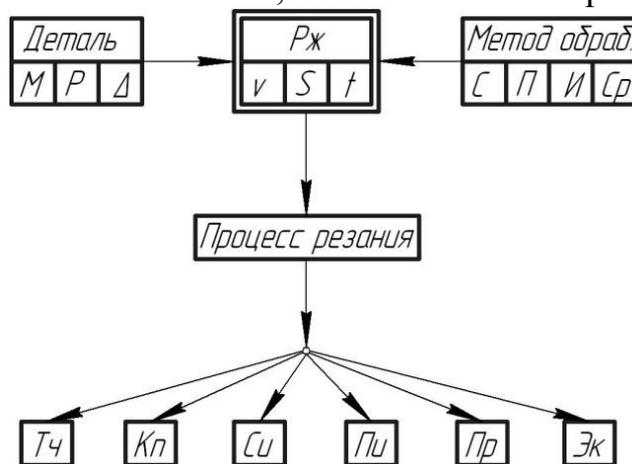


Рисунок 9 – Структурная схема обработки резанием

Изучение систем осуществляется путем целенаправленного изменения внешних воздействий на входе и изучении реакций на выходе. В системе резания, как правило, параметрами на входе являются следующие элементы:

С – станок (тип, модель, мощность, жесткость)

П – приспособление (тип, схема, жесткость)

И – инструмент (материал режущей части, конструкция, геометрия, прочность, жесткость)

Д – деталь (свойства материала, размеры и форма, припуск)

Рж – режимы резания (скорость, подача, глубина резания)

Ср – технологическая среда (способ подачи и состав СОЖ)

Параметрами на выходе являются:

Тч – точность обработки (качество, размеры поля допуска)

Кп – качество поверхности (шероховатость, глубина и степень наклепа, остаточные напряжения, прижоги и микротрещины)

Си – стойкость инструмента (интенсивность изнашивания, время работы)

Пи – прочность инструмента (допустимая сила резания, предел выносливости)

Пр – производительность (число деталей обработанных в единицу времени, площадь поверхности, обработанной в единицу времени)

Эк – экономичность (технологическая себестоимость)

Тема 3: Инструментальные режущие материалы

1. Основные свойства инструментальных материалов

Эксплуатационные характеристики режущих инструментов в значительной степени зависят от качества материала, из которого эти инструменты изготовлены. Материалы, предназначенные для режущих инструментов, должны по ряду показателей значительно превосходить материалы, применяемые в машиностроении для изготовления различных деталей.

Приведём основные требования, предъявляемые к инструментальным материалам.

1. Инструментальный материал должен иметь высокую твердость в состоянии поставки или достигаемую в результате его термической обработки — не менее 62...65 HRC по Роквеллу (шкала С).

2. При резании металлов выделяется значительное количество теплоты, и режущая часть инструмента нагревается. Температура рабочих поверхностей и режущих кромок инструмента зависит от условий, при которых ведется обработка, и может достигать нескольких сот градусов. Необходимо, чтобы при значительных температурах резания твердость поверхностей инструментов существенно не уменьшалась. Способность материала сохранять высокую твердость при повышенных температурах и исходную твердость после охлаждения называется теплостойкостью. Инструментальный материал должен обладать высокой теплостойкостью.

3. Наряду с теплостойкостью инструментальный материал должен иметь высокую износостойкость при повышенной температуре, т.е. обладать хорошей сопротивляемостью истиранию обрабатываемым материалом.

4. Важным требованием является достаточно высокая прочность инструментального материала. Если высокая твердость материала рабочей части инструмента сопровождается значительной хрупкостью, это приводит к поломке инструмента и выкрашиванию режущих кромок.

5. Инструментальный материал должен обладать технологическими свойствами, обеспечивающими оптимальные условия изготовления из него инструментов. Для инструментальных сталей — это хорошая обрабатываемость резанием и давлением, благоприятные особенности термической обработки (малая чувствительность к перегреву и обезуглероживанию, хорошие закаливаемость и прокаливаемость, минимальные деформирование и образование трещин при закалке и т.д.), хорошая шлифуемость после термической обработки.

2. Виды инструментальных материалов и области их применения

Углеродистые и легированные инструментальные стали

Ранее других материалов для изготовления режущих инструментов начали применять углеродистые инструментальные стали марок У7, У7А...У13, У13А. Инструменты из углеродистых сталей обладают достаточной твердостью при

комнатной температуре, но теплостойкость их невелика, так как при сравнительно невысоких температурах (200...250 °С) их твердость резко уменьшается.

Легированные инструментальные стали по химическому составу отличаются от углеродистых повышенным содержанием кремния или марганца либо наличием одного или нескольких легирующих элементов: хрома, никеля, вольфрама, ванадия, кобальта, молибдена. Для режущих инструментов используются низколегированные стали марок 9ХФ, 11ХФ, 13Х, В2Ф, ХВ4, ХВСГ, ХВГ, 9ХС и др. Эти стали обладают более высокими технологическими свойствами – лучшей закаливается и прокаливаемости, меньшей склонностью к короблению, но теплостойкость их практически равна теплостойкости углеродистых сталей (350...400°С), поэтому они используются для изготовления ручных инструментов (разверток) или инструментов, предназначенных для обработки на станках с низкими скоростями резания (мелкие сверла, развертки).

Быстрорежущие инструментальные стали

Относятся к группе высоколегированных сталей. Для изготовления режущих инструментов используются быстрорежущие стали с высоким содержанием вольфрама, молибдена, кобальта, ванадия. Современные быстрорежущие стали можно разделить на три группы.

К сталям нормальной теплостойкости относятся вольфрамовые Р18, Р12, Р9 и вольфрамомолибденовые Р6М5, Р6М3, Р8М3

стали имеют твердость в закаленном состоянии 62...65 HRC, предел прочности при изгибе 2900...3400 МПа, и теплостойкость 600...650°С. Указанные стали получили наиболее широкое распространение при изготовлении режущих инструментов, которые используются при обработке конструкционных сталей, чугунов, цветных металлов, пластмасс.

Стали повышенной теплостойкости характеризуются повышенным содержанием углерода (10Р8М3, 10Р6М5), ванадия (Р12Ф3, Р2М3Ф8, Р9Ф5), кобальта (Р18Ф2К5, Р6М5К5, Р9К5, Р9К10, Р9М4К8Ф, 10Р6М5Ф2К8 и др.).

Твердость сталей в закаленном состоянии достигает 65...69 HRC, они имеют более высокую теплостойкость (до 620...670 °С). Это дает возможность использовать их для обработки жаропрочных и нержавеющей сталей и сплавов, а также конструкционных сталей повышенной прочности и закаленных. Период стойкости инструментов из таких сталей в 3-5 раз выше, чем из сталей Р18, Р6М5.

Стали высокой теплостойкости характеризуются пониженным содержанием углерода, но весьма большим количеством легирующих элементов (В11М7К23, В14М7К25). Они имеют твердость 68...69 HRC и теплостойкость 700...720°С. Наиболее рациональная область их использования – резание труднообрабатываемых материалов и титановых сплавов. В последнем случае период стойкости инструментов в 30-80 раз выше, чем из стали Р18, и в 8-15 раз выше, чем из твердого сплава ВК8.

Перспективным для повышения качества быстрорежущих сталей является получение их методами порошковой металлургии. Стали Р6М5К5-П (П – порошковая), Р9М4К8-П, Р12М3Ф3К10-П и другие имеют весьма однородную мелкозернистую структуру, хорошо шлифуются, меньше деформируются при термообработке, отличаются стабильностью эксплуатационных свойств.

Твёрдые сплавы.

Эти сплавы получают методами порошковой металлургии в виде пластин или коронок. Основными компонентами таких сплавов являются карбиды вольфрама WC, титана TiC, тантала TaC и ниобия NbC, мельчайшие частицы которых соединены посредством сравнительно мягких и менее тугоплавких кобальта или никеля в смеси с молибденом.

Твёрдые сплавы имеют высокую твердость — 71...75 HRC и теплостойкость до 850... 1000 °С. Это позволяет работать со скоростями резания в 3-4 раза большими, чем инструментами из быстрорежущих сталей.

Применяемые в настоящее время твердые сплавы делятся на:

вольфрамовые сплавы группы ВК (ВК3, ВК3-М, ВК4, ВК6, ВК6-М, ВК6-ОМ, ВК8 и др.). Буквами М и ОМ обозначается мелкозернистая и особо мелкозернистая структура;

титановольфрамовые сплавы группы ТК (Т5К10, Т15К6, Т14К8, Т30К4, Т60К6 и др.).

титанотанталовольфрамовые сплавы группы ТТК (ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ20К9 и др.).

безвольфрамовые твердые сплавы (ТМ-1, ТМ-3, ТН-20, КНТ-16, ТС20ХН).

Инструменты, изготовленные из сплавов группы ТК, могут использоваться при высоких скоростях резания, поэтому их широко применяют при обработке сталей.

Инструменты из твердых сплавов группы ВК применяют при обработке деталей из конструкционных сталей в условиях низкой жесткости технологической системы, при прерывистом резании, работе с ударами, а также при обработке хрупких материалов типа чугуна, что обусловлено повышенной прочностью этой группы твердых сплавов и невысокими температурами в зоне резания. Такие сплавы используются также при обработке деталей из высокопрочных, жаропрочных и нержавеющей сталей, титановых сплавов. Это объясняется тем, что наличие в них титана вызывает повышенную адгезию со сплавами группы ТК, также содержащими титан. Кроме того, сплавы группы ТК имеют значительно худшую теплопроводность и более низкую прочность, чем сплавы ВК.

Введение в твердый сплав карбидов тантала или карбидов тантала и ниобия (ТТ10К8-Б) повышает его прочность. Поэтому трех- и четырехкарбидные твердые сплавы применяются для оснащения инструментов, работающих с ударами и по загрязненной корке. Однако температура теплостойкости этих сплавов ниже, чем у двух-карбидных. Из твердых сплавов с существенно улучшенной структурой следует отметить особомелкозернистые, применяемые для обработки материалов с большой истирающей способностью.

Особомелкозернистые сплавы ОМ обладают плотной структурой, а также имеют малый (до 0,5 мкм) размер зерен карбидов вольфрама. Последнее обстоятельство позволяет затачивать и доводить изготовленный из них инструмент с наименьшими радиусами режущих кромок. Инструменты из сплавов этой группы применяются для чистовой и получистовой обработки деталей из высокопрочных вязких сталей с повышенной склонностью к наклепу.

Сплавы с низким процентным содержанием кобальта (Т30К4, ВК3, ВК4) обладают меньшей вязкостью и применяются для изготовления инструментов, срезающих тонкие стружки на чистовых операциях. Наоборот, сплавы с большим содержанием кобальта (ВК8, Т14К8, Т5К10) являются более вязкими и применяются при снятии стружек большого сечения на черновых операциях.

Минералокерамика

Не содержит дорогостоящих и дефицитных элементов. Основу ее составляют оксиды алюминия Al_2O_3 с небольшой добавкой (0,5..1%) оксида магния MgO . Высокая твердость минералокерамики, теплостойкость до 1200 °С, химическая инертность к металлам, сопротивление окислению во многом превосходят эти же параметры твердых сплавов. Однако минералокерамика уступает этим сплавам по теплопроводности, имеет более низкий предел прочности на изгиб.

Минералокерамику на основе оксида алюминия можно разделить на три группы:

1) чисто оксидная керамика (белая), основу которой составляет оксид алюминия с незначительными примесями (Al_2O_3 – до 99,7 %);

2) керамика, представляющая собой оксид алюминия с добавлением металлов (титан, ниобий и др.);

3) оксидно-карбидная (черная) керамика – оксид алюминия с добавлением карбидов тугоплавких металлов (титана, вольфрама, молибдена) для повышения ее прочностных свойств и твердости.

В настоящее время выпускается оксидная керамика ЦМ-332, ВО-13 и оксидно-карбидная ВЗ, ВОК-60, ВОК-63. Наряду с материалами на основе оксида алюминия выпускается материал на основе нитрида кремния — силинит-Р и кортинит ОНТ-20 (с добавками оксидов алюминия и некоторых других веществ).

Режущие свойства инструментов из минералокерамики проявляются при скоростной обработке сталей и высокопрочных чугунов, причём чистовое и получистовое точение и фрезерование повышают производительность обработки деталей до 2 раз при одновременном возрастании периодов стойкости инструментов до 5 раз по сравнению с обработкой инструментами из твердого сплава. Минералокерамика выпускается в виде неперетачиваемых пластин, что существенно облегчает условия ее эксплуатации.

Сверхтвердые инструментальные материалы

Алмазы и алмазные инструменты широко используются при обработке деталей из различных материалов. Для алмазов характерны исключительно высокие твердость и износостойкость. По абсолютной твердости алмаз в 4-5 раз тверже твердых сплавов и в десятки и сотни раз превышает износостойкость других инструментальных материалов при обработке цветных сплавов и пластмасс. Кроме того, вследствие высокой теплопроводности алмазы лучше отводят теплоту из зоны резания, что способствует гарантированному получению деталей без прижогов на поверхности. Однако алмазы весьма хрупки, что сильно сужает область их применения.

Для изготовления режущих инструментов основное применение получили искусственные алмазы, которые по своим свойствам близки к естественным. При больших давлениях и температурах в искусственных алмазах удается получить такое же расположение атомов углерода, как и в естественных. Вследствие малости размеров искусственных кристаллов (1/8... 1/10 карата) они непригодны для изготовления таких инструментов, как сверла, резцы и другие, а поэтому применяются при изготовлении порошков для алмазных шлифовальных кругов и притирочных паст.

Лезвийные алмазные инструменты выпускаются на основе поликристаллических материалов типа «карбонадо» или «баллас». Эти инструменты имеют длительные

размерные периоды стойкости и обеспечивают высокое качество обработанной поверхности. Применяются они при обработке титановых, высококремнистых алюминиевых сплавов, стеклопластиков и пластмасс, твердых сплавов и других материалов. Алмаз как инструментальный материал имеет существенный недостаток: при повышенной температуре он вступает в химическую реакцию с железом и теряет работоспособность.

Поликристаллы плотных модификаций нитрида бора превосходят по теплостойкости все материалы, применяемые для лезвийного инструмента. Эти материалы изотропны (одинаковая прочность в различных направлениях), обладают микротвёрдостью, близкой к твердости алмаза, повышенной теплостойкостью, высокой теплопроводностью и химической инертностью по отношению к углероду и железу.

Данные материалы в настоящее время получили название «композит». Композиты 01 и 02 применяют для тонкого и чистового точения и фрезерования без ударов деталей из закаленных сталей твердостью 54...69 HRC, чугунов и твердых сплавов BK15, BK20 и BK25 с подачами до 0,2 мм/об и глубиной резания до 0,8 мм; композит 05 применяют для чистового и получистового точения без ударов деталей из закалённых сталей твердостью 39...57 HRC, чугунов твердостью до 300 НВ с подачами до 0,25 мм/об и глубиной до 2,5 мм; композит 10 используют для тонкого, чистового и получистового точения и фрезерования с ударами деталей из закаленных сталей твердостью 29...57 HRC, чугунов любой твердости, сплавов BK15, BK20, BK25 с подачей до 0,15 мм/об и глубиной резания до 0,6 мм. При этом период стойкости инструментов возрастает в десятки раз по сравнению с другими инструментальными материалами.

В настоящее время также освоен выпуск двухслойных неперетачиваемых пластин, состоящих из твердого сплава (основа) и слоя из поликристаллов алмаза или нитрида бора толщиной до 0,5 мм, что повышает общую эффективность использования инструментов из сверхтвердых материалов.

Монокристаллические материалы

В качестве инструментальных материалов находят применение синтетический корунд в виде рубина и монокристаллы бесцветного корунда, или лейко-сапфиры.

Рубин представляет собой модификацию $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ с небольшими примесями хрома, а лейкосапфир — синтетический монокристалл в виде α -модификации, который почти не содержит примесей. Последний имеет лучшие механические свойства, чем рубин, в силу чего находит более широкое применение. Инструменты, изготовленные из монокристаллов корунда, рекомендуется использовать для тонкой обработки цветных металлов, сталей и чугунов.

Тема 4: Физические основы процесса резания

1. Физико-химические явления при резании

При внедрении в материал режущего инструмента на его переднюю и заднюю поверхности действуют силы, под действием которых происходит деформирование

и разрушение обрабатываемого материала, сопровождающееся рядом физико-химических явлений.

Физико-химические явления, возникающие при резании:

1. В деформированном объеме возникает сложное напряженное состояние материала, имеют место упругие и пластические деформации, происходит хрупкое и вязкое разрушение.

2. На обработанной поверхности образуются шероховатости, а в поверхностном слое детали происходит изменение текстуры, структуры, тепло- и электрофизических свойств.

3. В зоне резания возникает неоднородное температурное поле, создаются особые условия теплопередачи между инструментом, стружкой и поверхностным слоем детали.

4. Происходят различные виды разрушения (износа) режущего клина, возникающие под действием истирания, царапания, адгезии, диффузии, химических, электрических и усталостных явлений.

5. Применение смазочно-охлаждающих веществ сопровождается физико-химическими явлениями, возникающими при соприкосновении смазочно-охлаждающих веществ с нагретыми поверхностями инструмента и заготовки.

6. В технологической системе возникают вынужденные колебания и автоколебания, ухудшающие процесс резания.

Все перечисленные явления находятся в тесной взаимосвязи. Для повышения производительности и экономичности различных видов механической обработки необходимо иметь четкое качественное и количественное представление обо всех физико-химических явлениях

2. Пластические деформации металла при образовании стружки и характеристики, используемые их для оценки (угол сдвига, абсолютный и относительный сдвиг)

При обработке резанием превращение срезаемого слоя в стружку является следствием процесса пластической деформации материала под действием внешних сил. Из трех основных видов деформированного состояния тела (растяжение, сжатие и сдвиг) резанию характерно наличие сдвига.

При сдвиге деформация тела вдоль одной из главных осей отсутствует, вдоль второй оси происходит укорочение, а вдоль третьей главной оси – равное ему удлинение (рисунок 1).

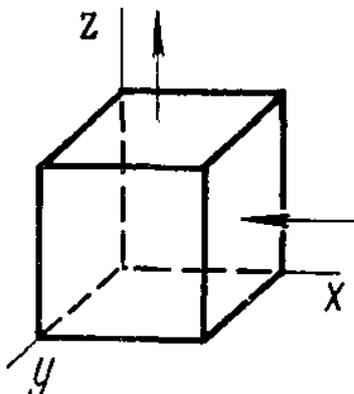


Рисунок 1 – Деформированное состояние тела при сдвиге

Сдвиг, сопровождающийся смещением всех точек тела параллельно одной оси, называется простым. При этом квадрат $ABCD$ превращается в равновеликий параллелограмм A_1B_1CD , основание и высота которого такие же, как и у исходного квадрата (рисунок 2, а).

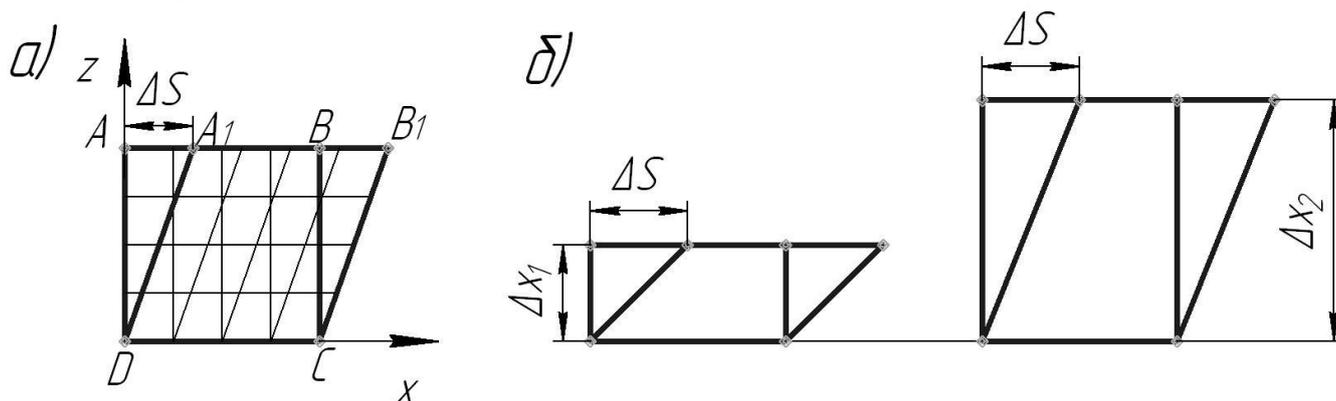


Рисунок 2 – Схема деформации при простом сдвиге

Для количественной оценки простого сдвига используют величину ΔS – абсолютный сдвиг, а также более точную характеристику $\epsilon = \Delta S / \Delta x$ – относительный сдвиг или степень деформации (Δx – толщина сдвигаемого слоя) (рисунок 2, б).

Рассмотрим более подробно деформацию простого сдвига на примере перехода срезаемого слоя в стружку.

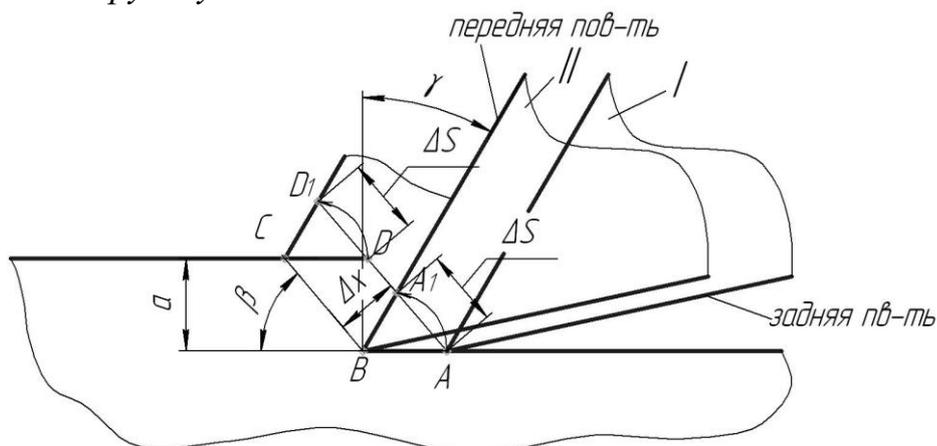


Рисунок 3 – Переходная пластически деформированная зона при резании

Представим переходную пластически деформируемую зону в виде параллелограмма $ABCD$. Толщина этой зоны через Δx , а её сдвиг через ΔS . При перемещении инструмента из положение I в положение II параллелограмм $ABCD$ деформируется и принимает форму A_1BCD_1 . При этом все точки этой зоны смещаются параллельно направлению BC , расположенному под углом β к плоскости резания, где β – угол сдвига (рисунок 3).

В результате отделения слоя металла толщиной a и превращения его в стружку часть единого тела движется параллельно передней поверхности лезвия инструмента, а оставшаяся – продолжает движение в прежнем направлении. В точке, соответствующей сопряжению передней и задней поверхностей инструмента, под углом β к направлению движения произойдет разделение тела на стружку и обрабатываемую деталь.

Относительный сдвиг при резании зависит от угла сдвига β и переднего угла γ .
На практике $\varepsilon = 2 \dots 5$.

Скорость относительного сдвига $v_{\text{деф}}$ – относительный сдвиг в единицу времени – очень высока. При обработке конструкционных материалов обычного качества $\Delta x = 0,02 \dots 0,005$ см; $\varepsilon = 2 \dots 5$ при скорости резания $v = 60$ м/мин скорость деформации $v_{\text{деф}} = 4000$ с⁻¹.

Силы при сдвиге

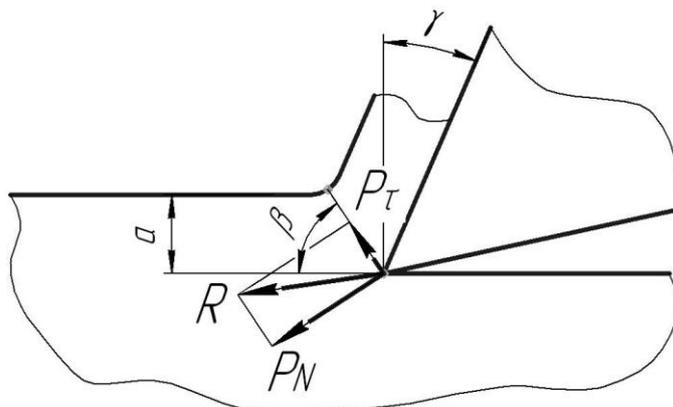


Рисунок 4 – Схема действия сил при сдвиге

Рассмотрим силы, действующие на срезаемый слой со стороны инструмента. Инструмент действует на обрабатываемый металл с силой стружкообразования R . Разложим её на силу P_N – перпендикулярную плоскости сдвига и силу P_T – действующую вдоль плоскости сдвига.

Деформируемый слой сжимается силой P_N и сдвигается силой P_T . Деформация сдвига начнется в том случае, если напряжение сдвига станет равным пределу текучести на сдвиг.

$$\tau \geq [\tau]$$

$$\tau = \frac{P_T}{AB \cdot b} = \frac{P_T \cdot \sin \beta}{a \cdot b}$$

3. Зоны деформации при формировании стружки

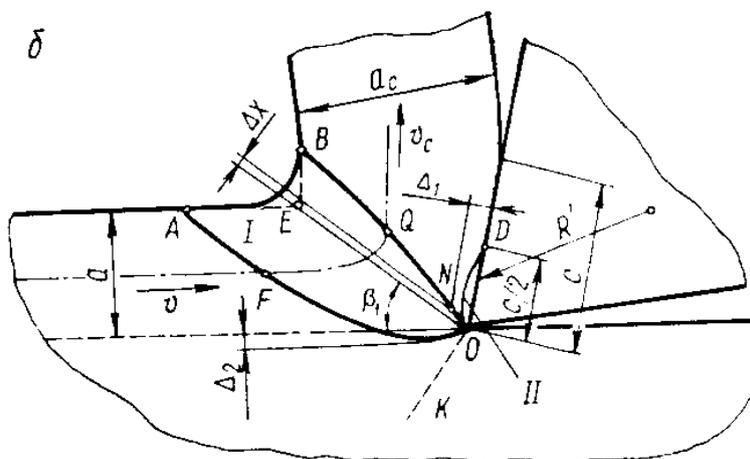


Рисунок 5 – Зоны первичной I и вторичной II деформации при превращении срезаемого слоя в сливную стружку

Зона I, обозначенная АОВ и расположенная перед передней поверхностью, является зоной первичной деформации. Она имеет форму клина с вершиной, совпадающей с вершиной инструмента. Зона АОВ ограничивает поверхности, на которых напряжения сдвига $\tau \geq [\tau]$. Правее линии ОВ находятся зёрна стружки, а левее линии ОА – не деформированные зёрна материала срезаемого слоя.

Зерно материала, перемещаясь относительно инструмента со скоростью v по кривой FQ, сильно деформируется. Деформация зерна оканчивается в точке Q, и оно приобретает скорость v_c , равную скорости стружки.

В реальных условиях границы ОА и ОВ приближаются к линии ОЕ, расположенной под углом β , то есть сдвиговые деформации локализуются в тонком слое толщиной Δx на условной плоскости сдвига.

При этом процесс превращения срезаемого слоя в стружку можно представить как процесс последовательных сдвигов тонких слоев обрабатываемого материала вдоль условной плоскости сдвига. Процесс образования стружки в этом случае должен подчиняться закономерностям простого сдвига.

Деформирование срезаемого материала на этом было бы законченным, если бы отсутствовало трение между контактной поверхностью стружки и поверхностью инструмента. Поскольку трение между указанными поверхностями имеется всегда, зерна стружки, находящиеся в непосредственной близости от контактной поверхности стружки, продолжают деформироваться и после выхода их из зоны первичной деформации.

Зона вторичной деформации II образуется из-за контакта стружки с передней поверхностью инструмента в условиях высоких нагрузок и температур. Ширина зоны II составляет 0,5 ширины площадки контакта стружки с передней поверхностью, а толщина $\Delta \approx 0,1a_c$.

4. Классификация типов стружки

Впервые была предложена в 1877 г. И.А. Тиме.

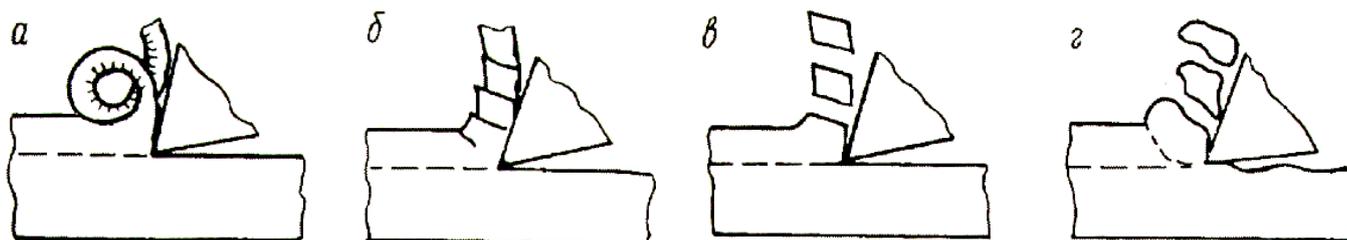


Рисунок 6 – Типы стружек: а – сливная; б – суставчатая; в – элементная; г – надлома

Сливная стружка (рисунок 6, а) не имеет выступов на свободной (внешней) стороне, образуется при обработке на высоких скоростях резания, небольших толщинах среза и передних углах.

Суставчатая стружка (рисунок 6, б) состоит из отдельных элементов на внешней поверхности, внутренняя сторона гладкая.

Элементная стружка (рисунок б, в) имеет мало связанные отдельные элементы относительно правильной формы.

Стружкой надлома (рисунок б, г) представляет собой вырванные или отколотые частицы металла неправильной формы.

Первые три вида стружки образуются при обработке пластичных материалов, последний – хрупких.

Тот или иной вид стружки определяется также толщиной среза, скоростью резания и передним углом лезвия.

Классификация И. А. Тиме не потеряла своего значения и в наше время, хотя и подверглась значительной конкретизации. Например, только при обработке стали известно свыше 30 разновидностей стружки.

5. Схема образования сливной стружки с единственной плоскостью сдвига

Предположим, что инструмент перемещается из положения I в положение II на Δl (рисунок 7). При этом точка Q срезаемого слоя в виде параллелограмма MNPQ, лежащая на поверхности резания, окажется в точке Q_1 , лежащей на передней поверхности инструмента, а P – в точке P_1 на свободной стороне стружки.

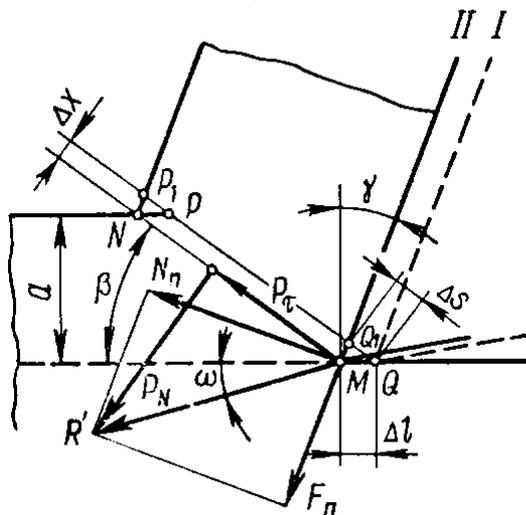


Рисунок 7 – Схема превращения срезаемого слоя в стружку

Таким образом, параллелограмм MNPQ, сдвигаясь вдоль MN на Δs , превращается в параллелограмм MNP₁Q₁ который принадлежит не срезаемому слою толщиной a, а стружке. При дальнейшем перемещении инструмента на Δl указанный процесс повторится в результате непрерывных сдвигов тонких слоев материала по условной плоскости сдвига без нарушения связи между сдвинутыми слоями.

6. Формирование текстуры

В результате пластической деформации в стружке образуется текстура в виде полос или строчек, расположенных под некоторым углом к плоскости сдвига, называемым углом текстуры ψ (рисунок 8).

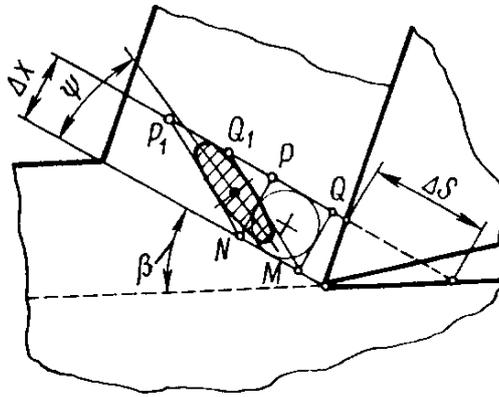


Рисунок 8 – Схема образования текстуры стружки

Линии текстуры представляют цепочки деформированных зерен стружки, получивших после прохождения через условную плоскость сдвига определенную форму и ориентацию.

Образование текстуры можно представить следующим образом. Сфероидальное зерно материала срезаемого слоя впишем в куб со стороной, равной толщине сдвигаемого слоя. В сечении плоскостью, перпендикулярной к режущей кромке инструмента, будем иметь круг, вписанный в квадрат.

В результате деформации простого сдвига верхняя плоскость сдвигаемого слоя переместится относительно нижней на абсолютный сдвиг ΔS . Квадрат $MNPQ$ превратится в параллелограмм MNP_1Q_1 , а круг – в эллипс, большая ось которого наклонена к условной плоскости сдвига под углом текстуры ψ , который можно определить из условия:

$$\operatorname{ctg}\psi = (\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2 + 4})/2$$

Цепочки эллипсов в направлении их больших осей представляют линии текстуры деформации стружки.

Если бы отсутствовало трение стружки о переднюю поверхность, линии текстуры шли бы параллельно друг другу, сохраняя неизменным угол текстуры. Однако в слое стружки толщиной Δ , прилегающем к ее контактной стороне, эллипсоидальные зерна, деформированные на первой стадии, теряют свою форму под действием силы трения и линии текстуры искривляются вследствие вторичной деформации срезаемого слоя.

7. Схема образования элементной стружки

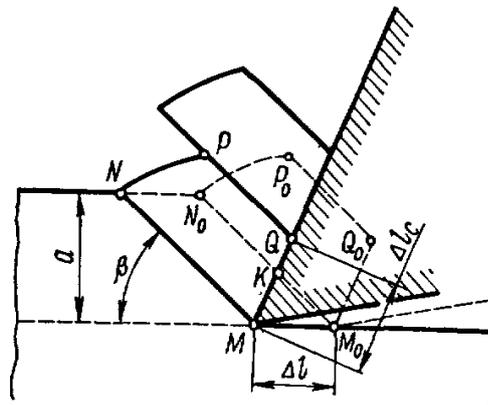


Рисунок 9 – Схема образования элементной стружки

В объеме будущего элемента стружки помимо значительных сил сдвига возникают значительные силы и напряжения сжатия, вызывающие течение материала срезаемого слоя вдоль и перпендикулярно к передней поверхности инструмента. Превращение срезаемого слоя в элемент стружки происходит следующим образом.

При перемещении инструмента на расстояние Δl его передняя поверхность деформирует объем материала, ограниченный параллелограммом M_0MNN_0 . Когда напряжения сжатия превзойдут предел текучести деформируемого материала $\tau_{сж} \geq [\tau]$, начнется его перемещение по передней поверхности лезвия инструмента и точка M_0 , совпадет не с точкой K , как это бывает при образовании сливной стружки, а с точкой Q . Одновременно сторона M_0N_0 параллелограмма укорачивается до QP . Это объясняется тем, что объём деформированного материала остаётся прежним. В результате элемент срезаемого слоя M_0MNN_0 превращается в элемент стружки $MNPQ$. Когда запас пластичности обрабатываемого материала будет исчерпан, начинается его разрушение по плоскости скалывания, и сколотый элемент перемещается вверх по передней поверхности лезвия инструмента.

Чем больше степень деформации срезаемого слоя, тем больше форма элемента стружки в виде трапеции $MNPQ$ приближается к треугольной.

8. Образование стружки надлома

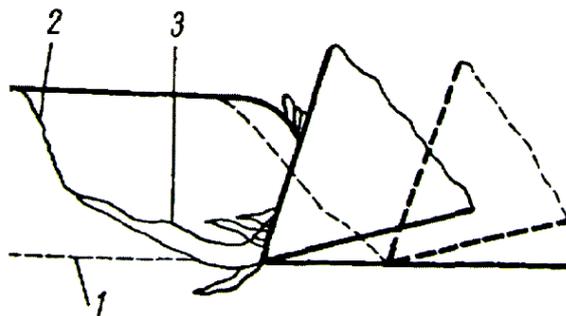


Рисунок 10 – Схема образования стружки надлома

При внедрении режущего клина в хрупкий материал, у вершины в материале вследствие возникающих напряжений появляются микротрещины, переходящие в макротрещину критической длины, что приводит к отрыву элемента стружки.

Причинами возникновения и развития трещин являются растягивающие или сдвигающие напряжения, которые могут быть вызваны гидростатическим напряжением, изгибающим моментом, наличием большой поверхности сдвига и другими факторами. Под действием резца (клина) у его передней поверхности образуются трещины, распространяющиеся в направлении вектора скорости. На первом этапе стружкообразования происходит непрерывное повышение силы резания, обеспечивающее развитие ведущей равномерно-подвижной трещины 3. Оно продолжается до тех пор, пока на формирование стружки не начнет оказывать воздействие напряжение изгиба, приводящее к быстрому падению силы резания и отрыву элемента стружки по поверхности резания 2. На втором этапе происходит

зачистка поверхности резания 1, характеризующаяся отрывом более мелких частиц стружки. Если развитие основной трещины идёт ниже поверхности резания, второй этап отсутствует.

9. Характеристики деформации стружки

Пластическая деформация при резании приводит к тому, что толщина стружки a_c становится больше толщины среза a , её ширина больше ширины срезаемого слоя, т. е. $b_c > b$, а длина стружки l_c короче пути l , пройденного инструментом (рис. 11).

Данное явление называется усадкой стружки и характеризуется коэффициентами K_b , K_a , K_l .

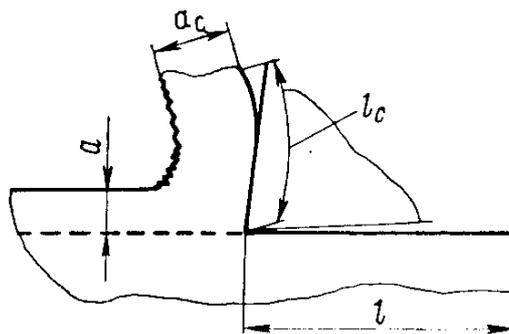


Рисунок 11 – Схема определения характеристик усадки стружки

$K_l = l/l_c$ – коэффициент укорочения;

$K_a = a_c/a$ – коэффициент утолщения;

$K_b = b_c/b$ – коэффициент уширения;

$V = V_c \rightarrow a \cdot b \cdot l = a_c \cdot b_c \cdot l_c \rightarrow K_l = K_a \cdot K_b$

Для большинства случаев $K_b \approx 1$. Следовательно: $K_l = K_a = a_c/a$

где a_c – толщина стружки, которая может быть измерена микрометром;

a – толщина срезаемого слоя $a = S_o \cdot \sin \varphi$.

Для суставчатой стружки

$K_l = K_a \cdot K_b \cdot \xi$,

где ξ – коэффициент сплошности $\xi = (a_{c1} + a_{c2})/2a_{c1}$

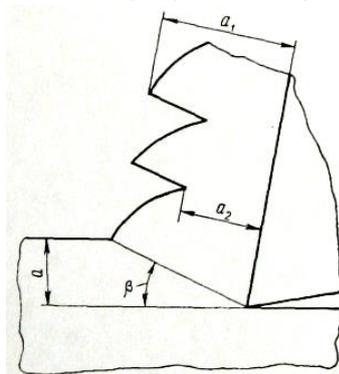


Рисунок 12 – Схема определения коэффициента сплошности суставчатой стружки

Эти коэффициенты, как правило, больше единицы и являются косвенными показателями интенсивности пластической деформации при резании металлов. Они

показывают, во сколько раз размеры стружки по длине, толщине и ширине меньше или больше соответствующих размеров срезаемого слоя.

Коэффициенты укорочения, утолщения, уширения стружки можно также определить экспериментальным путем (см. лабораторную работу №4).

10. Факторы, влияющие на коэффициент укорочения стружки (передний угол, СОЖ, скорость резания, толщина среза)

На величину K_1 оказывают влияние:

1) передний угол γ – при его увеличении коэффициент укорочения стружки уменьшается. Это подтверждается рядом исследований, которые показывают, что при увеличении переднего угла лезвия уменьшается трение стружки о переднюю поверхность инструмента, что в свою очередь приводит к увеличению угла сдвига β . Известно, что чем больше угол β , тем меньше коэффициент укорочения стружки;

2) применение смазочно-охлаждающей жидкости также приводит к уменьшению усадки стружки;

3) изменение толщины среза a : чем больше толщина a , тем меньше коэффициент укорочения стружки, что также связано с изменением угла β ;

4) изменение скорости резания: с ее увеличением происходит немонотонное изменение укорочения стружки, что объясняется изменением размеров нароста на передней поверхности инструмента.

11. Причины и методы дробления стружки

Форма стружки и размеры её элементов имеют важное значение, особенно в условиях автоматизированного производства. Иногда возможно наматывание стружки на вращающиеся части станка, деталь или инструмент, что может привести к их поломке. При обработке отверстий осевыми инструментами в вязких материалах, стружка пакетируется в канавках инструмента и контактирует со стенками обрабатываемого отверстия, что ухудшает их шероховатость и может вызвать заклинивание и поломку инструмента.

В связи с этим часто возникает необходимость принудительного дробления стружки, что достигается следующими способами:

1) применение накладных стружколомов, лунок или уступов на передней поверхности лезвия;

2) подбор геометрии инструмента и определённых режимов резания;

3) изменением кинематики резания;

4) применение устройств для термического дробления (нагрев стружки электрическим током до расплавления, пережиганием сходящей стружки импульсами электрического тока с помощью электродов, использование теплоты дуги сварочной горелки с неплавящимся электродом).

Уступы и лунки на передней поверхности инструментов и накладные стружколомы (рисунок 14) обеспечивают надёжное дробление стружки только в данных конкретных условиях обработки, и при незначительном изменении условий резания либо обрабатываемого материала вновь может образовываться недробленая сливная стружка.

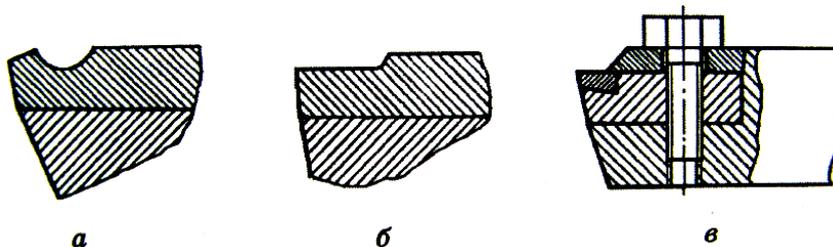


Рисунок 14 – Способы стружкодробления: а – с помощью лунки, б – уступа, в – накладного стружколома

Способы кинематического дробления стружки подразделяются на дискретный, вибрационный и релаксационный.

Дискретный способ дробления стружки заключается в периодическом выключении подачи на время, достаточное для прерывания процесса резания.

При вибрационном способе перемещение инструмента в направлении подачи является суммой равномерного поступательного и колебательного движений. При этом элемент стружки образуется за один период колебаний инструмента.

Для осуществления вибрационного и дискретного способов дробления стружки требуются устройства сложной конструкции. К тому же недостатком дискретного дробления стружки является необходимость приводить в колебательное движение узлы значительной массы, например суппорт. Поэтому указанный способ рекомендуется при обработке заготовок, диаметр которых не превышает 200 мм.

При релаксационном способе дробления стружки инструмент получает результирующее движение в направлении подачи, состоящее из равномерного прямолинейного движения и относительного движения, подчиняющегося закону релаксационных колебаний. Устройства, осуществляющие указанный способ, приводятся в действие силами резания.

К кинематическим способам дробления стружки можно отнести также нанесение канавок, рисок на обрабатываемую поверхность или поверхность резания до или во время обработки.

Перечисленные выше способы дробления стружки сопровождаются вибрациями инструмента и детали, снижающими качество обработанной поверхности, особенно при обработке нежёстких деталей.

Устройство для термического дробления обеспечивает пережигание сходящей стружки с использованием электрического разряда (рисунок 15). В процессе резания сходящая стружка постоянно контактирует с электродом. Периодическое включение электрической цепи вызывает электрические разряды в местах контакта, а, следовательно, и пережигание стружки.

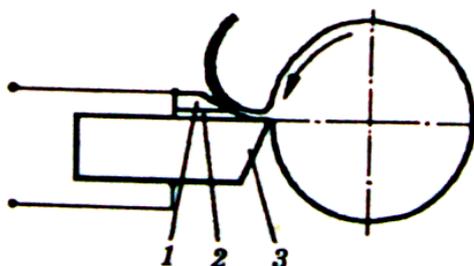


Рисунок 15 – Устройство для дробления стружки с использованием электрического разряда: 1 – электрод; 2 – диэлектрическая прослойка; 3 – резец.

Термические способы не оказывают отрицательного влияния на период стойкости инструмента и качество обработанной поверхности, обеспечивая плавный сход стружки, отсутствие вибраций, а также уменьшение составляющих сил резания.

На станках с ЧПУ дробление стружки осуществляется при помощи управляющей программы.

Тема 5: Трение и контактные явления в зоне резания

1. Физико-химические (контактные) явления на площадке контакта стружки с передней поверхностью инструмента

Процессу резания присущи высокие скорости деформации (соответствуют скоростям взрыва). В этих условиях резко меняются физико-механические свойства материала – возрастает число возможных плоскостей скольжения, изменяется соотношение между его пределом текучести и временным сопротивлением, возрастает химическая активность материала и т. д.

Экспериментальные данные показывают, что только за счет образования новой поверхности в пределах площадки контакта стружки с передней поверхностью лезвия в секунду возникает около 10^{15} свободных связей. И хотя продолжительность их существования в несвязанном состоянии 10^{-12} с, на передней поверхности лезвия успевает образоваться так называемый граничный слой.

Особенности процесса резания обуславливают образование так называемого граничного слоя и характеризуются следующими явлениями:

1) схватывание (приваривание) частиц поверхностных слоев инструмента и детали.

2) адгезия – сцепление поверхностных слоев разнородных тел.

3) диффузия – взаимное растворение компонентов инструментального и обрабатываемого материала.

4) адсорбция – поглощение вещества из газовой или жидкой среды поверхностным слоем твердого тела.

5) химические реакции вновь возникающих при резании поверхностей с внешней средой.

Граничный слой формируется в результате явления переноса перенесения одного материала на поверхность другого в результате твердофазных взаимодействий между

ними. Перенос проявляется на макро- (налипы, обволакивание, намазывание), микро- и субмикроскопическом уровнях. Для него характерны:

- неоднородность рельефа контактной поверхности вследствие различных скоростей схватывания и разрушения пары инструментальный – обрабатываемый материалы на различных участках контакта;
- фазовые превращения, обусловленные взаимодействием данной пары между собой и внешней средой;
- наличие текстуры;
- образование различных микро- и субмикроструктур и др.

2. Особенности трения передней поверхности инструмента и стружки

Площадка трения на передней поверхности инструмента шириной C (рисунок 1) состоит из участков пластического контакта шириной C_{Π} и упругого. На участке C_{Π} стружка движется по заторможенному слою, и сопротивление, оказываемое движению стружки, определяется сопротивлением сдвигу в контактном слое стружки.

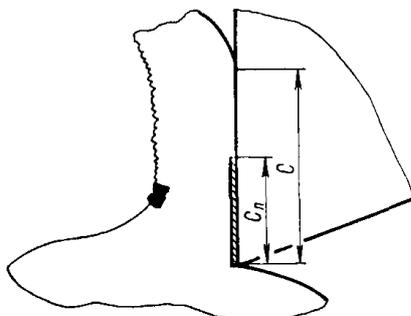


Рисунок 1 – Зоны трения на передней поверхности инструмента

Определим средний коэффициент трения μ , на передней поверхности как:

$$\mu = F_{\Pi} / N_{\Pi}$$

где F_{Π} и N_{Π} – сила трения и средняя нормальная сила соответственно.

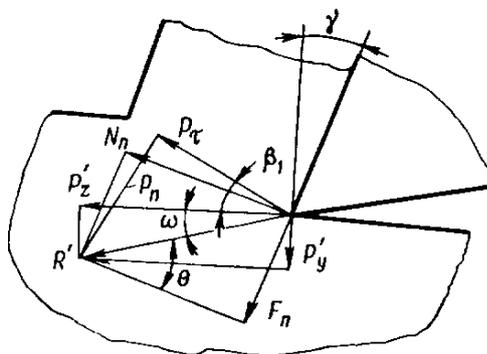


Рисунок 2 – Схема сил, действующих на передней поверхности инструмента

F_{Π} и N_{Π} определяются по измеренным силам P_z и P_y .

Равнодействующая R сил P_z и P_y наклонена к плоскости резания под углом действия $\omega = \arctg \frac{P_y}{P_z}$.

$$F_{\Pi} = R \cdot \sin(\omega + \gamma)$$

$$N_{\Pi} = R \cdot \cos(\omega + \gamma)$$

$$\mu = \frac{R \cdot \sin(\omega + \gamma)}{R \cdot \cos(\omega + \gamma)} = \operatorname{tg}(\omega + \gamma) \quad \Theta = (\omega + \gamma) - \text{угол трения}$$

$$\underline{\mu = \operatorname{tg}(\omega + \gamma)}$$

Средний коэффициент трения при резании ни по величине, ни по физическому смыслу, ни по закономерностям изменения не совпадает с коэффициентом внешнего трения, и не является константой трущихся пар.

Такое специфическое изменение коэффициента трения при резании связано с двойкой природой трения на передней поверхности, где существуют два участка трения (зона пластического и зона упругого контакта). Поэтому нельзя средний коэффициент трения отождествлять ни с коэффициентом трения при пластическом течении материала, ни с коэффициентом внешнего трения.

Средний коэффициент трения можно представить как:

$$\underline{\mu = \mu_a + f_{\text{тр}}}$$

где $f_{\text{тр}}$ – постоянный коэффициент трения скольжения;

μ_a – переменная адгезионная составляющая коэффициента.

Тогда трение при резании можно записать:

$$\underline{F = F_a + f_{\text{тр}} \cdot N_{\Pi}}$$

где F_a – составляющая силы трения, обусловленная действиями сил адгезии и зависящая от условий резания.

С увеличением среднего коэффициента трения при неизменном переднем угле угол действия растет, и увеличивается его влияние на деформационные процессы в срезанном слое.

Значение μ , при резании достигает 1,2...3.

Это позволяет дать физическое объяснение возникновению зоны вторичной деформации стружки. Сила схватывания между опорной поверхностью стружки и лезвием во многих случаях превышает силу сопротивления движению стружки в слое, лежащем в ее толще. Граничные слои затормаживаются, а основной объем перемещается в продольном направлении за счет внутренних сдвигов. Эти сдвиги являются вторичной пластической деформацией стружки и сопровождаются дальнейшим упрочнением деформируемых слоев, начиная со слоя, ближайшего к опорной поверхности стружки. При достижении в каждом слое стружки силы сопротивления сдвиговым деформациям, равной силе схватывания опорной поверхности стружки с инструментом, вся стружка в целом будет перемещаться относительно передней поверхности инструмента.

3. Влияние различных факторов на величину среднего коэффициента трения

На коэффициент трения μ (μ_a) оказывают влияние физико-механические и теплофизические свойства обрабатываемого материала, передний угол γ , толщина среза a , скорость резания и применяемая СОЖ:

– с повышением механических свойств обрабатываемого материала средний коэффициент трения уменьшается, однако при этом возрастают средние нормальные и касательные напряжения.

– при изменении скорости происходит немонотонное изменение коэффициента трения (объяснение смотри ниже в вопросе наростообразование).

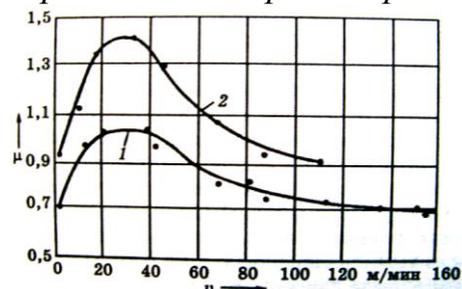


Рисунок 3 – Характер влияния скорости резания на коэффициент трения на передней поверхности

– в случае применения СОЖ значения γ и a практически не влияют на средний коэффициент трения. При использовании СОЖ адгезионное взаимодействие стружки и инструмента отсутствует, $\mu_a = 0$, средний коэффициент трения становится постоянным и не зависит от условий резания. Если резание ведётся без СОЖ, то при увеличении γ и a средний коэффициент трения уменьшается (так как увеличивается среднее нормальное контактное напряжение)

– склонность к адгезионному взаимодействию инструментального и обрабатываемого материалов. Чем сильнее связи, возникающие под действием сил адгезии, тем больше средний коэффициент трения. На контактных поверхностях инструмент – стружка образуются оксидные пленки, препятствующие схватыванию материалов и уменьшающие средний коэффициент трения. Самый большой средний коэффициент трения отмечается для быстрорежущих сталей, далее (в порядке его уменьшения) следуют однокарбидные и двухкарбидные твердые сплавы.

4. Механизм наростообразования при резании металлов. Факторы, влияющие на интенсивность наростообразования

Резанию многих материалов при определенных условиях сопутствует явление, называемое наростообразованием.

Под наростом понимают клиновидную, относительно неподвижную область материала, расположенную на передней поверхности лезвия у его режущей кромки (рисунок 4). По химическому составу представляет собой сложное агрегатное состояние металла из продуктов взаимодействия обрабатываемого и инструментального материалов и окружающей среды.

Основная часть нароста выполняет функции передней поверхности инструмента. При этом действительный передний угол лезвия увеличивается, что способствует облегчению процесса резания.

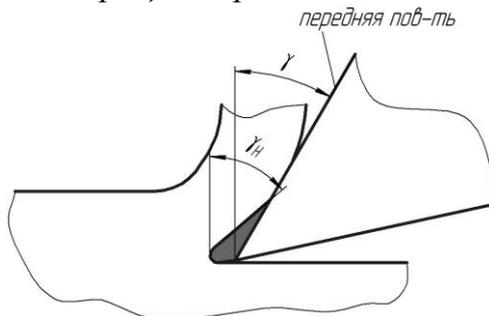


Рисунок 4 – Схема увеличения переднего угла при наростообразовании

Вследствие этого сокращается длина контакта стружки с передней поверхностью, т. е. происходит «укорочение» последней. При воздействии укороченной передней поверхностью инструмента на срезаемый слой в переходной пластически деформируемой зоне возникает объемная пластическая деформация. Металл деформируется не только в плоскости стружкообразования, но и вдоль режущих кромок инструмента.

Процесс образования нароста происходит следующим образом. При определенных температурах и высоких давлениях в зоне резания поверхности стружки и инструмента подвергаются адгезионному схватыванию. Происходит прочное присоединение контактного слоя стружки к передней поверхности инструмента и образование заторможенного слоя. Обтекание этого слоя стружкой способствует возникновению новых заторможенных слоев металла, которые нарастают друг на друга, пока нарост не достигнет максимально возможных размеров при данных условиях.

Шероховатая поверхность каждого вновь образующегося заторможенного слоя создает благоприятные условия для проникновения кислорода воздуха и его диффундирования в поверхностные слои металла. Оксидные пленки уменьшают трение между стружкой и поверхностью нароста, и каждый последующий заторможенный слой становится короче предыдущего, что приводит к образованию нароста клиновидной формы.

При достижении определенной высоты его прочность оказывается недостаточной и он разрушается.

Нарост, выполняя функции режущего лезвия, отчасти предохраняет переднюю и заднюю поверхности инструмента от истирания и уменьшает нагревание, что приводит к уменьшению изнашивания инструмента.

Но нарост увеличивает шероховатость обработанной поверхности, поскольку при разрушении нароста часть его уносится стружкой, а часть остается на обработанной поверхности детали.

На высоту нароста оказывают влияние:

– скорость резания. При низких скоростях, когда температура в зоне резания невелика, коэффициент трения относительно небольшой, поэтому нароста здесь еще нет или он очень мал (рисунок). При повышении скорости резания растет температура, а, следовательно, и коэффициент трения стружки о переднюю поверхность инструмента, который становится максимальным при достижении

какой-то определенной температуры. В этот момент нарост наибольший. При дальнейшем повышении скорости и температуры резания наступает размягчение пограничных слоев металла, уменьшаются коэффициент трения и размеры нароста.

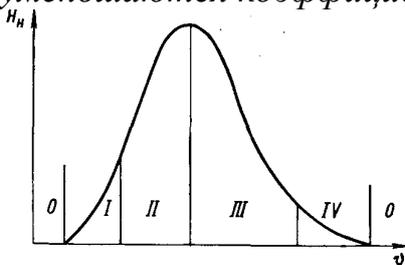


Рисунок 5 – Влияние скорости резания на высоту нароста

- пластичность и прочность обрабатываемого металла (рисунок б, а);
- толщина среза (рисунок б, б);
- передний угол инструмента (рисунок б, в);
- условия охлаждения и смазывания в зоне резания (рисунок б, г).

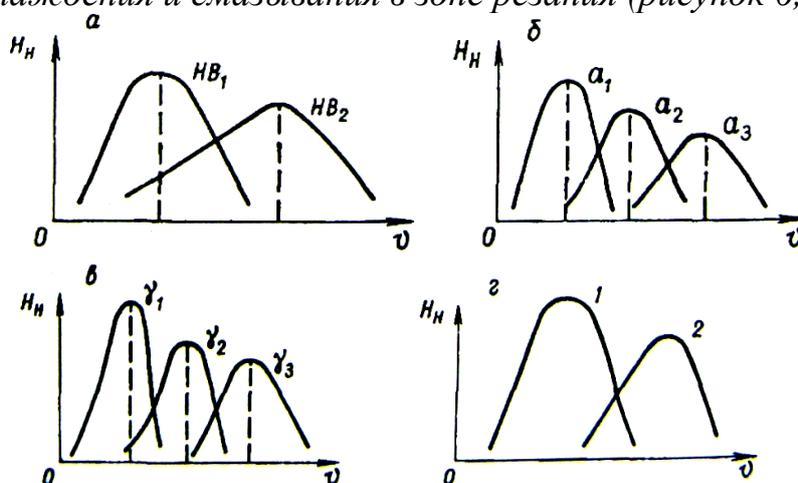


Рисунок 6 – Влияние условий резания на высоту нароста

Чем менее пластичен материал ($HB_1 < HB_2$), чем меньше толщина срезаемого слоя ($a_1 > a_2 > a_3$), чем больше передний угол ($\gamma_1 < \gamma_2 < \gamma_3$) и чем лучше условия охлаждения (кривая 2), тем меньше высота нароста.

При данном обрабатываемом металле и постоянных условиях смазывания размеры и форма нароста определяются только температурой на передней поверхности лезвия инструмента. Скорость резания, толщина среза, передний угол влияют постольку, поскольку они влияют на температуру резания.

Тема 6: Динамика процесса резания

1. Силы, возникающие при свободном резании

В процессе резания на лезвие инструмента действуют силы сопротивления его перемещению по траектории относительного рабочего движения. Результирующая этих сил называется силой резания. Силы сопротивления рабочему движению лезвия не стабильны: их значения могут колебаться на $\pm(5...10)\%$ от средней величины. По тем же причинам нестабильно и направление действия силы резания, которое

изменяется одновременно с текущим значением силы резания. Периодические изменения (колебания) силы резания могут привести к нежелательным вибрациям.

Причины возникновения сил резания:

1) сопротивление обрабатываемых материалов пластической деформации стружкообразования;

2) сопротивление пластически деформированных металлов разрушению в местах возникновения новых поверхностей;

3) сопротивление срезаемой стружки дополнительной деформации изгиба и ломанию;

4) силы трения на лезвии и других трущихся поверхностях рабочей части инструмента.

Взаимодействие режущего инструмента с обрабатываемым материалом осуществляется через контактные площадки, расположенные на передней и задней поверхностях лезвия. Обрабатываемый материал, оказывая сопротивление рабочему движению инструмента, воздействует на контактные площадки неравномерно распределенной нагрузкой p . Закон распределения давления p по передней поверхности показан на рисунке 1. Наибольшее давление p_{max} действует вблизи главной режущей кромки (точка 1). По мере удаления от нее давление p убывает, и в точке 2, в которой прекращается контакт сбегающей стружки с лезвием, давление $p = 0$. Ширина 1-2 контактной площадки при обработке хрупких металлов, например чугуна, равна или не намного больше толщины срезаемого слоя. При обработке пластичных металлов ширина контактной площадки в 1,5...3 раза больше толщины срезаемого слоя.

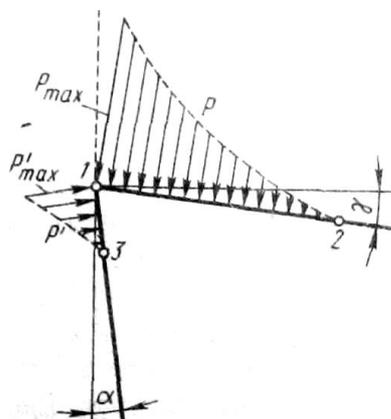


Рисунок 1 – Распределение давления на передней и задней поверхностях лезвия резца

На заднюю поверхность лезвия также действует неравномерно распределенная нагрузка p' , максимальное значение которой наблюдается у главной задней кромки и уменьшается до нуля в точке 3 прекращения контакта задней поверхности лезвия с поверхностью резания и обработанной поверхностью на заготовке (рисунок 1). Такие закономерности распределения давления поперек передней и задней контактных поверхностей лезвия сохраняются вдоль всей ширины срезаемого слоя b .

Заменяв распределённую нагрузку сосредоточенными силами, получим систему сил, возникающих при свободном резании (рисунок 2, а). На переднюю поверхность резца давит стружка с силой R_{Π} , которая является равнодействующей нормальной силы N_{Π} и силы трения стружки о переднюю поверхность F_{Π} , т.е. $\vec{R}_{\Pi} = \vec{N}_{\Pi} + \vec{F}_{\Pi}$. В то же время на заднюю поверхность резца вблизи режущей кромки действует

нормальная сила упругого противодействия обрабатываемого материала N_3 и сила трения о заднюю поверхность инструмента F_3 . Они дают результирующую силу R_3 . Так как задний угол α мал, а при наличии площадки износа на некотором участке задней поверхности он равен нулю, в расчетной схеме принимаем направление сил F_3 и N_3 , как показано на рисунке 2, б, т.е. направление F_3 противоположно вектору скорости резания v . Для осуществления процесса резания или сохранения равновесия резца к нему извне должна быть приложена сила, равная по величине и противоположная по направлению силе $\vec{R} = \vec{R}_\Pi + \vec{R}_3$ (рисунок 2, в).

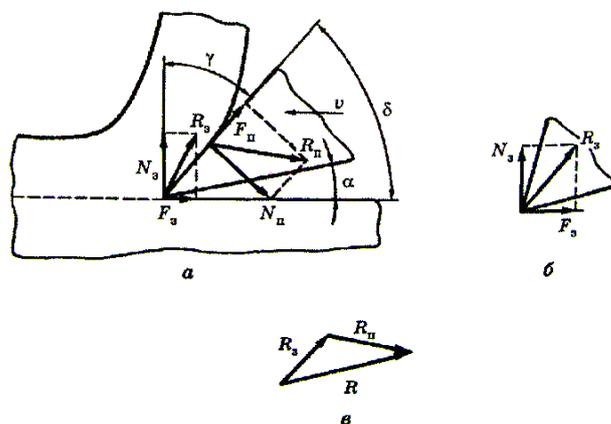


Рисунок 2 – Система сил, действующих при свободном резании

В общем случае вектор результирующей силы R в зависимости от комплекса условий резания имеет различные значения и направления действия. Для решения ряда теоретических и практических задач, например для определения мощности, затрачиваемой на резание, крутящего момента, прогиба и точности диаметра при обработке нежестких валов требуется знание, как значения, так и направления её действия.

Рассмотренные силы можно рассчитать теоретически, на основе теории пластичности и теории упругости. Теоретические уравнения сложны и предполагают ряд допущений, что снижает точность расчётов. Поэтому на практике чаще всего силы определяют экспериментальным путём, производя измерение сил в определённых направлениях.

2. Составляющие силы резания при точении

Вектор равнодействующей силы R может быть спроецирован на оси x , y и z в пространственной декартовой координатной системе xuz . В резании металлов приняты следующие принципы ориентации системы координат. Начало системы координат принято совмещать с вершиной резца, установленной на высоте оси вращения заготовки. Ось x располагается горизонтально, параллельно оси вращения обрабатываемой заготовки. Ось y горизонтальна и перпендикулярна оси вращения заготовки (параллельно оси y обычно располагают геометрическую ось державки резца). Ось z вертикальна и направлена вниз.

В условиях несвободного резания при точении равнодействующую силу R раскладывают на 3 составляющих:

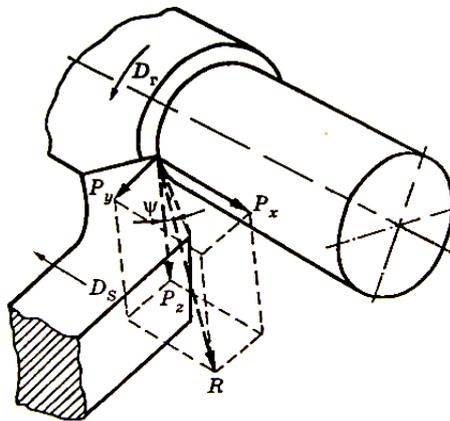


Рисунок 3 – Разложение силы резания при точении

P_x – осевая составляющая – равна сопротивлению обрабатываемого металла врезанию реза в направлении подачи S и действующих в этом направлении сил трения. Значение осевой составляющей P_x необходимо знать при расчетах на прочность опор шпинделя и механизма подачи станка.

P_y – радиальная составляющая силы резания – направлена по радиусу к траектории главного движения резания, изгибает обрабатываемую заготовку в горизонтальной плоскости, что может служить причиной снижения точности обработки длинных заготовок, а также вызывает нежелательные вибрации. Силу P_y принимают за основу при определении прогиба детали, прочности и жёсткости элементов станка.

P_z – вертикальная (главная) составляющая силы резания – действует в направлении скорости главного движения. Равна суммарному действию сил сопротивления металла срезаемого слоя пластической деформации стружкообразования, изгиба стружки и сил трения, действующих в данном направлении. По P_z производят расчёты прочности и жёсткости реза, а также мощности, необходимой на осуществление резания.

3. Методы измерения сил резания и математической обработки экспериментальных данных. Эмпирические зависимости для определения сил резания

Самыми распространёнными устройствами для измерения сил резания являются динамометры различных типов. Принцип действия всех динамометров основан на измерении упругой деформации измерительных элементов динамометров, пропорциональной значению измеряемой составляющей силы резания. Динамометры, имеющие лишь один измерительный элемент, используемый обычно для измерения вертикальной (главной) составляющей P_z силы резания, называются однокомпонентными. Динамометры, имеющие два взаимно перпендикулярно расположенных измерительных элемента, например, для одновременного измерения вертикальной P_z и горизонтальной P_x составляющих, называются двухкомпонентными. Динамометры, имеющие три взаимно перпендикулярно расположенных измерительных элемента для одновременного измерения всех трех составляющих P_x , P_y и P_z , называются трёхкомпонентными. Измерение упругих деформаций измерительных элементов токарных динамометров может

осуществляться принципиально различными способами. Рассмотрим некоторые из них.

Принципиальная схема гидравлического измерительного устройства приведена на рисунке 4. На лезвие резца действует вертикальная составляющая P_Z силы резания. Нижней опорной плоскостью резец через шарик 2 опирается на поршень 3. Задним концом державка резца через шарик 1 опирается на неподвижную опору корпуса динамометра. Сила P_2 , действующая на поршень, больше измеряемой составляющей P_Z в l_1/l_2 раз, т. е. $P_2 = P_Z \cdot l_1/l_2$. Поршень 3 с силой P_2 давит через гибкую прокладку 4 на жидкость, заполняющую емкость 5. Давление в жидкости $p = P_2/A$, где A – площадь поршня 3, и передается через отводную трубку 6 на изогнутую трубчатую пружину 7. Под действием давления упруго деформируемая пружина разгибается и через рычаг 9, соединенный с ней шарниром 8, перемещает вверх стрелку 10 с пером 11. Перо, отклоняясь, оставляет на движущейся слева направо бумажной ленте 12 запись. Отклонение H пера в любой точке записи пропорционально силе P_2 . На ленте регистрирующего устройства трехкомпонентного гидравлического динамометра стрелки трех автономно действующих измерительных устройств производят записи для составляющих P_x , P_y и P_z измеряемой силы резания.

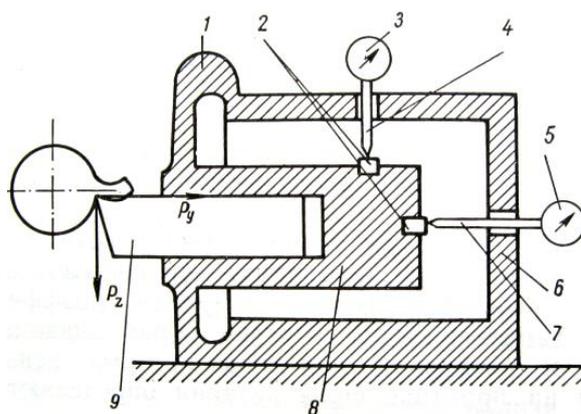
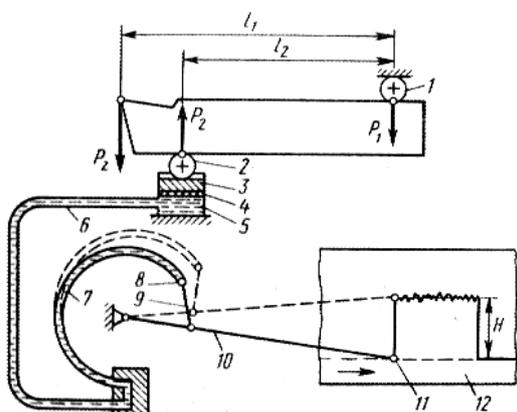


Рисунок 4 – Схема измерения силы резания гидравлическим динамометром Рисунок 5 – Схема механического динамометра

Принцип работы механического динамометра (рисунок 5) основан на том, что под действием сил резания на резец 9 резцедержатель 8 вследствие деформации упругих стенок 1 корпуса 6 перемещается. Эти перемещения через сухари 2 и ножки 4,7 фиксируются индикаторами 3 и 5.

Механические и гидравлические динамометры в настоящее время не находят применения по причине большой инерционности, из-за чего показания отстают от быстропротекающих процессов и искажают картину изменения сил резания во времени и по величине, а также из-за малой чувствительности.

Электрические динамометры являются наиболее чувствительными приборами, так как они мало инерционны и позволяют с помощью осциллографа производить запись быстропротекающих процессов. Такие динамометры преобразуют механическое воздействие сил резания в легко измеряемые электрические величины. Электрические датчики, используемые в динамометрах, подразделяются на ёмкостные, или конденсаторные, индуктивные, тензометрические, пьезоэлектрические и др.

В емкостных датчиках упругая пластина конденсатора перемещается под действием силы резания, изменяя воздушный зазор, а, следовательно, и емкость конденсатора. Изменение емкости с помощью высокочастотного устройства приводит к колебанию силы тока, регистрируемой с помощью гальванометра или осциллографа (рисунок б).

Действие индуктивных датчиков основано на изменении индуктивности токонесущего контура, а, следовательно, и силы тока в обмотке в зависимости от воздушного зазора между ферромагнитными телами (рисунок б). Изменение силы резания влияет на регистрируемый ток.

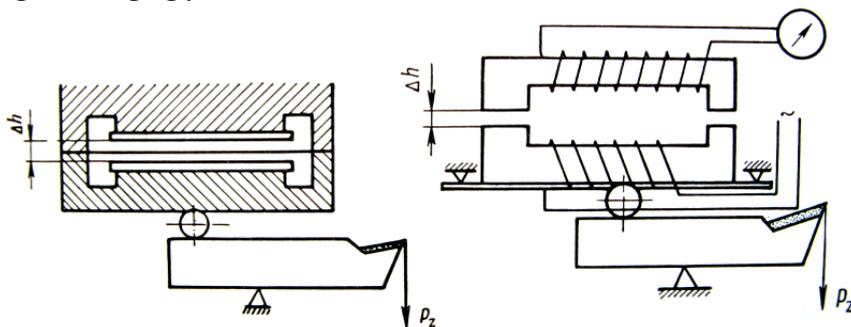


Рисунок б – Схема ёмкостного (слева) и индуктивного (справа) динамометров

Тензометрические датчики представляют собой несколько витков очень тонкой проволоки, изготавливаемой из специального сплава, которая изменяет электрическое сопротивление при деформации датчика. Витки или решетку из такой проволоки помещают между двумя полосками, склеенными из бумаги или диэлектрической фольги, и наклеивают на исследуемый объект, например державку резца. Под влиянием сил резания державка и приклеенная к ней проволока упруго деформируются. Это вызывает в электрической цепи изменение силы тока, которая увеличивается усилителем и измеряется регистрирующим прибором. Чтобы в показаниях приборов не было искажений при измерении сил резания из-за непостоянства напряжения в сети, в электрическую цепь между регистрирующим прибором и источником питания необходимо включать стабилизатор напряжения.

Динамометры укомплектованы усилителями и регистрирующими устройствами. В настоящее время для регистрации сигнала широко используются компьютеры.

Динамометры не позволяют определять непосредственно силы резания; их показания соответствуют деформациям, пропорциональным действующей силе. Поэтому перед работой динамометр необходимо протарировать. Тарирование заключается в том, что динамометр нагружают в направлении действия сил резания сначала возрастающими, а затем убывающими силами, которые известны. Показания динамометра, соответствующие определенным силам, регистрируются. На основании этих данных по средней линии нагрузки и разгрузки строят тарировочный график, которым в дальнейшем пользуются при расшифровке показаний динамометра. Данные тарировки могут быть занесены в память компьютера и использоваться для расшифровки показаний динамометра.

Принцип действия пьезоэлектрических датчиков основан на способности некоторых кристаллов, например, кварца, генерировать электрический ток. На рисунке 7 показана принципиальная схема пьезоэлектрического датчика для измерения сил резания. Датчик крепится к корпусной детали, резцедержателю или другому элементу станка, в которых под действием сил резания возникают

механические деформации. Датчик крепится к деформируемой поверхности винтом с силой F_0 и измеряет силу F_{02} в месте контакта поверхности с пьезоэлектрическим элементом. Сила F_{01} приложена в базовой точке датчика. Расстояние между точками равно L .

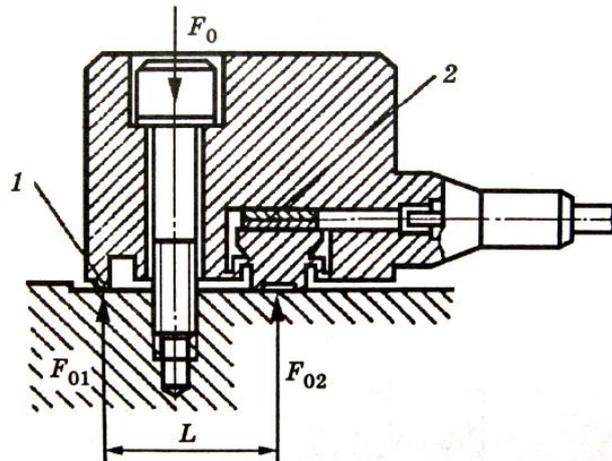


Рисунок 7 – Схема наружного закрепления пьезоэлектрического датчика:
1 – базовая точка; 2 – пьезоэлектрический элемент

При применении пьезоэлектрических акселерометров уже более 30 лет, наряду с вышеописанной, успешно применяется технология интегрированных в датчик преобразователей заряда. В этом случае отпадает необходимость использования кабеля с высоким сопротивлением изоляции и внешнего усилителя заряда. Место последнего занимает значительно более дешёвый согласователь, несущий функции питания встроенного в датчик усилителя заряда с одной стороны и отделения полезного сигнала измерения от напряжения смещения с другой. Эти акселерометры обладают всеми преимуществами классических пьезоэлектрических датчиков при некоторых ограничениях: снижение верхней границы области рабочих температур до $165\text{ }^{\circ}\text{C}$ из-за встроенной микроэлектроники и меньшее значение отношения измерительного диапазона к порогу чувствительности.

Акселерометры новейшего поколения, известные также как «смарт-датчики» (Smart Sensors), имеют специальную микросхему, содержащую дополнительную информацию о датчике (TEDS, Transducer Electronic Data Sheet) – его технические данные в электронном виде. Такие данные как, например, изготовитель, тип датчика, его серийный номер, данные калибровки, координаты установки и т. п., могут в любой момент быть считаны из датчика.

Также для надёжного мониторинга производства необходимо с высокой точностью определять компоненты сил резания. При наблюдении за режущим инструментом в механообработке измерение сил резания даёт возможность судить о состоянии инструмента и о самом процессе резания. Для этого в настоящее время применяют новые датчики силы со встроенной микроэлектроникой (так называемые преобразователи силы) для измерения до 3 компонент силы обеспечивая надёжный мониторинг производственного процесса.

В качестве примера можно привести одно- и многокомпонентные пьезоэлектрические датчики силы швейцарской фирмы Kistler, которые успешно применяются в силу их высокой жёсткости и малогабаритности для отслеживания биения, поломок и износа режущего инструмента на токарных станках. В эти датчики встраивается микроэлектроника в стальном корпусе для полной предварительной

обработки измерительного сигнала. Преобразователи герметично заварены и имеют либо жёстко закреплённый кабель, либо разъём. На рисунке 8 изображены различные модификации этого преобразователя силы.



Рисунок 8 – Многокомпонентный датчик силы с встроенной микроэлектроникой

Многокомпонентные датчики силы Kistler состоят из пакета кварцевых колец, с высокой точностью помещённых в стальной корпус. За счёт применения в этих датчиках двух чувствительных к сдвигу пластин кварца (F_x и F_y) и одной чувствительной к сжатию пластины кварца (F_z) можно одновременно измерять до трёх компонент силы. Вследствие этого датчик имеет особенно компактную конструкцию.

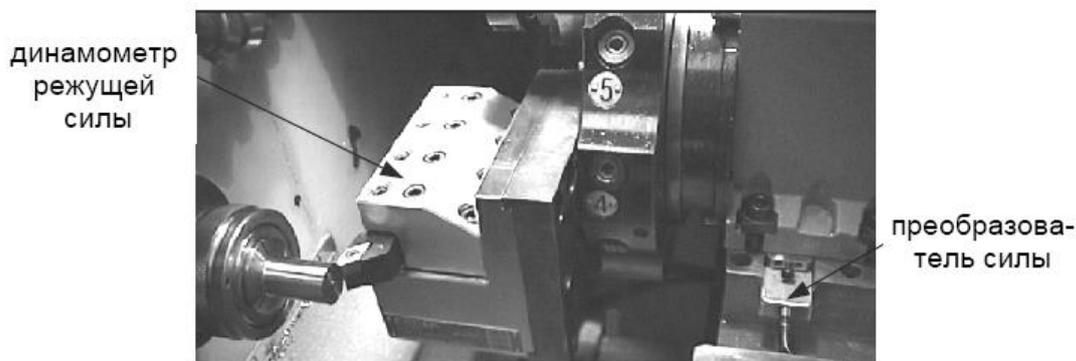
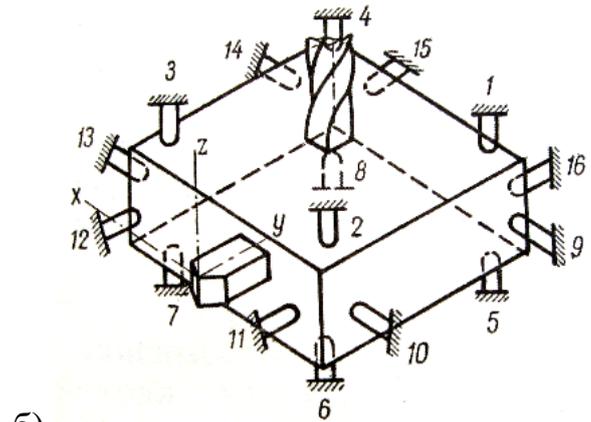
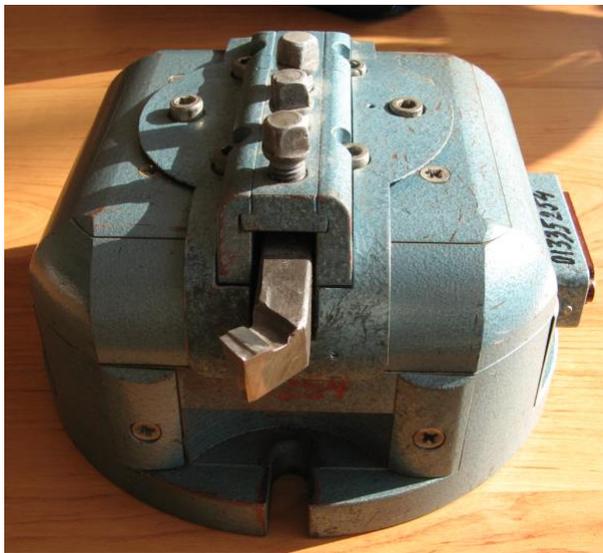


Рисунок 9 – Схема установки трёхкомпонентного преобразователя силы под корпусом револьверной головки

!!! Для лабораторной работы №5

В качестве первичных измерительных преобразователей для измерения сил резания используются тензометрические резисторы с номинальным сопротивлением 100 Ом. Данные измерительные преобразователи установлены в универсальном динамометре СУРП-600 (старое название УДМ-600) (рисунок 10, а).



а) б)
Рисунок 10 – Общий вид и принципиальная схема универсального динамометра СУПР-600.

Он позволяет измерять составляющие силы резания при точении, фрезеровании, шлифовании, осевую силу и крутящий момент при сверлении, зенкерование, развертывании, нарезании резьбы метчиком, и рассчитан на максимальное значение P_z , равное 6 кН.

Принципиальная схема динамометра изображена на рисунке 10, б. Основой его является квадратная пластина, установленная в корпусе динамометра на упругих опорах 1...16, на которых наклеены тензометрические преобразователи. Опоры имеют трубчатую форму и обладают высокой жесткостью вдоль оси и малой жесткостью в направлении, перпендикулярном к оси (рисунок 11). На вертикальные опоры, воспринимающие силы, направленные по оси z, наклеено по одному преобразователю; на горизонтальные опоры, воспринимающие силы, действующие вдоль осей x и y, и крутящий момент, – по два. Первые преобразователи служат для измерения горизонтальных сил, а вторые – крутящего момента. Преобразователи соединены между собой таким образом, что сигнал на выходе измерительной схемы является алгебраической суммой реакции опор. Это обеспечивает независимость показаний динамометра от вылета резца.

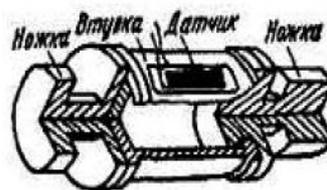


Рисунок 11 – Схема конструкции опор

Эмпирические зависимости для определения сил при резании. Методика математической обработки экспериментальных данных.

Для получения численных эмпирических зависимостей на практике широко применяется графоаналитический метод обработки результатов экспериментов. В настоящее время целесообразно использовать метод наименьших квадратов, позволяющих использовать ПЭВМ.

Взаимосвязь различных величин, характеризующих процесс резания, достаточно точно выражается эмпирической зависимостью в виде степенной функции $y = Ax^m$ (рисунок 12, а).

Нахождение таких функций возможно в случае использования двойной логарифмической системы координат, когда в декартовых координатах по осям откладываются не сами величины, а их логарифмы.

Прологарифмируем выражение $y = Ax^m$. Получим $\lg y = \lg A + m \lg x$, что аналогично уравнению прямой линии $y = a + bx$.

Это означает, что в двойной логарифмической системе координат степенная функция представляется прямой линией.

Значение m соответствует тангенсу угла α наклона прямой к положительному направлению оси абсцисс, а $\lg A$ – отрезку, отсекаемому прямой на оси ординат при $x = 1$ (рисунок 12, б)

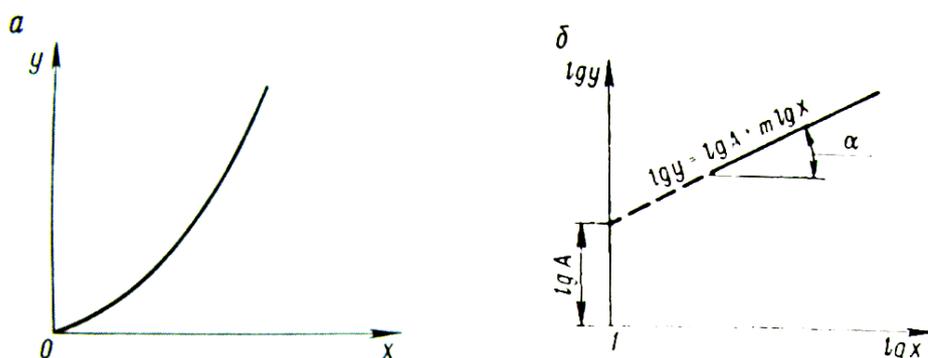


Рисунок 12 – Графики степенной функции

Установим функциональную зависимость $Pz = f(a) = C_{Pz} a^{Y_{Pz}}$. Для этого проводим измерение значения сил резания при различной толщине среза a , сохраняя одинаковыми все другие условия. Результаты опытов наносим на двойную логарифмическую сетку (рисунок 13). Затем через полученные точки проводим прямую, чтобы прямая находилась наиболее близко ко всем точкам. Это и есть графическое изображение искомой зависимости.

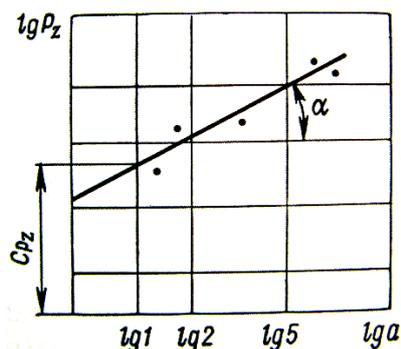


Рисунок 13 – Графическое определение постоянного коэффициента и показателя степени в формуле $Pz = C_{Pz} a^{Y_{Pz}}$

Тангенс угла наклона прямой определит Y_{Pz} , а отрезок, который прямая отсечет на оси ординат, при $a = 1 - C_{Pz}$.

Аналогично находим $Pz = f(t)$, $Pz = f(v)$, $Pz = f(S)$, позволяющие получить частные зависимости: $Pz = C_{1Pz} t^{X_{Pz}}$, $Pz = C_{2Pz} S^{Y_{Pz}}$, $Pz = C_{3Pz} v^{Z_{Pz}}$. Определим постоянный коэффициент в обобщённой зависимости:

$$Pz = C_{Pz} t^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}} \cdot v^{Z_{Pz}}, \quad (1)$$

Если установлены частные зависимости:

$$P_z = C_{1P_z} t^{XP_z}, \text{ при } v \text{ и } S = \text{const}; \quad (2)$$

$$P_z = C_{2P_z} S^{YP_z}, \text{ при } t \text{ и } v = \text{const}; \quad (3)$$

$$P_z = C_{3P_z} v^{ZP_z}, \text{ при } S \text{ и } t = \text{const}; \quad (4)$$

Приравняем правые части уравнений (1), (2), (3), (4) с учётом того, что C_{P_z} в каждом отдельном случае равен C'_{P_z} , C''_{P_z} , C'''_{P_z} , т. е.

$$P_z = C'_{P_z} \cdot t^{XP_z} \cdot S^{YP_z} \cdot v^{ZP_z} = C_{1P_z} t^{XP_z}$$

После простых преобразований получим:

$$C'_{P_z} = C_{1P_z} / (S^{YP_z} \cdot v^{ZP_z})$$

Аналогичным образом определим:

$$C''_{P_z} = C_{2P_z} / (t^{XP_z} \cdot v^{ZP_z})$$

$$C'''_{P_z} = C_{3P_z} / (S^{YP_z} \cdot t^{XP_z})$$

Среднеарифметическое значение C'_{P_z} , C''_{P_z} , C'''_{P_z} и даст искомое значение C_{P_z}

4. Влияние различных факторов на силу резания в условиях свободного резания (ширина и толщина среза, свойства обрабатываемого металла, свойств инструментального материала, переднего и заднего углов инструмента, скорости резания)

1) Свойства обрабатываемого материала. При снятии стружки металл не только срезается, но и претерпевает сильную пластическую деформацию. Большое влияние на силы резания оказывают силы трения стружки и обрабатываемого материала соответственно о переднюю и заднюю поверхности лезвия инструмента. Однако необходимо учитывать, что в процессе обработки металл в зоне резания сильно разогревается. Следовательно, его свойства могут отличаться от свойств, которые характерны для него при статических испытаниях. Поэтому нет точной и однозначной зависимости между силой P_z и временным сопротивлением обрабатываемого материала, а также его твердостью и другими механическими характеристиками. Установлено, что *силы резания растут при увеличении σ_B , твёрдости, пластичности и вязкости обрабатываемого материала.*

Для сталей и чугунов характерны следующие зависимости:

$$P_z = C_M \cdot \sigma_B^q - \text{для сталей}$$

$$P_z = C_M \cdot HB^q - \text{для чугунов}$$

где $q \approx 0,5$

2) Свойства инструментального материала. Вызвано различием в силах трения между обрабатываемым и инструментальными материалами. Внутри групп быстрорежущих сталей и вольфрамокобальтовых твердых сплавов коэффициенты трения и укорочения стружки не различаются, а, следовательно, сила P_z не изменяется. При обработке инструментами, оснащенными вольфрамотитановыми

твердыми сплавами, P_Z уменьшается с увеличением содержания карбидов титана TiC. Если при обработке инструментом из быстрорежущей стали принять $P_Z = 1$, для тех же условий работы инструмента, оснащенного твердыми сплавами группы ВК, $P_Z = 1$, а группы ТК – $P_Z = 0,90...0,95$.

3) Передний и задний угол. При увеличении переднего угла γ облегчается врезание зубьев инструмента в деталь, улучшается сход стружки, уменьшается деформация обрабатываемого металла и снижается коэффициент укорочения стружки, а, следовательно, уменьшается P_Z .

С уменьшением угла α увеличивается контакт задней поверхности инструмента с обрабатываемой деталью, что приводит к росту сил трения и резания. Интенсивность влияния α на силы резания значительно меньше, чем γ .

4) Ширина и толщина среза.

Толщина среза a и ширина b не в одинаковой степени влияют на силу резания. Сила резания возрастает пропорционально b , но отстает от увеличения a .

На рисунке 14 показаны различные условия резания при одинаковой площади среза. Найденная закономерность $P_Z = f(a,b)$ имеет вид:

$$P_Z = C_{Pz} \cdot b^{X_{Pz}} \cdot a^{Y_{Pz}}$$

где $C_{Pz} = 1500...2000$, $X_{Pz} = 1$, $Y_{Pz} = 0,75$

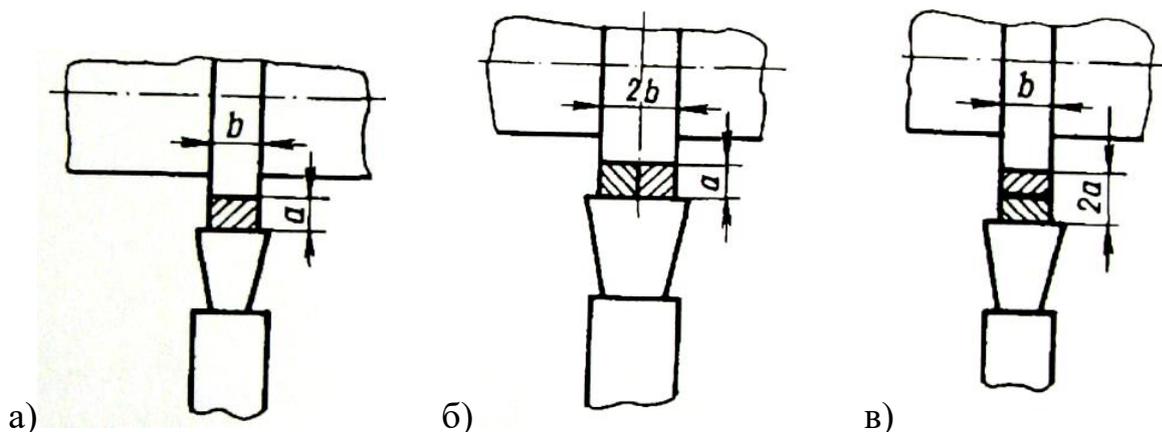


Рисунок 14 – Схема для определения влияния параметров сечения среза на силу резания

Отставание роста силы резания от увеличения толщины среза объясняется следующим:

- с увеличением толщины среза возрастает нагрузка на единицу длины режущего лезвия. Это увеличивает температуру резания, что приводит к уменьшению сил трения, усадки стружки и снижению сопротивления обрабатываемого материала пластическому деформированию;

- пластические деформации и напряжения значительно больше в слоях, прилегающих к передней поверхности лезвия инструмента;

- увеличение толщины среза приводит к относительному уменьшению слоя с максимальными деформациями;

– сила трения по задней поверхности лезвия с изменением толщины среза остается неизменной или изменяется очень мало.

5) Влияние скорости резания на силу резания. Ранее считалось, что скорость резания практически не влияет на его силу. Объясняется это проведением работ в сравнительно узком диапазоне скоростей, а также недостаточной чувствительностью используемых при этом динамометров. В настоящее время известно, как изменяется сила резания в широком диапазоне скоростей. Приведём на рисунке 15 зависимость на примере опытов свободного резания стали 40Х, которые проводились при изучении деформации стружки.

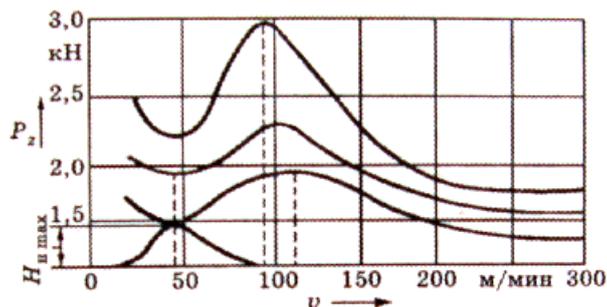


Рисунок 15 – Зависимость сил резания от скорости резания и переднего угла.

Сложный характер кривых $P_z = f(v)$ объясняется появлением нароста на передней поверхности инструмента.

При малой скорости резания, когда нарост не образуется, сила резания велика. В диапазоне скоростей, при которых наблюдается максимальное наростообразование, сила резания уменьшаются, так как с увеличением размеров нароста возрастает действительный передний угол инструмента. По мере дальнейшего повышения скорости резания высота нароста, а, следовательно, и действительный передний угол уменьшаются, соответственно сила резания увеличивается.

Работа на очень высоких скоростях резания приводит к значительному повышению температуры резания, в результате чего уменьшается коэффициент трения, а, следовательно, и P_z .

Минимумы и максимумы кривых $P_z = f(v)$ тем рельефнее, чем меньше передний угол, так как больший нарост может образоваться при меньших значениях γ .

При обработке чугуна образуется меньший нарост, поэтому зависимость $P_z = f(v)$ имеет вид плавной кривой (рисунок 16). Это характерно также для материалов, не склонных к наростообразованию, – меди, жаропрочных и нержавеющей сталей и сплавов, титановых сплавов.

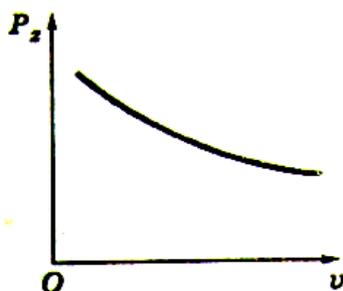


Рисунок 16 – Характер зависимости $P_z = f(v)$ при обработке чугуна

Обобщённые формулы для расчёта сил резания при точении имеют вид:

$$P_Z = C_{Pz} \cdot t^{X_{pz}} \cdot S^{Y_{pz}} \cdot v^{Z_{pz}} \cdot K_{Pz}$$

$$P_Y = C_{Py} \cdot t^{X_{py}} \cdot S^{Y_{py}} \cdot v^{Z_{py}} \cdot K_{Py}$$

$$P_X = C_{Px} \cdot t^{X_{px}} \cdot S^{Y_{px}} \cdot v^{Z_{px}} \cdot K_{Px}$$

где C_p – постоянная, характеризующая условия резания для определённого обрабатываемого материала;

K_p – поправочный коэффициент, характеризующий влияние на силу резания свойств обрабатываемого материала, углов инструмента, СОЖ, износа реза.

Выбор C_p , K_p , x , y , z производится по справочникам.

5. Работа и мощность резания

В общем случае работа резания (в джоулях):

$$W = P_Z \cdot L,$$

где P_Z – сила резания, действующая в направлении скорости резания, Н;

L – путь, проходимый режущим инструментом, м.

В общей работе резания на долю деформации, трения по передней и задней поверхностям приходится соответственно 55, 35 и 10 %.

Зная путь, пройденный инструментом в одну минуту, получим работу, выполненную за это время:

$$W = P_Z \cdot v = P_C \cdot v_C + F_{II} \cdot v_{II} + F_3 \cdot v_3,$$

где v – скорость резания, м/мин;

P_C – сила сдвига, или сила в плоскости сдвига, Н;

v_C – скорость сдвига, м/мин;

F_{II} – сила трения по передней поверхности лезвия инструмента, Н;

v_{II} – скорость движения стружки по передней поверхности лезвия, м/мин: $v_{II} = v/K_1$,

F_3 – сила трения по задней поверхности лезвия инструмента, Н;

v_3 – скорость движения обработанной поверхности относительно задней поверхности лезвия инструмента, $v_3 = v$.

Эффективную мощность при точении (в киловаттах), не включающую затраты на преодоление сил трения в механизмах станка, необходимую для процесса резания определяется по формуле:

$$N = P \cdot v = P_Z \cdot v_Z + P_Y \cdot v_Y + P_X \cdot v_X$$

$$N_{\text{Э(Р)}} = \frac{P_Z \cdot v_Z}{60 \cdot 10^3} + \frac{P_Y \cdot v_Y}{60 \cdot 10^3} + \frac{P_X \cdot v_X}{60 \cdot 10^3}$$

где P_z , P_y , P_x – силы резания, Н;

v_z – скорость резания, м/мин, $v_z = v$;

$v_y = 0$ – скорость перемещения реза в радиальном направлении, м/мин;

v_x – скорость подачи, м/мин.

Так как величина v_x намного меньше скорости резания v , то третьим слагаемым при расчёте N_{Σ} можно пренебречь. Тогда:

$$N_{\Sigma(P)} = \frac{P_z \cdot v_z}{60 \cdot 10^3}, \text{ кВт}$$

Потребная мощность электродвигателя станка:

$$N_{\text{ДВ}} = N_{\Sigma} \cdot K_{\text{П}} / \eta, \text{ кВт}$$

где η – КПД станка;

$K_{\text{П}}$ – коэффициент допускаемой кратковременной перегрузки. В большинстве случаев $K_{\text{П}} = 1,3 \dots 1,5$.

6. Вибрации в процессе резания и методы их устранения

В процессе резания в элементах технологической системы могут возникать колебания, называемые вибрациями. Вибрация – это механические колебания тела. Самый простой вид вибрации – это колебание или повторяющееся движение объекта около положения равновесия.

Раскрытие физических причин возмущения колебаний при резании металлов является важной задачей. При различных условиях обработки могут появляться колебания детали, оборудования и инструмента разной частоты. Чаще всего деталь имеет низкочастотные колебания, а инструмент – высокочастотные. При возникновении вибраций снижаются качество обработанной поверхности и период стойкости инструмента.

Виды колебаний – вынужденные, параметрические, релаксационные и автоколебания.

Вынужденные колебания – возникают вследствие наличия в системе внешней периодической силы, вызывающей колебательный процесс с частотой, равной частоте возмущающей силы. Причины:

– силы, обусловленные процессом резания (прерывистость процесса резания, неравномерность припуска);

– силы, возникающие вне зоны резания (дисбаланс вращающихся частей станка, детали и инструмента, дефекты зубчатых и ременных передач станка, передача колебаний станку от других работающих поблизости станков).

Параметрические колебания – возникают при наличии какого-либо переменного параметра, создающего эффект, аналогичный действию переменной силы. Причина – переменная жесткость узла или детали. Например, наличие шпоночной канавки

на валу или переменная жёсткость подшипников качения (рисунок 17) приводит к тому, что при вращении прогибы вала периодически изменяются, хотя внешняя сила постоянна. Параметрические колебания вследствие переменной жесткости по характеру близки к вынужденным.

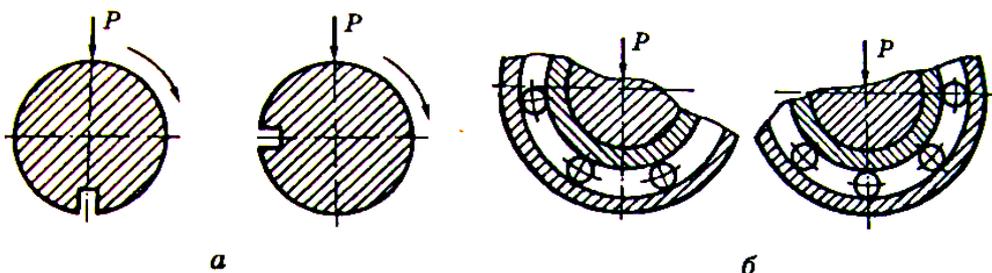


Рисунок 17 – Изменение жесткости вала со шпоночным пазом (а) и подшипника качения (б).

Релаксационные (прерывистые) колебания – возникают при медленных перемещениях узлов станочной системы.

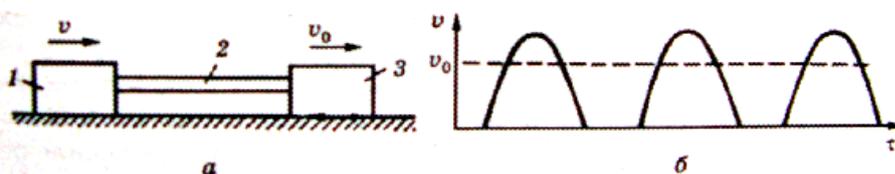


Рисунок 18 – Схема возникновения релаксационных колебаний (а) и изменение скорости перемещений узла станка во времени (б).

При малой равномерной скорости перемещения v_0 ведущего звена 1 сначала происходит деформация передаточного звена 2 без движения ведомого звена 3, пока не будет преодолена сила сопротивления. Как только начнется движение, сила трения резко падает, так как она меньше силы трения покоя. При этом ведомое звено под действием потенциальной энергии передаточного звена получит перемещение с переменной скоростью v и остановится. Далее циклы скачков повторяются. Релаксационные колебания, приводя к неустойчивому перемещению узлов, могут вызвать значительные динамические нагрузки на узлы станка и режущий инструмент, а также погрешности при обработке деталей.

Автоколебания – возникают при всех известных видах обработки. Причиной возникновения является любое случайное возмущение (вход или выход режущих лезвий из контакта с деталью, неравномерность припуска, неоднородность свойств обрабатываемого материала, радиальное биение заготовки или инструмента, и др.), приводящее к возникновению собственных затухающих колебаний системы. Сопровождаются изменением толщины среза a , силы резания и её составляющих.

Для уменьшения вибраций при резании необходимо:

- 1) повышать виброустойчивость и жёсткость узлов станков;
- 2) применять виброгасящие устройства;
- 3) разрабатывать и использовать виброустойчивые конструкции режущего инструмента и технологической оснастки;
- 4) выбирать виброустойчивые диапазоны режимов резания;
- 5) контролировать техническое состояние оборудования.

Тема 7: Формирование обработанных поверхностей

1. Показатели качества поверхностей

В современном машиностроении к выпускаемой продукции предъявляются высокие требования. Эксплуатационные показатели отдельных деталей, образующих механизмы и узлы машин, зависят не только от вида материала, но и от того, как и по какому технологическому процессу они изготовлены.

Под качеством поверхности детали понимают свойства ее поверхностного слоя, которые формируются в результате обработки. Качество поверхностей определяется геометрическими и физико-механическими характеристиками поверхностного слоя.



Рисунок 1 – Классификация показателей качества поверхностей деталей

2. Шероховатость поверхности, факторы ее определяющие

Шероховатость поверхности представляет совокупность неровностей с относительно малыми шагами, которые формируют микрорельеф. Образуется в результате взаимодействия обрабатываемой поверхности с элементами режущего инструмента. Отношение шага к высоте неровностей не превышает 50.

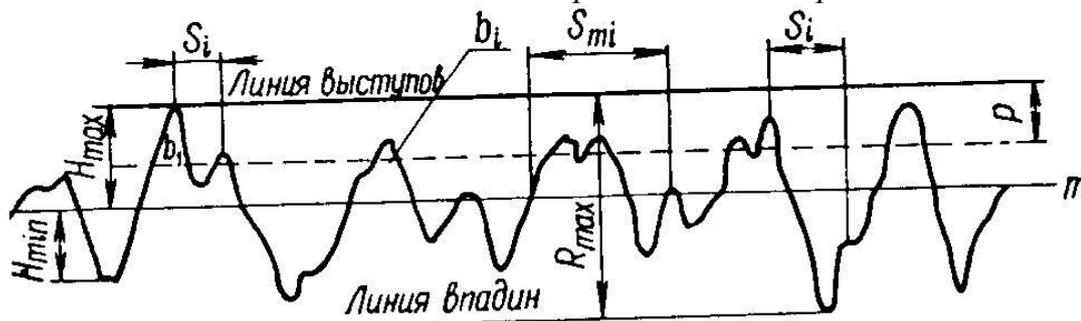


Рисунок 2 – Схема для определения параметров шероховатости поверхности

Количественная оценка шероховатости может производиться по следующим показателям:

R_a – среднее арифметическое отклонение профиля

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

где n – количество точек профиля на базовой длине;

y – расстояние между данной точкой профиля и средней линией.

Rz – высота неровностей профиля по десяти точкам

$$Rz = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |H_{i \max}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i \min}| \right),$$

где $H_{i \max}$ и $H_{i \min}$ – соответственно отклонения пяти наибольших максимумов и минимумов профиля.

R_{\max} – наибольшая высота неровностей профиля – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины;

S_m – средний шаг неровностей профиля – среднее арифметическое значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины;

S – средний шаг неровностей профиля по вершинам – среднее арифметическое значение шага неровностей профиля по вершинам в пределах базовой длины;

tr – относительная опорная длина профиля.

Как правило, нормируется Ra или Rz .

В ряде случаев большое значение имеет направление неровностей на поверхности обработанной детали, которое устанавливается в технических условиях и обозначается на чертежах.

Необходимо иметь в виду, что требования к шероховатости поверхности должны быть обоснованными и устанавливаться с учетом функционального назначения деталей.

Высоту микронеровностей можно определить из геометрических построений.

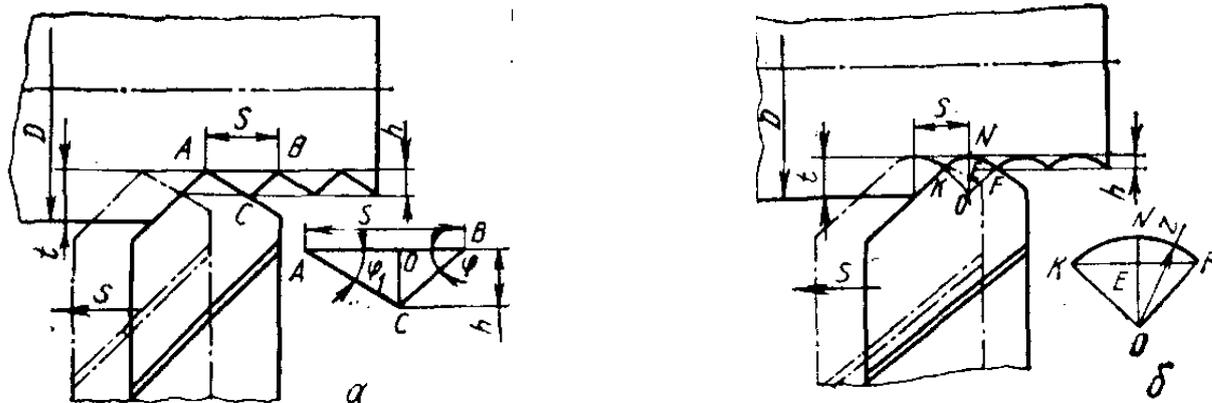


Рисунок 3 – Схема для расчёта высоты микронеровностей

В том случае, когда у реза отсутствует радиус вершины, высоту микронеровностей можно определить из соотношений (рисунок 3, а.)

$$h = Rz = \frac{S_0 \sin \varphi \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)}$$

Когда работает только радиусная режущая кромка (рисунок 3, б), получаем:

$$h = Rz = r - \frac{\sqrt{4r^2 - S_0^2}}{2}$$

Расчетные неровности при точении (и др. видах обработки) определяются величинами подачи, углов в плане и радиуса вершины. Однако действительные

размеры и форма микронеровностей значительно отличаются от расчётных, т.к. на величину шероховатости поверхности также влияют упругие и пластические деформации обрабатываемого материала; колебания детали и инструмента; образование и срывы нароста; изнашивание инструмента.

Глубина резания и передний угол на шероховатость влияют незначительно, увеличение прочности и твёрдости, уменьшение пластичности – снижают её. Применение СОЖ снижает интенсивность наростообразования и соответственно шероховатость.

Для учета всех перечисленных факторов можно использовать эмпирическую зависимость:

$$R_z = \frac{S_o^2}{8r} + \frac{a_{\min}}{2} \left(1 + \frac{ra_{\min}}{S_o^2}\right)$$

$$a_{\min} = kS_o \sqrt{\frac{t}{2r}}$$

где k – коэффициент свойств материала

Увеличение шероховатости приводит к снижению:

- сопротивления усталости;
- коррозионной стойкости;
- прочности соединений с натягом;
- контактной жёсткости;
- гидроплотности соединений.

Усталостному разрушению металла способствуют отдельные дефекты и неровности на поверхности детали, которые являются источниками концентрации напряжений. Во впадинах неровностей при циклических и знакопеременных нагрузках возникают субмикроскопические трещины, которые в дальнейшем разрастаются и приводят к образованию усталостных трещин и разрушению детали. Чем грубее шероховатость, тем больше на ней впадин и глубоких рисок, на дне которых концентрируются и собираются корродирующие вещества, и поэтому здесь коррозия поверхности происходит интенсивнее.

Волнистость поверхности – представляет совокупность периодически повторяющихся неровностей на поверхности детали с отношением шага волны к её высоте 50...1000.

Причина появления – недостаточная жёсткость и колебания элементов технологической станочной системы.

Волнистость поверхностей деталей влияет на контактную жёсткость, точность сопряжений, снижает износостойкость деталей. Волнистость желобов подшипников качения увеличивает уровень вибраций.

3. Физико-механические свойства поверхностного слоя (наклеп, остаточные напряжения, изменение структуры поверхностного слоя)

Тонкий поверхностный слой деталей машин имеет иные механические,

физические, химические свойства и напряженное состояние, чем в глубинной части металла. Глубина поверхностного слоя в зависимости от вида обработки находится в пределах от нескольких десятитысячных до сотых и десятых долей миллиметра, оказывая большое влияние на работоспособность деталей машин.

При резании тонкие поверхностные слои детали получают свойства, отличные от первоначальных. Это происходит в результате:

– наклепа – возникает вследствие нарушения в отдельных местах правильного строения кристаллической решетки около линий сдвигов при пластических деформациях (возникновения дислокаций), которые окружены полями упругих напряжений и требуют значительно больших усилий для последующих деформаций.

Наклёп приводит к упрочнению поверхности, увеличению микротвёрдости и снижению пластичности, снижению электропроводности, теплопроводности и плотности металла.

Степень и глубина упрочнения возрастают с увеличением подачи и уменьшаются с ростом скорости резания.

Поскольку температура приводит к снятию искажений кристаллической решетки, конечное состояние поверхностного слоя определяется процессами упрочнения и разупрочнения, определяемыми силовым или температурным фактором.

В процессе трения происходит механическое (внедрение) и молекулярное (притяжение, схватывание) взаимодействие поверхностей. Молекулярное взаимодействие сопутствует механическому, и степень их относительного проявления зависит от конкретных условий изнашивания. Но для снижения изнашивания деталей необходимо уменьшить взаимное внедрение трущихся поверхностей, чтобы предотвратить их схватывание.

Повышение микротвёрдости при механической обработке увеличивает износостойкость трущихся поверхностей, контактную жёсткость и выносливость, сопротивление усталости, но в большинстве случаев снижает коррозионную стойкость.

– изменение структуры поверхностного слоя – может возникать при действии высоких $T^{\circ}C$ вследствие вторичной закалки, или отпуска. Полученный в результате слой имеет более низкую усталостную прочность, но более высокую износостойкость.

– остаточные напряжения – сохраняющиеся после устранения силового воздействия из-за того, что пластически деформированные поверхностные слои препятствуют возвращению в исходное состояние расположенных глубже упругодеформированных слоев.

При увеличении подачи остаточные напряжения и глубина их залегания растут. При росте скорости – величины напряжений растут, а глубина залегания уменьшается. Уменьшение переднего угла γ приводит к уменьшению величин напряжений, но увеличивает глубину залегания.

Остаточные напряжения практически не влияют на износостойкость поверхностей, т.к. снимаются на начальном этапе изнашивания, но приводят к снижению сопротивления усталости.

Тема 8: Работоспособность, надёжность и отказы режущего инструмента

1. Понятие о работоспособности, надёжности и отказах режущего инструмента

Надёжность – свойство режущего инструмента сохранять во времени параметры, характеризующие работоспособность инструмента при заданных режимах и условиях применения.

Работоспособность – это состояние режущего инструмента, при котором он способен нормально осуществлять резание.

Отказ – это событие, заключающееся в нарушении работоспособности.

Основными причинами отказов являются:

– хрупкое разрушение и пластическое деформирование режущей части инструмента;

– износ рабочих поверхностей инструмента.

Отказы обуславливаются конструкцией инструмента, технологическими дефектами, нарушениями условий работы, изнашиванием и разрушением инструментов.

2. Разрушение режущего инструмента. Виды хрупкого и пластического разрушения

В результате действия нагрузок при различных скоростях нагружения и температур, обусловленных процессом резания, инструмент теряет свою прочность, что проявляется в виде хрупкого разрушения или пластической деформации.

Прочность режущего инструмента – это способность выдерживать обусловленные резанием нагрузки без разрушения.

Характер разрушения зависит от скорости приложения нагрузки и температуры.

Хрупкое разрушение режущего инструмента проявляется в виде выкрашивания режущих кромок или скола режущей части.

Выкрашивание (проявляется в виде отделения малых частиц режущей кромки) возникает в результате поверхностных дефектов, остаточных напряжений в поверхностных слоях инструмента, неоднородности материала, циклических изменений нагрузок (вход-выход из контакта).

При сколах отделяются более крупные частицы инструмента. Происходят преимущественно по передней поверхности и по размерам сравнимы с размерами площадки контакта. Скол определяют свойства инструментального и обрабатываемого материалов, передний и задний углы, главный угол в плане и глубина резания.

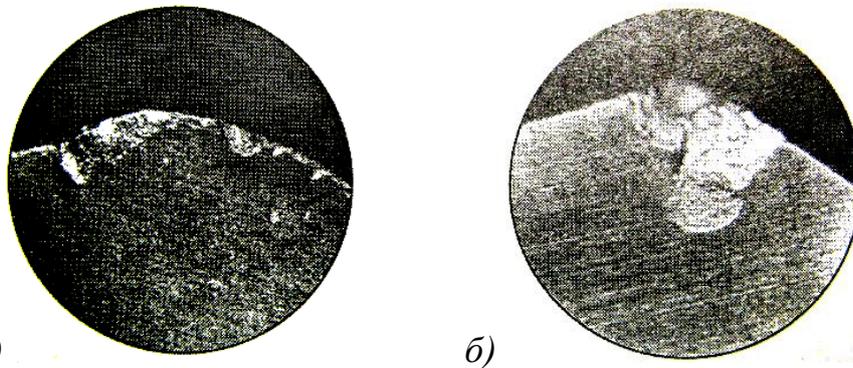


Рисунок 1 – Хрупкое разрушение режущих кромок инструмента:
 а – выкрашивание на резе; б – скол вершины резца

При работе инструмента в области высоких температур и нагрузок возможно возникновение пластических деформаций инструментального материала, сопровождающихся последующим срезом. Данный вид разрушения может проявляться в виде пластического течения верхних контактных слоев и опускания вершины инструмента (рисунок 2).

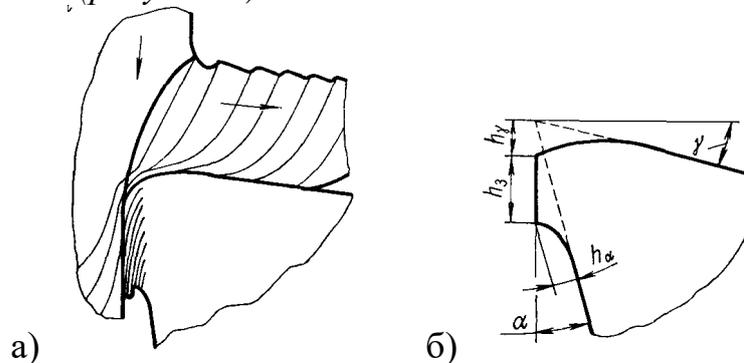


Рисунок 2 – Схема пластического разрушения режущих кромок инструмента

В начале пластического разрушения режущее лезвие в результате недостаточной прочности острой режущей кромки округляется. Дальнейшее течение контактных слоёв по задней поверхности лезвия приводит к изменению действительного заднего угла, который на некотором участке становится равным нулю. Площадь контакта по задней поверхности увеличивается, и материал инструмента течёт к месту выхода задней поверхности из контакта. От текущего материала отрываются частицы и уносятся обработанной поверхностью (рисунок 2, а). Наряду с пластическим течением инструментального материала при работе на высоких скоростях резания может происходить пластическое опускание вершины инструмента (рисунок 2, б).

3. Изнашивание инструмента. Методы оценки износа. Кривые износа

Изнашивание инструмента в отличие от разрушения происходит постепенно. В процессе работы возникают и постепенно увеличиваются площадки износа. Их расположение на разных участках режущего инструмента определяется условиями резания.

Износ задней поверхности возникает при обработке с малыми толщинами среза и низкими скоростями резания при обработке сталей, а также при обработке чугуна и др. хрупких материалов.

Износ передней поверхности происходит при обработке пластичных металлов с большими толщинами среза и высокими скоростями резания.

Одновременный износ по передней и задней поверхности встречается наиболее часто и сопровождается скруглением режущего лезвия.

Также возможен износ по вспомогательной задней поверхности.

Износ инструмента оценивают чаще по линейным (геометрическим), реже по массовым (основываются на определении массы продуктов износа за период работы инструмента) критериям.

Основными линейными характеристиками износа инструмента являются:

– по задней поверхности – ширина площадки износа h_3 и её длина l ,

– по передней поверхности – глубина h и ширина износа B .

Графическое изображение изменения износа с течением времени называется кривой износа.

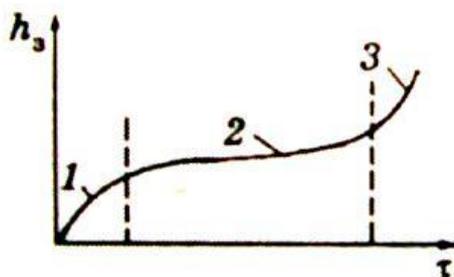


Рисунок 3 – Кривая износа

В общем случае на кривой износа (рисунок 3) можно выделить три участка:

1 – период приработки, или начального изнашивания (продолжительностью несколько минут) – на этом участке наблюдается ускоренное изнашивание, выступающих участков исходных неровностей на заточенной поверхности инструмента;

2 – период нормального изнашивания, когда инструмент обеспечивает нормальную работоспособность;

3 – период катастрофического изнашивания.

Период времени T на графике – это период стойкости инструмента при заданных режимах и условиях. Он представляет собой продолжительность работы инструмента между двумя переточками.

4. Гипотезы, объясняющие механизмы износа лезвий

Сложность и недоступность непосредственных наблюдений за ходом процесса изнашивания лезвий режущих инструментов привела к появлению предложенных разными исследователями гипотез природы изнашивания лезвий инструментов во время обработки.

1. Механическое изнашивание – когда в процессе взаимного скольжения неровности обрабатываемого металла разрушают неровности на лезвии.

Трущиеся поверхности шероховаты. Выступы макро- и микронеровностей контактирующей поверхности одного тела размещаются во впадинах макро- и микронеровностей поверхности другого тела, что при взаимном скольжении приводит к их разрушению.

Эта гипотеза не нашла широкого признания, так как не в полной мере учитывает различие в твердости и других механических свойствах контактирующих поверхностей.

2. Абразивное изнашивание – обрабатываемые материалы содержат твёрдые включения, которые изнашивают лезвие микроцарапанием.

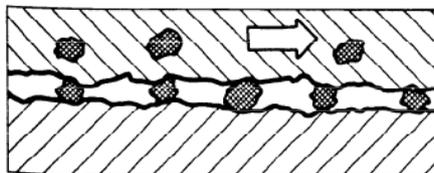


Рисунок 4 – Схема абразивного изнашивания режущего инструмента

Эта гипотеза хорошо согласуется с практикой при обработке литых заготовок, имеющих поверхностную корку, горячештампованных и термообработанных заготовок с поверхностной окалиной, а также при резании силумина, имеющего высокое содержание кремния, и некоторых сплавов и пластмасс (стеклопластиков) с твердыми включениями. Однако при резании основной массы обрабатываемых металлов гипотеза об абразивном изнашивании не может объяснить физическую природу и интенсивность изнашивания лезвий.

3. Окислительное изнашивание – кислород воздуха непрерывно окисляет тонкий поверхностный слой инструментального материала. Принимая, что оксиды менее прочны, чем исходный металл, тонкий слой оксида на поверхности инструмента разрушается силами трения и удаляется в виде продуктов износа.

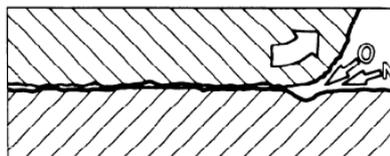


Рисунок 5 – Схема окислительного изнашивания режущего инструмента

Поэтому для повышения износостойкости целесообразно исключить попадание воздуха между контактными поверхностями обдувкой зоны резания струёй защитных газов, таких, как азот или аргон. Справедливость окислительной природы изнашивания лезвий нуждается в дальнейших исследованиях и подтверждении непосредственными экспериментальными наблюдениями.

4. Адгезионное изнашивание – в пределах приграничного слоя на контактных поверхностях происходит разрушение материала в тех точках, где установилось адгезионное схватывание.

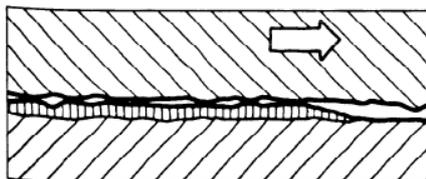


Рисунок 6 – Схема адгезионного изнашивания режущего инструмента

Согласно гипотезе адгезионного изнашивания в конкретных условиях резания, когда на контактных поверхностях лезвия действуют высокая температура, большое давление, пластичные поверхностные слои в отдельных точках контакта могут сблизиться настолько, что между атомами металлов контактирующей пары могут возникнуть силы сцепления. В последующие мгновения в связи с тем, что имеет место подвижный контакт, происходит разрушение в приграничном слое материала лезвия, а оторванные и унесённые частицы представляют собой продукты износа инструментального материала.

5. Диффузионное изнашивание – возникает в результате непрерывного диффузионного переноса компонентов инструментального материала в контактирующий с ним обрабатываемый материал.

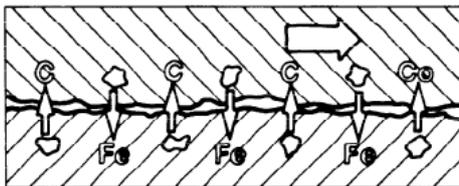


Рисунок 7 – Схема диффузионного изнашивания режущего инструмента

Однозначного определения природы изнашивания при резании не существует. В ряде случаев возможно совместное действие нескольких перечисленных факторов.

5. Стойкость инструмента. Критерии износа. Равный допустимый и оптимальный допустимый износ

Период стойкости T – продолжительность резания новым или переточенным режущим инструментом до его отказа, т.е. до достижения предельно допустимого износа.

Критерий затупления (износа) – критерий отказа инструмента, характеризующийся максимально допустимым износом режущего лезвия, после достижения которого наступает его отказ.

Под критерием износа понимают сумму признаков (или один решающий признак), при которых работа инструментом должна быть прекращена.

Критерии износа:

1) силовой – о возрастании износа инструмента судят по быстрому росту сил резания.

2) технологический – при котором работу инструмента прекращают по технологическим ограничениям: резкое увеличение шероховатости обработанной поверхности; потеря инструментом необходимого размера; возникновение вибраций; чрезмерный нагрев детали; поломка малопрочного инструмента и т. п. Критерий технологического износа в основном используют при исследовании и эксплуатации инструмента, предназначенного для чистовой и окончательной обработки.

3) равный допустимый износ – представляет собой горизонтальную линию, пересекающую линии износа $h_{3max}(\tau)$ в точках 1, 2, 3 (рисунок 8). При эксплуатации в производственных условиях группы инструментов при различных сочетаниях влияющих факторов (скорость резания, подача, глубина, свойства инструментального и обрабатываемого материалов, передний угол) наиболее просто допустимый максимальный линейный износ по задней поверхности устанавливать равновеликим для всего семейства кривых износа. При использовании критерия равного износа в производственных условиях необходимо следить за состоянием износа задней поверхности лезвия и при достижении установленного критерия равного износа дальнейшую работу надо прекратить и изношенный инструмент заменить.

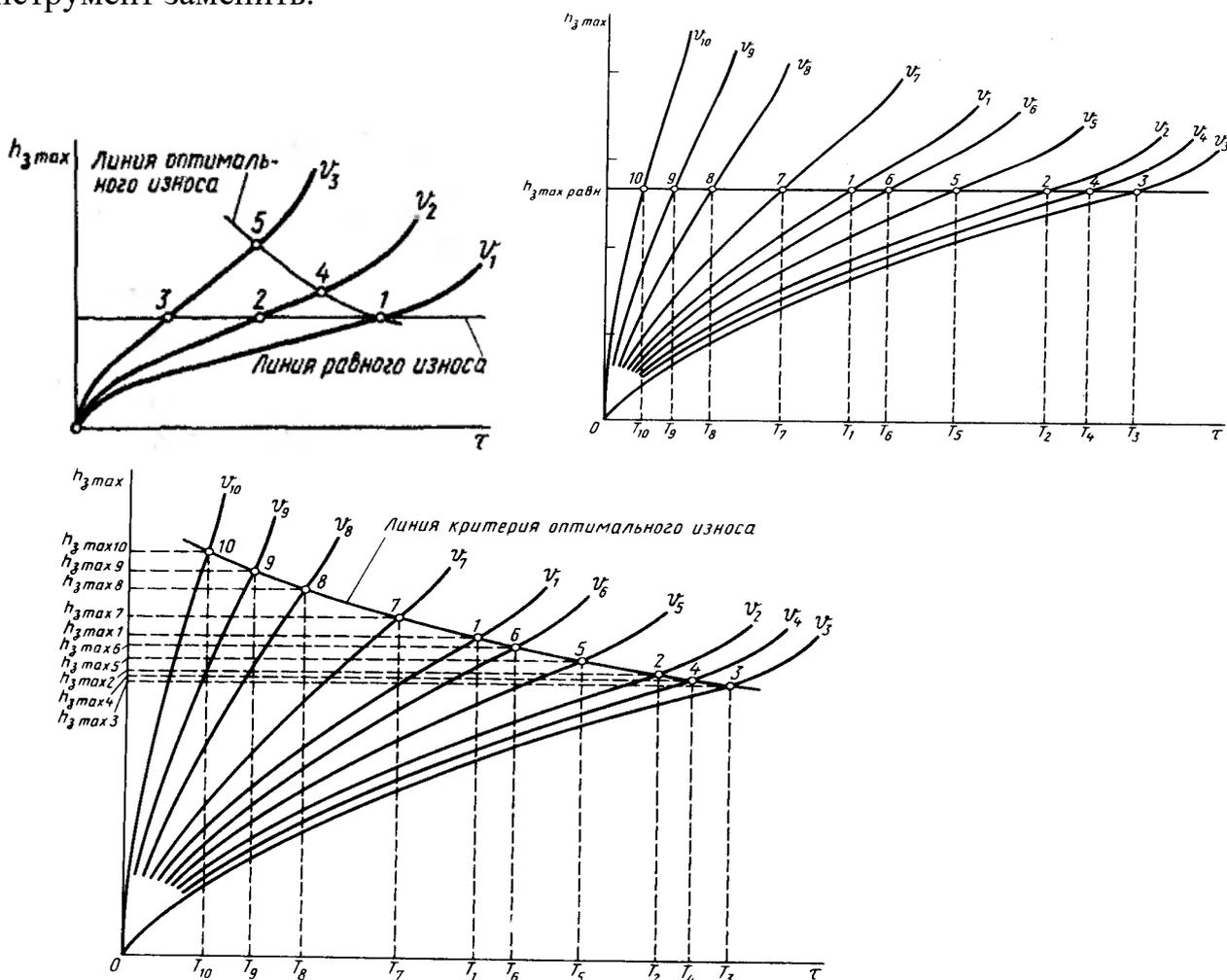


Рисунок 8 – Критерии равного и оптимального допустимого износа

4) оптимальный допустимый износ – линия критерия оптимального износа криволинейна и проходит через точки 1, 4, 5 перегиба кривых износа (рисунок 8). На конечных участках каждой из кривых обозначаются точки перегиба, за которыми резко возрастает интенсивность изнашивания. Критерий равного износа обычно соответствует точке перегиба кривой износа для самой малой из скоростей резания. Поэтому точки перегиба для больших скоростей резания располагаются выше линии равного износа. Наличие прямолинейных отрезков кривых износа (2-4, 3-5), лежащих между горизонтальной линией равного износа и точками перегиба, говорит о том, что при работе со скоростями резания $v > v_1$ при использовании критерия равного износа остаются неиспользованными резервы режущих свойств

инструментов. Поэтому на практике при работе на автоматических линиях и станках с ЧПУ критерий оптимального износа является более производительным и экономичным.

6. Взаимосвязь режимных параметров и стойкости инструмента

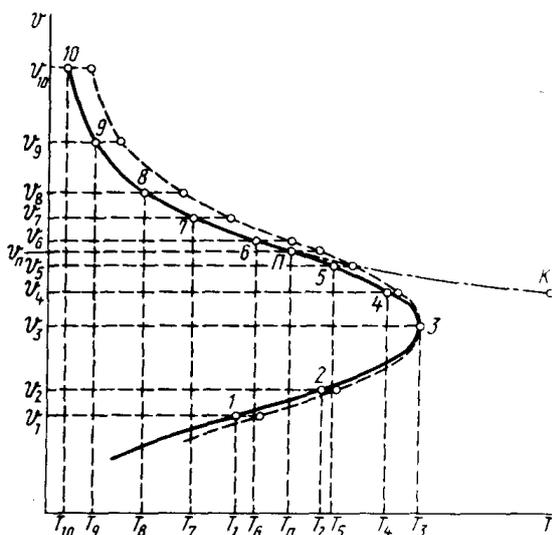


Рисунок 9 – Общая зависимость скорости резания v от стойкости T инструмента

Обработка металлов резанием возможна с любыми из представленных скоростей. Резание с малыми скоростями $v < v_3$ не рационально из-за низкой производительности труда и высокой цеховой себестоимости обработки каждой заготовки. Такая обработка может быть оправдана лишь необходимостью получения высокоточных обработанных поверхностей с высоким качеством поверхности.

Рациональнее обрабатывать металлы со скоростями $v > v_3$. С увеличением скорости резания, хотя стойкость инструмента уменьшается, сокращается также время обработки деталей, увеличивается производительность труда.

Наиболее рациональное использование режущего инструмента достигается при обработке металлов резанием со скоростями, лежащими между скоростью точки перегиба П и скоростью v_3 точки максимума. Этот диапазон скоростей используют при назначении режимов производительной и экономичной обработки на автоматизированном металлорежущем оборудовании и автоматических линиях.

При скоростях резания $v > v_{II}$ ведут обработку металлов на универсальных металлорежущих станках. Важное практическое значение этого диапазона объясняет большой интерес, проявлявшийся к нему на ранних стадиях исследования, и обширный накопленный опыт. Данный участок кривой достаточно достоверно описывается степенным уравнением вида:

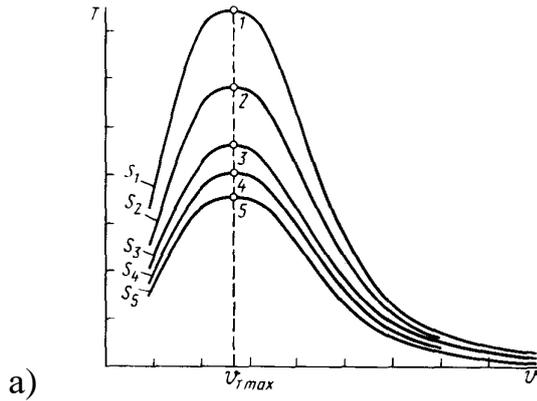
$$v = C_T / T^m$$

где m – показатель стойкости,

C_T – коэффициент, учитывающий влияние всех факторов кроме скорости резания.

Подача и глубина резания также определяют стойкость инструмента: их увеличение снижает стойкость инструмента.

$$S_1 < S_2 < S_3 < S_4 < S_5$$



$$t_1 < t_2 < t_3 < t_4$$

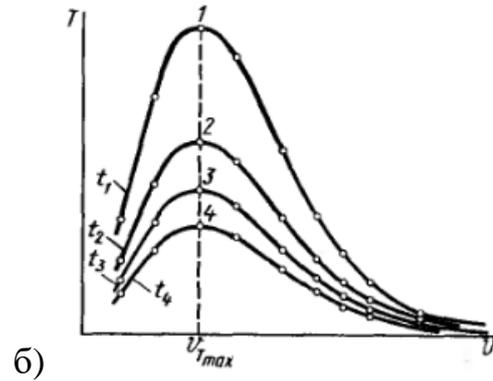


Рисунок 10 – Графики зависимостей $T(v)$: а) при различных значениях подачи; б) при различных значениях глубины резания

Таким образом, общий вид зависимости для скорости резания будет иметь вид (для точения):

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

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{PV} \cdot K_{IV},$$

где K_{MV} – коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала;
 K_{PV} – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки;
 K_{IV} – Коэффициент, учитывающий материал режущей части инструмента.

7. Методы прогнозирования и диагностики технического состояния режущих инструментов

Наиболее эффективным направлением в контроле режущих инструментов является их мониторинг (непрерывный контроль). Все методы контроля текущей работоспособности режущего инструмента можно условно разделить на четыре группы:

1) устройства, в которых объектом контроля является режущий инструмент (ширина площадки износа, температура, расстояние от вершины или режущей кромки до постоянной базы);

2) объектом контроля является обрабатываемая деталь (размеры, шероховатость обработанной поверхности, температура на поверхности);

3) объектом контроля является стружка (форма, направление схода, температура);

4) объектом контроля является процесс резания (длительность цикла обработки, мощность резания, силы резания, вибрации, акустическая эмиссия, ЭДС в зоне резания)

В свою очередь методы, представленные в этих группах можно поделить на методы прямого контроля, основанные на регистрации износа инструмента, и косвенного контроля, использующие физические явления, сопровождающие процессы резания и изнашивания инструмента.

Устройства для прямого контроля обеспечивают более высокую достоверность измерений и поэтому получили широкое распространение. Поэтому рассмотрим принципы действия некоторых из этих устройств.

Оптические устройства. Для оценки длины стержневых режущих инструментов (свёрл, метчиков) могут использоваться сравнительно простые конструкции со встроенными фотоэлементами. Если инструмент находится между источником излучения и датчиком и перекрывает зону излучения, это сигнализирует о его исправности. Контроль осуществляется либо после каждого рабочего хода, либо в перерывах между обработкой деталей.

Развитие оптических систем позволило создать устройства для измерения износа инструмента в тот момент, когда он не находится в контакте с заготовкой. Действие таких устройств основано на том, что площадка износа лучше, чем остальные поверхности инструмента, отражает световые лучи. Принципиальную схему опико-электронного устройства приведём на рисунке 11.

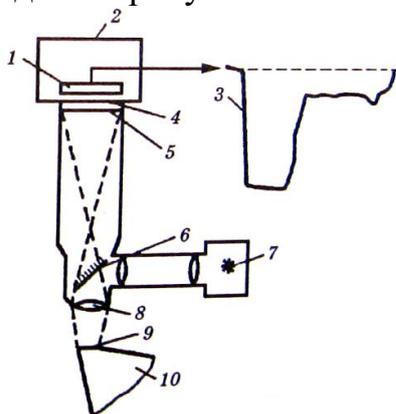


Рисунок 11 – Опико-электронный преобразователь для контроля износа режущего инструмента: 1 – катод; 2 – усилитель сигнала; 3 – выходной сигнал; 4 – щель; 5 – увеличенное изображение площадки износа; 6 – полупрозрачное зеркало; 7 – источник света; 8 – объектив; 9 – площадка износа; 10 – режущий инструмент

Значительно более высокой точностью измерения (до 1 мкм) и большими технологическими возможностями обладают лазерные устройства. Они позволяют не только обнаруживать поломки инструмента, но и выполнять измерение геометрии режущей кромки. Лазерные устройства могут использоваться также для одновременного контроля нескольких инструментов, например в револьверных головках.

Разновидностью оптических устройств являются телевизионные камеры с устройствами распознавания образов. С их помощью можно оценивать как износ, так и сколы режущих кромок.

Контактные устройства. Такие устройства обеспечивают непосредственный контроль инструментов в процессе работы с помощью датчиков касания и измерительных зондов. Погрешность измерения координат при использовании измерительных зондов колеблется в пределах 0,35...1,0 мкм.

Контактные устройства могут использоваться как для контроля положения вершины инструмента в начале его работы, так и для измерения сколов выкрашиваний и износа режущих лезвий в ходе работы. В последнем случае, однако, эффективность действия датчиков не слишком высока, поскольку контролируется главным образом область вершины инструмента, а она не всегда характеризует потенциальный отказ инструмента.

Устройства, основанные на контроле времени прохождения ультразвуковых волн через твердое тело. Для контроля используется время прохождения расстояния от измерительной головки через новый и изношенный инструменты до поверхности детали и обратно. При неизношенном инструменте (рисунок 12, а) ультразвук проходит расстояние L_1 за время τ . При образовании площадки износа (рисунок 12, б) путь сокращается на $\Delta L = L_1 - L_2$, а время прохождения сигнала меньше на $\Delta\tau = \tau_1 - \tau_2$, что регистрируется электронной аппаратурой и позволяет определять величину износа.

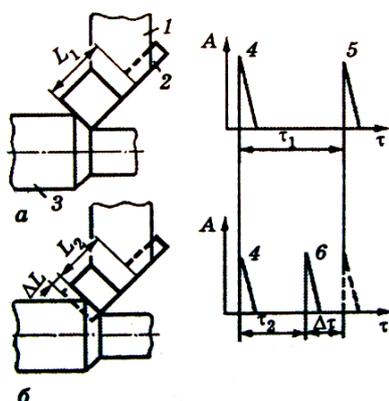


Рисунок 12 – Схема контроля инструмента по времени прохождения ультразвуковых волн: 1 – резец; 2 – генератор УЗ-импульсов; 3 – деталь; 4 – передаваемый импульс; 5 – отражённый импульс (без износа); 6 – отражённый импульс (с износом)

Косвенные методы мониторинга режущих инструментов основаны на контроле изменения сил резания, мощности, температуры и других физических характеристик процесса резания в результате износа или поломки инструмента. Рассмотрим некоторые из таких устройств.

Устройства, основанные на контроле уровня сил и мощности резания. С возрастанием износа инструмента увеличивается уровень сил и мощности, потребной на резание. Поэтому как непосредственно силы резания, так и производные от них (мощность, крутящий момент на шпинделе, сила тока двигателей главного движения или движения подачи) можно использовать в качестве источника диагностического сигнала.

Действие устройств контроля мощности резания основано на измерениях силы тока и напряжения в двигателе главного движения или движения подачи. Такие устройства весьма просты, дешевы, не требуют изменений в конструкции станка. Однако надежность их работы зависит от соотношения мощности резания и номинальной мощности двигателя. Если оно невелико, достоверность мониторинга резко снижается. Кроме того, такие устройства регистрируют изменения сил, связанные с возрастанием износа инструмента, со значительным опозданием во

времени, что не позволяет вовремя среагировать на катастрофический износ и поломки инструмента. Поэтому данные устройства практически не используют.

В большинстве случаев приборы для контроля инструмента, основанные на устройствах для измерения сил ориентированы на выявление момента катастрофического износа. В зависимости от уровня электронной поддержки можно контролировать статическую составляющую силы (рисунок 13), или совместно статическую и динамическую, возникающую в результате колебательных процессов в зоне резания (рисунок 14).

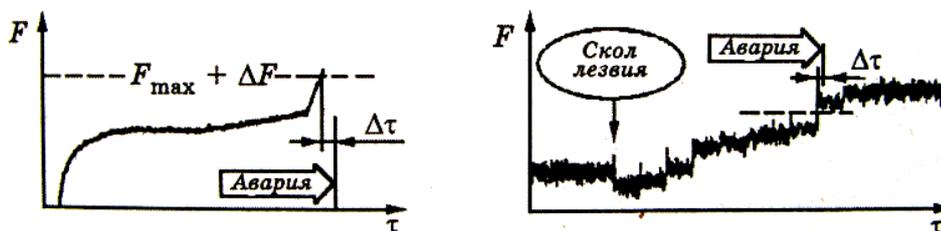


Рисунок 13 – Выявление катастрофического износа

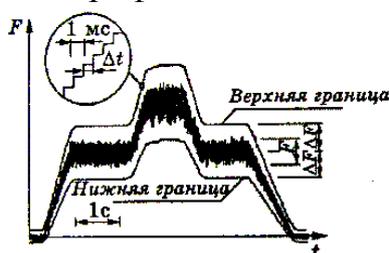


Рисунок 14 – Выявление катастрофического износа с учётом динамической составляющей силы резания

Устройства, основанные на контроле уровня колебаний. Известно, что в процессе резания генерируются колебания различных частот и амплитуд (рисунок 15), которые в значительной степени зависят от состояния режущих лезвий. Колебания в диапазоне звуковых и околозвуковых частот регистрируются с помощью датчиков ускорения, как правило, пьезоэлектрических. Исследования показывают, что по мере затупления инструмента возрастает энергия (амплитуда) высокочастотных колебаний (рисунок 16). Объектом контроля в этом случае служит соотношение энергий высоко- и низкочастотных колебаний, определяемое путем измерения интенсивности колебаний или звукового давления в определенном диапазоне частот.

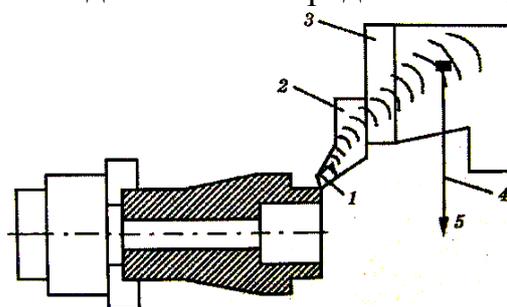


Рисунок 15 – Распространение звуковых волн в ходе обработки детали: 1 – режущее лезвие инструмента; 2 – корпус инструмента; 3 – револьверная головка; 4 – система передачи сигнала от датчика; 5 – сигнал датчика.

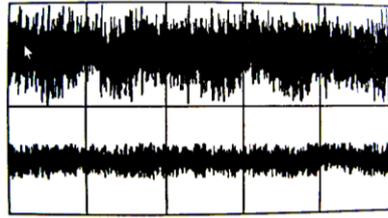


Рисунок 16 – Характер колебаний при точении острым (внизу) и затупленным (вверху) резцами

Устройства, основанные на измерении акустической эмиссии. Под акустической эмиссией понимают процесс расхождения волн возникающих в результате освобождения энергии упругости материала при его деформации, разрушении или структурно-фазовых превращениях. К источникам возникновения акустической эмиссии относятся зоны износа инструмента, возникновения выкрашиваний и сколов, а также все прочие зоны, в которых возможно выделение механической (коробки скоростей подач, ходовые винты) или электромагнитной энергии (реле, контакторы).

Устройства, основанные на измерении температуры и термоЭДС. В качестве контролируемых параметров в таких устройствах можно использовать:

- температуру сходящей стружки, которая определяется с помощью опико-электронного устройства, сфокусированного на зону стружкообразования;
- изменение электрического сопротивления цепи, в которую входит режущий инструмент;
- термоЭДС, регистрируемую с помощью естественной термопары;
- смещение верхней границы скоростей наростообразования (в данном случае используется явление резкого изменения полной ЭДС резания при исчезновении нароста).

Принципиальная схема устройства для контроля электрического сопротивления цепи в зоне резания приведена на рисунке 17. На резец 2 между слоями диэлектрика 3 наносится тонкая пленка проводника 4, имеющая заданные параметры электрического сопротивления. При обработке детали 1 на резце появляется площадка износа h_3 , и уменьшается сопротивление пленки проводника. Для измерения износа используется электрическая схема, содержащая генератор переменного тока 5, измерительное устройство 6 и конденсатор 7. При этом роль съёмника тока с вращающейся детали играет слой 3.

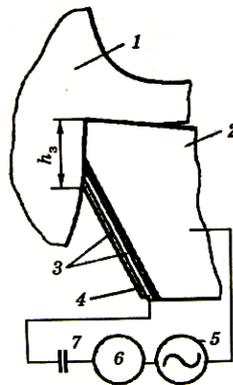


Рисунок 17 – Схема контроля износа по изменению сопротивления электрической цепи

Устройства, основанные на контроле формы стружки. Такие устройства позволяют регистрировать изменения формы стружки по мере изнашивания инструмента, как правило, токарного резца. Такой контроль можно обеспечить, фиксируя инфракрасное излучение из зоны обработки. Его интенсивность будет зависеть от количества находящейся там разогретой стружки. Аналогичным образом действуют и камеры тепловизоров. Изображение с камеры делится компьютером на участки с одинаковой интенсивностью теплового излучения, что позволяет определять характер образующейся в данный момент стружки (рисунок 18).



Рисунок 18 – Изображение стружки на экране тепловизора

Информация, полученная с помощью тех или иных устройств контроля инструмента, поступает в компьютерную систему станка, где подвергается анализу и сравнению с существующей базой данных о возможных состояниях инструмента. Поэтому очень важно дальнейшее расширение данных о зависимости величины износа и параметрами процесса резания.

Тема 9: Особенности обработки осевым инструментом

1. Конструкция и геометрические параметры спиральных сверл

Сверление – способ получения глухих и сквозных цилиндрических отверстий в сплошном материале, когда требования к точности не выходят за пределы 12 качества. Если необходимо получить отверстие более высокой точности, то после сверления применяют зенкерование и развертывание.

Движения резания:

– главное движение – движение вращения сверла или детали вокруг оси отверстия;

– движение подачи – поступательное движение сверла вдоль оси.

При работе на сверлильном станке сверло совершает оба движения – вращательное вокруг своей оси и поступательное вдоль оси; заготовка закрепляется неподвижно на столе станка. При работе на токарных и револьверных станках, а также на токарных автоматах вращается обрабатываемая заготовка, а сверло совершает поступательное перемещение вдоль оси.

В результате неточности заточки сверл и несоосности сверла и шпинделя станка диаметр отверстия получается несколько большим номинального. Разница этих

диаметров называется разбивкой отверстия. Она увеличивается с ростом диаметра. Для $D = 10-20$ мм разбивка составляет $0,15-0,25$ мм.

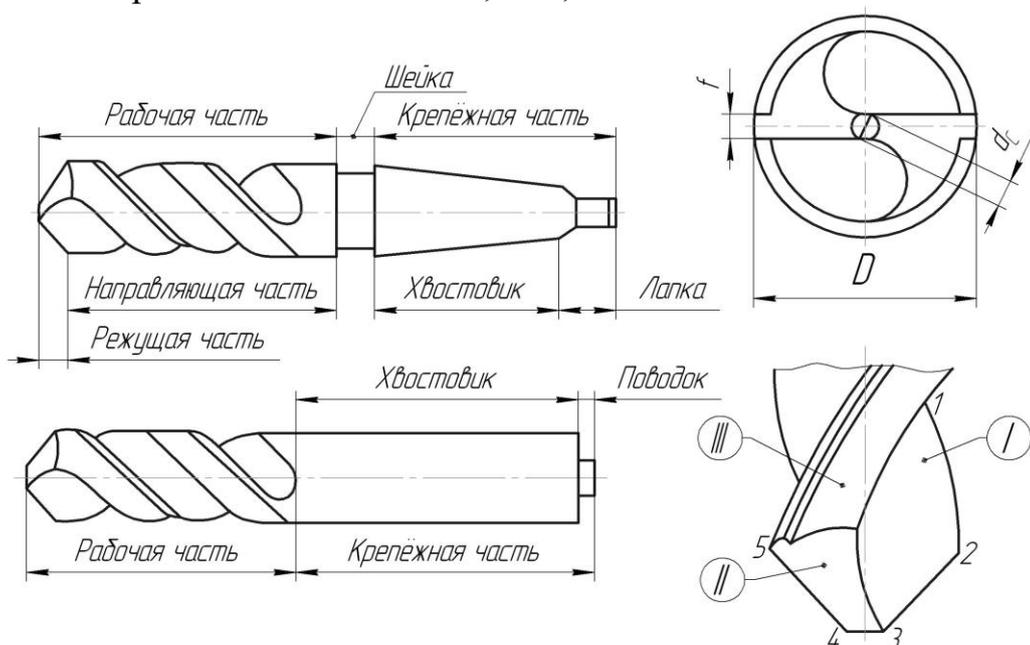


Рисунок 1 – Основные конструктивные элементы сверла

Сверло состоит из 2-х основных частей: рабочей и крепёжной.

Крепёжная часть предназначена для закрепления сверла и передачи на него крутящего момента необходимого для осуществления процесса резания.

Крепёжная часть представляет собой конический хвостовик (конус Морзе) с лапкой или цилиндрический хвостовик с поводком. Лапка является упором при выбивании сверла из шпинделя станка.

Рабочая часть сверла состоит из режущей и направляющей части.

Режущая часть выполняет основную работу резания. Направляющая (калибрующая) часть обеспечивает направление сверла в отверстии при сверлении и имеет две винтовые канавки.

Между рабочей и крепёжной частью сверла расположена шейка.

Рабочая часть сверла содержит следующие конструктивные элементы:

– передняя поверхность (пов-ть I) – часть поверхности винтовой канавки, по которой сходит стружка;

– задняя поверхность (пов-ть II) – торцовая поверхность зуба сверла;

– ленточка – узкая полоска на зубе сверла, расположенная вдоль винтовой канавки, служит для направления сверла в процессе резания и уменьшения трения сверла об обрабатываемую поверхность;

– спинка (затылок) зуба – (поверхность III);

– сердцевина (диаметр d_c).

Режущие лезвия сверла:

– главные режущие лезвия (2-3 и 4-5) – линии пересечения передней и задней поверхности сверла;

– вспомогательные режущие лезвия (2-1 и 5-6) – линии пересечения передней поверхности с поверхностью ленточки;

– поперечное режущее лезвие (3-4) – линия пересечения задних поверхностей сверла.

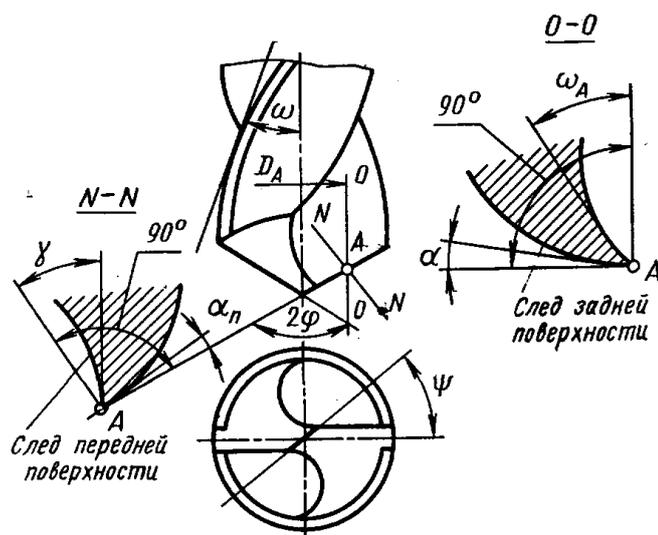


Рисунок 2 – Геометрические параметры спирального сверла

Как и у токарных резцов, основными геометрическими параметрами, определяющими процесс резания, являются передний и задний углы.

Передний угол γ – угол между касательной к передней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и нормалью в той же точке к поверхности вращения режущей кромки вокруг оси сверла. Измеряется в плоскости N-N.

Задний угол α – представляет собой угол между касательной к задней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и касательной в той же точке к окружности её вращения вокруг оси сверла. Измеряется в плоскости O-O.

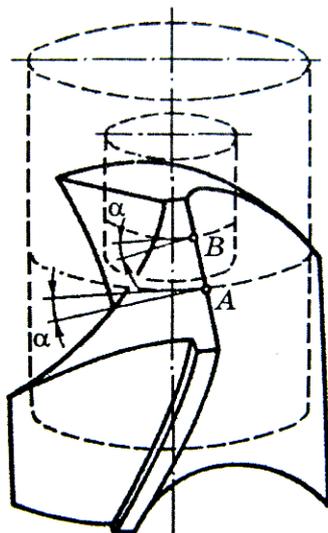


Рисунок 3 – Образование заднего угла α на кромке сверла в цилиндрических сечениях

Передний и задний углы сверл переменны.

Передний угол в данной плоскости (O-O) равен углу ω_A .

$$\operatorname{tg} \omega_A = \frac{\pi D_A}{H} = \operatorname{tg} \omega \frac{D_A}{D}, \text{ т.к. } H = \frac{\pi D}{\operatorname{tg} \omega}$$

где ω – угол наклона винтовой канавки (у периферии сверла)

Тогда передний угол в точке A в плоскости N-N определится:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\operatorname{tg} \omega_A}{\sin \varphi} = \frac{\operatorname{tg} \omega \cdot D_A}{\sin \varphi \cdot D},$$

где D – диаметр сверла;

φ – половина угла при вершине.

Главный угол в плане φ – угол между плоскостью резания и рабочей плоскостью. От угла φ зависит ширина и толщина срезаемого слоя, а также прочность режущей части сверла. На практике, когда требуется быстро определять, для каких условий работы предназначено сверло, универсальным угломером измеряют угол между главными режущими кромками — угол при вершине 2φ . Однако на ширину и толщину среза влияет не угол 2φ , а угол φ на каждом пере сверла. При заточке можно получить точную величину угла 2φ , но разные величины углов φ на зубьях сверла. В данном случае условия работы на каждом зубе разные, ухудшаются условия резания, снижается точность и качество обработанного отверстия. Поэтому при заточке сверла необходимо измерять углы φ на каждом из перьев.

Вспомогательный угол в плане (угол обратного конуса) φ_1 – угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость сверла и рабочей плоскостью. У сверл диаметр рабочей части сверла уменьшают по направлению к хвостовику, т. е. делают обратную конусность для того, чтобы избежать защемления сверла в отверстии. Величина конусности невелика – 0,03...0,15 мм на 100 мм длины сверла, чтобы после переточек диаметр сверла изменялся незначительно.

Угол φ_1 можно определить по формуле:

$$\varphi_1 = \operatorname{arctg} \left(\frac{D - D_1}{2l} \right),$$

где D и D_1 – диаметры сверла в начале и конце направляющей части;

l – длина направляющей части.

Угол наклона винтовой канавки ω – угол между касательной к ленточке и линией, параллельной оси сверла. Выбор величины угла ω зависит от обрабатываемого материала, глубины просверливаемого отверстия и других факторов. Сверла изготавливаются с углами $\omega = 15 \dots 60^\circ$.

Вспомогательный задний угол сверла α_1 – располагается в плоскости, нормальной к вспомогательной режущей кромке. Так как ленточка шлифуется по окружности, то вспомогательный задний угол сверла равен нулю.

Угол наклона перемычки ψ – угол между проекциями поперечной и главной режущей кромки на плоскость, перпендикулярную оси сверла. Величина этого угла при правильной заточке сверла $50 \dots 55^\circ$.

2. Особенности передних и задних углов спиральных сверл

В процессе резания в результате вращательного и поступательного движения сверла поверхность резания представляет собой винтовую поверхность. Вследствие этого действительные углы сверла изменяются: передний угол γ_d становится больше угла γ , измеренного в статике, т. е.:

$$\gamma_d = \gamma + \mu,$$

$$\alpha_d = \alpha - \mu,$$

где μ – угол наклона траектории резания (винтовой линии)

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{S_o}{\pi D},$$

Угол μ тем больше, чем больше подача S_o и чем ближе к центру находится рассматриваемая точка режущей кромки. Поэтому, чтобы обеспечить в процессе резания достаточную величину α_d по всей длине режущей кромки, угол заточки должен соответственно увеличиваться от периферии к центру сверла, что и осуществляется обычно в процессе заточки сверла: на периферии сверла угол α делают равным $8-12^\circ$ с постепенным увеличением его к центру до $20-25^\circ$. Такая заточка сверла обеспечивает также приблизительное равенство угла заострения зуба по всей длине режущей кромки, и, следовательно, его равнопрочность.

3. Условия резания на поперечном режущем лезвии

Особенностью геометрии сверла является наличие перемычки. Величина перемычки равна $c = (0,15 \dots 0,3)D$.

Пересекая перемычку перпендикулярной к ней секущей плоскостью, можно видеть, что угол резания перемычки больше 90° , т. е. передний угол перемычки γ – отрицательный. В результате перемычка не режет металл, а скоблит его (выдавливает). Из-за этого более 50% усилия подачи и около 15% крутящего момента возникает при резании поперечной режущей кромкой. На практике для уменьшения сил резания применяют различные методы подточки перемычки.

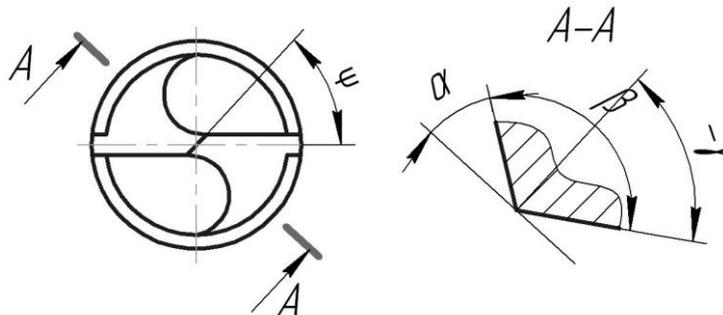


Рисунок 4 – Геометрия поперечного режущего лезвия

4. Элементы режима резания и срезаемого слоя при сверлении

Скорость резания v – окружная скорость наиболее удаленной от оси сверла точки режущей кромки. Скорость резания для точек режущей кромки различна. В центре сверла она равна нулю.

$$v = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ м/мин}$$

где D – диаметр сверла по ленточкам, мм;
 n – частота вращения, мин^{-1} .

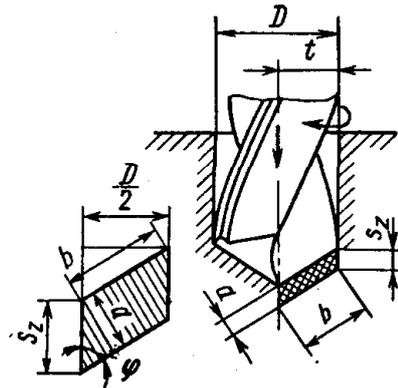


Рисунок 5 – Элементы режима резания и срезаемого слоя при сверлении

Глубина резания t при сверлении в сплошном материале – это величина срезаемого слоя, равная половине диаметра сверла. При рассверливании отверстия от диаметра d до диаметра D глубина резания $t = (D - d)/2$.

Подача S_0 – величина перемещения сверла или детали вдоль оси отверстия за один его оборот в мм/об. Так как сверло имеет два зуба и режет одновременно двумя режущими кромками, то на каждую кромку приходится подача (мм/зуб):

$$S_z = S_0/z,$$

Подачу можно измерять также и в мм/мин, в этом случае:

$$S_M = S_0 \cdot n = S_z \cdot z \cdot n,$$

Элементы срезаемого слоя:

Толщина среза a – представляет собой длину нормали к поверхности резания, проведённую через рассматриваемую точку режущей кромки, ограниченную сечением срезаемого слоя.

$$a = S_z \cdot \sin \varphi, \text{ мм}$$

Ширина срезаемого слоя b – измеряется вдоль режущей кромки сверла и равна её длине.

$$b = \frac{D}{2 \sin \varphi}, \text{ мм}$$

Основное время при сверлении и рассверливании и вычисляется по формуле:

$$T_0 = \frac{L}{S_0 n}, \text{ мин}$$

где L – длина прохода сверла в направлении подачи.

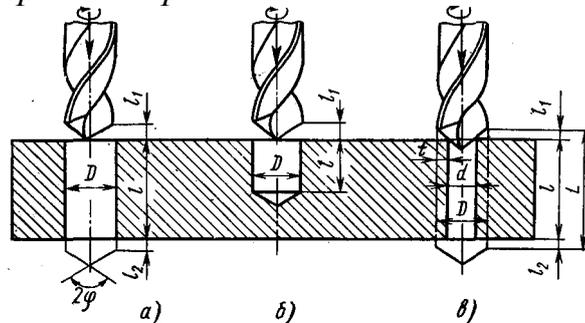


Рисунок 6 – Схема для определения длины прохода сверла: а – при сверлении сквозного отверстия; б – при сверлении глухого отверстия; в – при рассверливании отверстия

$$L = l_1 + l + l_2,$$

где l_1 – величина врезания, мм;
 l – глубина сверления, мм;
 l_2 – величина перебега, мм (1-2 мм).

5. Силы резания и крутящий момент при сверлении. Влияние на них геометрических и конструктивных параметров сверла и условий резания

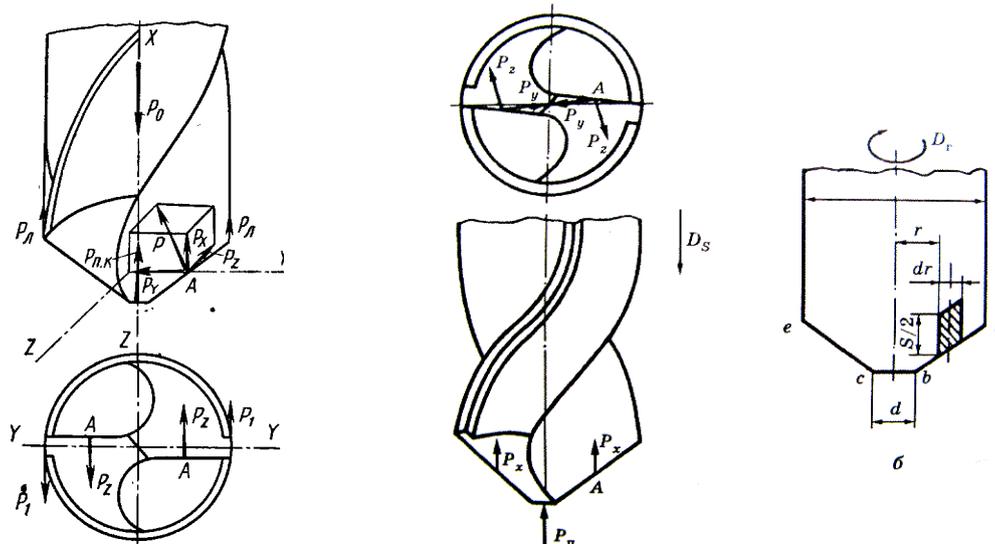


Рисунок 7 – Система сил, действующих на сверло и расчётная схема для определения $M_{кр}$ при сверлении

На каждую режущую кромку сверла действует равнодействующая сил сопротивления P , приложенная в некоторой точке A , которую можно рассматривать как сумму трёх составляющих P_x , P_y и P_z (рисунок 7). На поперечную кромку действует сила $P_{п.к.}$ вдоль оси X , и пара сил, лежащая в плоскости, перпендикулярной к оси сверла; на каждую ленточку действует сила P_1 в плоскости ZY и сила трения ленточки об обработанную поверхность $P_{л.}$ вдоль оси X .

При условии правильной (симметричной) заточки главных режущих кромок и пренебрежения толщиной перемычки равнодействующая сил, действующих по направлению оси Y , равна нулю, так как в этом случае силы P_y , равные по величине и противоположные по направлению, уравниваются.

Действующая вдоль оси сверла равнодействующая сила P_o (сила подачи, которая преодолевается механизмом подачи станка) равна сумме проекций сил, действующих вдоль оси X :

$$P_o = 2P_x + P_{п.к.} + 2P_{л.}$$

где $P_{п.к.}$ – сила, создаваемая при внедрении в материал поперечной кромки;

$P_{л.}$ – сила трения ленточки сверла об обработанную поверхность.

Исследованиями установлено, что на поперечную кромку приходится около 50% силы подачи, т.е. $P_{п.к.} \approx 0,5P_o$.

Суммарный крутящий момент сопротивления M_c , действующий на сверло, складывается из момента от сил P_z , сил $P_{п.к.}$, сил трения на цилиндрических ленточках сверла $P_{л.}$ и определяется как:

$$M_c = M_z + M_{п.к.} + M_{л.}$$

$$M_z = (0,8-0,9)M_c$$

Действующие на сверло в процессе работы осевая сила и крутящий момент являются исходными для расчета сверла и частей станка на прочность и деформацию, а также для определения мощности.

Крутящий момент и сила подачи при сверлении зависят от геометрии сверла, диаметра сверла, подачи, СОЖ и физико-механических свойств обрабатываемого материала:

– увеличение ω до 30° резко влияет на уменьшение крутящего момента и P_o . Происходит это потому, что с увеличением угла ω соответственно увеличивается передний угол сверла, что приводит к уменьшению работы пластической деформации. Увеличение ω до 30° способствует понижению силы подачи, что благоприятно сказывается на прочности сверла в механизме подачи.

– с уменьшением угла 2ϕ P_o уменьшается, а M_c увеличивается. Причина заключается в изменении ширины и толщины срезаемого слоя с изменением угла 2ϕ . Здесь, как и при точении, с уменьшением угла 2ϕ (при том же диаметре сверла) ширина срезаемого слоя увеличивается, а толщина его уменьшается, что приводит к увеличению сил резания, действующих на режущие кромки, а, следовательно, к увеличению крутящего момента.

– увеличение длины перемычки сильно увеличивает величину силы подачи и незначительно крутящего момента. Для уменьшения этой силы уменьшают длину поперечной кромки путем подточки перемычки. Что же касается крутящего момента, то исследованиями установлено, что на величину момента изменение длины поперечной кромки в обычных пределах оказывает весьма небольшое влияние.

– с увеличением диаметра сверла M_c и P_0 увеличиваются. Это связано с тем, что при увеличении диаметра увеличивается глубина резания и соответственно увеличивается общее сечение срезаемого слоя. Изменение диаметра значительно больше влияет на изменение крутящего момента, чем на изменение силы подачи.

– с увеличением подачи сила подачи и крутящий момент возрастают, но в меньшей мере, чем при увеличении диаметра сверла. Можно считать, что увеличение сил сверления с увеличением подачи аналогично увеличению сил резания при точении.

– применение при сверлении СОЖ способствует снижению P_0 и M_c : на 10–35% при обработке пластичных металлов (сталей); на 10–18% при обработке чугуна; на 30–40% при сверлении алюминиевых сплавов по сравнению с обработкой всухую.

Подсчет крутящего момента и силы подачи при сверлении ведут по формулам:

$$M_{кр} = C_M \cdot D^x \cdot S^y \cdot K_p, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$P_0 = C_P \cdot D^x \cdot S^y \cdot K_p, \text{ Н}$$

где C_M и C_P – коэффициенты, зависящие от свойств обрабатываемого материала, геометрии сверла и других условий обработки.

6. Износ и критерий затупления свёрл

Свёрла изнашиваются в результате трения задних поверхностей о поверхность резания, стружки о переднюю поверхность, ленточек об обработанную поверхность и смятия перемычки.

Виды износа сверл: износ по задней и передней поверхностям, износ по уголкам, перемычке и по направляющим ленточкам.

Износ сверла по задней поверхности происходит неравномерно. У поперечной кромки износ меньше, чем у периферии.

Наиболее опасным видом износа у свёрл является износ по уголкам, образуемым режущими кромками и ленточками. Эти места являются наиболее напряженными, так как скорость резания в этих местах сверла наибольшая, наибольшее здесь и выделение тепла и соответственно наблюдается и самый интенсивный, износ.

В качестве критерия затупления принимают: износ по задней поверхности у периферии из 1–1,2 мм; или износ по уголкам 0,5–1,2 мм. При работе с большими подачами – износ перемычки.

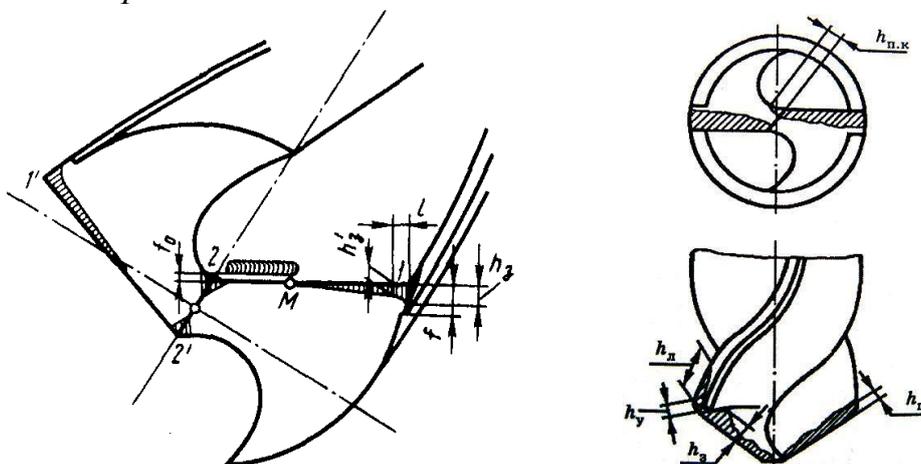


Рисунок 8 – Схема износа свёрл

Износ сверл, оснащенных твёрдым сплавом, при сверлении труднообрабатываемых материалов (жаропрочных и титановых сплавов, а также тугоплавких металлов, например, вольфрама, молибдена и др.) обычно происходит по задним поверхностям. Допустимая величина износа лежит в пределах 0,35–0,5 мм, что и необходимо принимать за критерий затупления.

7. Стойкость сверл. Влияние на стойкость диаметра сверла, подачи, глубины отверстия, формы заточки, жесткости, СОЖ

Под стойкостью сверла понимается время работы сверла до затупления – от переточки до переточки. Как и при точении, взаимосвязь скорости резания и стойкости может быть выражена степенной функцией: $Tv^n = \text{const}$

$$v = \frac{C_v D^x}{T^m S^y} \cdot K_v,$$

Значения коэффициентов приведены в справочниках.

Стойкость сверла неразрывно связана с его износом и зависит от тех же факторов, что и износ: от свойств обрабатываемого материала, материала режущей части, геометрии, диаметра сверла, скорости резания, подачи и глубины.

– влияние диаметра сверла – сверла больших диаметров допускают более высокие нормы стойкости. Объясняется это тем, что при увеличении диаметра увеличивается масса сверла, отводящая тепло от поверхностей трения; увеличивается также объем стружечных канавок, вследствие чего облегчается подвод смазочно-охлаждающей жидкости к режущим кромкам, уменьшается износ сверл.

– влияние подачи на стойкость – с увеличением подачи для сохранения одинаковой стойкости сверла следует соответственно снижать скорость резания.

– с увеличением глубины просверливаемого отверстия стойкость сверла понижается из-за ухудшения теплоотвода, повышения трения стружки о стенки канавок, затруднения подвода СОЖ к режущим кромкам.

Изменяя форму заточки нормальных спиральных свёрл, можно в значительно повысить стойкость сверл и допускаемую ими скорость резания. Это достигается двойной заточкой свёрл, подточкой поперечной кромки (перемычки), подточкой цилиндрической ленточки.

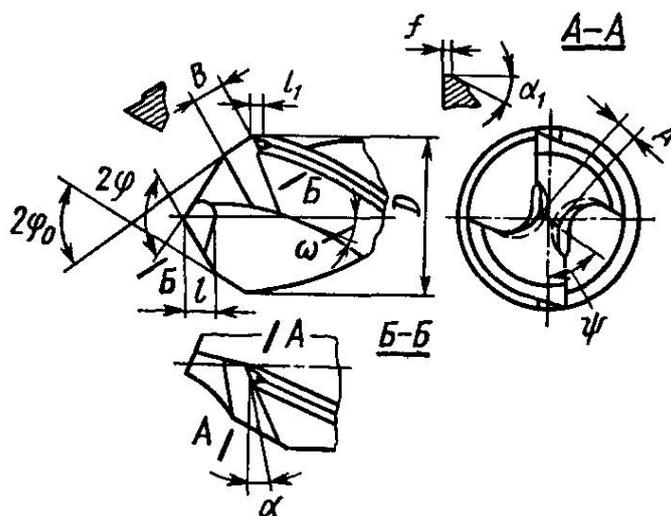


Рисунок 9 – Схема подточки перемычки и цилиндрической ленточки

Подточка перемычки увеличивает передний угол на участках вблизи поперечной кромки, одновременно уменьшает ее длину (размер A, рисунок 9) и увеличивает активную длину режущей кромки, что облегчает процесс деформации и благоприятно влияет на стойкость сверла, которая повышается в 1,5–2 раза.

Цилиндрические ленточки сверла, предназначенные для направления сверла в процессе резания, не имеют заднего угла и создают значительное трение. Опыты показывают, что для уменьшения трения и облегчения процесса сверления целесообразно для образования заднего угла подтачивать цилиндрическую ленточку на длине 1,5–4 мм, оставляя ее шириной 0,2–0,4 мм. Задний угол на этом участке ленточки 6–8°. Такая подточка (затылование) цилиндрической ленточки снижает трение, повышая тем самым стойкость сверл и допускаемую им скорость резания на 10–15%.

Увеличение жёсткости свёрл путем уменьшения их длины до 10D и утолщения сердцевины приводит к увеличению стойкости сверл в 5–10 раз.

Применение СОЖ улучшает теплоотвод, что позволяет повысить стойкость и допустимые скорости резания в 1,4–1,5. Особенно эффективно охлаждение при обработке материалов, отличающихся низкой теплопроводностью, к таким материалам относятся жаропрочные и титановые сплавы.

Тема 10: Фрезерование

1. Конструкция и геометрия цилиндрических и торцовых фрез

Фрезерование является производительным и универсальным технологическим способом обработки плоских и фасонных поверхностей резанием. В машиностроении фрезерованием обрабатываются: горизонтальные, вертикальные и наклонные плоскости на различных по размерам и форме заготовках, уступы, канавки прямоугольного и профильного сечения, расположенные в плоскости, и пространственные (винтовые) пазы, прорезы, шлицы, фасонные поверхности

различных профилей с прямолинейными и криволинейными образующими, зубчатые венцы, резьбовые поверхности и др.

Фреза – многозубый режущий инструмент, выполненный в виде тела вращения, на образующей поверхности которого или торце расположены режущие кромки.

Несмотря на многообразие фрез, схема их работы соответствует цилиндрическому или торцовому фрезерованию.

При торцовом фрезеровании ось фрезы перпендикулярна к обработанной поверхности. Кроме зубьев, расположенных на цилиндрической поверхности, работают зубья, имеющиеся на торцовой поверхности.

При цилиндрическом фрезеровании ось фрезы параллельна обрабатываемой поверхности, работа производится зубьями, расположенными на цилиндрической поверхности фрезы.

Цилиндрическая фреза – это цилиндрическое тело, на поверхности которого в продольном направлении прорезаны канавки для размещения стружки. На пересечении канавки с цилиндрической поверхностью образуются режущие кромки. Для более плавной работы фрезы и увеличения числа одновременно работающих зубьев стружечные канавки делают винтовыми. Часть стружечной канавки у режущей кромки является передней поверхностью фрезы, а поверхность цилиндра – задней.

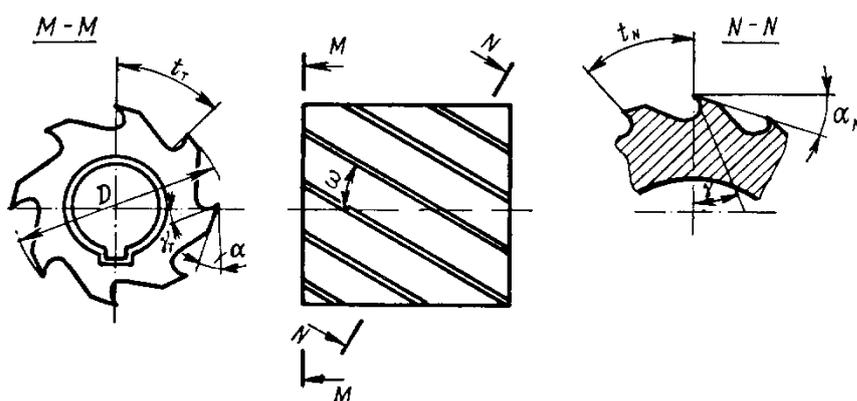


Рисунок 1 – Геометрические параметры цилиндрических фрез

Главный передний угол фрезы γ – угол между передней поверхностью и основной плоскостью, проходящей через ось фрезы и рассматриваемую точку режущей кромки. Обеспечивает сход стружки по передней поверхности и измеряется в плоскости, перпендикулярной к режущей кромке. В этой же плоскости рассматривают задний угол α_N .

Главный задний угол фрезы α – угол между касательной к ее задней поверхности и касательной к траектории движения рассматриваемой точки вокруг оси вращения фрезы. Траектория движения рассматриваемой точки режущей кромки, определяющая положение плоскости резания, принимается за дугу окружности, поэтому главный задний угол фрезы измеряется в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы. В этой плоскости рассматривается также передний угол фрезы γ_T .

Угол наклона винтовой канавки ω – угол наклона режущих кромок к оси фрезы.

У торцовых фрез зубья подобны проходным резцам. В резании, кроме главной, участвует вспомогательная режущая кромка.

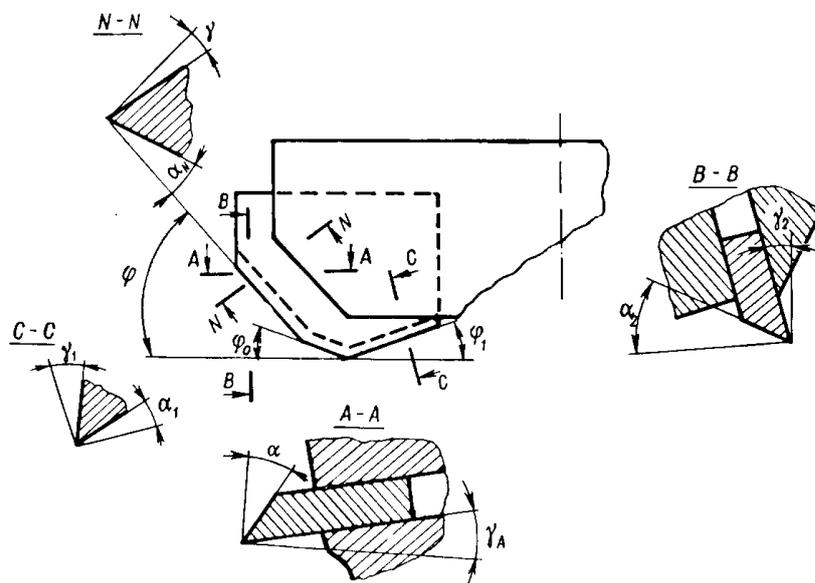


Рисунок 2 – Геометрические параметры торцовой фрезы

Зуб фрезы имеет углы в плане φ , φ_1 , ε .

Главный угол в плане φ – угол между плоскостью резания и рабочей плоскостью.

φ – определяет параметры среза и соответственно и стойкость фрезы, а также составляющие силы резания.

Вспомогательный угол в плане φ_1 – угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и рабочей плоскостью.

$\varphi_1 = 5 \dots 10$ – определяет шероховатость поверхности (чем меньше, тем лучше).

У вершины каждого зуба для упрочнения и улучшения условий теплоотвода затачивают переходную режущую кромку под углом $\varphi_0 = \varphi/2$.

Главный передний угол γ – угол между касательной к передней поверхности зуба фрезы и основной плоскостью. Он измеряется в плоскости схода стружки N-N, принимаемой в направлении, перпендикулярном к режущей кромке.

Главный задний угол α – угол между касательной к задней поверхности зуба фрезы и плоскостью резания, измеряется в плоскости A-A, перпендикулярной к оси фрезы, в которой лежит траектория движения точки режущей кромки.

В секущей плоскости C-C, перпендикулярной вспомогательной режущей кромки, измеряется вспомогательные передний γ_1 , и задний углы α_1 .

2. Элементы режима резания при фрезеровании (скорость резания, подача, глубина и ширина фрезерования, угол контакта фрезы, толщина и ширина среза, сечение среза для цилиндрических фрез с прямыми и винтовыми зубьями, основное время)

Фрезерование характеризуется следующими элементами режима резания:

Скорость резания v – окружная скорость наиболее удалённой от оси вращения точки режущей кромки фрезы. Определяется по формуле:

$$v = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ м/мин}$$

где D – наружный диаметр фрезы в мм;
 n – частота вращения фрезы в мин^{-1} .

Подача S – скорость перемещения обрабатываемой заготовки относительно фрезы. Существует три способа оценки величины подачи:

– минутная подача S_M – величина относительно перемещения фрезы и заготовки за 1 мин (мм/мин);

– за один оборот фрезы S_o – величина относительного перемещения фрезы или заготовки за один оборот фрезы;

– на один зуб фрезы S_z – величина относительного перемещения фрезы или заготовки при повороте фрезы на один угловой шаг;

$$S_M = S_o \cdot n = S_z \cdot z \cdot n,$$

Глубина резания t (мм) – представляет собой расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное перпендикулярно последней.

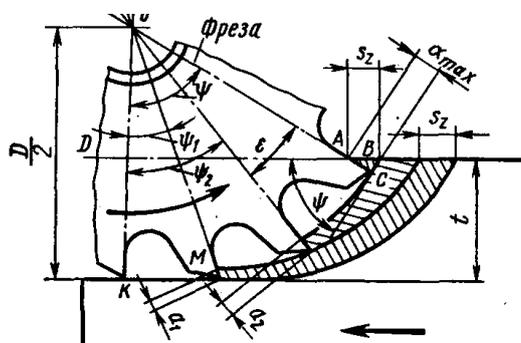


Рисунок 3 – Элементы режима резания и срезаемого слоя при фрезеровании

Угол контакта фрезы ψ – центральный угол, соответствующий дуге соприкосновения фрезы с заготовкой. С увеличением глубины ψ растет, увеличением диаметра – уменьшается. Из геометрических соотношений для цилиндрических, дисковых и концевых фрез определяется по формуле:

$$\cos \psi = \frac{D/2 - t}{D/2} = 1 - \frac{2t}{D},$$

Ширина фрезерования B – ширина обрабатываемой поверхности в направлении, параллельном оси фрезы.

Толщина срезаемого слоя a – длина нормали к поверхности резания, проведённой через рассматриваемую точку режущей кромки. Является переменной величиной: в момент входа зуба в контакт с обрабатываемой заготовкой толщина среза будет наименьшая, а при выходе зуба из контакта – наибольшая:

$$a_i = S_z \cdot \sin \psi_i; \quad a_{\text{max}} = S_z \cdot \sin \psi,$$

Ширина среза b – длина соприкосновения режущей кромки зуба с обрабатываемой заготовкой. Для прямозубой фрезы ширина среза равна ширине фрезерования, т. е. $b = B$.

На рисунке 4 показана развертка цилиндрической фрезы с винтовыми зубьями. Одновременно в работе участвует несколько зубьев, причем ширина и толщина среза различны как по длине дуги контакта, так и по длине зуба. Толщина среза для фрезы с винтовыми зубьями подсчитывается по той же формуле, что и для прямозубой фрезы, и не зависит от угла наклона зуба, т. е. $a = S_z \cdot \sin \psi_i$

Так как у фрезы с винтовыми зубьями положение каждого зуба определяется двумя мгновенными углами контакта, то и толщина среза в точках входа и выхода зуба: $a_1 = S_z \cdot \sin \psi_1$ и $a_2 = S_z \cdot \sin \psi_2$

При работе цилиндрической фрезой с винтовыми зубьями ширина срезаемого слоя, снимаемого каждым зубом, отличается от ширины фрезерования и является для каждого зуба величиной переменной.

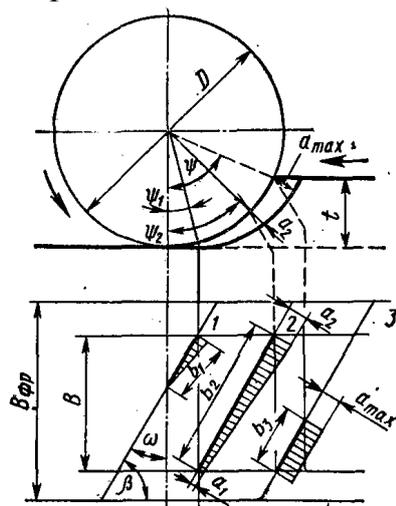


Рисунок 4 – Схема для определения ширины срезаемого слоя при работе цилиндрической фрезой с винтовыми зубьями

Мгновенная ширина срезаемого слоя определяется следующим образом:

$$O1 = \frac{\pi D \cdot \psi_1}{360^\circ}; \quad O2 = \frac{\pi D \cdot \psi_2}{360^\circ}; \quad \Rightarrow \quad l_2 = \frac{\pi D \cdot (\psi_2 - \psi_1)}{360^\circ} \Rightarrow$$

$$b = \frac{\pi D \cdot (\psi_2 - \psi_1)}{360^\circ \cdot \sin \omega}$$

где ψ_1 и ψ_2 – мгновенные углы контакта при разных положениях зуба.

Площадь поперечного сечения среза f – для одного зуба прямозубой фрезы в данный момент определяется по формуле:

$$f_z = a \cdot B = S_z \cdot \sin \psi_i \cdot B, \text{ мм}^2$$

Так как мгновенный угол контакта – величина переменная, то переменной будет и площадь поперечного сечения среза (см. рисунок 3). Максимальное сечение среза для одного зуба соответствует моменту выхода зуба из контакта, т. е.

$$f_{\max} = B \cdot S_z \cdot \sin \psi = 2BS_z \sqrt{\frac{t}{D} - \frac{t^2}{D^2}}, \text{ мм}^2$$

Зная полный угол контакта ψ и число зубьев фрезы z , определим число зубьев прямозубой цилиндрической фрезы, одновременно находящихся в работе:

$$k = \frac{\Psi}{\varepsilon} = \frac{\Psi Z}{360^\circ}$$

$$\text{Для винтовых зубьев } k = \frac{\Psi}{360^\circ} + \frac{Bz}{\pi D \operatorname{ctg} \omega}$$

где ε - угловой шаг фрезы в градусах.

При участии в контакте нескольких зубьев суммарная площадь сечения среза:

$$f_c = f_1 + f_2 + \dots + f_n$$

$$\text{Для прямозубой фрезы } f_c = BS_z \sum_{i=1}^n \sin \psi_i$$

Суммарное поперечное сечение среза у прямозубых фрез резко уменьшается при выходе зуба из контакта с заготовкой, поэтому они работают не плавно и в настоящее время применяются мало.

Для определения f_c при винтовых зубьях рассмотрим следующую схему

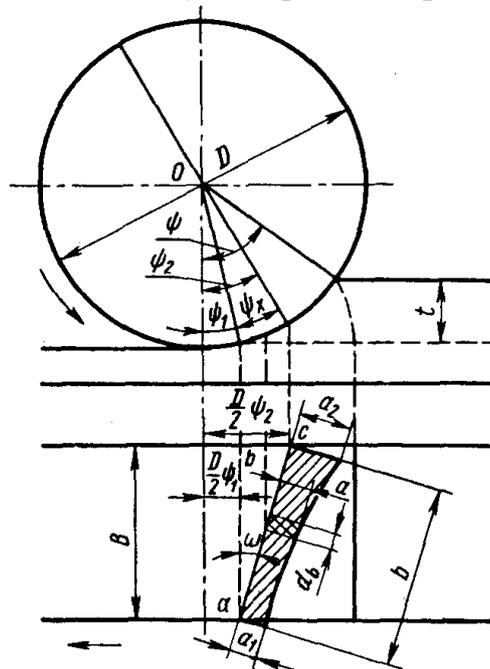


Рисунок 5 – Расчётная схема к определению площади среза цилиндрической фрезой с винтовыми зубьями

Элементарная площадь поперечного сечения среза $df = db \cdot a$. Из треугольника abc следует, что

$$b = \frac{D(\psi_2 - \psi_1)}{2 \sin \omega}$$

$$\text{Обозначим } \psi_x = \psi_2 - \psi_1, \text{ тогда } b = \frac{D \cdot \psi_x}{2 \sin \omega} \Rightarrow db = \frac{D}{2 \sin \omega} d\psi_x$$

Сечение среза, приходящегося на бесконечно малый элемент длины зуба:

$$df = db \cdot a = db \cdot S_z \cdot \sin \psi_x \Rightarrow df = \frac{D \cdot S_z}{2 \sin \omega} \sin \psi_x d\psi_x$$

Для нахождения сечения среза, приходящегося на весь зуб, интегрируем последнее выражение в пределах наименьшего и наибольшего угла зацепления, т. е.

$$f = \int_{\psi_1}^{\psi_2} \frac{D \cdot S_z}{2 \sin \omega} \sin \psi_x d\psi_x = \frac{D \cdot S_z}{2 \sin \omega} \int_{\psi_1}^{\psi_2} \sin \psi_x d\psi_x$$

Окончательно получим

$$f = \frac{D \cdot S_z}{2 \sin \omega} (\cos \psi_1 - \cos \psi_2)$$

Если в работе находятся k зубьев, то суммарная площадь сечения среза:

$$f_{\Sigma} = \frac{D \cdot S_z}{2 \sin \omega} \sum_{i=1}^n (\cos \psi_{1i} - \cos \psi_{2i})$$

При обработке плоскостей торцовыми фрезами, имеющими режущие кромки, расположенные и на торце, и на цилиндрической поверхности, основную работу резания производят режущие кромки на цилиндрической поверхности, режущие кромки, расположенные на торце, лишь зачищают обработанную поверхность. Шероховатость обработанной поверхности получается меньше, чем при фрезеровании цилиндрическими фрезами.

В зависимости от расположения оси торцовой и концевой фрез относительно обрабатываемой поверхности различают:

- симметричное (когда ось торцовой фрезы расположена симметрично относительно средней линии обрабатываемой поверхности);
- несимметричное (ось фрезы смещена).

Угол контакта ψ можно определить как

$$\psi = 2 \arcsin \frac{B}{D},$$

Толщина срезаемого слоя при полном торцовом фрезеровании изменяется от нуля при входе зуба в контакт до максимума при $\psi = 90^\circ$.

$$a_x = S_z \cdot \sin \psi_x \cdot \sin \varphi,$$

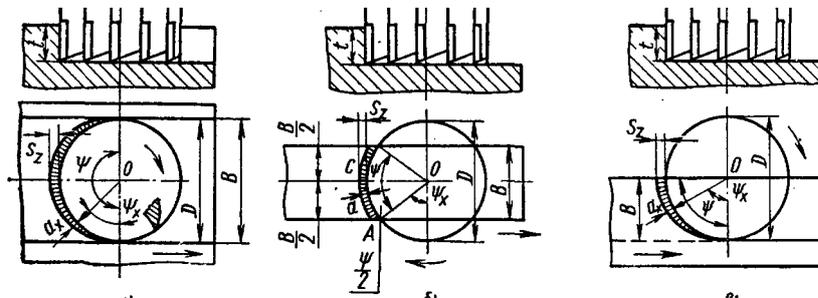


Рисунок 6 – Схемы торцового фрезерования

Глубина резания t при торцовом фрезеровании – величина металла, снимаемого фрезой, измеряется в плоскости, параллельной оси фрезы.

Ширина среза b определяется по формуле:

$$b = \frac{t}{\sin \varphi \cos \lambda}, \text{ мм}$$

где λ – угол наклона главной режущей кромки, подчиняется определению для резов

Основное технологическое время, затрачиваемое на обработку одной детали:

$$T_0 = \frac{l_1 + l + l_2}{S_M}, \text{ мин}$$

где l – длина обработки;

l_1 – длина врезания;
 l_2 – длина перебега.

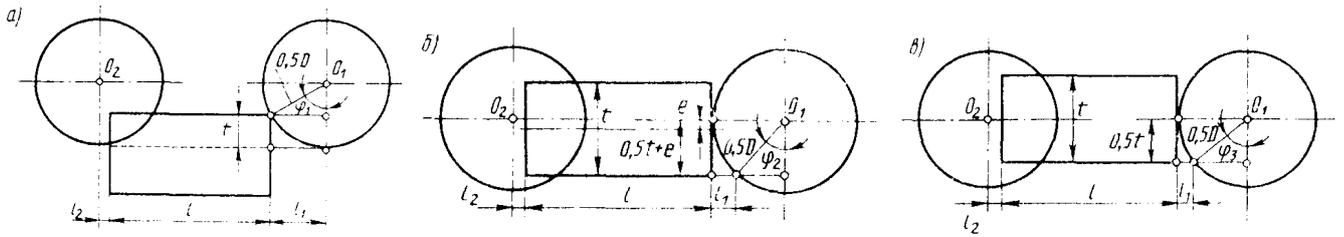


Рисунок 7 – Схемы для определения величин l_1 и l_2

Длина врезания зависит от параметров фрезы и поверхности, а перебега – нормами на выключение механизма подачи (1...2 мм).

3. Особенности встречного и попутного фрезерования

Встречное фрезерование (против подачи) – когда толщина среза изменяется от 0 до максимума, нагрузка на зуб увеличивается постепенно. Недостатки: большое трение в результате скольжения зуба по наклепанному слою, возникающие силы стремятся оторвать заготовку от стола, увеличиваются вибрации.

Попутное (по подаче) – зуб сразу подвергается максимальной нагрузке, нельзя применять данный метод при обработке по корке (например, после литья). По сравнению с первым методом: меньше скольжение и трение, а значит и стойкость; улучшается точность и шероховатость; снижаются вибрации, снижается мощность.

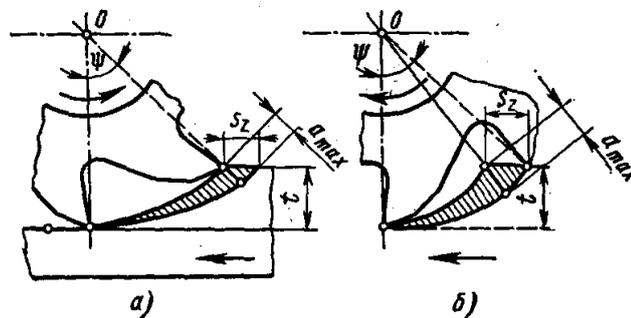


Рисунок 8 – Схема встречного (а) и попутного (б) фрезерования

4. Условие равномерности цилиндрического фрезерования

Поскольку сечение среза каждым зубом является переменной величиной, необходимо обеспечить, чтобы суммарная величина среза в каждый момент времени была постоянной. Это возможно, когда осевой шаг фрезы укладывается в ширине фрезерования целое число раз, т.е.

$$B = k \cdot h_0,$$

где h_0 – осевой шаг зубьев фрезы, мм.

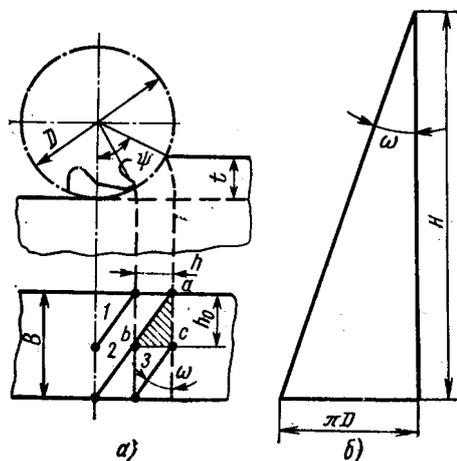


Рисунок 9 – Схема для определения условия равномерности фрезерования

$$h_o = h \cdot \text{ctg}\omega,$$

где h – торцовый шаг, мм.

Так как $h = \frac{\pi D}{z}$, то $h_o = \frac{\pi D}{z} \text{ctg}\omega$

Следовательно $k = \frac{Bz}{\pi D \text{ctg}\omega}$

5. Силы и мощность при фрезеровании

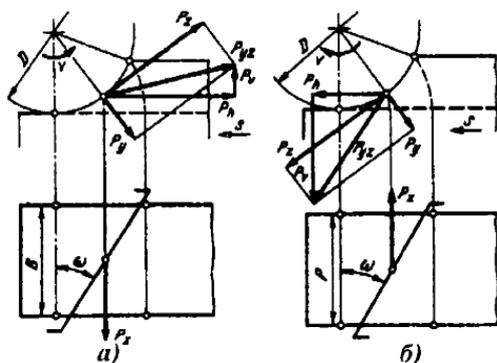


Рисунок 10 – Составляющие силы резания при фрезеровании цилиндрической фрезой: а) встречном фрезеровании; б) попутном.

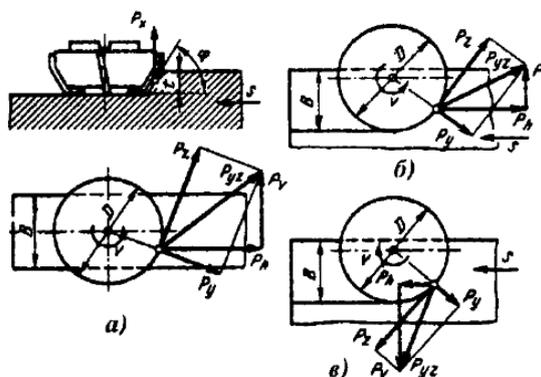


Рисунок 11 – Составляющие силы резания при торцовом фрезеровании: а) симметричном; б) несимметричном встречном; в) несим. Попутном

Силу R_1 , которая преодолевает сопротивление резанию, можно разложить на две составляющие: окружную силу P_z , действующую по касательной к траектории движения режущего лезвия и радиальную P_y . Также эту же равнодействующую силу можно разложить на горизонтальную P_h и вертикальную P_v составляющие силы. Если фреза имеет винтовые зубья, то наряду с силой R_1 , действующей на зуб в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы, возникает осевая сила P_x .

P_z – окружная сила – по ней определяют крутящий момент на шпинделе и эффективную мощность;

P_y – радиальная сила – действует на опоры шпинделя, изгибает оправку фрезы, $(0,6 \dots 0,8)P_z$;

P_x – осевая сила – действует на подшипники шпинделя, элементы крепления заготовки, $(0,35 \dots 0,55)P_z$.

P_h – горизонтальная сила или сила подачи – рассчитывают детали механизма подачи и приспособления для закрепления заготовки. Также эта сила может вызвать вибрации при наличии люфтов в паре винт-гайка.

P_v – вертикальная сила – стремится при встречном фрезеровании оторвать заготовку от стола и приподнять стол над направляющими станины.

По составляющей P_{yz} рассчитывают оправку фрезы на изгиб.

Для расчета сил используют эмпирическую формулу:

$$P_z = \frac{10C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_p, H$$

Остальные составляющие определяются по справочным данным в долях P_z .

Крутящий момент на шпинделе:

$$M_{кр} = \frac{P_z D}{2 \cdot 100}, H \cdot m$$

где D – диаметр фрезы, мм.

Эффективная мощность резания:

$$N_э = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}, кВт$$

6. Износ и стойкость фрез

При обработке сталей износ цилиндрических, концевых, дисковых фрез происходит по задней поверхности, при обработке чугуна – по передней.

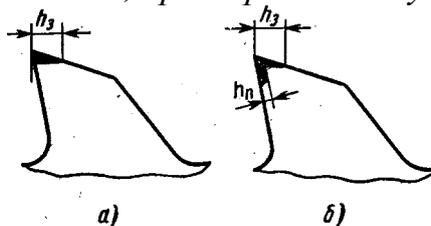


Рисунок 12 – Схема износа зубьев цилиндрической фрезы: а – по задней поверхности; б – по задней и передней поверхностям.

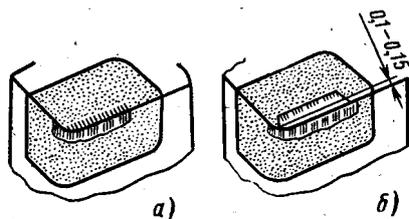


Рисунок 13 – Схема износа зубьев торцевой фрезы: а – по задней поверхности; б – по задней и передней поверхностям

При обработке стали с толщиной среза $a < 0,1$ мм торцовые фрезы изнашиваются по задней поверхности, а с толщиной среза $a > 0,1$ мм – по задней и передней поверхностям. В последнем случае на задней поверхности образуется ленточка износа с задним углом, равным нулю, а на передней поверхности – лунка на расстоянии $0,1-0,15$ мм от режущей кромки.

При обработке титановых и жаропрочных материалов происходит образование лунки на передней поверхности у режущей кромки. Лунка опускается и на заднюю поверхность, в связи с чем фактический передний угол становится отрицательным.

Скорость резания, допускаемая фрезой, зависит от свойств обрабатываемого материала и материала режущей части фрезы, от элементов режима резания, конструкции и геометрии режущей части фрезы.

Общая структурная формула скорости резания при фрезеровании имеет вид:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v$$

Влияние подачи s . При увеличении s растет толщина среза, работа деформации и трение, что приводит к снижению стойкости и допускаемой скорости резания. Увеличение глубины влияет аналогично.

Влияние диаметра D и числа зубьев фрезы z . При увеличении D уменьшается толщина среза и снижается нагрузка на режущую кромку фрезы. Изменяются также длина дуги контакта, шаг зубьев и масса фрезы. С уменьшением z также увеличивается масса каждого зуба; все это приводит к лучшему теплоотводу и увеличению стойкости фрезы и к повышению скорости резания.

При увеличении ширины фрезерования стойкость и скорость резания уменьшаются, так как растёт суммарная площадь поперечного сечения среза, работа, тепловыделение.

Тема 11: Особенности процессов абразивной обработки

1. Назначение и особенности абразивной обработки

Шлифование – технологический способ обработки металлов, позволяющий получать на деталях поверхности высокого качества с точностью по 6–7-му квалитетам и с шероховатостью $Ra = 0,08...0,32$ мкм. Признаком, позволяющим квалифицировать шлифование как один из способов обработки резанием, является образование стружки, срезаемой в процессе обработки.

В отличие от ранее рассмотренных инструментов, лезвия которых имеют определенную чертежом форму и размеры, шлифовальные круги режут абразивными зёрнами из минералов и сверхтвёрдых материалов, имеющими случайную форму и взаимное расположение.

Особенностью шлифования является срезание каждым абразивным зёрном как режущим зубом небольшого слоя металла, в результате чего на поверхности детали остается царапина ограниченной длины и весьма малой площади поперечного

сечения. Обработанная шлифованием поверхность детали образована совокупностью множества царапин – следов резания абразивных зерен, расположенных на режущей поверхности шлифовального круга.

Геометрические параметры поверхностей на режущих лезвиях зерен имеют случайный характер, однако, у всех зерен передний угол отрицательный (рисунок 1). При этом часть зерен снимает стружку, другая часть из-за меньшей глубины резания – осуществляет пластическое либо упруго-пластическое деформирование. Это приводит к возникновению наклепа и остаточных напряжений.

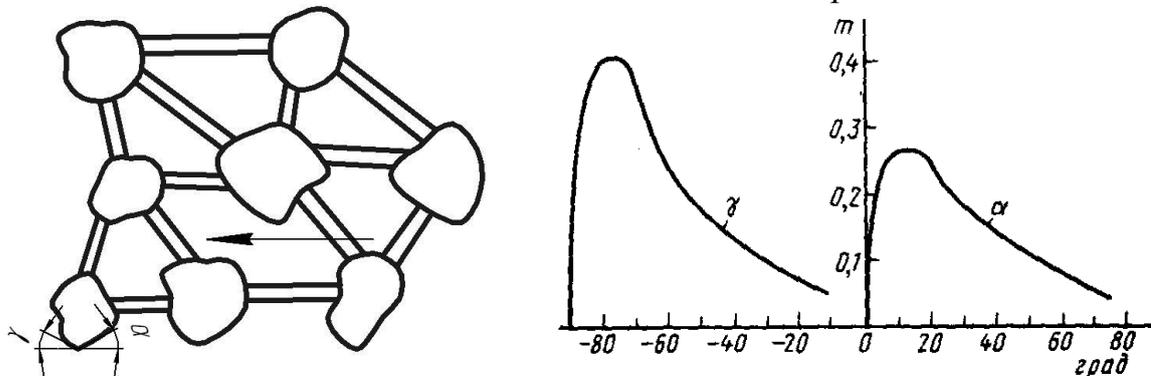


Рисунок 1 – Структура круга и относительная частота передних γ и задних α углов на режущих лезвиях абразивных зёрен

2. Характеристики абразивных инструментов (материал зерен, их величина, вид связки, твердость, структура, форма и размеры)

Абразивные инструменты характеризуются материалом зерен, их величиной, видом связки, твердостью, структурой, формой и размерами.

Для нормальной работы круга между абразивными зёрнами и связующими веществами должны оставаться поры, играющие роль впадин между зубьями для размещения стружки.

Под структурой шлифовального круга понимается его внутреннее строение, т.е. процентное соотношение и относительное расположение зерен, связки и пор в единице объёма круга.

Основой системы структур является содержание абразивных зерен в единице объёма инструмента:

Номер структуры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Содержание зерен, %	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38

В зависимости от содержания абразивных зерен в объёме шлифовального круга их структура бывает плотной (№1-4), средние (№5-8), открытые (№9-12).

Плотные структуры имеют ограниченный объём для размещения стружки и применяются для доводочных операций, открытые – больше места – для шлифования на любых режимах.

Форма шлифовальных кругов определяется видом шлифования.

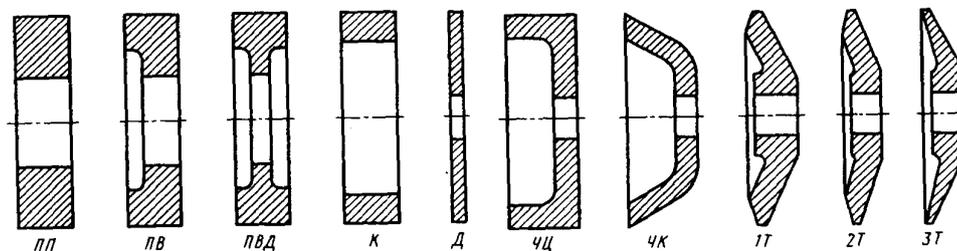


Рисунок 2 – Профили (форма) шлифовальных кругов

Абразивные зёрна могут быть природного происхождения или чаще искусственные. Наиболее часто используются:

Электрокорунды – вещества на основе оксида алюминия Al_2O_3 с различными примесями. Бывают электрокорунд нормальный 12А...16А; белый – 22А...25А; хромистый – 32А...34А, титанистый – 37А.

Карбиды кремния и бора – вещества на основе SiC и B_4C . Имеют высокую хрупкость и ограниченную прочность. Применяется для доводочных работ.

Природные и синтетические алмазы – имеют наиболее высокую твердость.

Кубический нитрид бора – для шлифования режущего инструмента.

Материалы зёрен различаются абразивной способностью, характеризуемой отношением массы снятого материала к массе израсходованного материала круга. Алмаз 1,0; Карбид бора – 0,7; Карбид кремния 55С – 0,55; Электрокорунд белый 24А – 0,2; титанистый – 37А – 0,15.

Размер зёрен определяется понятием зернистость. Абразивные зёрна в зависимости от размеров делятся на шлифзёрна, шлифпорошки и микропорошки. Внутри каждой из групп разделение по размерам производится по номерам зернистости: шлифзёрно – 200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32, 25, 20, 16; шлифпорошки – 12, 10, 8, 6, 5, 4, 3; микропорошки – М63, М50, М40, М28, М20, М14; тонкие микропорошки – М10, М7, М5.

Совокупность абразивных зёрен шлифовального материала в установленном интервале размеров называют фракцией. Фракцию, преобладающую по массе, объёму или числу зёрен, называют основной. Цифровое обозначение зернистости в зависимости от процентного содержания основной фракции дополняют буквенным индексом: В (60...55% основной фракции), П (55...45%), Н (45...40%), Д (43...39%).

Для закрепления зёрен в инструменте, придания ему необходимой формы и размеров предназначены связи:

Неорганические связи:

– керамические, получаемые из стекла, полевого шпата и других минералов.

Обозначаются К1...К8. Круги на данной связке влаго- и температуроустойчивы, обладают высокой химической стойкостью, обеспечивают высокую производительность, но не могут работать с ударными нагрузками.

– магнезиальная связка (М) – смесь каустического магнезита и раствора хлористого магния, гигроскопична, круги быстро изнашиваются и теряют профиль, но работают с небольшим нагревом обрабатываемой поверхности.

– силикатная связка (С) – основное связующее вещество – растворимое стекло (силикат натрия) прочность намного ниже, чем у керамической связки, но тепловыделение при шлифовании минимальное.

Органические связки, получаемые из синтетических смол:

– бакелитовые В1, В2, В3 на основе фенолоформальдегидной смолы, обладает высокой прочностью, твёрдостью и упругостью, можно получить круги толщиной до 1 мм;

– вулканитовые В1, В2 и В3 – на основе каучука и серы. Теплостойкость каучука низкая (150... 180°С), и это ограничивает режимы шлифования и требует применения жидкостей для охлаждения. Вместе с тем вулканитовая связка придает шлифовальным кругам большую эластичность и способность, изгибаясь, выдерживать без разрушения боковые нагрузки. Эти качества вулканитовой связки позволяют изготавливать тонкостенные шлифовальные круги, в частности, дисковой формы. Они применяются для шлифования узких криволинейных пазов в деталях и инструментах. Шлифовальные круги на связке В2 позволяют шлифовать резьбы с малым шагом. В процессе шлифования часть каучука выгорает, распространяя запах горелой резины.

– глифталевые связки получают на основе синтетической смолы из глицерина и фталиевого ангидрида. Шлифовальные круги на глифталевой связке применяют при отделочном шлифовании закаленных сталей.

Металлические связки – порошковые и гальванические, получают спеканием порошков из медных и алюминиевых сплавов или методом гальванического закрепления зерен на металлическом корпусе, соответственно. Применяются только для алмазных или эльборовых кругов. Обладают высокой механической прочностью и незначительной пористостью.

Связка охватывает зерна практически со всех сторон и надежно удерживает их в монолите и, несмотря на их значительный износ, препятствует самозатачиванию круга. Поэтому на металлической связке изготавливают только алмазные и эльборовые круги, зерна которых обладают высокой износостойкостью.

Твёрдость шлифовального круга – способность связки удерживать абразивные зёрна от вырывания их с поверхности круга под действием внешних сил. Бывают мягкие (М1...М3), среднемягкие (СМ1, СМ2), средние (С1, С2), среднетвёрдые (СТ1...СТ3), твёрдые (Т1, Т2) и весьма твёрдые (ВТ1, ВТ2) и чрезвычайно твердые (ЧТ1, ЧТ2).

Чем меньше твёрдость абразивных инструментов, тем слабее сцепление между зёрнами и связкой и тем легче отдельные зерна под действием внешних сил могут быть вырваны из режущей поверхности круга. По мере возрастания сил сцепления между зёрнами и связкой возрастает и сопротивление разрушениям под действием внешних сил.

Шлифование твёрдых материалов с повышенными истирающими свойствами ведут мягкими шлифовальными кругами. Чем мягче обрабатываемый материал, тем тверже выбирают круги.

Например, заточка твёрдосплавных инструментов ведется кругами с твердостью М2...СМ2. Шлифование термообработанных сталей твердостью HRC 50...65 ведут электрокорундовыми кругами с твердостью СМ и С; шлифование незакалённых ста-

лей и чугунов – электрокорундовыми кругами с твердостью СТ, а сплавов алюминия и меди – кругами с твердостью Т1.

Состояние шлифовального круга, характеризующееся таким распределением масс, которое во время вращения вызывает переменные нагрузки на опорах шпинделя станка называют неуравновешенностью круга. *В зависимости от допустимых неуравновешенных масс для шлифовальных кругов установлено четыре класса неуравновешенности, обозначаемых цифрами 1, 2, 3, 4.*

В зависимости от величин, характеризующих абразивный инструмент в нормативно-технической документации по предельным отклонениям размеров, формы и расположения, устанавливают классы точности абразивного инструмента: АА, А, Б. Величины предельных отклонений зависят от номинальных размеров инструментов по наружному диаметру D, высоте H, диаметру посадочного отверстия d.

При маркировке абразивных инструментов последовательно указываются в определенном порядке все его характеристики: форма, размеры, абразивный материал, зернистость, индекс зернистости, твердость, вид связки, допускаемая окружная скорость, класс неуравновешенности, класс точности.

ПП 500x63x203 24А 20-П СМ1 5 К8 35 м/с 1 кл А ГОСТ 2424-83

3. Работа шлифовального круга в режиме затупления и самозатачивания

Изнашивание рабочей поверхности круга при шлифовании является сложным физико-химическим и механическим процессом, протекание которого зависит от всех условий обработки: характеристики круга, свойств обрабатываемого материала, режима резания и др. В зависимости от этого круги могут работать с самозатачиванием и затуплением.

Затупление круга происходит в результате обламывания «невыгодно» расположенных шлифующих зёрен, последовательного их расщепления и образования площадок износа, когда зёрна теряют свои режущие свойства.

Самозатачивание круга заключается в том, что по мере затупления шлифующих зёрен возросшее сопротивление резанию вырывает (полностью или частично) их из связки, которая выкрашивается; при этом в работу вступают новые зёрна, в результате чего рабочая поверхность круга непрерывно обновляется. Самозатачивание сопровождается уменьшением размеров круга. Способность к самозатачиванию является отличительным свойством шлифовального круга.

Обычно круги работают с затуплением, а не с самозатачиванием. С самозатачиванием работают мягкие круги, предназначенные для обработки твёрдых материалов. При высоких требованиях к точности формы детали (при чистовом шлифовании фасонных деталей методом врезания) самозатачивание вредно, так как при работе круг очень быстро теряет необходимую форму профиля. В случае, когда необходимо обеспечить высокопроизводительное бесприжоговое шлифование, самозатачивание круга желательно.

4. Основные виды шлифования

Виды шлифования и элементы режима резания:

Главное движение – вращение круга (м/с);

Подачи:

– окружная – вращение заготовки (м/мин);

– продольная – перемещение заготовки вдоль оси круга (мм/об);

– поперечная – перемещение заготовки на часть или все величину глубины шлифования (мм/дв.ход).

Шлифование осуществляется за один или несколько двойных ходов.

При некоторых видах шлифования используются не все виды подач (врезное – нет продольной) либо другие виды (плоское – вертикальная).

Для повышения точности обработки и качества поверхности применяют выхаживающие ходы без поперечной подачи (устраняют недосрез припуска из-за упругого восстановления поверхностного слоя детали).

Различают следующие виды шлифования: круглое наружное и внутреннее методом продольной подачи и врезное, глубинное; бесцентровое наружное и внутреннее; плоское периферией и торцем круга.

Круглое наружное шлифование с продольной подачей (рисунок 3, а) применяется при обработке протяжённых поверхностей. Поперечная подача $S_{\text{П}} = t$ – подача в направлении снятия припуска. Продольная подача $S_{\text{ПР}}$ устанавливается на двойной или один ход обрабатываемой детали, либо круга.

Глубинное шлифование (рисунок 3, б) применяют при обработке жестких коротких деталей со снятием припуска (до 0,4 мм) за один проход. Продольная подача выбирается в пределах 1...6 мм за оборот детали. Чем больше диаметр обрабатываемой детали, тем большее значение $S_{\text{ПР}}$ принимается. Основную работу резания выполняет коническая часть круга, а цилиндрическая только зачищает обрабатываемую поверхность.

Шлифование методом врезания чаще всего применяют при обработке кругом фасонных (рисунок 3, г), а также коротких жестких деталей (рисунок 3, в). Поперечная подача при этом принимается равной 0,002...0,005 мм/об. Иногда задается минутная подача 0,8...3 мм/мин.

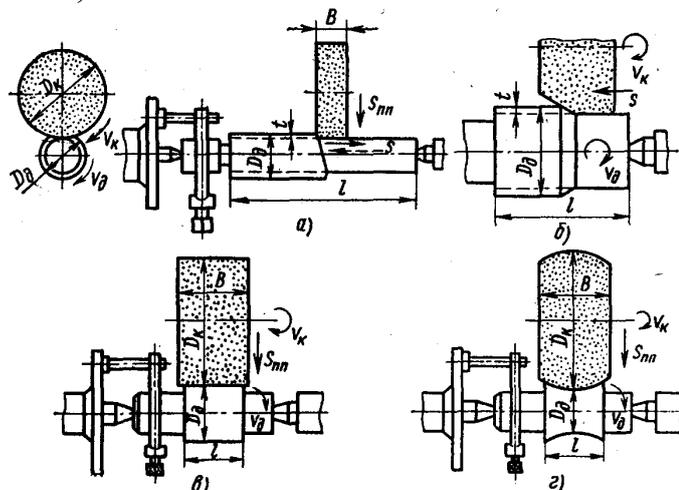


Рисунок 3 – Схемы наружного круглого шлифования в центрах: а – методом продольной подачи; б – глубинное; в – методом врезания (с поперечной подачей); г – фасонных поверхностей методом врезания

Внутреннее круглое шлифование может осуществляться обычным (рисунок 4, а) и планетарным (рисунок 4, б) способами. В первом случае деталь закрепляется в патроне и получает вращательное движение; круг вращается и имеет возвратно-поступательное движение S и поперечную подачу $S_{пп}$ на каждый двойной ход.

При планетарном способе внутреннего шлифования деталь неподвижна, а все движения осуществляются кругом. Метод применяется при обработке крупных и тяжелых деталей. Шлифовальный шпиндель станка имеет четыре движения:

- 1) вокруг своей оси со скоростью круга до 35 м/с;
- 2) планетарное вокруг оси обрабатыв. отверстия со скоростью 40...60 м/мин;
- 3) возвратно-поступательное вдоль оси изделия, измер. в долях ширины круга;
- 4) поперечная подача, осуществляемая после каждого двойного хода (0,008...0,02 мм за двойной ход).

Внутреннее круглое шлифование протекает в более тяжелых условиях, чем наружное, так как нагрузка на каждое зерно круга для внутреннего шлифования больше, чем для наружного, так как велика поверхность контакта круг – деталь. Диаметр шлифовального круга D_k меньше диаметра обрабатываемого отверстия D и составляет (0,75...0,25) D . Кроме того, размеры посадочного отверстия кругов для внутреннего шлифования малы, поэтому шпиндель недостаточно жесткий. Проникновение СОЖ в зону резания плохое, что приводит к снижению теплоотвода.

Учитывая ухудшенные условия внутреннего шлифования, режимы резания (глубина и подача) принимают примерно в 2 раза меньшими, чем при наружном круглом шлифовании.

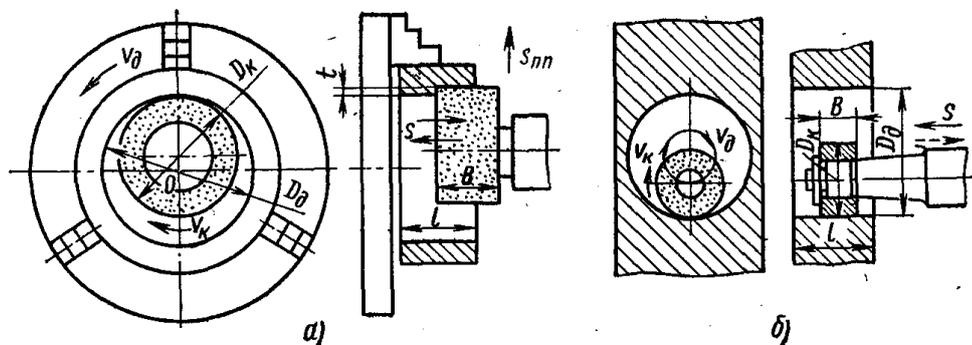


Рисунок 4 – Схемы внутреннего круглого шлифования: а – обычное, б – планетарное

Бесцентровое шлифование может применяться для обработки как внутренних, так и наружных поверхностей, осуществляться напроход и до упора.

При бесцентровом наружном шлифовании (рисунок 5) заготовка 1 помещается на опорном ноже 2 между двумя вращающимися с различными скоростями кругами 3 и 4. Рабочий круг 3 осуществляет процесс резания, а ведущий круг 4 обеспечивает вращательное и поступательное движения детали за счет разворота его оси относительно оси рабочего круга на угол $\alpha = 1...5^\circ$. Ось детали устанавливается выше осей кругов на $h = (0,1-0,3)d$, где d – диаметр детали. Вектор скорости ведущего круга раскладывается на вектор скорости вращения детали v_d и вектор скорости ее продольного перемещения v_s . Рабочий круг вращается со скоростью

30...35 м/с, ведущий – 15...30 м/мин. В результате разных скоростей вращения кругов сила трения между ведущим кругом и деталью значительно больше окружной силы резания, что обеспечивает вращательное движение детали.

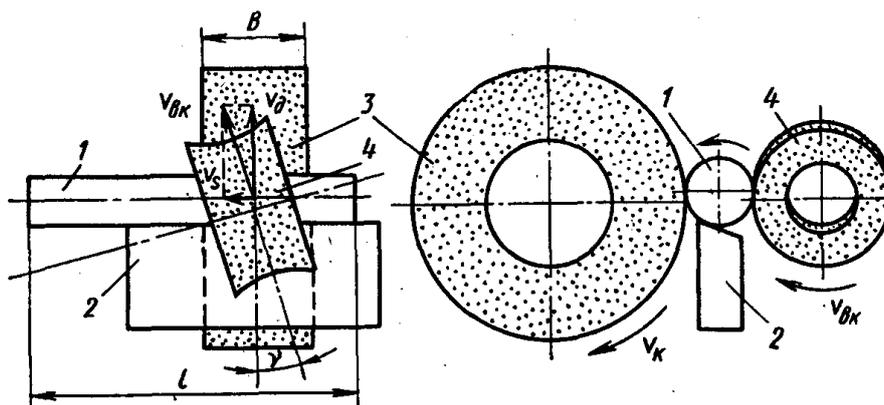


Рисунок 5 – Схема бесцентрового наружного шлифования: 1 – заготовка, 2 – опорный нож, 3 – рабочий круг, 4 – ведущий круг

При внутреннем бесцентровом шлифовании все основные движения сохраняются такими же, как и при внутреннем обычном шлифовании. Принципиальное отличие бесцентрово-шлифовальных станков для внутреннего шлифования заключается в способе зажима изделия (рисунок 6). Деталь 1 устанавливается между роликами 2, 3 и 4. Ролик 2 сообщает вращение детали и называется ведущим. Ролик 4 служит для прижима изделия во время шлифования и называется прижимным. Ведущий ролик вращается от специального привода и за счет трения вращает деталь, которая, в свою очередь, вращает опорный и прижимной ролики. Последний имеет ещё дополнительное периодическое движение в вертикальной плоскости для освобождения детали с целью осуществления ее загрузки и разгрузки. В осевом направлении деталь фиксируется опорной планкой или опорной втулкой, которая вращается вместе с деталью за счет прижима к ней детали. Сила прижима создается поворотом оси ведущего ролика в вертикальной плоскости на угол $30'$. При внутреннем шлифовании деталь и шлифовальный круг вращаются в одном направлении, ролик 3 фиксирует положение детали и называется опорным.

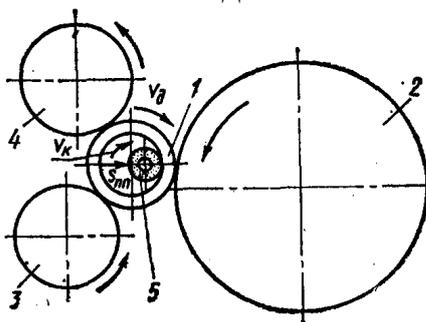


Рисунок 6 – Схема бесцентрового внутреннего шлифования: 1 – заготовка, 2 – ведущий ролик, 3 – опорный ролик, 4 – прижимной ролик, 5 – шлифовальный круг

Плоское шлифование осуществляется двумя методами: периферией круга (рисунок 7, а) и торцом круга (рисунок 7, б)

При плоском шлифовании периферией круга шлифовальный круг вращается вокруг своей оси, совершая главное движение резания. В процессе резания заготовке

сообщается возвратно-поступательное движение подачи. В промежутках между возвратно-поступательным движением заготовке сообщается прерывистое движение поперечной подачи $S_{ПП}$. После обработки плоскости шлифовальному кругу сообщается движение вертикальной подачи S_B . Обработка всей плоскости повторяется до тех пор, пока значение вертикальной подачи не будет равно припуску на обработку данной поверхности.

При шлифовании торцом круга поверхность контакта значительно больше, чем при шлифовании его периферией, и сопровождается большим тепловыделением в зоне резания. Следовательно, шлифование торцом круга применимо для обработки массивных жестких деталей. Для лучшего использования режущей способности круга ось шпинделя круга устанавливают под некоторым углом ($\approx 30^\circ$).

При плоском шлифовании торцом круга абразивные зерна более продолжительное время находятся в работе и быстрее тупятся, поэтому для плоского шлифования обычно выбирают более мягкие круги, чем для круглого.

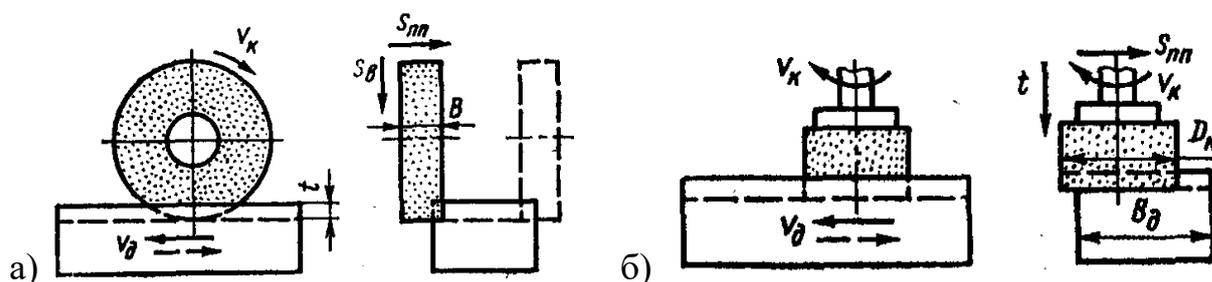


Рисунок 7 – Схемы плоского шлифования на станке с прямоугольным столом: а – периферией круга, б – торцом круга

5. Износ и правка шлифовальных кругов

В процессе износа абразивных инструментов изменяются форма и микрогеометрия их рабочей поверхности.

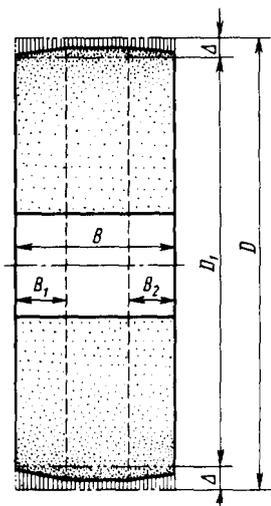


Рисунок 8 – изменение формы круга при износе

Основные виды износа круга: истирание вершин зерен; раскалывание и выкрашивание зерен; истирание связки; вырывание абразивных зерен; засаливание круга (забивание пространства между зернами частицами шлифуемого материала).

В результате засаливания обрабатываемая заготовка контактирует не с абразивными зернами, а со стружкой во впадинах.

В зависимости от конкретных условий шлифования могут происходить все виды износа или один вид является преобладающим. Для мягких кругов наиболее характерно скалывание выступающих вершин зерен, выламывание зерен, недостаточно прочно удерживаемых связкой или неудачно ориентированных к силам, действующим в зоне контакта. Для твёрдых кругов (СТ2) наблюдается в основном притупление вершин абразивных зерен и частичное скалывание зерен, получивших трещины при правке.

В зависимости от условий шлифования круг может работать как в режиме затупления, так и в режиме самозатачивания. Самозатачивание – способность круга обновлять свою рабочую поверхность под влиянием сил резания. Если поры круга в процессе шлифования забиваются стружкой и частицами износа, то круг теряет свои режущие свойства до того, как его зерна затупятся и пределом стойкости круга является забивание пор стружкой.

Для восстановления режущей способности и правильной геометрической формы производят правку круга. Правку производят твердосплавными дисками, обломками твёрдых абразивных кругов, брусками из карбида кремния, правочными роликами или алмазными карандашами. Правка изношенного шлифовального круга алмазными карандашами выполняется, как обточка круга по его режущей поверхности на глубину Δ (рисунок 8), обеспечивающую удаление изношенных абразивных зерен и восстановление заданной формы режущей поверхности круга. Толщина снимаемого слоя при правке составляет около 0,08 мм. При правках удаляется более 60—70% рабочего объема круга. Частота правки зависит от периода стойкости круга T , т. е. его рабочего времени между двумя правками. Значение T для различных условий шлифования изменяется от 10 до 60 мин. Меньшие значения T относятся к внутреннему и фасонному шлифованию и обработке жаропрочных, тугоплавких и других труднообрабатываемых материалов.

Силы резания

При шлифовании наибольшее значение имеют тангенциальная P_z и радиальная P_r составляющие. Соотношение 0,35...0,7. Первая определяет мощность резания и крутящий момент. Вторая изгибает оправку круга. Определяются в зависимости от вида шлифования по эмпирическим формулам.

6. Специальные и отделочные виды шлифования

Высокоскоростное шлифование

На операциях со снятием большого припуска повышение скорости круга позволяет пропорционально увеличить минутный съём металла при сохранении стойкости круга и параметров шероховатости шлифованной поверхности. На операциях окончательного шлифования, когда необходимо повысить качество обрабатываемой поверхности, увеличение скорости круга не должно сопровождаться ростом поперечной подачи (минутного съёма металла). В этом случае высокоскоростное шлифование позволяет уменьшить параметры

шероховатости поверхности, повысить точность обработки путем снижения силы резания и износа круга, а также увеличить производительность с помощью уменьшения числа правок круга, сокращения времени выхаживания и увеличения общей стойкости круга. На современных круглошлифовальных станках скорость круга может быть увеличена до 50–60 м/с.

При шлифовании кольцевых канавок со скоростью $v_K = 60$ м/с вместо $v_K = 35$ м/с значительно увеличивается стойкость круга, повышается точность и снижаются параметры шероховатости. При увеличении поперечной подачи и сокращении времени правки круга алмазным роликом производительность возрастает в 2 раза.

Хонингование (хонинг-процесс) представляет метод отделочной абразивной обработки, дающий весьма высокую чистоту обработанной поверхности Ra 0,02 мкм и обеспечивающий точность обработки 5-6 квалитет. Хонингование широко применяется для отделки рабочих поверхностей цилиндров и гильз двигателей в производстве автомобильных, тракторных и авиационных моторов, для отделки отверстий стволов в производстве вооружения, при изготовлении цилиндров компрессоров и т. д. Хонинговать можно также конические отверстия. Диапазон отверстий, для которых возможно применение хонингования, составляет 25–1500 мм.

Хонингованию обычно предшествуют такие чистовые операции, как шлифование, протягивание, развертывание или чистовая расточка. Предшествующая обработка должна обеспечить правильное положение оси отверстия, так как хонинговальная головка, шарнирно соединенная со шпинделем станка, направляется обработанным отверстием и не сможет исправить положение оси, если оно неправильно. С помощью хонингования можно только довести размер отверстия до требуемого, а также уменьшить конусность и овальность отверстия, обеспечив правильность его геометрической формы с точностью до 3–5 мкм.

Величины припусков под хонингование принимаются от 0,02 до 0,2 мм (меньшие припуски для отверстий меньших диаметров).

Для получения особо высокой точности и чистоты поверхности обрабатываемых отверстий в ряде случаев хонингование производят в две операции.

Применяемый при хонинговании инструмент – хонинговальная головка, или хон (рисунок 9) состоит из трех или более мелкозернистых абразивных брусков, смонтированных на одной оправке и устанавливаемых по диаметру отверстия. Абразивные бруски прижимаются к обрабатываемой поверхности либо с постоянной силой под действием пружин, либо получают принудительную радиальную подачу (от 0,25 до 1 мкм на один двойной ход головки).

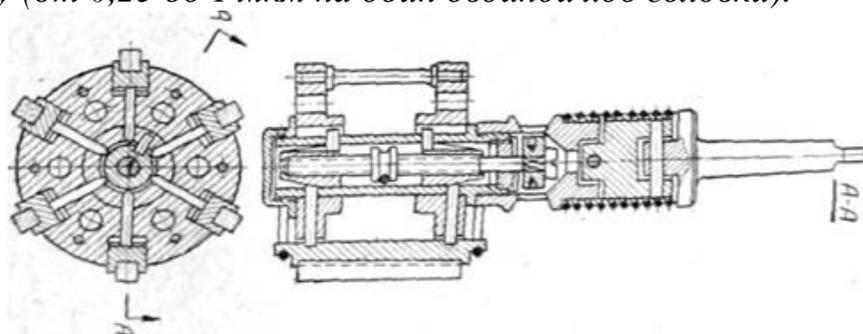


Рисунок 9 – Конструкция хонинговальной головки

Конструкции хонинговальных головок весьма разнообразны. В большинстве случаев инструмент состоит из двух частей: собственно хонинговальной (или рабочей) головки, несущей абразивные бруски, и регулирующей головки, служащей для соединения рабочей головки со шпинделем и осуществления радиальной подачи брусков.

Материал брусков – электрокорунд белый, карбид кремния, синтетические алмазы, эльбор, кубонит. Зернистость 16-М10, твёрдость СМ1-СТ3. Твёрдость брусков выбирается также, как и при шлифовании, в зависимости от обрабатываемого материала.

Точность обработанного отверстия в продольном направлении (конусность, вогнутость или выпуклость образующих) зависит от отношения длины абразивных брусков к длине обрабатываемого отверстия. Рекомендуется принимать это отношение равным 3/4. Длина выхода брусков из отверстия, обеспечивающая правильную геометрию у краев отверстия, равна 1/4 длины брусков. При недостаточном выходе брусков отверстия у краев получаются уменьшенными, а при слишком большом – увеличенными по сравнению со средним диаметром.

При обработке коротких отверстий хоним обычной конструкции получается расширенное по концам отверстие. Чтобы избежать этого, детали устанавливают в приспособление по несколько штук одна на другую. При такой установке деталей увеличивается длина хонингуемой поверхности и улучшается устойчивость, однако необходимо обеспечивать соосность обрабатываемых отверстий.

Хонингование производится с применением смазочно-охлаждающей жидкости, которая непрерывно смывает абразивные зерна и частицы металла с обрабатываемой поверхности.

При обработке чугуна в качестве смазывающей жидкости применяют керосин или смесь из 90% керосина и 10% машинного масла, а при обработке стали – смесь из 50% керосина и 50% масла. Бронза хонингуется всухую или с охлаждением водой.

Так как не все абразивные частицы смываются охлаждающей жидкостью с обрабатываемой поверхности, то после хонингования детали должны проходить промывку.

В процессе хонингования траекторией движения каждого абразивного зерна есть попеременно правая и левая винтовые линии, угол α подъема которых определяется отношением скорости возвратно-поступательного движения v_1 к скорости вращения v_0 хонинговальной головки: $\operatorname{tg} \alpha = v_1 / v_0$

Винтовые траектории зерен на поверхности отверстия образуют мелкую сетку пересекающихся штрихов. Если развернуть поверхность цилиндра на плоскость, то эти винтовые линии превращаются в прямые (рисунок 10), угол между которыми равен 2α . Чем меньше угол α , тем выше чистота обработанной поверхности, но тем меньше производительность.

Величина скорости вращения хонинговальной головки колеблется от 60–75 м/мин при хонинговании чугунных и бронзовых деталей до 20–35 м/мин при хонинговании деталей из закаленной стали. Соответственно скорость возвратно-поступательного движения тоже меняется от 15–25 до 5–10 м/мин.

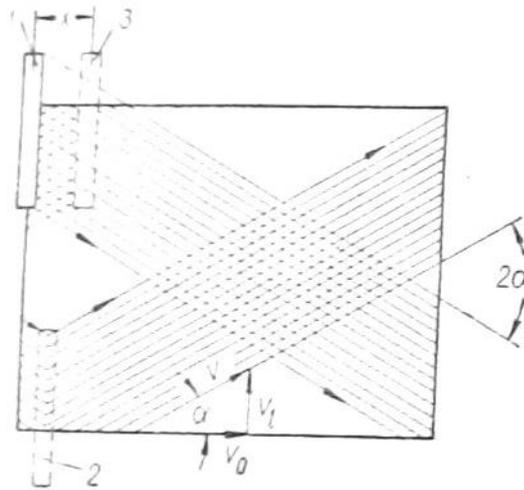


Рисунок 10 – Схема штрихов, получаемых на хонингуемой поверхности: 1 – положение бруска в начале хода; 2 – в конце этого хода; 3 – в конце обратного хода; х – перекрытие

Притирка поверхностей деталей машин (лапид-процесс) применяется как окончательная отделочная операция для получения чистоты обрабатываемой поверхности $Ra\ 0,02\ \mu\text{m}$ и исправления точности геометрической формы.

Эта операция выполняется с помощью мелкозернистого абразива, взвешенного в масле или в поверхностно-активной жидкости. Суспензия наносится на поверхность инструментов, называемых притирами. Обработка ведется с небольшими скоростями, малыми удельными давлениями. Относительное перемещение детали и притира должно быть таким, чтобы абразивное зерно с каждым ходом двигалось по новой траектории. Нагревание детали незначительно, поэтому структура поверхностного слоя получается высококачественной.

Притирка делится на полумеханическую и механическую.

При полумеханической притирке одно движение (детали или притира) производится вручную, а другое – с помощью механического привода. Схема полумеханической притирки отверстия показана на рисунке 11. Деталь вращается от шпинделя станка, а возвратно-поступательное движение притира выполняется вручную. Механическая притирка выполняется на специальных станках.

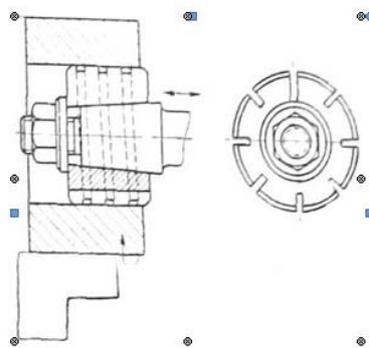


Рисунок 11 – Схема полумеханической притирки

Конструкции и формы притиров определяются конфигурацией обрабатываемой детали, геометрической формой притираемой поверхности и конструкцией станка, на котором производится притирка. Материалы притира и абразива назначаются в зависимости от способа ведения процесса.

Суперфиниширование

Представляет собой процесс отделочной обработки поджимаемыми к изделию брусками, совершающими колебательные движения. Частота колебаний 500–3000 дв.ход/мин, амплитуда 2–5 мм, окружная скорость изделия 8–40 м/мин; давление поджима до 0,4 МПа. Припуск на обработку 10–12 мкм на диаметр. Обрабатываемый материал – чугун, сталь, цветные металлы. Материал брусков ЭБ, КЗ или синтетические алмазы, эльбор, кубонит зернистостью 5–МЗ, связка – керамическая. Твердость при обработке вязких материалов М2–СМ1, при обработке хрупких материалов СМ1–С2. Суперфиниширование производят с поливом СОЖ, в качестве которой применяется смесь керосина и веретённого масла или специальные эмульсии. Достижимый параметр шероховатости 0,02 мкм. Погрешности формы не исправляются.

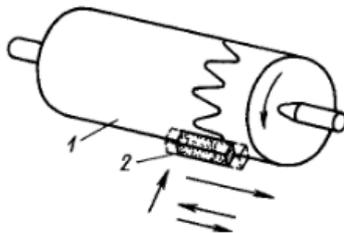


Рисунок 12 – Схема рабочих движений инструмента и обрабатываемой детали при суперфинишировании: 1 – деталь, 2 – абразивный брусок

Полирование

Является процессом отделочной обработки эластичным инструментом поверхностей различной конфигурации, обеспечивающим их высокое качество без исправления погрешности формы. Полирование эластичным инструментом находит широкое применение в инструментальном производстве при обработке канавок концевой инструмента. К числу эластичных инструментов, используемых при полировании, относятся фибровые шлифовальные диски, гибкие круги на вулканической связке. Зернистость кругов 50–16, достигаемый параметр шероховатости $Ra = 0,16$ мкм.

При использовании полировальных кругов на тканевой или бумажной основе на поверхности кругов вместе со связкой наносят пасты Э, КЗ, из алмазов и зльбора. Скорость полирования 18–35 м/с. Достижимый параметр шероховатости Ra 0,02.

Полирование и шлифование абразивными лентами осуществляются со скоростью до 30 м/с. При этом обрабатываемая деталь или лента поджимаются друг к другу, изделию сообщается движение подачи, а иногда и осциллирующее движение. Давление поджима не более 0,04 МПа (при обработке цветных металлов и сплавов) и 0,2 МПа (при обработке чугуна и сталей). Режущий материал лент – Э, ЭБ, КЗ, алмазы синтетические, эльбор.

Обработка свободным абразивным зерном:

Жидкостная абразивная обработка – процесс отделки поверхностей смесью жидкости с абразивными зёрнами, подающейся на заготовку со скоростью до 50 м/с под углом 25–40°. Достижимый параметр шероховатости Ra 0,16 мкм. В состав рабочей жидкости входят 25–50% массовых долей абразивных зёрен и 25–50 % массовых долей содовой эмульсии. Для придания жидкости антикоррозионных свойств в её состав вводят 0,5–1% нитрида натрия или другого ингибитора коррозии.

Материал абразивных зерен – Э, КЗ, зернистостью 40–10 (при очистке) и М10—М5 (при полировании). Глубина съема металла 0,005 мм.

Турбоабразивная обработка – обработка в псевдокипящем слое, когда под действием сжатого воздуха, подаваемого в контейнер, абразивные зерна, находящиеся в нем, переходят во взвешенное состояние и, перемещаясь, совершают обработку детали, помещенной в этот же контейнер. Иногда изделие сообщают дополнительное вращательное или колебательное движение. Съем металла при окружной скорости изделия 15 м/с достигает 1,5—3 мкм/мин. Процесс применяется не только при полировании, но и при снятии заусенцев, скруглении режущих или иных острых кромок, подготовке поверхности под последующее покрытие.

Тема 12: Особенности обработки резанием различных конструкционных материалов

1. Понятие обрабатываемости материала. Показатели обрабатываемости

К резанию металлов предъявляются следующие требования:

- требуемое качество и точность поверхностей;*
- высокая производительность;*
- экономичность.*

Выполнение этих требований зависит от комплекса различных по природе и степени влияния факторов и явлений, возникающих при резании и определяется в общем виде обрабатываемостью материала.

Под обрабатываемостью в общем виде понимают свойство материалов подвергаться обработке резанием. Обрабатываемость может характеризоваться следующими показателями:

- сила резания, мощность по сравнению с эталоном в равных условиях;*
- усадка стружки как мера пластической деформации, необходимой для ее срезания и образования новых поверхностей;*
- наличие или отсутствие склонности к наростообразованию;*
- достигаемое качество поверхностей;*
- изнашивание инструмента;*
- вид, форма и размеры стружки, определяющие удобство ее отвода, хранения и транспортировки;*
- тепловыделение, распределение теплоты между стружкой, деталью и инструментом;*
- энергозатраты на срезание единицы массы.*

Количественные выражения приведенных показателей определяются твердостью, пластичностью, пределом прочности, теплопроводностью, коэф. трения с инструментальным материалом и т.д. Их сочетание определяет сопротивление металла обработке резанием и проявляется в виде рассмотренных в курсе явлений и процессов.

2. Обрабатываемость конструкционных сталей и чугунов

Обрабатываемость сталей рассматривают с точки зрения истирающей способности и уровня температур резания.

Рассмотрим роль основных химических элементов в обрабатываемости конструкционных и инструментальных сталей.

При обработке материалов с весьма малым содержанием углерода (сталь 08) трудно обеспечить высокое качество обработанной поверхности. Оптимальным с точки зрения периода стойкости инструмента считают содержание углерода 0,10...0,20 %. При его повышении до 0,20...0,30 % и более наблюдается заметное снижение стойкости, обусловленное появлением в микроструктуре абразивных частиц цементита.

Наличие в стали марганца упрочняет феррит, снижает пластичность стали. При сочетаниях $C < 0,20 \%$ и $Mn < 1,5 \%$ заметно улучшается процесс резания. При высоком содержании марганца (свыше 10 %) сталь приобретает склонность к наклепу под действием сил резания, вследствие чего резко возрастает прочность, снижается пластичность поверхностного слоя детали, по границам зерен образуются железомарганцовистые карбиды, а аустенит частично переходит в мартенсит. Обрабатываемость в этом случае чрезвычайно низкая. Повысить ее можно при нагреве заготовок до температуры 400...600°C, когда снимаются вредные последствия наклепа.

Фосфор, сера, свинец используются как присадки, улучшающие обрабатываемость.

Содержание кремния во всех случаях ухудшает обрабатываемость сталей вследствие образования силикатных абразивных включений.

Наличие молибдена, ванадия, хрома, вольфрама повышает прочность и вязкость сталей, ухудшая их обрабатываемость. Эти элементы образуют твердые растворы с железом и карбиды различного состава и твердости. Как следствие, возрастает истирающая способность материала. Хром, способствуя коагуляции карбидных частиц при отпуске, значительно снижает теплопроводность материала. Кобальт, наоборот, замедляет коагуляцию карбидов, повышая теплопроводность. Он несколько снижает прочность и вязкость стали, образуя твердый раствор с железом.

Таким образом, обрабатываемость сталей ухудшается с увеличением содержания углерода и легирующих элементов, поскольку в этом случае увеличиваются истирающая способность и температура.

Поскольку существует определенная взаимосвязь между истирающей способностью материала и допускаемой скоростью резания v , обрабатываемость сталей можно оценивать по v .

Однако в тех или иных технологических ситуациях используются различные показатели обрабатываемости.

При обработке деталей на автоматизированном оборудовании серьезное внимание уделяется благоприятному стружкообразованию и обеспечению требуемой шероховатости обработанной поверхности. Решающее влияние на последнюю оказывает микроструктура: если она состоит из зернистого перлита, сорбита и троосто-сорбита – зона максимальных микронеровностей смещается в зону меньших скоростей по сравнению с обработкой пластинчатого перлита; высота микронеровностей тем больше, чем больше содержание в структуре сталей

свободного феррита; повышение содержания углерода и легирующих элементов способствует уменьшению шероховатости, что наблюдается также по мере увеличения размера зерна перлита. Значительная высота микронеровностей наблюдается при мелком зерне перлита и высоком содержании свободного феррита, а наилучшая – при структурах троостосорбита и сорбита с высокой твердостью.

Обрабатываемость чугунов определяется в первую очередь их микроструктурой, в зависимости от которой они подразделяются на группы: 1) ферритные, содержащие феррит и графит; 2) перлитные, содержащие перлит и пластинчатый графит; 3) перлитные ковкие и сверхпрочные, содержащие перлит и сфероидальный графит; 4) половинчатые, содержащие перлит, графит и цементит; 5) белые, содержащие перлит и цементит.

Обрабатываемость чугунов ухудшается по мере того, как углерод из свободного состояния (графит) переходит в связанное (цементит), обладающее повышенной истирающей способностью.

Легирующие чугуны марганцем (более 1,5%), кремнием (более 3%), молибденом, хромом и ванадием (более 0,5%) приводит к упрочнению и соответственно ухудшают обрабатываемость.

Кремний до 2,5% никель до 2% и медь способствуют графитизации и улучшают обрабатываемость.

Обрабатываемость чугуна ухудшается в зависимости от формы карбидной фазы: мелкоигльчатые карбиды – длинноигльчатые карбиды – столбчатые карбиды – разорванная сетка карбидов – сплошная сетка карбидов.

3. Обрабатываемость алюминиевых и медных сплавов

Алюминиевые сплавы с точки зрения обрабатываемости можно разделить на три группы. К первой относятся сплавы низкой твердости, имеющие склонность к налипанию на инструмент, например дюралюминий в отожженном состоянии. Ставы второй группы имеют более высокую твердость, не налипают на инструмент. К этой группе относятся термически упрочненный дюралюминий, а также кованные сплавы АК6, АК8 и др. В третью группу входят широко распространенные литые сплавы, содержащие кремний, в частности силумины различных марок. Для первых двух групп наиболее характерно образование сливной стружки в виде длинных лент и спиралей, для третьей — стружка легко дробится на короткие элементы.

По сравнению со сталью алюминиевые сплавы обладают меньшей твердостью, прочностью и лучшей теплопроводностью, что позволяет значительно повышать скорость резания и подачу. Однако высокая вязкость вызовет налипание частиц на рабочие поверхности инструмента. Это затрудняет стружкоотвод, может вызвать образование задиров на обработанной поверхности. Ухудшает точность обработки более высокое температурное расширение и сильная склонность к наростообразованию. (в 2 раза больше, чем сталь).

Уровень сил резания при обработке алюминиевых сплавов в 2-4 раза ниже, чем при обработке конструкционных сталей. Характер влияния элементов режима резания и переднего угла на силу резания такой же, как при обработке сталей. Алюминиевые сплавы склонны к наростообразованию. Этот процесс протекает чрезвычайно активно в связи с повышенной адгезионной активностью алюминия к

материалам, используемым в качестве инструментальных. Поэтому максимальная высота нароста и его исчезновение отмечаются для алюминиевых сплавов при относительно более низких скоростях резания, чем для сталей.

Обрабатываемость ал. сплавов повышают за счет оптимальной геометрии (передние углы) и конструкции инструмента (обеспечение свободного размещения стружки) и правильного применения технологической среды.

Процесс образования стружки при резании медных сплавов в ряде случаев сопровождается ее интенсивными пластическими деформациями. В частности, толщина стружки может превысить толщину среза в 10 и более раз. Коэффициенты K_a , K_f зависят главным образом от структуры сплава. Наибольшие их значения характерны для гомогенных структур, наименьшие - для высокосвинцовистых и гетерогенных сплавов высокой твердости.

При обработке медных сплавов в практически используемом диапазоне скоростей отсутствует нарост. Поэтому зависимости $K_f = f(v)$, $P_z = f(v)$ имеют монотонный характер, характерный для материалов, не склонных к наростообразованию. Уровень сил резания зависит от структуры и механических характеристик сплава. Так, при точении гомогенных сплавов и меди сила P_z может быть выше, чем при обработке конструкционных сталей, а для высокосвинцовистых гетерогенных сплавов - уменьшится примерно в 10 раз.

Обрабатываемость медных сплавов определяется температурой в зоне резания и истирающей способностью сплава:

1) присадка к меди любого элемента, образующего с ней твердый раствор (олова, алюминия, кремния), уменьшает доп. скорость в 3-4 раза из-за резкого снижения теплопроводности материала и увеличения температуры резания в 1,6—2 раза;

2) переход от гомогенных структур к гетерогенным приводит к понижению v_T почти вдвое за счет истирающего действия твердых частиц эвтектоида; температура резания при этом изменяется незначительно;

3) добавки свинца за счет снижения истирающей способности материала и снижения в 1,4-2 раза температур резания способствуют значительному возрастанию обрабатываемости.

4. Обрабатываемость жаропрочных и нержавеющей сталей

Обрабатываемость жаропрочных и нержавеющей сталей гораздо ниже, чем обычных углеродистых конструкционных. Причины:

1. Высокое упрочнение материала в процессе его деформирования резанием.

2. Имеют низкую теплопроводность по сравнению с конструкционными материалами.

При их обработке выделяется значительное количество теплоты, резко возрастает уровень температур в зоне резания. Это способствует активизации адгезионных и диффузионных процессов, интенсифицирует изнашивание рабочих поверхностей инструментов. Как следствие, использование твердых сплавов в качестве инструментального материала не всегда возможно, а применение быстрорежущих инструментов оправдано лишь при малых скоростях резания. При увеличении скорости температура резания превышает предел теплостойкости инструментального

материала и инструмент быстро выходит из строя. *Повышению производительности обработки указанных материалов и уровня стойкости инструмента способствует применение соответствующе подобранных СОЖ.*

3. *Они сохраняют исходную прочность и твердость при повышенных температурах.* Так, при нагреве сплава ХН77ТЮ до температуры 700°C его временное сопротивление составляет $\sigma_{\text{в}} = 900... 1000$ МПа, а при температуре 800°C $\sigma_{\text{в}} = 800...900$ МПа. В свою очередь при нагреве стали 45 до этих температур $\sigma_{\text{в}}$ снижается в 3...5раз.

4. *Большая истирающая способность жаропрочных и нержавеющей сталей и сплавов обусловлена наличием в них, кроме фазы твердого раствора, интерметаллидных или карбидных включения.* Последние, подобно абразиву, истирают инструмент, вызывая ускоренное изнашивание его кромок. В процессе пластической деформации жаропрочных и нержавеющей материалов происходит выделение карбидов, твердость которых приближается к твердости твердых сплавов групп ВК и ТК. Вследствие этого резко возрастает истирающая способность жаропрочных и особенно литых на никелевой основе сплавов.

5. *Пониженная виброустойчивость при резании нержавеющей и жаропрочных материалов обусловлена их высокой упрочняемостью при неравномерной пластичной деформации.* Возникновение вибраций приводит к микро- и макровыкрашиванию режущих кромок инструментов.

5. Обрабатываемость титановых сплавов

Титановые сплавы имеют также низкую обрабатываемость, т.к.:

1. *Имеют малую пластичность.* Пониженные пластические свойства титановых сплавов в процессе их деформации способствуют развитию опережающих микро- и макротрещин. Образующая стружка по внешнему виду напоминает сливную, имеет трещины, разделяющие ее на очень слабо деформированные элементы, прочно связанные тонким и сильно деформированным контактном слоем.

2. *Высокая химическая активность к кислороду, азоту, водороду.* Это вызывает интенсивное охрупчивание поверхностного слоя сплавов вследствие диффузии в него атомов газов при повышении температуры.

3. *Имеют чрезвычайно плохую теплопроводность, более низкую, чем жаропрочных сталей и сплавов.* Как следствие, при резании титановых сплавов возникает температура, более чем в 2 раза превышающая уровень температур при обработке стали 45. Высокая температура в зоне резания вызывает интенсивное наростообразование, схватывание обрабатываемого материала с материалом инструмента и появление задигов на обработанной поверхности.

4. *Из-за содержания в титановых сплавах нитридов и карбидов инструмента в сильной степени подвержен абразивному воздействию.*

5. *При обработке титановых сплавов особое внимание необходимо уделять вопросам техники безопасности, так как образование тонкой стружки и пыли может привести к ее самовоспламенению и интенсивному горению.* Кроме того, пылеобразная стружка вредна для здоровья. Поэтому не допускается работа с очень низкими подачами.

Тема 13: Оптимизация процесса резания

1. Назначение режимов резания. Понятие оптимального режима резания

В разработке технологического процесса обработки детали важен правильный выбор режима резания. Его можно выполнить либо с использованием методов оптимизации по различным критериям, либо на основе приближенных расчетов с применением справочников.

Оптимальным является тот вариант режимов резания, при которых значения режимных параметров могут быть реализованы на имеющемся оборудовании, удовлетворяют требованиям всех ограничивающих факторов и в наибольшей степени приближены к максимальным или минимальным их значениям.

При расчете режимов резания используют следующий порядок:

1. Выбирают инструментальный материал, конструкцию и геометрию режущего инструмента.

Материал режущей части выбирают в зависимости от свойств обрабатываемого материала, состояния поверхности заготовки, а также от условий осуществляемого резания. Геометрические параметры инструмента назначаются в зависимости от свойств обрабатываемого материала, жесткости технологической системы, вида обработки (черновой, чистовой или отделочной) и других условий резания.

2. Выбирают станок.

3. Назначают глубину резания с учетом припуска на обработку.

При черновой обработке желательно назначать глубину резания, обеспечивающую срезание припуска за один проход. Получистовая обработка часто производится в два прохода. Первый, черновой, осуществляется с глубиной резания $t = (0,6...0,75)$ припуска на сторону, а второй, окончательный, с $t = (0,25...0,3)$. Обработка в два прохода в этом случае вызвана тем, что при снятии слоя толщиной свыше 2 мм за один проход качество обработанной поверхности низкое, а точность ее размеров недостаточна. При чистовой обработке в зависимости от точности и шероховатости 0,1-2 мм.

4. Выбирают подачу (при точении и сверлении — S_0 , мм/об; при фрезеровании мм/зуб). При черновой обработке она устанавливается с учетом жесткости технологической станочной системы, прочности детали, способа ее крепления (в патроне, в центрах и др.), прочности и жесткости рабочей части режущего инструмента, прочности механизма подачи станка, а также установленной глубины резания. При чистовой обработке назначение подачи необходимо согласовывать с заданной шероховатостью обработанной поверхности и качеством точности, учитывая при этом возможный прогиб детали под действием сил резания и погрешности геометрической формы обработанной поверхности.

5. Определяют допускаемую скорость резания при заданной стойкости, глубине и подаче.

6. Устанавливают частоту вращения шпинделя станка, округляют до ближайшего меньшего значения и пересчитывают действительную скорость резания, которая может быть обеспечена на станке.

7. Определяют силу и мощность резания, уточняют возможность обработки на станке. $N_p \leq N_{ст} \cdot 0,8$

ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

**Методические указания к лабораторным работам
по дисциплине
«Теория резания»**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ

Методические указания

к лабораторным работам по курсам «Теория резания» и «Резание материалов»

по теме **«Основные способы обработки резанием и геометрические
характеристики режущих инструментов»**

для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и
1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства»
дневной, вечерней и заочной форм обучения

УДК 621.9 (075.8)

В методических указаниях изложены сведения об основных способах обработки резанием, о конструкциях и геометрических параметрах лезвийных режущих инструментов: токарных резцов, спиральных сверл и фрез, а также о методах и средствах их измерения. Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по дисциплинам «Теория резания» и «Резание материалов» студентами дневной, вечерней и заочной форм обучения по специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства».

Составители: А.В. Драган, к.т.н., доцент кафедры «Машиностроения и эксплуатации автомобилей»
В.А. Сокол, ст. преп. кафедры «Машиностроения и эксплуатации автомобилей»
А.Н. Парфиевич, ст. преп. кафедры «Машиностроения и эксплуатации автомобилей»

Рецензент: Д.С. Ларченко, начальник службы контроля функционирования процессов и качества продукции ОАО «Машиностроительное предприятие «КОМПО»»

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ТОЧЕНИЯ, КОНСТРУКТИВНЫЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ

Цель работы: закрепление сведений об основных поверхностях и геометрических параметрах резцов различных типов; ознакомление с методами измерения геометрических параметров резцов и инструментами, применяемыми для этой цели; приобретение навыков эскизирования резцов.

Инструменты и принадлежности: комплект токарных резцов, угломеры, штангенциркуль.

Краткие теоретические сведения

1. Классификация типов резцов

По виду обработки токарные резцы классифицируются на: проходные, проходные упорные, подрезные, отрезные, прорезные, расточные, резьбовые, фасонные, гальтельные (рисунок 1).

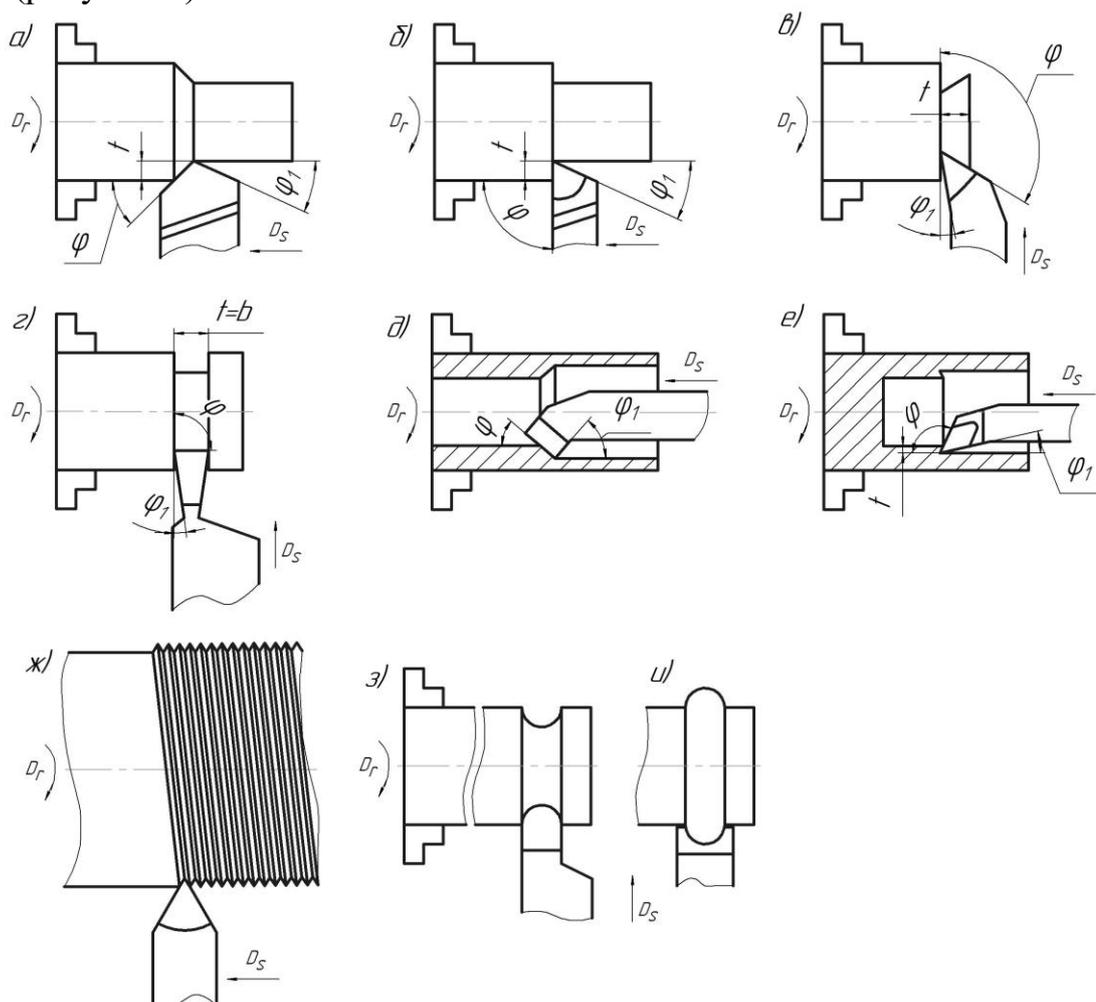


Рисунок 1 – Классификация резцов по виду обработки: а – проходной, б – проходной упорный, в – подрезной, г – отрезной, д, е – расточные для сквозных и глухих отверстий, ж – резьбовой, з, и – фасонные

Они предназначены:

- проходные резцы предназначены для обработки наружных цилиндрических поверхностей (рисунок 1, а);
- проходные упорные резцы применяются при обработке ступенчатых валов и при обработке нежестких деталей (рисунок 1, б);
- подрезные резцы предназначены для обработки торцевых поверхностей, перпендикулярных оси вращения детали (рисунок 1, в);
- отрезные резцы используются для отрезки заготовок или обрабатываемых из прутка деталей (рисунок 1, г);
- расточные резцы предназначены для обработки сквозных и глухих отверстий (рисунок 1, д, е);
- резьбовые резцы предназначены для нарезания резьбы (рисунок 1, ж);
- фасонные резцы применяются для обработки деталей сложного профиля (рисунок 1, з, и).

2. Элементы режима резания и срезаемого слоя при точении

При обработке резанием заготовка и инструмент совершают определенные движения. Они разделяются на основные (для обеспечения процесса резания) и вспомогательные (для подготовки к процессу резания и завершения операции).

Основные движения: главное движение, осуществляемое с большей скоростью, и движение подачи. При обработке на токарных станках **главное движение** – вращение заготовки, **движение подачи** – поступательное движение резца. Главное движение позволяет осуществлять процесс резания (превращать срезаемый слой в стружку); движение подачи дает возможность вести обработку по всей обрабатываемой поверхности.

На обрабатываемой заготовке при снятии стружки различают следующие поверхности: **обрабатываемую**, которая частично или полностью удаляется при обработке; **обработанную**, образованную на заготовке в результате обработки и **поверхность резания**, образуемую режущей кромкой в результирующем движении резания. Поверхность резания является переходной между обрабатываемой и обработанной поверхностями.

Условия резания определяются рядом факторов, важнейшее значение из которых имеет режим резания.

Элементами режима резания являются скорость резания, подача и глубина резания.

Скорость резания v при точении – окружная скорость рассматриваемой точки заготовки в направлении главного движения.

При точении, когда заготовка вращается с частотой вращения n (мин^{-1}), скорость резания (м/мин) в разных точках режущей кромки будет разная. В расчетах принимается ее максимальное значение:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \text{ м/мин} \quad (1)$$

где D – наибольший диаметр поверхности резания, мм;

n – частота вращения, мин^{-1} .

Подача S – величина перемещения режущей кромки относительно обработанной поверхности в единицу времени в направлении движения подачи.

Различают подачу за один оборот заготовки S_0 (мм/об) и минутную S_M (мм/мин):

$$S_M = S_0 \cdot n, \text{ мм/мин} \quad (2)$$

Глубина резания t – величина срезаемого слоя за один проход, измеренная в направлении, перпендикулярном к обработанной поверхности.

При продольном обтачивании:

$$t = \frac{D - d}{2}, \text{ мм} \quad (3)$$

где D – диаметр заготовки, мм;

d – диаметр обработанной поверхности, мм.

При отрезании заготовки, прорезании поперечной канавки глубина резания t равна ширине b отрезного резца.

Глубина резания и подача характеризуют процесс резания с точки зрения положения и движения инструмента. Но при одной и той же подаче и глубине резания в зависимости от формы режущей кромки и её расположения (углов в плане) изменяются ширина и толщина поперечного сечения срезаемого слоя, определяющие процесс пластической и упругой деформации, количество выделившегося тепла и условия теплоотвода.

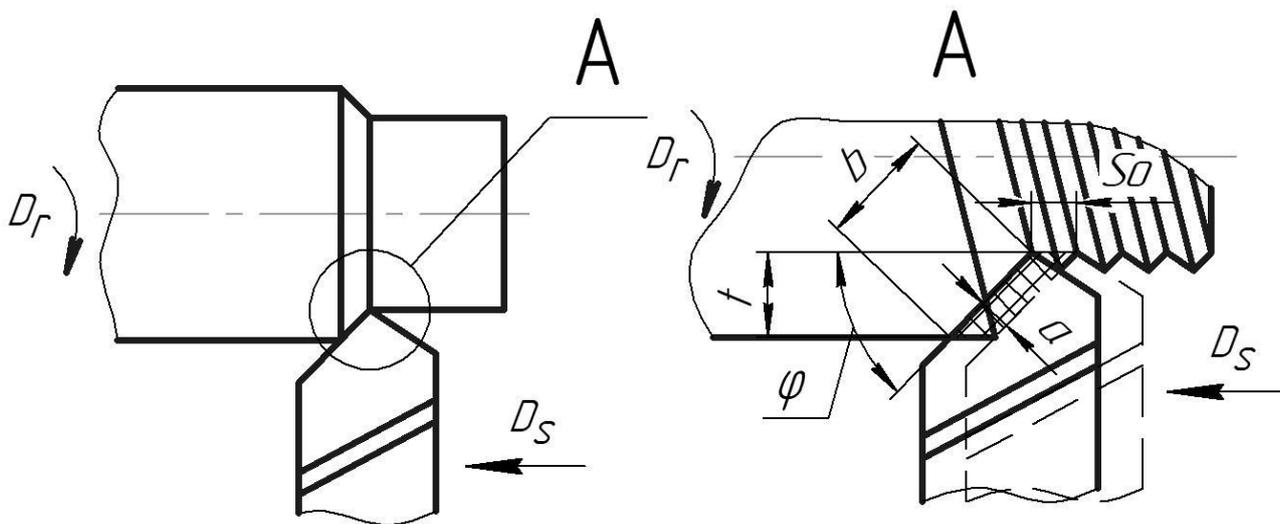


Рисунок 2 – Элементы режима резания и срезаемого слоя

Ширина поперечного сечения срезаемого слоя (ширина среза) b (мм) (рисунок 2) – длина стороны сечения срезаемого слоя, образованной поверхностью резания.

$$b = t / \sin \varphi, \text{ мм} \quad (4)$$

Толщина поперечного сечения срезаемого слоя (толщина среза) a (мм) – длина нормали к поверхности резания, проведенной через рассматриваемую точку режущей кромки, ограниченная сечением срезаемого слоя.

$$a = S_0 \cdot \sin \varphi, \text{ мм} \quad (5)$$

3. Конструктивные элементы токарных резцов

Резец состоит из двух основных частей: режущей I, которая является рабочей частью с режущими кромками и крепёжной II, служащей для закрепления резца в специальной державке или резцедержателе станка (рисунок 3).

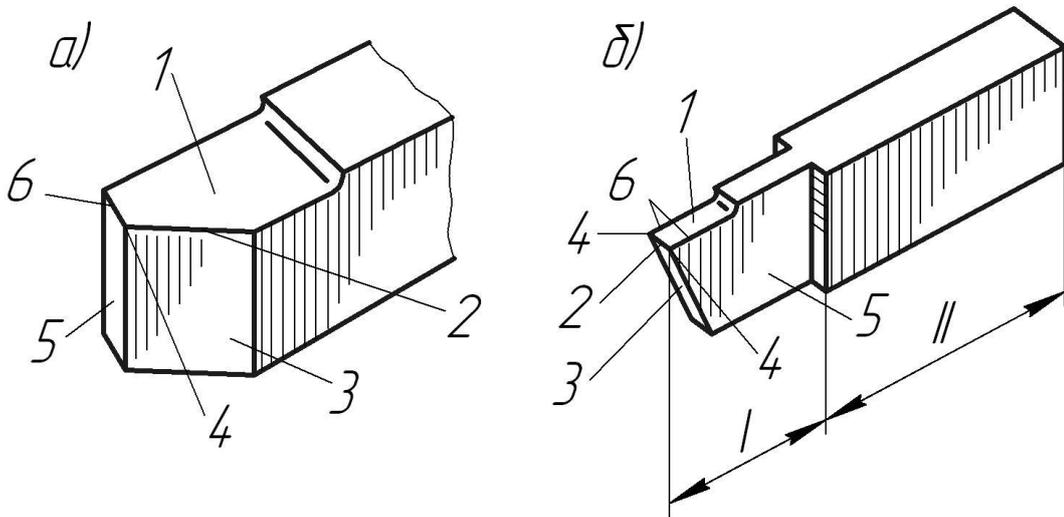


Рисунок 3 – Конструктивные элементы резца: а – проходной прямой; б – отрезной

Конструктивными элементами режущей части токарных резцов являются (рисунок 3):

- **передняя поверхность 1**, контактирующая в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой;
- **главная задняя поверхность 3**, контактирующая с поверхностью резания;
- **вспомогательная задняя поверхность 5**, обращенная к обработанной поверхности;
- **главная режущая кромка 2**, образуемая пересечением передней и главной задней поверхностей;
- **вспомогательная режущая кромка 6**, образуется на пересечении передней и вспомогательной задней поверхностей;
- **вершина режущего лезвия 4** – место сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок; вершина резца может быть острой, но обычно её закругляют для большей стойкости резца, а также для повышения чистоты обработанной поверхности.

4. Координатные плоскости и системы координат для оценки параметров режущей части инструмента

Расположение в пространстве поверхностей и режущих кромок определяется геометрическими параметрами (углами), оценка которых должна производиться в определенной системе координат. Геометрию режущих инструментов можно рассматривать в следующих системах координат:

- **статическая**, с началом в рассматриваемой части режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости главного движения резания;
- **кинематическая**, с началом в рассматриваемой части режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости результирующего движения резания (главного и движения подачи);
- **инструментальная**, с началом в вершине лезвия, ориентированная относительно элементов режущей части инструмента, принятых за базу.

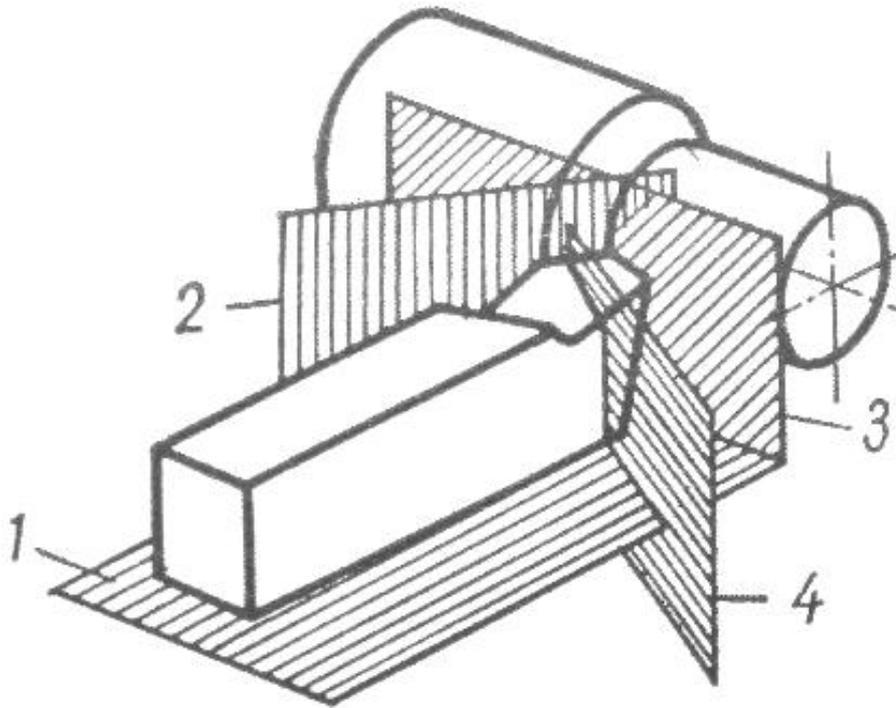


Рисунок 4 – Координатные плоскости резца

Для определения геометрических параметров в выбранной системе координат устанавливают следующие **координатные плоскости** (рисунок 4):

1 – **основная плоскость** в статической системе координат (в кинематической системе координат) – координатная плоскость, проведенная перпендикулярно направлению скорости главного движения резания (результирующего движения резания);

2 – **плоскость резания** – координатная плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная основной плоскости;

3 – **рабочая плоскость** – плоскость, в которой расположены направления скоростей главного движения резания и движения подачи;

4 – **главная секущая плоскость** – координатная плоскость, перпендикулярная линии пересечения основной плоскости и плоскости резания (перпендикулярная плоскости резания в рассматриваемой точке режущей кромки);

5 – **вспомогательная секущая плоскость** – координатная плоскость, перпендикулярная проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость.

5. Геометрические параметры для оценки режущей части инструмента

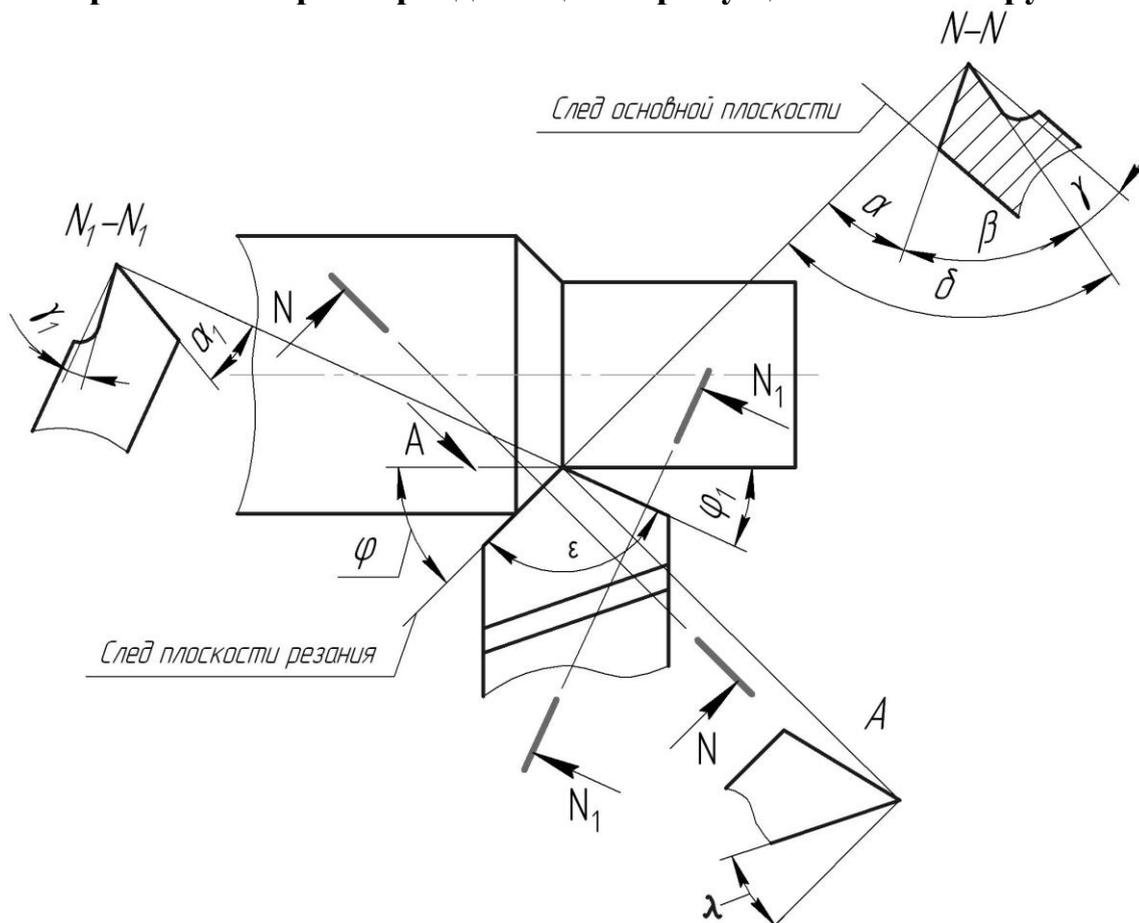


Рисунок 5 – Геометрические параметры режущей части токарного резца

Углы, определяемые в главной секущей плоскости, называются **главными**, они определяют режущий клин, отделяющий от припуска слой металла, превращаемый в стружку, во вспомогательной секущей плоскости – **вспомогательными**.

В главной секущей плоскости $N-N$ рассматривают главные задний и передний углы, углы заострения и резания (рисунок 5).

Главным передним углом γ называется угол между передней поверхностью резца и основной плоскостью в рассматриваемой точке главной режущей кромки.

Он имеет положительное значение, если передняя поверхность направлена вниз от режущей кромки; отрицательное – если передняя поверхность направлена вверх от нее; равен нулю – если передняя поверхность параллельна основной плоскости

Главным задним углом α называется угол между главной задней поверхностью резца (или касательной к ней) и плоскостью резания.

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

Углом резания δ называется угол между плоскостью резания и передней поверхностью резца (или касательной к ней).

Между этими углами существует соотношение $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$.

Во вспомогательной секущей плоскости N_1-N_1 рассматривают **вспомогательные задний α_1 и передний γ_1 углы**.

α_1 – это угол между касательной к вспомогательной задней поверхности резца и плоскостью, проведенной через точку вспомогательной режущей кромки перпендикулярно к основной плоскости.

γ_1 – угол между передней поверхностью резца и основной плоскостью в рассматриваемой точке вспомогательной режущей кромки

В основной плоскости измеряются углы в плане.

Главным углом в плане φ называется угол между плоскостью резания и рабочей плоскостью. Для резца он определяется проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи.

Вспомогательным углом в плане φ_1 называется угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и рабочей плоскостью.

Угол в плане при вершине ε – угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость. $\varphi + \varepsilon + \varphi_1 = 180^\circ$.

В плоскости резания измеряется **угол наклона главной режущей кромки λ** – угол между главной режущей кромкой и основной плоскостью. Если вершина резца – низшая точка кромки, то угол λ – положительный, если высшая – отрицательный.

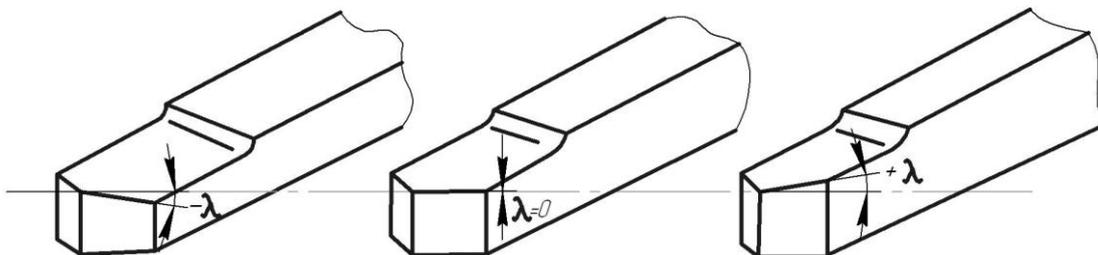


Рисунок 6 – Угол наклона главной режущей кромки λ

Все перечисленные углы резца соответствуют данным определениям, если вершина резца установлена на уровне оси вращения обрабатываемой детали и геометрическая ось стержня резца расположена перпендикулярно к оси вращения обрабатываемой детали. При такой установке резца на станке инструментальная система координат совпадает со статической. При этом основная плоскость совпадает с опорной поверхностью резцов, а поверхность резания расположена вертикально.

В процессе реального резания направление результирующего движения резания отклоняется от направления главного движения за счет движения подачи. Поэтому основная плоскость также будет отклонена от статической основной плоскости. Вследствие этого величины геометрических параметров будут отличаться от статических, они будут называться кинематическими и оцениваются в кинематической системе координат.

Методические указания

Для выполнения работы студентам выдаются комплекты токарных резцов разных типов. Каждый комплект содержит следующие основные типы резцов: проходной, расточной, отрезной.

Передний угол, задние углы, угол наклона главной режущей кромки измеряют настольным угломером.

Настольный угломер (рисунок 7) состоит из основания 1, стойки 2, по которой перемещается сектор 5 со шкалой, поворотного шаблона с указателем 4 и зажимных

винтов 3. При установке указателя 4 на 0° сектора 5 горизонтальная сторона шаблона расположится параллельно опорной плоскости угломера, на которую устанавливается при измерении резец.

Для измерения переднего угла γ (рисунок 7, а) резец устанавливается так, чтобы шаблон располагался нормально к проекции главной режущей кромки на основную плоскость (в главной секущей плоскости). Горизонтальная сторона шаблона совмещается без просвета с передней поверхностью лезвия, а указатель отсчитывает по шкале сектора величину угла γ .

Для измерения заднего угла α (рисунок 7, б) при той же установке резца вертикальная сторона шаблона совмещается без просвета с задней поверхностью лезвия резца. Указатель отсчитывает величину угла α .

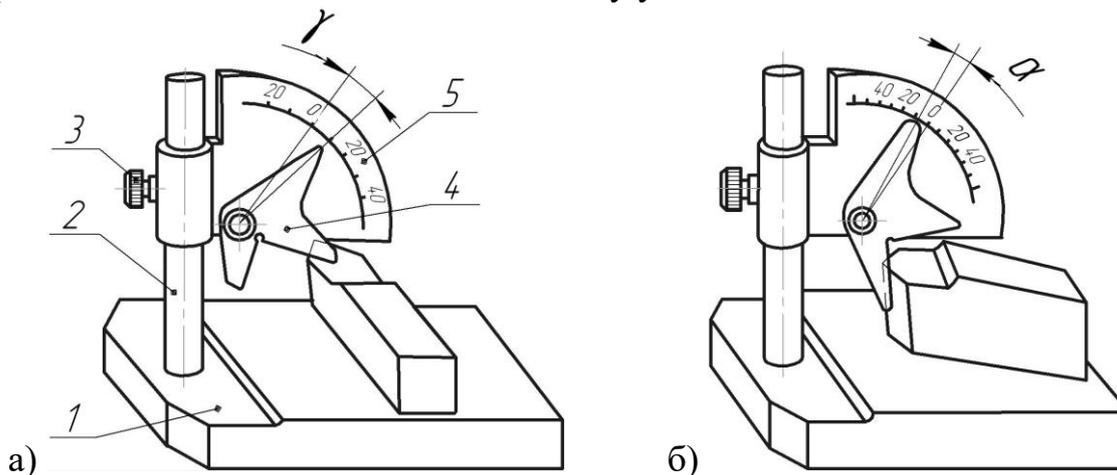


Рисунок 7 – Схема измерения: а – угла γ токарного проходного резца; б – угла α токарного проходного резца

Для измерения угла наклона режущей кромки λ (рисунок 8) резец устанавливают так, чтобы горизонтальная сторона шаблона совпала без просвета с главной режущей кромкой.

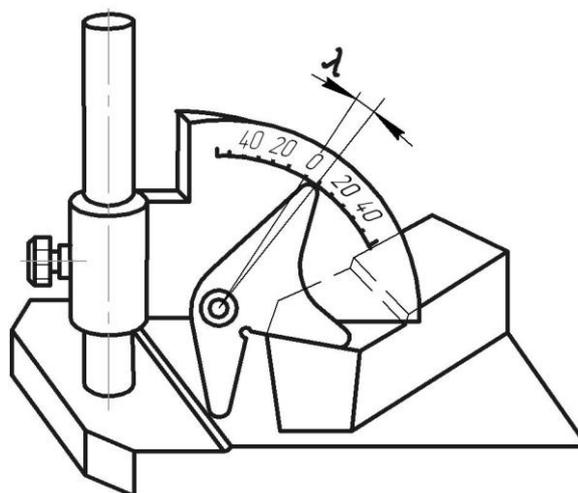


Рисунок 8 – Схема измерения угла λ токарного проходного резца

Углы в плане φ и φ_1 измеряют универсальным угломером. При измерении главного угла в плане φ (рисунок 9) планку 1 угломера прикладывают к режущей кромке лезвия, а планку 2 – к боковой стороне резца 3. Показания на шкале угломера дают значения φ . Подобным же методом измеряют вспомогательный угол в плане φ_1 .

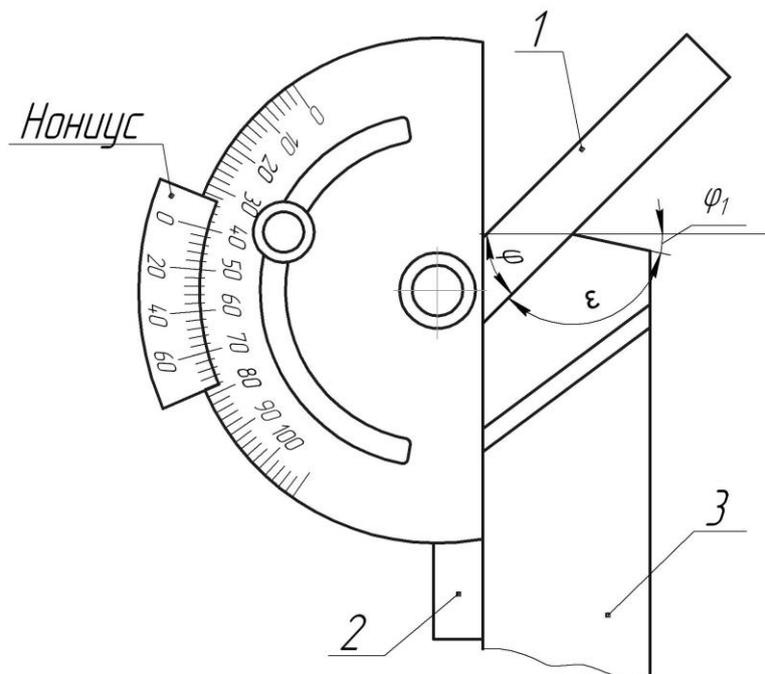


Рисунок 9 – Схема измерения угла φ токарного проходного резца

Результаты измерений углов токарных резцов сводим в таблицу 1.

Таблица 1 – Геометрические параметры токарных резцов

№ п/п	Наименование резца	Углы резца, °								
		Передний	Задний	Резания	Заострения	Наклона главной режущей кромки	Главный в плане	Вспомогательный в плане	При вершине	Вспомогательный задний
		γ	α	δ	β	λ	φ	φ_1	ε	α_1
1										
2										
3										

Порядок выполнения работы

1. Получить комплект разнотипных токарных резцов.
2. Определить тип, назначение резцов и движения, необходимые для осуществления резания с его использованием.
3. На каждом из резцов выявить их конструктивные элементы, определить расположение координатных плоскостей, а также углов, характеризующих геометрию инструментов.
4. Выполнить эскизы резцов с нанесением направлений движения резания, всех необходимых сечений, видов и углов. На эскизах показать деталь с элементами срезаемого слоя и режима резания.

5. Изучить устройство угломеров для измерения геометрических параметров токарных резцов.

6. Произвести измерения углов режущей части инструментов, результаты занести в таблицу 1.

Содержание отчёта

1. Название и цель лабораторной работы.

2. Перечень оборудования, инструментов и принадлежностей.

3. Элементы режима резания.

4. Изображение токарного проходного резца с указанием его конструктивных элементов.

5. Эскизы выданных резцов с нанесёнными направлениями движений резания, сечениями главной и вспомогательными секущими плоскостями и углами, элементами сечения срезаемого слоя и режима резания.

6. Таблица с результатами измерений углов токарных резцов.

Контрольные вопросы

1. Классификация резцов по виду обработки.

2. Части и конструктивные элементы токарных резцов. Поверхности на заготовке при резании.

3. Элементы режима резания и срезаемого слоя при точении.

4. Координатные плоскости для определения углов токарного резца.

5. Плоскости, в которых измеряются углы резца.

6. Определения основных углов резца.

7. Соотношения между углами в главной секущей плоскости, в основной плоскости.

8. Влияние на величину углов резца его положения относительно оси вращения обрабатываемой детали.

9. Влияние подачи и диаметра заготовки на величину углов резца в процессе резания

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА СВЕРЛЕНИЯ, КОНСТРУКТИВНЫЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СПИРАЛЬНЫХ СВЁРЛ

Цель работы: ознакомление с основными поверхностями и геометрическими параметрами спиральных сверл, а также с методами и средствами их измерения.

Инструменты и принадлежности: спиральные свёрла, угломеры, штангенциркуль, микрометр.

Краткие теоретические сведения

1. Область применения сверления. Элементы режима резания и срезаемого слоя.

Сверление – это способ обработки резанием, обеспечивающий получение сквозных и глухих отверстий в сплошном материале, а также применяемый для рас-сверливания уже имеющихся отверстий. Сверление позволяет получать поверхности до 12 качества точности.

При работе сверло совершает **главное движение** – вращательное движение вокруг своей оси, обеспечивающее определенную скорость резания и **движение подачи** – перемещение вдоль оси вращения. В некоторых случаях, например при сверлении на токарном станке, вращательное движение может получать деталь, а не сверло.

Скорость резания v для точек режущей кромки различна. В центре сверла она равна нулю. За скорость резания (м/мин) при сверлении принимается окружная скорость точки, лежащей на периферии:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \text{ м/мин} \quad (6)$$

где D – диаметр сверла, мм;

n – частота вращения, мин^{-1} .

Подача S – величина перемещения сверла или детали вдоль оси отверстия за один оборот S_o (мм/об). Так как сверло имеет два зуба и режет одновременно двумя режущими кромками, то на каждую кромку приходится подача (мм/зуб):

$$S_z = S_o/2, \text{ мм/зуб} \quad (7)$$

Подача за одну минуту (мм/мин):

$$S_m = S_o \cdot n = S_z \cdot z \cdot n, \text{ мм/мин} \quad (8)$$

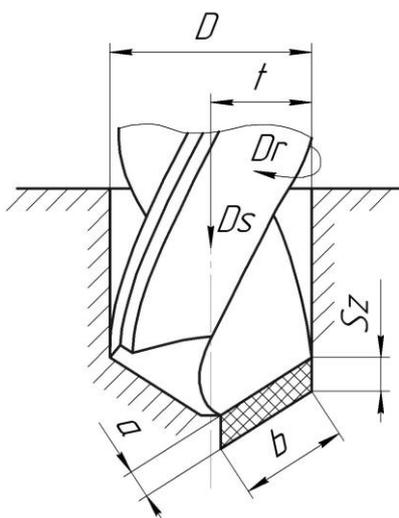


Рисунок 10 – Элементы срезаемого слоя и движения при сверлении

Глубина резания t при сверлении в сплошном материале – это величина срезаемого слоя, равная половине диаметра сверла. При рассверливании отверстия от диаметра d до диаметра D глубина резания

$$t = (D - d)/2, \text{ мм} \quad (9)$$

Ширина срезаемого слоя b без учета перемычки сверла измеряется вдоль кромки от оси сверла до точки, лежащей на наружном диаметре сверла (рисунок 10).

Толщина срезаемого слоя a представляет собой длину нормали к поверхности резания, проведенную через рассматриваемую точку режущей кромки, ограниченную сечением срезаемого слоя (рисунок 10).

При сверлении и рассверливании отверстий обработанной поверхностью является поверхность обработанного отверстия. Поверхность резания образуется режущей кромкой при ее движении в процессе резания (рисунок 11).

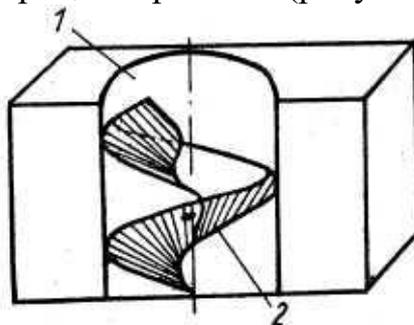


Рисунок 11 – Поверхности на заготовке при сверлении

2. Конструктивные элементы свёрла

Сверло состоит из двух основных частей: рабочей и крепежной (рисунок 12).

Рабочая часть включает в себя режущую и направляющую части. Режущая часть сверла (заборный конус) выполняет основную работу резания. Направляющая часть обеспечивает направление сверла в отверстии при сверлении.

Крепежная часть предназначена для закрепления сверла и для передачи крутящего момента от шпинделя станка. Она состоит из конического хвостовика и лапки (рисунок 12) или цилиндрического хвостовика и поводка.

Конический хвостовик служит для установки и закрепления сверла в коническом отверстии шпинделя станка. Лапка является упором при выбивании сверла из шпинделя станка.

Цилиндрический хвостовик предназначен для закрепления сверла в специальном патроне, укрепленном на шпинделе станка.

Промежуточную часть между рабочей и крепежной называют шейкой. Она служит для выхода шлифовального круга при шлифовании сверла.

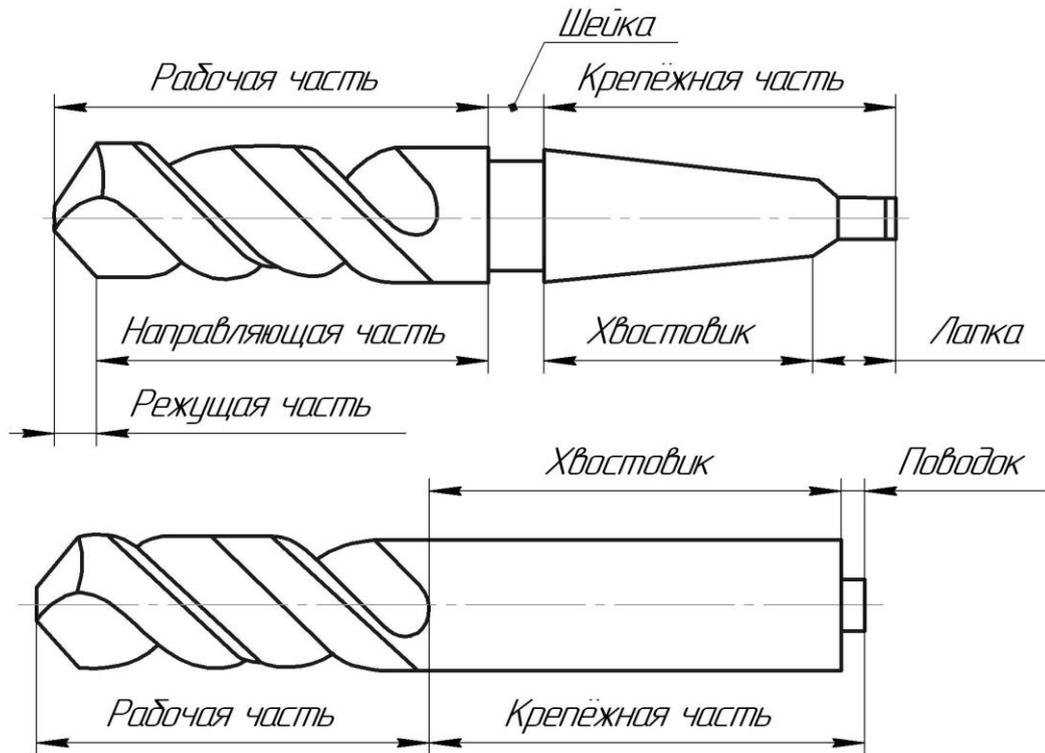


Рисунок 12 – Основные элементы сверла

Рабочая часть сверла содержит следующие **конструктивные элементы**:

Передняя поверхность (рисунок 13, I) – часть поверхности винтовой канавки, по которой сходит стружка. Передняя поверхность сверла представляет собой винтовую поверхность, состоящую из семейства винтовых линий, у которых одинаковый шаг и различный диаметр. Поэтому угол наклона этих винтовых линий различный.

– **главная задняя поверхность** (рисунок 13, II) – торцовая поверхность зуба сверла;

– **ленточка** (вспомогательная задняя поверхность) (рисунки 2.1, 2.2) – узкая полоска на зубе сверла, расположенная вдоль винтовой канавки, предназначенная для направления сверла и уменьшения трения сверла об обрабатываемую поверхность;

– **спинка** (затылок) зуба (рисунок 13, III);

– **сердцевина** (диаметр d_c , рисунок 13).

Режущие лезвия сверла:

– **главное режущее лезвие** – линия пересечения передней и задней поверхностей, поскольку у сверла два зуба, то и два главных режущих лезвия (2-3 и 4-5, рисунок 13);

– **поперечное режущее лезвие (перемычка)** – линия пересечения обеих главных задних поверхностей (3-4, рисунок 13);

– **вспомогательное режущее лезвие** – пересечение, передней поверхности с поверхностью ленточки. У сверла два вспомогательных лезвия (2-1; 5-6 рисунок 13).

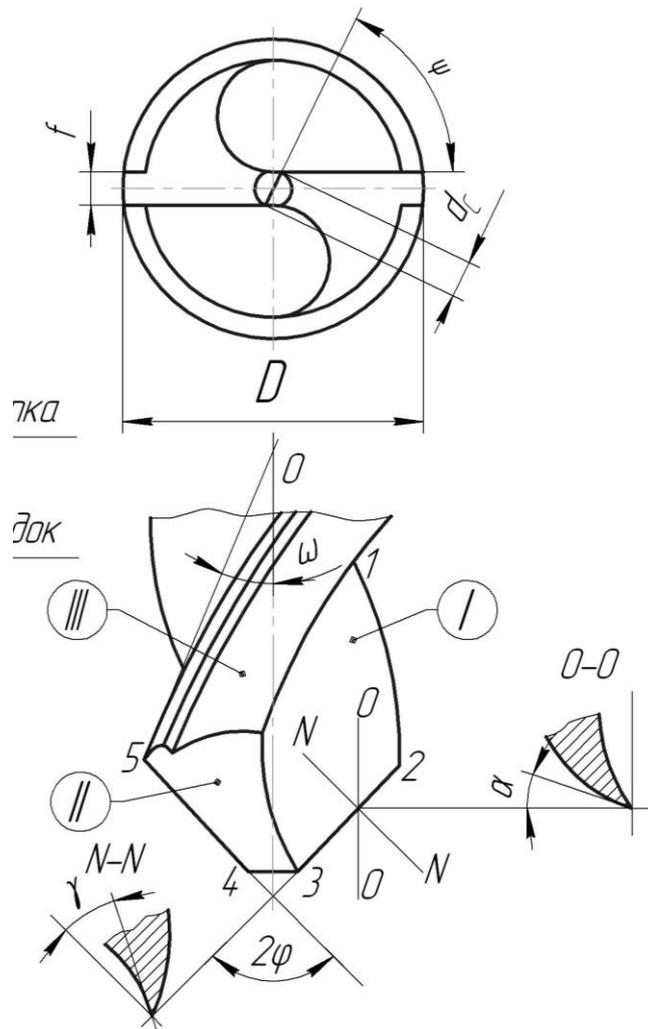


Рисунок 13 – Конструктивные элементы и геометрические параметры спирального сверла

3. Геометрические параметры свёрла

Для оценки геометрических параметров сверл используются такие же координатные плоскости (основная, резания, рабочая), как и для токарных резцов.

Также как и у токарных резцов, основными геометрическими параметрами, определяющими процесс резания, являются передний и задний углы.

Передний угол γ – угол между касательной к передней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и нормалью в той же точке к поверхности вращения режущей кромки вокруг оси сверла. Измеряется в плоскости N-N (рисунок 13).

Он неодинаков для разных точек режущей кромки (рисунок 14). На наружном диаметре передний угол максимален и находится в пределах 25...30°.

Величина переднего угла в зависимости от расположения точки на режущей кромке, в которой этот угол определяется, может быть найдена по формуле:

$$\operatorname{tg} \gamma_i = \frac{D_i \operatorname{tg} \omega}{D \sin \varphi}, \quad (10)$$

где γ_i – передний угол в i -й точке режущей кромки;

D_i – диаметр, на котором расположена i -я точка режущей кромки, мм.

Передний угол на чертежах сверла не проставляют, так как положение и форму передней поверхности сверла определяет угол наклона винтовой канавки, являющейся передней поверхностью сверла, что следует из формулы (10).

Если передний угол образуется при изготовлении сверла, то задний получают при его заточке.

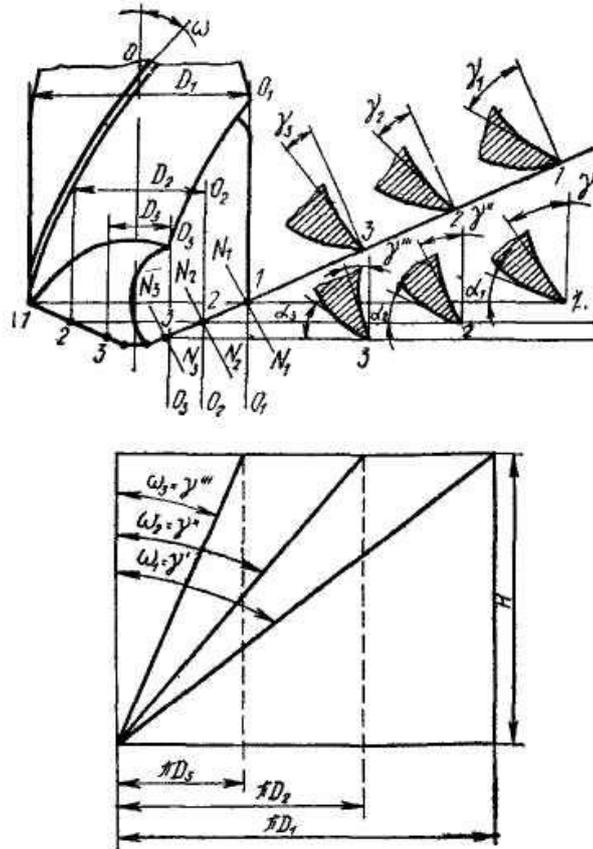


Рисунок 14 – Передние и задние углы в различных точках режущей кромки сверла

Задний угол α – представляет собой угол между касательной к задней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и касательной в той же точке к окружности её вращения вокруг оси сверла. Измеряется в плоскости О-О (рисунок 13).

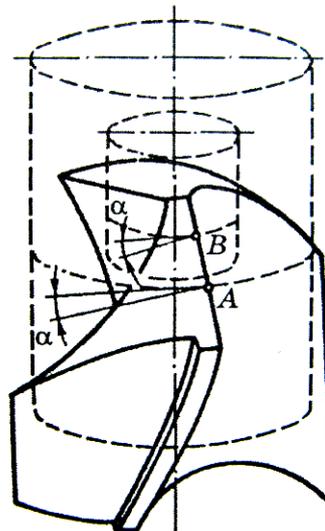


Рисунок 15 – Образование заднего угла α на кромке сверла в цилиндрических сечениях

Так как сверло при резании имеет подачу вдоль оси, то траектория точки режущей кромки винтовая, а действительный задний угол будет отличаться от статического на некоторую величину η :

$$\operatorname{tg}\eta = \frac{S_o}{\pi D}, \quad (11)$$

Из формулы (11) следует, что чем ближе располагается точка режущей кромки к оси сверла, тем значительно уменьшается задний угол в процессе работы. Поэтому при заточке сверла обеспечивают наибольшее значение заднего угла в ближайшей к центру точке режущей кромки с постепенным уменьшением его к периферии. Такая заточка сверла обеспечивает также и приблизительное равенство угла заострения зуба по всей длине режущей кромки, и, следовательно, его равнопрочность.

В основной плоскости определяются **углы в плане**.

Главный угол в плане φ – угол между плоскостью резания и рабочей плоскостью. От угла φ зависит ширина и толщина срезаемого слоя, а также прочность режущей части сверла. На практике, когда требуется быстро определять, для каких условий работы предназначено сверло, универсальным угломером измеряют угол между главными режущими кромками — угол при вершине 2φ . Однако на ширину и толщину среза влияет не угол 2φ , а угол φ на каждом пере сверла. При заточке можно получить точную величину угла 2φ , но разные величины углов φ на зубьях сверла. В данном случае условия работы на каждом зубе разные, ухудшаются условия резания, снижается точность и качество обработанного отверстия. Поэтому при заточке сверла необходимо измерять углы φ на каждом из перьев.

Вспомогательный угол в плане (угол обратного конуса) φ_1 – угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость сверла и рабочей плоскостью. У сверл диаметр рабочей части сверла уменьшают по направлению к хвостовику, т. е. делают обратную конусность для того, чтобы избежать защемления сверла в отверстии. Величина конусности невелика – 0,03...0,15 мм на 100 мм длины сверла, чтобы после переточек диаметр сверла изменялся незначительно.

Угол φ_1 можно определить по формуле:

$$\varphi_1 = \operatorname{arctg}\left(\frac{D - D_1}{2l}\right), \quad (12)$$

где D и D_1 – диаметры сверла в начале и конце направляющей части;

l – длина направляющей части.

Угол наклона винтовой канавки ω – угол между касательной к ленточке и линией, параллельной оси сверла. Выбор величины угла ω зависит от обрабатываемого материала, глубины просверливаемого отверстия и других факторов. Сверла изготавливаются с углами $\omega=15...60^\circ$.

Вспомогательный задний угол сверла α_1 – располагается в плоскости, нормальной к вспомогательной режущей кромке. Так как ленточка шлифуется по окружности, то вспомогательный задний угол сверла равен нулю.

Угол наклона перемычки ψ – угол между проекциями поперечной и главной режущей кромки на плоскость, перпендикулярную оси сверла. Величина этого угла при правильной заточке сверла 50...55°.

Пересекая перемычку перпендикулярной к ней секущей плоскостью, можно видеть, что угол резания перемычки больше 90° , т. е. передний угол перемычки – отрицательный. В результате перемычка не режет металл, а скоблит его (выдавливает). Из-за этого более 50% усилия подачи и около 15% крутящего момента возникает при резании поперечной режущей кромкой. На практике для уменьшения сил резания применяют различные методы подточки перемычки.

Методические указания

Конструктивные элементы сверла измеряются универсальными инструментами – штангенциркулем, микрометром; геометрические параметры – универсальным угломером и другими средствами.

На рисунке 16 показано измерение диаметра сверла штангенциркулем. Диаметр сердцевины d_c , можно также измерить штангенциркулем, либо воспользоваться микрометром с острыми наконечниками. Кроме этого штангенциркулем измеряется длина рабочей части L и длина направляющей части l .

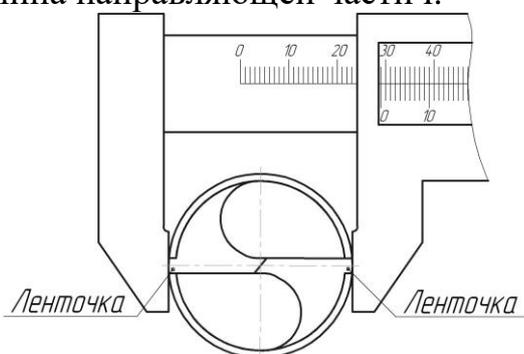


Рисунок 16 – Схема измерения диаметра сверла штангенциркулем

После измерения диаметров D и D_1 сверла в начале и конце направляющей части можно рассчитать угол обратного конуса ϕ_1 .

Измерение угла при вершине 2ϕ (рисунок 17, а), а также угла наклона перемычки ψ (рисунок 17, б) производится при помощи универсального угломера.

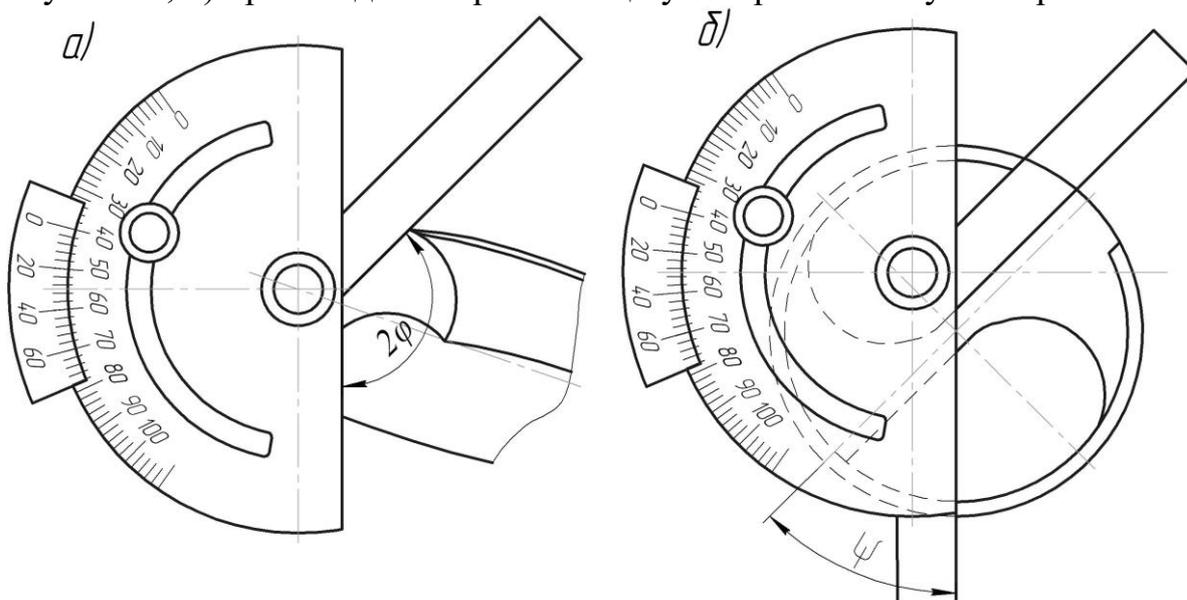


Рисунок 17 – Схема измерения универсальным угломером: а – угла при вершине 2ϕ ; б – угла наклона поперечной режущей кромки ψ

Угол наклона винтовой стружечной канавки ω определяют либо непосредственным измерением настольным угломером, при этом главную режущую кромку необходимо располагать в горизонтальной плоскости, либо определяют по отпечатку, получаемому путем прокатывания сверла по бумаге и измеряемому универсальным угломером. Для этого необходимо поместить сверло таким образом, чтобы его ось располагалась параллельно краю листа. Прижать его и прокатать, при этом вспомогательная режущая кромка оставит на листе отпечаток в виде прямой, наклонённой к краю листа под искомым углом ω (рисунок 18).

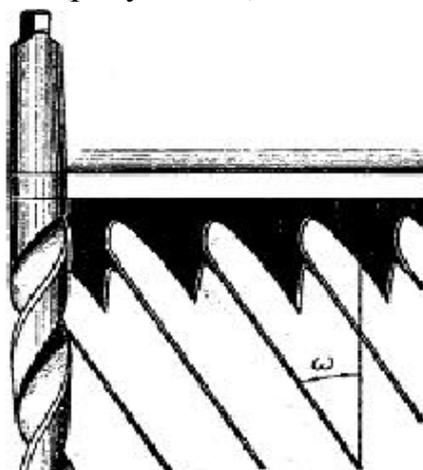


Рисунок 18 – Измерение угла наклона винтовой канавки ω

Результаты измерений сводим в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты измерения параметров сверла

Линейные размеры элементов сверла					Углы сверла			
D, мм	D ₁ , мм	L, мм	l, мм	d _c , мм	2φ, °	ω, °	φ ₁ , °	ψ, °

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя сверло с винтовыми канавками.
2. Определить на сверле все конструктивные элементы сверла и углы, характеризующие геометрию инструмента.
3. Выполнить эскиз сверла в двух проекциях с необходимыми сечениями, на которых обозначить все углы сверла и размеры. На эскизе изобразить элементы сечения срезаемого слоя и режима резания.
4. Изучить устройство угломеров для измерения углов сверла. Произвести измерения и результаты занести в таблицу 2.
5. Линейные размеры элементов сверла измеряются линейкой, штангенциркулем и микрометром.

Содержание отчета

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Перечень оборудования, инструментов и принадлежностей.

3. Эскиз сверла в двух проекциях с необходимыми сечениями, размерами и углами сверла, а также элементами сечения срезаемого слоя и режима резания.

4. Таблица с результатами расчёта и измерений параметров сверла, требуемые расчётные формулы.

Контрольные вопросы

1. Элементы режима резания и срезаемого слоя яри сверлении.
2. Части и элементы сверла, их назначение.
3. В каких плоскостях измеряются геометрические параметры сверла?
4. Определения углов в плане сверла.
5. Определения и особенности главных переднего и заднего углов.
6. Особенности угла наклона винтовой канавки сверла в разных точках режущей кромки сверла.
7. Условия работы перемычки при резании и причины их обуславливающие.
8. Определения вспомогательного заднего угла сверла, угла наклона перемычки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ, КОНСТРУКТИВНЫЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ФРЕЗ

Цель работы: закрепление сведений об основных частях и элементах различных видов фрез, их геометрических параметрах, элементах режима резания и срезаемого слоя. Ознакомление с методами измерения геометрических параметров фрез. Приобретение навыков эскизирования цилиндрических и торцевых фрез.

Инструменты и принадлежности: комплект фрез, угломеры, штангенциркуль.

Краткие теоретические сведения

1. Основные типы фрез

Фреза – многолезвийный инструмент, применяемый для обработки плоскостей, пазов, шлицев, тел вращения, зубчатых венцов, резьб и фасонных поверхностей. Фреза представляет собой тело вращения, на торце и (или) образующей поверхности которого имеются режущие зубья. Одновременное участие в работе нескольких зубьев обеспечивает высокую производительность обработки.

Основные типы фрез приведены на рисунке 19. Несмотря на многообразие фрез схема их работы соответствует цилиндрическому или торцевому фрезерованию.

При **цилиндрическом** фрезеровании ось фрезы параллельна обрабатываемой поверхности, работа производится зубьями, расположенными на цилиндрической поверхности фрезы.

При **торцевом** фрезеровании ось фрезы перпендикулярна обработанной поверхности. В работе принимают участие кромки зубьев, расположенные не только на цилиндрической, но и на торцевой поверхности фрезы.

1.2 Движения, элементы режима резания и срезаемого слоя

Главное движение при фрезеровании – вращение фрезы. **Движение подачи** — поступательное или вращательное перемещение заготовки. Образующие при этом на заготовке поверхности приведены на рисунке 20.

Скорость резания при фрезеровании v (м/мин) – окружная скорость наиболее удаленной от оси вращения точки режущей кромки фрезы. Скорость резания при известной частоте вращения n (мин⁻¹) и диаметре фрезы D (мм):

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \text{ м/мин} \quad (13)$$

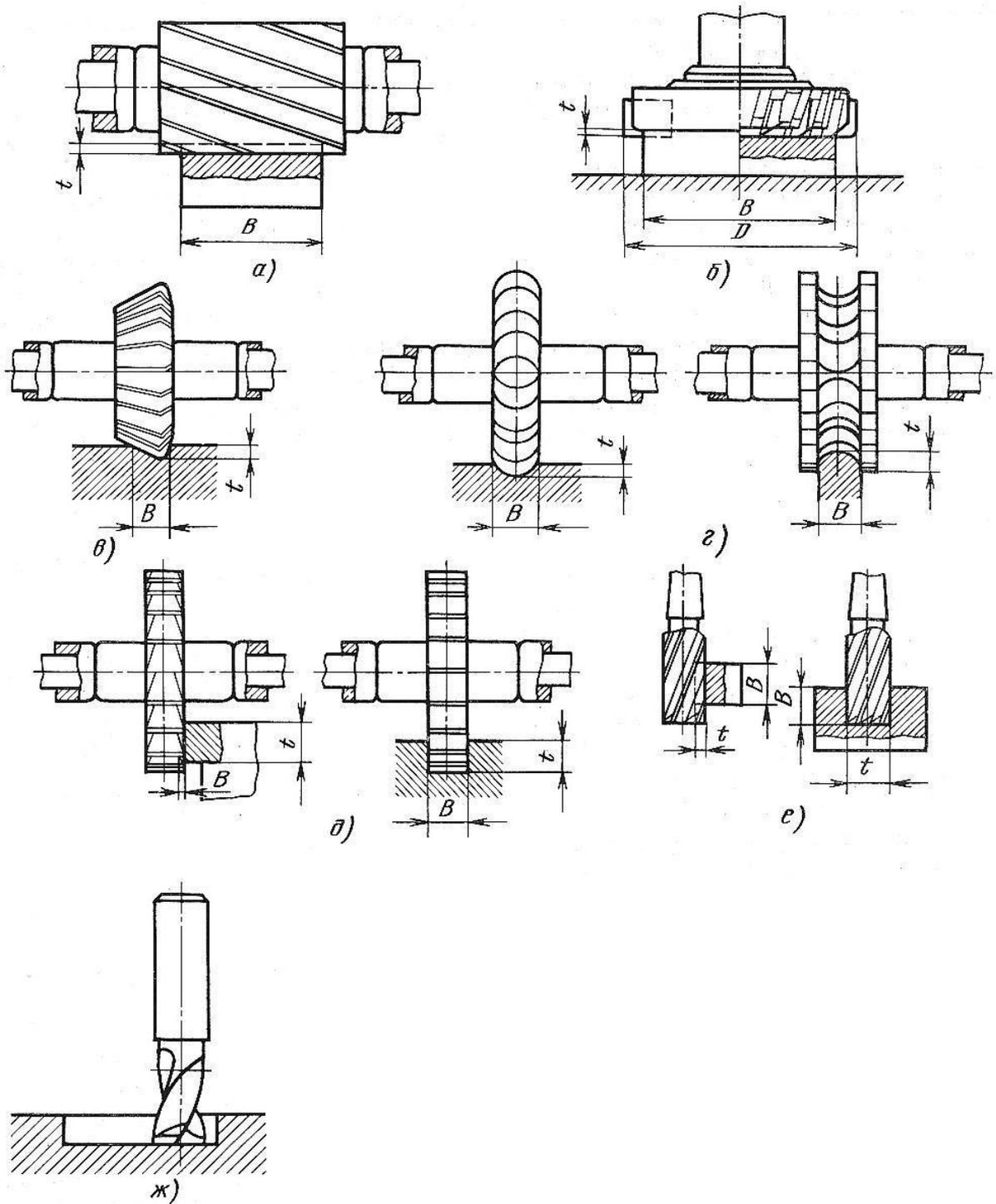


Рисунок 19 – Основные типы фрез: а – цилиндрическая; б – торцовая; в – торцовая ; г – фасонные; д – дисковая двух- и трехсторонние; е – концевая; ж – шпоночная

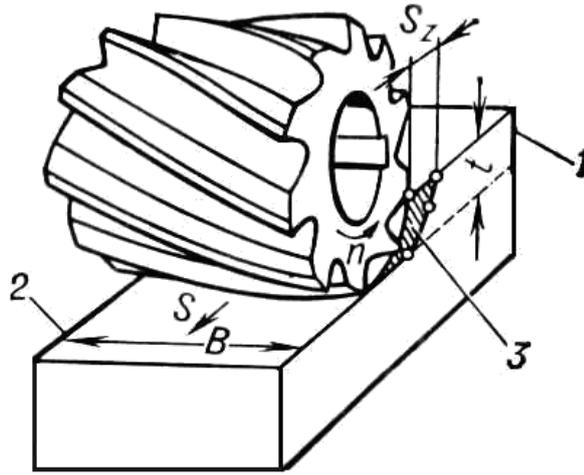


Рисунок 20 – Поверхности, образуемые на заготовке при фрезеровании: 1 – обрабатываемая поверхность; 2 – обработанная поверхность; 3 – поверхность резания

Подача S – скорость перемещения обрабатываемой заготовки относительно фрезы. Скорость подачи всегда меньше скорости главного движения. При фрезеровании существует три способа оценки величины подачи:

- **на один зуб** фрезы S_z – перемещение заготовки в направлении движения подачи за время поворота фрезы на один угловой шаг;
- **за один оборот** фрезы (оборотная) S_o – перемещение заготовки в направлении движения подачи за один полный поворот фрезы;
- **за минуту** (минутная) S_m – перемещение заготовки в направлении движения подачи за одну минуту.

Между ними существует следующее соотношение

$$S_m = S_o \cdot n = S_z \cdot z \cdot n, \quad (14)$$

где z – число зубьев фрезы.

Глубина резания t – представляет собой расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное перпендикулярно последней (рисунок 20).

Ширина фрезерования B – ширина обрабатываемой поверхности в направлении, параллельном оси фрезы у цилиндрических фрез и перпендикулярном – у торцовых. У цилиндрических и торцовых фрез ширина фрезерования совпадает с шириной обрабатываемой заготовки, у дисковых фрез – с шириной паза, у концевых фрез – с глубиной паза (рисунок 21).

Размеры срезаемого слоя характеризуются следующими параметрами.

Угол контакта фрезы δ – центральный угол, соответствующий дуге контакта фрезы с заготовкой (рисунок 21).

Различают также **мгновенный угол контакта ψ** – центральный угол между радиусом, проведенным в начальную точку касания зуба фрезы с заготовкой, и радиусом, проведенным в точку мгновенного положения зуба.

Для цилиндрических, дисковых и фасонных фрез угол контакта зависит от глубины резания и диаметра фрезы:

$$\cos\delta = 1 - \left(\frac{2t}{D}\right), \quad (15)$$

Для торцевых фрез угол контакта определяется шириной фрезерования и диаметром фрезы.

Толщина среза a – длина нормали к поверхности резания, проведенной через рассматриваемую точку режущей кромки, ограниченная сечением срезаемого слоя (рисунок 21 и 22). Особенностью фрезерования является переменная величина толщины среза. Толщина срезаемого слоя для мгновенного положения зуба цилиндрической фрезы:

$$a_i = S_z \cdot \sin \psi_i, \quad (16)$$

Максимальная толщина слоя, срезаемого зубом цилиндрической фрезы:

$$a_{\max} = S_z \cdot \sin\delta, \quad (17)$$

минимальная – $a_{\min}=0$.

Максимальное значение толщины среза зубом торцевой фрезы, как следует из рисунка 3.4, будет иметь место при угле $\psi=90^\circ$ и равно:

$$a_{\max} = S_z \sin \varphi, \quad (18)$$

где φ – главный угол в плане.

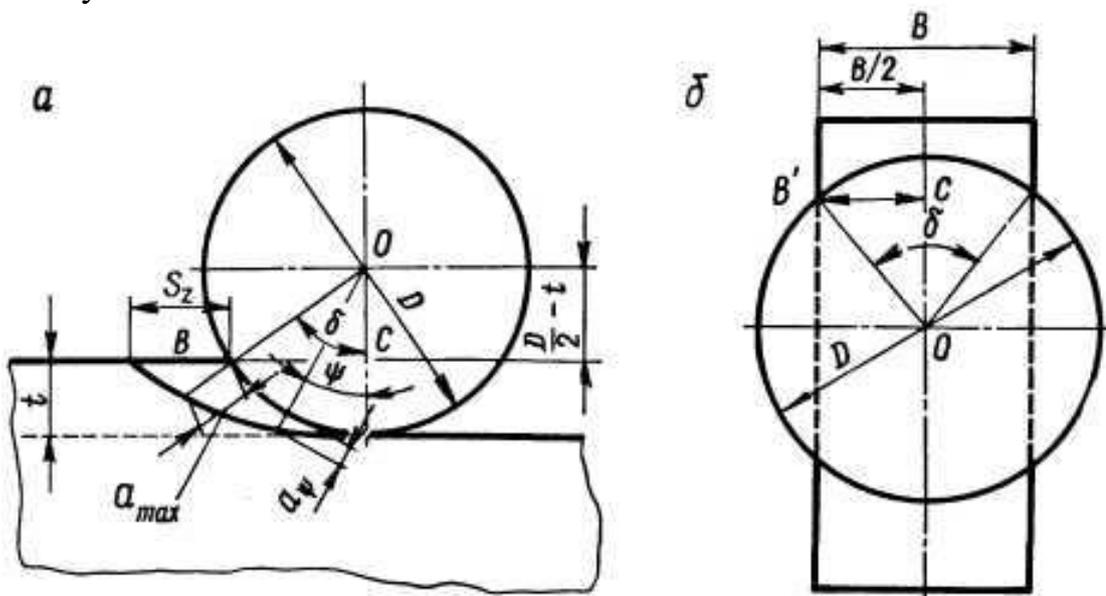


Рисунок 21 – Схема резания при цилиндрическом (а) и торцевом (б) фрезеровании

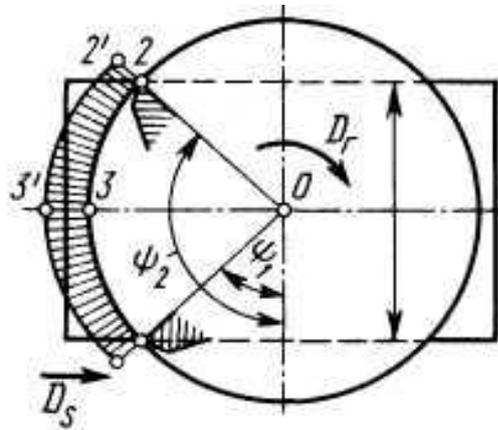
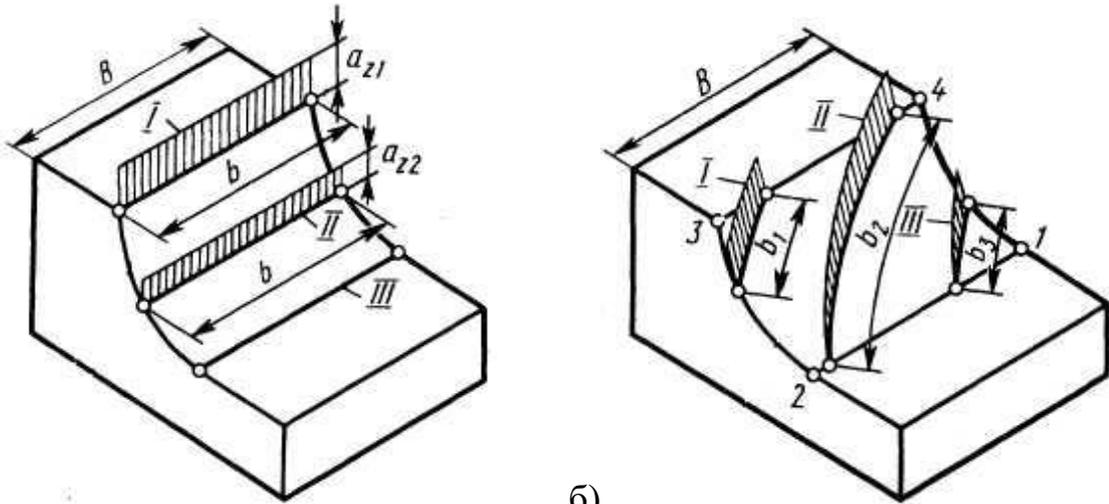


Рисунок 22 – Толщина срезаемого слоя при торцовом фрезеровании

Ширина среза b – длина стороны сечения срезаемого слоя, образованной поверхностью резания. Для прямозубой цилиндрической фрезы $b = B$, для цилиндрической фрезы с винтовыми зубьями является переменной величиной, изменяющейся от нуля в момент входа зуба в контакт с заготовкой до некоторой максимальной величины (рисунок 23). Для торцевой фрезы ширина среза постоянна и равна:

$$b = \frac{B}{\sin \varphi \cos \lambda}, \quad (19)$$

где φ – главный угол в плане;
 λ – угол наклона режущей кромки.



а) б)
 Рисунок 23 – Параметры сечения среза при обработке цилиндрической фрезой с прямыми (а) и винтовыми (б) зубьями

1.3 Геометрические параметры фрез

1.3.1 Цилиндрическая фреза

Цилиндрическая фреза представляет собой цилиндрическое тело, на поверхности которого выполнены канавки для размещения стружки. Пересечение канавки с цилиндрической поверхностью образует режущие кромки. Для более плавной работы фрезы и для увеличения числа одновременно работающих зубьев стружечные канавки делают винтовыми.

Классическая цилиндрическая фреза работает в условиях свободного резания, на каждом ее зубе имеется одна режущая кромка (рисунок 24).

Передней поверхностью цилиндрической фрезы является часть стружечной канавки у режущей кромки, а **задней** – поверхность цилиндра.

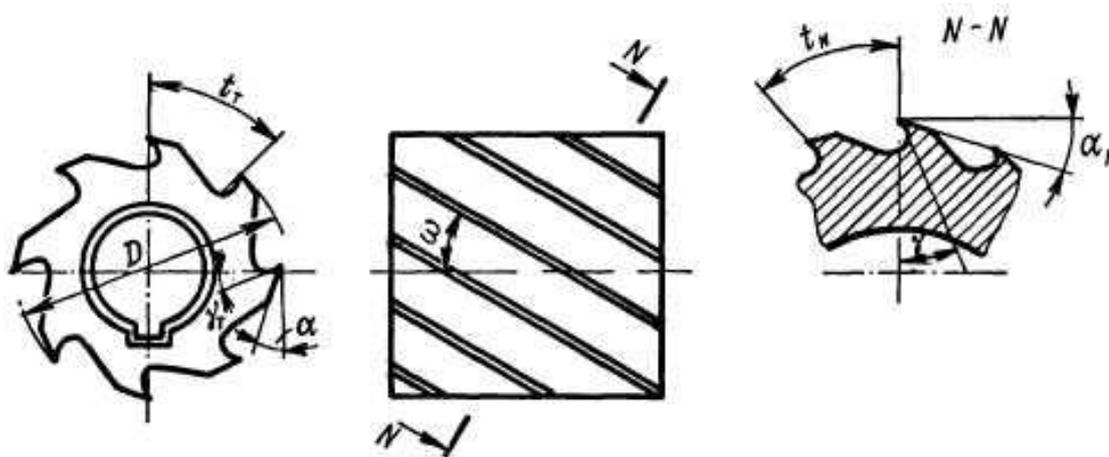


Рисунок 24 – Геометрические параметры цилиндрических фрез

Каждый режущий зуб фрезы, как и другого лезвийного инструмента, имеет такие же элементы и углы, как резец.

Главный передний угол γ - угол между передней поверхностью и основной плоскостью, проходящей через ось фрезы и рассматриваемую точку режущей кромки.

Этот угол обеспечивает сход стружки по передней поверхности и измеряется в плоскости $N - N$, перпендикулярной режущей кромке. В этой же плоскости измеряют задний угол α_N (рисунок 24).

Главный задний угол α — угол между касательной к задней поверхности фрезы и касательной к траектории движения рассматриваемой точки вокруг оси вращения фрезы. Траектория движения точки режущей кромки, определяющая положение плоскости резания, принимается за дугу окружности, поэтому главный угол измеряется в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы. В этой плоскости измеряется передний угол γ_t .

Угол наклона винтовой канавки ω представляет собой угол наклона режущих кромок к оси фрезы.

У цилиндрических фрез также рассматривают:

– окружной шаг фрезы t_t в торцевой плоскости, который представляет собой длину дуги по торцу фрезы между двумя соседними зубьями:

$$t_t = \pi D / z, \quad (20)$$

где D – диаметр фрезы;

z – число зубьев фрезы.

– шаг зубьев в нормальном сечении t_N :

$$t_N = t_t \cos \omega; \quad (21)$$

– осевой шаг зубьев фрезы t_o :

$$t_o = t_t \operatorname{ctg} \omega; \quad (22)$$

– шаг винтовой канавки зуба фрезы:

$$H = \pi \cdot D \cdot \operatorname{ctg} \omega, \quad (23)$$

1.3.2 Торцовая фреза

У торцевых фрез зубья подобны проходным резцам (рисунок 25). В резании, кроме главной, участвует, вспомогательная режущая кромка.

Зуб фрезы имеет углы в плане φ , φ_1 и ε .

Главный угол в плане φ – угол между плоскостью резания и рабочей плоскостью.

Вспомогательный угол в плане φ_1 – угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и рабочей плоскостью.

У вершины каждого зуба для упрочнения и улучшения условий теплоотвода затачивают переходную режущую кромку под углом $\varphi_o = \varphi/2$.

Главный передний угол γ – это угол между касательной к передней поверхности зуба фрезы и основной плоскостью. Он измеряется в плоскости схода стружки $N-N$, принимаемой в направлении, перпендикулярном к режущей кромке.

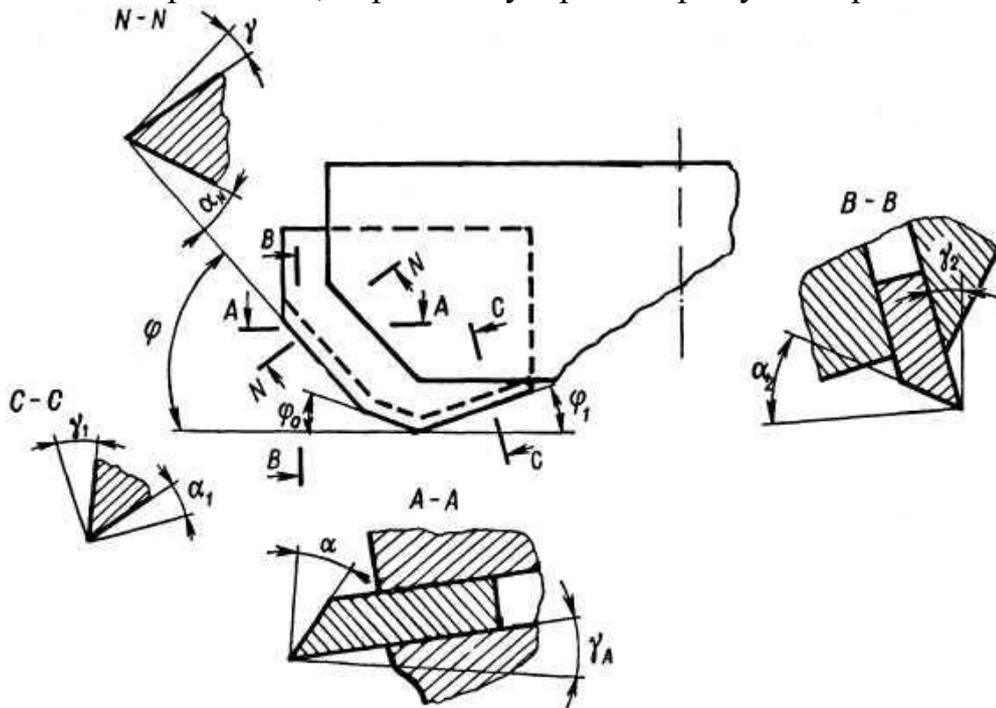


Рисунок 25 – Геометрические параметры торцевой фрезы

Главный задний угол α – угол между касательной к задней поверхности зуба фрезы и плоскостью резания, измеряется в плоскости $A-A$, перпендикулярной к оси фрезы, в которой лежит траектория движения точки режущей кромки.

В секущей плоскости $N-N$ измеряют нормальный задний угол α_N :

$$\operatorname{tg} \alpha_N = \operatorname{tg} \alpha \sin \varphi \quad (24)$$

У торцевых фрез рассматривают также **поперечный передний** угол γ_A в плоскости А-А и **продольные передний** γ_2 и **задний** α_2 углы фрезы в секущей плоскости В-В, параллельной оси фрезы.

Между углами, измеряемыми в различных плоскостях, существует следующая зависимость:

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma_A \sin \varphi + \operatorname{tg} \gamma_2 \cos \varphi . \quad (25)$$

В секущей плоскости С-С, перпендикулярной вспомогательной режущей кромки, измеряется **вспомогательные передний** γ_1 и **задний** углы α_1 .

Методические указания

Конструктивные элементы цилиндрической фрезы измеряются универсальными инструментами – штангенциркулем, микрометром; геометрические параметры – универсальным угломером, угломером М.М. Бабчиницера и другими средствами.

Измерение наружного диаметра D цилиндрической фрезы производим штангенциркулем аналогично рисунка 16. Кроме этого штангенциркулем измеряется общая длина фрезы L и диаметр посадочного отверстия d .

Измерение угла наклона спирали цилиндрической фрез β производится с помощью универсального угломера (рисунок 25).

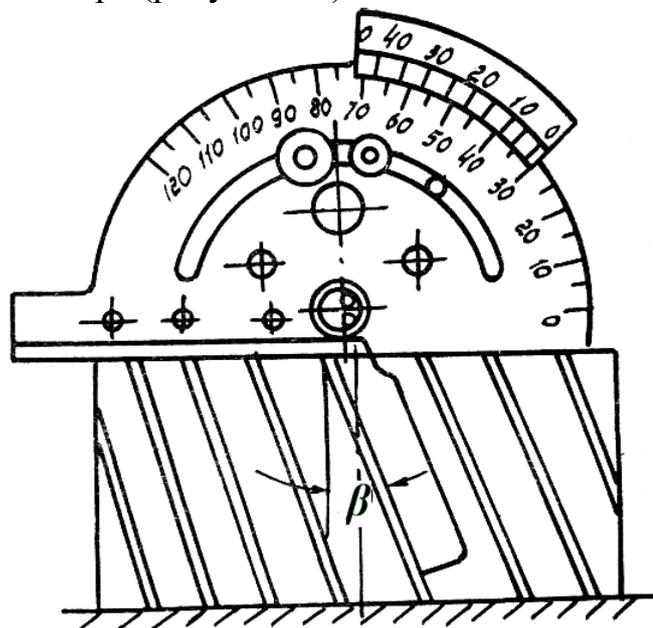


Рисунок 25 – Измерение наклона спирали цилиндрической фрез β с помощью универсального угломера

Измерение переднего γ_T (рисунок 26, а) и заднего α_T (рисунок 26, б) углов цилиндрической фрезы производится угломером М.М. Бабчиницера.

Для измерения переднего угла γ_T угломер М.М. Бабчиницера накладывают на вершины двух смежных зубьев (рисунок 26, а), сектор 2 поворачивают до совмеще-

ния мерительной плоскости пластинки 4 с передней поверхностью зуба фрезы и закрепляют винтом. Значение переднего угла отсчитывается на градусной шкале.

Для измерения заднего угла α_T (рисунок 26, б) настройка угломера тождественна настройке для измерения переднего угла γ_T . Сектор 2 поворачивают до совмещения мерительной плоскости пластинки 4 с задней поверхностью зуба и закрепляют винтом. Значение заднего угла α_T отсчитывается на градусной шкале против риски.

Затем по формулам 26 и 27 определяют действительные значения переднего γ и заднего α углов:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha_T}{\cos \beta}, \quad (26)$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma_T \cdot \cos \beta, \quad (27)$$

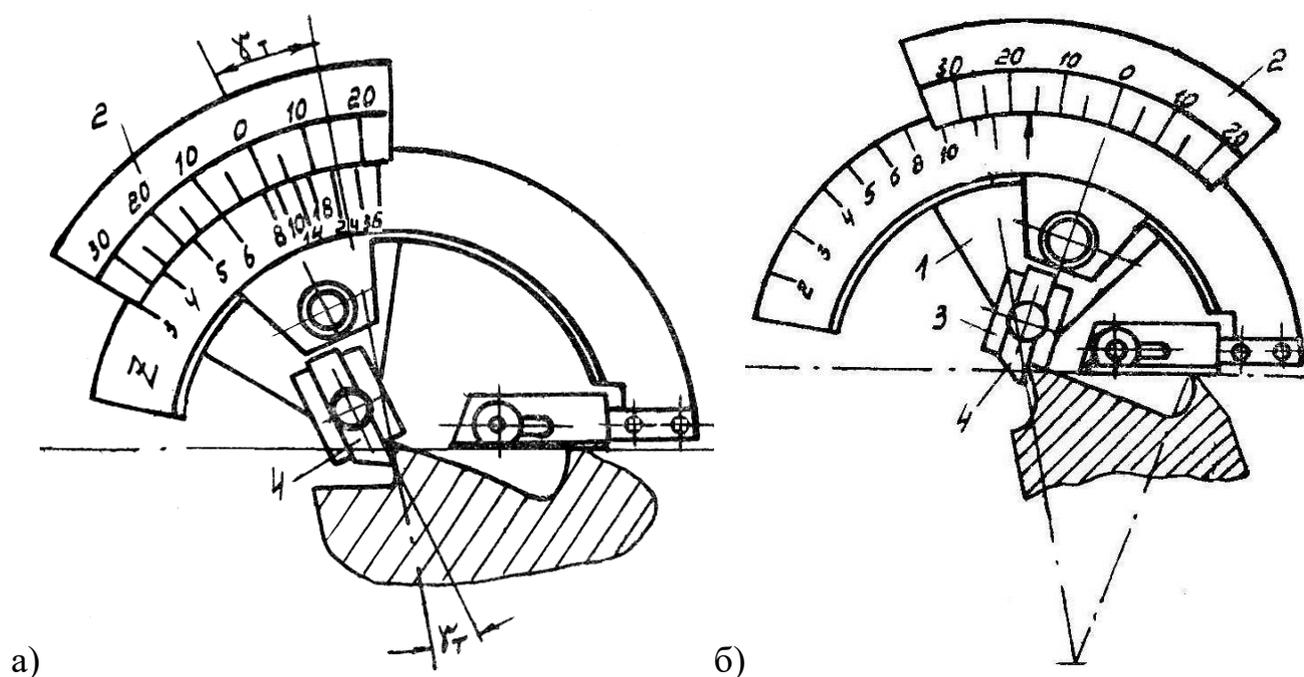


Рисунок 26 – Измерение переднего γ_T (а) и заднего α_T (б) углов с помощью угломера М.М. Бабчициера: 1 – основание; 2 – сектор; 3 – направляющая; 4 – измерительная ножка; 5 – подвижная линейка

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя фрезы различного типа.
2. Определить на фрезах все конструктивные элементы и углы, характеризующие геометрию инструмента.
3. Выполнить эскизы цилиндрической и торцовой фрез с необходимыми сечениями, на которых обозначить все углы и размеры. На эскизе изобразить поверхности заготовки и элементы сечения срезаемого слоя.

4. Получить у преподавателя и выполнить индивидуальное задание по определению численных значений геометрических параметров фрез.

5. Оформить отчет.

Содержание отчёта

1. Название и цель лабораторной работы.

2. Перечень оборудования, инструментов и принадлежностей.

3. Эскизы фрез с необходимыми проекциями и сечениями, буквенными обозначениями размеров и углов, а также элементами сечения срезаемого слоя.

4. Индивидуальное задание.

Контрольные вопросы

1. Типы фрез.

2. Элементы режима резания при фрезеровании.

3. Элементы режима резания и сечения срезаемого слоя при фрезеровании (ширина, толщина, угол контакта и др.).

4. Геометрические параметры цилиндрической фрезы.

5. Геометрические параметры торцевой фрезы.

Учебное издание

Составители: Александр Вячеславович Драган
Виктор Александрович Сокол
Андрей Николаевич Парфиевич

Методические указания

к лабораторным работам по курсам «Теория резания» и «Резание материалов»

по теме «**Основные способы обработки резанием и геометрические
характеристики режущих инструментов**»

для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и
1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства»
дневной, вечерней и заочной форм обучения

Ответственный за выпуск: В.А. Сокол

Редактор: Т.В. Строкач

Корректор: Е.В. Никитчик

Подписано к печати . . . г. Формат 60×84 1/16. Бумага писчая. Усл. п. л. . . . Уч. изд. л.
. . . Тираж 50 экз. Заказ № . . . Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Брестский государственный технический университет». 224017 г. Брест, ул. Мос-
ковская, 267

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА МАШИНОСТРОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ

Методические указания

к лабораторной работе по курсам
«Теория резания» и «Резание материалов»
по теме **«Исследование физических процессов
при стружкообразовании по корню стружки»**

*для студентов специальности 1-36 01 01
«Технология машиностроения» и
1-36 01 03 «Технологическое оборудование
машиностроительного производства»
дневной, вечерней и заочной форм обучения*

УДК 621.002 (075.8)

В методических указаниях изложены современные взгляды на стружкообразование при резании металлов, даны основные теоретические положения, позволяющие описать процесс резания на основе закономерностей пластической деформации простого сдвига. Предложена методика исследования корня стружки и расчёта основных физических параметров процесса резания. Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по дисциплинам «Теория резания» и «Резание материалов» студентами дневной, вечерней и заочной форм обучения по специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства».

Составители: А.В. Драган, к.т.н., доцент кафедры «Машиностроение и эксплуатация автомобилей»

В.А. Сокол, ст. преп. кафедры «Машиностроение и эксплуатация автомобилей»

А.Н. Парфиевич, ст. преп. кафедры «Машиностроение и эксплуатация автомобилей»

Рецензент: Д.С. Ларченко, начальник службы контроля функционирования процессов и качества продукции ОАО «Машиностроительное предприятие «КОМПО»»

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕМА: ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СТРУЖКООБРАЗОВАНИИ ПО КОРНЮ СТРУЖКИ	4
Краткие теоретические сведения	4
1 Пластические деформации металла при образовании стружки	4
2 Модели стружкообразования	7
2.1 Схема образования сливной стружки	7
2.2 Схема образования элементной стружки	8
3 Формирование текстуры	9
4 Трение на контактных площадках и наростообразование	10
Порядок выполнения работы	11
Содержание отчёта	12
Контрольные вопросы	13

ТЕМА: ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СТРУЖКООБРАЗОВАНИИ ПО КОРНЮ СТРУЖКИ

Цель работы: ознакомиться с методикой исследования корня стружки, определить по корню стружки физические параметры процесса резания, а также доказать, что процесс стружкообразования может быть описан закономерностями пластической деформации простого сдвига.

Инструменты и принадлежности: комплект фотографий микрошлифов корней стружек, линейка, транспортир.

Краткие теоретические сведения

1 Пластические деформации металла при образовании стружки

При обработке резанием превращение срезаемого слоя в стружку является одной из разновидностей процесса пластической деформации материала, выражающейся в изменении под действием внешней силы формы деформируемого тела без его разрушения.

На стружкообразование при резании металлов затрачивается более 90% силы и работы резания. От него зависят тепловой режим и контактные нагрузки на рабочих поверхностях инструмента, а значит, характер и интенсивность их износа. Стружкообразование непосредственно влияет также на качество поверхностного слоя и точность обработки детали.

Наиболее полно особенности стружкообразования можно определить по корню стружки (рисунок 1). Если в процессе резания инструмент отвести от детали с очень большой скоростью, значительно превышающей скорость резания, то на детали остаётся элемент стружки, называемый её корнем. Для получения корня стружки в настоящее время разработаны различные приспособления механического, электромагнитного, а также взрывного принципа действия, позволяющие получить высококачественные корни стружки при скоростях резания в несколько сот метров в минуту.

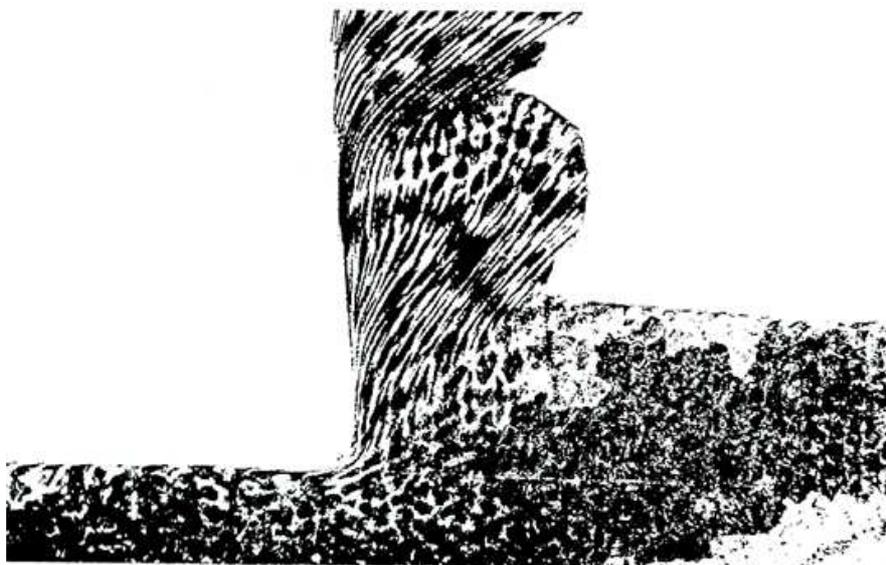


Рисунок 1 – Корень стружки

Анализ микрошлифов стружки позволил установить следующий механизм стружкообразования (рисунок 2). Режущий клин действует на срезаемый слой толщиной a на контактной площадке шириной C . Зона, обозначенная OAB и расположенная перед передней поверхностью инструмента, является зоной первичной деформации. Она имеет форму клина с вершиной, совпадающей с вершиной инструмента. Правее линии OB находятся зерна стружки, а левее линии OA – недеформированные зерна материала срезаемого слоя. Зерно материала срезаемого слоя, перемещаясь относительно инструмента со скоростью V , проходит по траектории своего движения (кривая FQ) и сильно деформируется. Деформация зерна заканчивается в точке Q , и оно приобретает скорость V_c , равную скорости стружки.

В ходе проводимых исследований доказано, что при скоростях резания и геометрических параметрах инструмента, используемых в производстве, границы OA и OB сближаются и, в основном, пластическая деформация концентрируется в сравнительно узкой части зоны стружкообразования толщиной Δx . Это позволяет в некоторых случаях упрощенно считать, что весь процесс деформации происходит вдоль некоторой плоскости сдвига OE , наклоненной к вектору скорости под углом сдвига β .

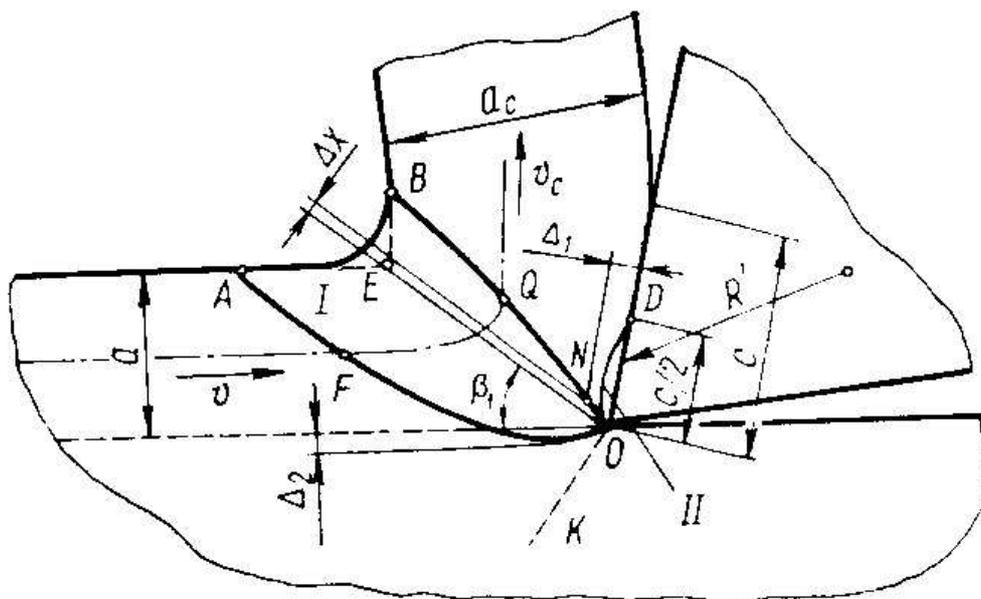


Рисунок 2 – Схема образования стружки

Многочисленными исследованиями установлено, что при резании уширение стружки незначительно, поэтому можно считать, что деформированное состояние в зоне стружкообразования является плоским и срезаемый слой в процессе резания претерпевает деформацию сдвига.

Кроме того, из-за трения между контактной поверхностью стружки и поверхностью инструмента происходят деформации зерен стружки, находящиеся в непосредственной близости от контактной поверхности стружки. Таким образом, возникает зона вторичной деформации стружки, ограниченная передней поверхностью инструмента и линией OND (рисунок 2).

Известно, что при превращении срезаемого слоя в стружку в результате пластических деформаций размеры стружки по длине, толщине и ширине

(рисунок 3) отличаются от размеров срезаемого слоя, из которого стружка образовалась. Изменение размеров стружки по сравнению с размерами срезаемого слоя при стружкообразовании называется **усадкой стружки**.

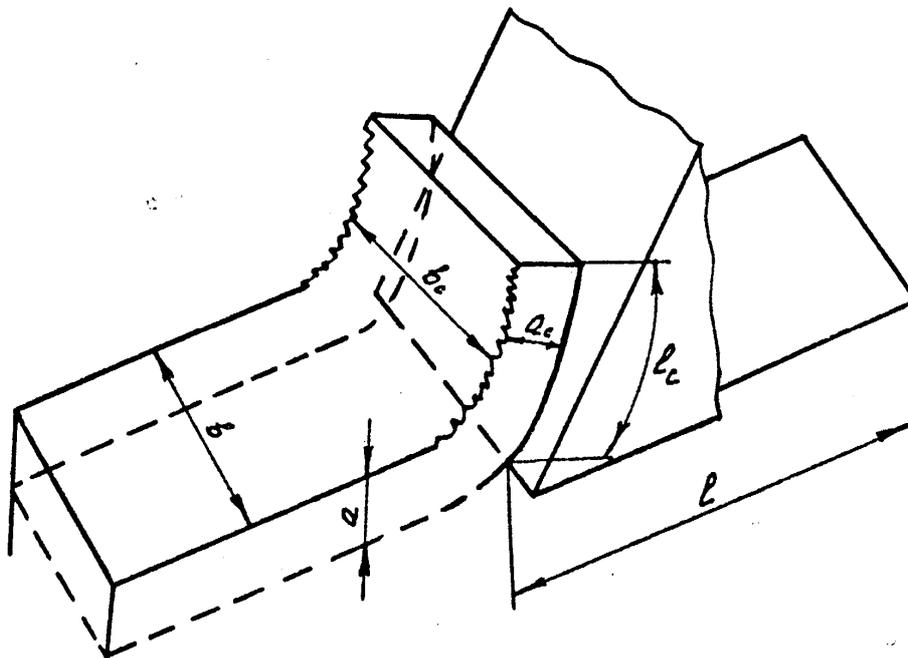


Рисунок 3 – Размеры срезаемого слоя и стружки

Величина усадки характеризуется тремя коэффициентами изменения формы: коэффициентом укорочения K_l , коэффициентом утолщения K_a и коэффициентом уширения K_b :

$$K_l = \frac{l}{l_c}; \quad K_a = \frac{a_c}{a}; \quad K_b = \frac{b_c}{b}; \quad (1)$$

где l, a, b – длина, толщина и ширина срезаемого слоя;

l_c, a_c, b_c – длина, толщина и ширина стружки.

Коэффициенты показывают, во сколько раз размеры стружки по длине, толщине и ширине меньше или больше соответствующих размеров срезаемого слоя.

Так как объем стружки равен объему срезаемого слоя, то:

$$l \cdot a \cdot b = l_c \cdot a_c \cdot b_c, \quad (2)$$

поэтому

$$K_l = K_a \cdot K_b. \quad (3)$$

В большинстве случаев при резании ширина срезаемого слоя b значительно превосходит его толщину. При этом пластические деформации стружкообразования носят характер простого сдвига, поэтому ширина стружки почти не отличается от ширины срезаемого слоя, т. е. $K_b \approx 1$. Тогда формулу (3) можно представить как:

$$K_l \approx K_a = \frac{a_c}{a}. \quad (4)$$

Из приведенных выше коэффициентов изменения формы на практике чаще всего используют K_1 .

По формуле (4) коэффициент укорочения сливной стружки может быть определён по её корню. Если стружка имеет выступы на свободной стороне, то коэффициент укорочения рассчитывается по формуле:

$$K_1 \approx K_a \cdot K_\xi, \quad (5)$$

где K_ξ – коэффициент сплошности.

$$K_\xi = 1 - \frac{h}{2a_c}, \quad (6)$$

где h – глубина выступов на свободной стороне стружки.

Если считать, что процесс стружкообразования – это простой сдвиг, то коэффициент укорочения может быть определён и теоретически по величине угла сдвига и переднего угла инструмента, полученных на основе их измерения на корне стружки:

$$K_1 = \frac{\cos(\beta - \gamma)}{\sin \beta}. \quad (7)$$

2 Модели стружкообразования

2.1 Схема образования сливной стружки

При отмеченном выше допущении, что деформации концентрируются в относительно тонкой зоне Δx , схема стружкообразования может рассматриваться с точки зрения простого сдвига (рисунок 4).

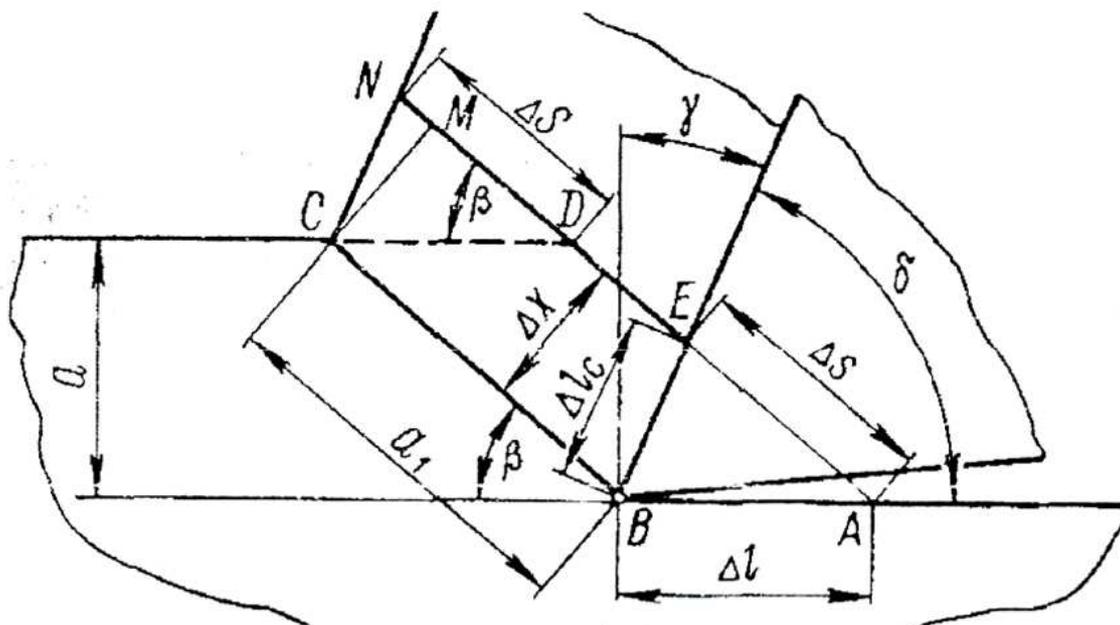


Рисунок 4 – Схема образования сливной стружки

Переходная пластически деформируемая зона толщиной Δx может быть рассмотрена в виде параллелограмма ABCD. В процессе деформации его грань AD под действием сил со стороны инструмента сдвигается относительно нижней грани CB на величину ΔS , которая представляет собой абсолютный сдвиг. В теории пластических деформаций для характеристики интенсивности сдвига предпочтительней использовать более информативную характеристику – относительный сдвиг или степень деформации ε .

$$\varepsilon = \frac{\Delta S}{\Delta x} \quad (8)$$

Он же может быть определён теоретически на основе анализа и измерения корня стружки по формуле, выведенной из закономерностей, справедливых для простого сдвига:

$$\varepsilon = \frac{K_1^2 - 2 \cdot K_1 \cdot \sin \gamma + 1}{K_1 \cdot \cos \gamma} \quad (9)$$

2.2 Схема образования элементной стружки

При исследовании зоны стружкообразования установлено, что прежде чем произойдёт разрушение по плоскости скалывания, в объеме будущего элемента стружки возникают значительные деформации сжатия, вызывающие в ряде случаев течение материала срезаемого слоя вдоль и перпендикулярно к передней поверхности инструмента. Превращение срезаемого слоя в элемент стружки происходит следующим образом (рисунок 5).

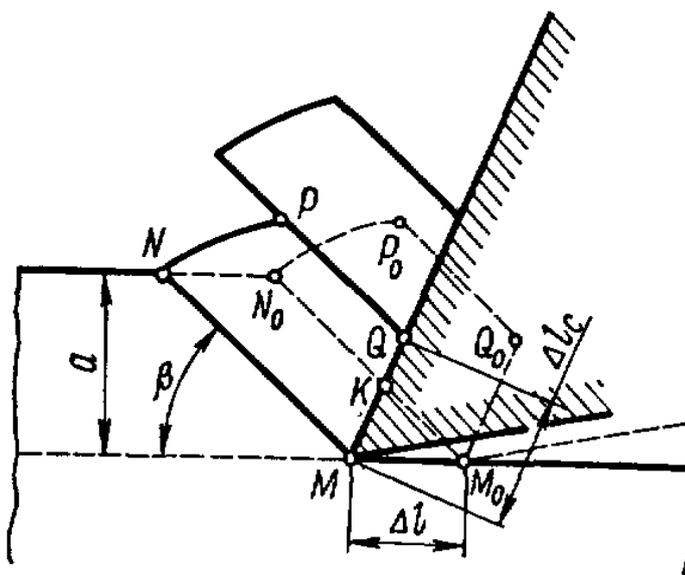


Рисунок 5 – Схема образования элементной стружки

При перемещении инструмента на расстояние Δl его передняя поверхность деформирует объем материала, ограниченный параллелограммом M_0MNN_0 . Когда напряжения сжатия превзойдут предел текучести деформируемого материала, начнется его перемещение по передней поверхности лезвия инструмента и точка M_0 совпадет не с точкой K , как это бывает при образовании сливной

стружки, а с точкой Q. Одновременно сторона M_0N_0 параллелограмма укорачивается до QR. Это объясняется тем, что объём деформированного материала остаётся прежним. В результате элемент срезаемого слоя M_0MNN_0 превращается в элемент стружки MNPQ. Когда запас пластичности обрабатываемого материала будет исчерпан, начинается его разрушение по плоскости скалывания, и сколотый элемент перемещается вверх по передней поверхности лезвия инструмента. Чем больше степень деформации срезаемого слоя, тем больше форма элемента стружки в виде трапеции MNPQ приближается к треугольной. При этом сторона MN элемента стружки получает значительно большее уширение, чем при образовании сливной стружки.

3 Формирование текстуры

Образование текстуры можно представить следующим образом (рисунок б). Недеформированные зерна материала имеют неправильную форму, однако, как правило, не имеют каких-либо приоритетных направлений ориентации в объеме материала. Поэтому условно их можно считать сфероидальными. Рассмотрим одно из них, находящееся в переходной зоне, толщиной Δx . В сечении его плоскостью, перпендикулярной режущей кромке инструмента, будем иметь круг. В результате деформации простого сдвига верхняя плоскость сдвигаемого слоя переместится относительно нижней на величину абсолютного сдвига ΔS .

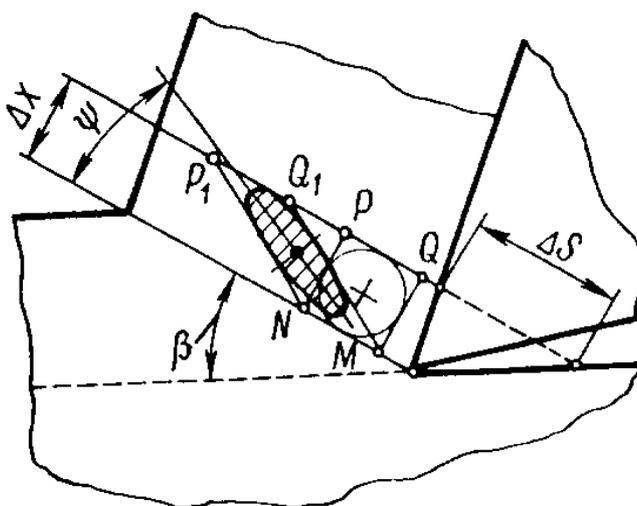


Рисунок б – Схема образования текстуры стружки

Квадрат MNPQ, в который вписан круг, превратится в параллелограмм MNP_1Q_1 , а круг – в эллипс, большая ось которого наклонена к условной плоскости сдвига под углом текстуры ψ . С учетом предположения, что при образовании стружки происходит простой сдвиг, значение ψ можно определить из выражения:

$$\operatorname{ctg}\psi = \frac{\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2 + 4}}{2}. \quad (10)$$

Течение металла в ходе образования элементной стружки может проявляться на корне стружки в виде характерных отклонений линий текстуры от положения, обусловленного сдвиговыми деформациями, характерного для сливной стружки.

4 Трение на контактных площадках и наростообразование

Процесс стружкообразования связан с изменением контактных процессов на передней поверхности инструмента. Контакт стружки с передней поверхностью инструмента характеризуется рядом особенностей, например, различной химической чистотой поверхностей контакта, неравномерным распределением контактных напряжений на передней поверхности, весьма широким пределом изменения температуры на площадках контакта. Указанные особенности способствуют тому, что условия контакта на поверхности инструмент-стружка изменяются от полного схватывания материалов вблизи режущей кромки до граничного трения в зоне контакта, прилегающей к месту отрыва стружки.

Средний коэффициент трения при резании по физическому смыслу изменения не совпадает с коэффициентом внешнего трения и не является константой трущихся пар.

Такое особое изменение коэффициента трения при резании связано с двойкой природой трения на передней поверхности, где существуют два участка трения: зона пластического и зона упругого контакта.

Средний коэффициент трения μ при резании может быть охарактеризован следующей зависимостью:

$$\mu = \mu_a + f_{тр}, \quad (11)$$

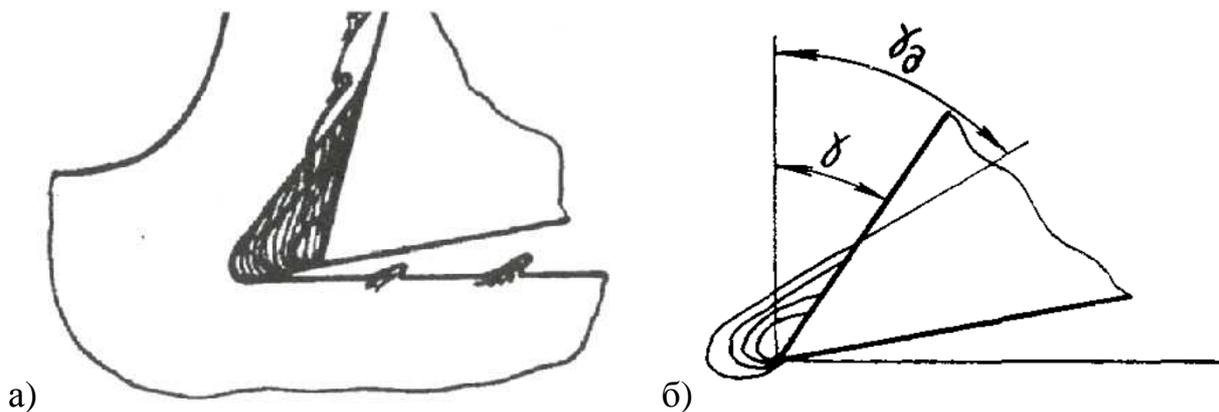
где μ_a – переменная «адгезионная» составляющая силы трения, обусловленная условиями резания;

$f_{тр}$ – постоянная составляющая – коэффициент трения скольжения.

Значение μ при резании достигает 1,5-3 и более.

На участке, прилегающем к режущей кромке, в ряде случаев возникает застойная зона, образование которой обусловлено высокими силами трения стружки о переднюю поверхность. Это приводит к тому, что поперечная текстура стружки у передней поверхности искривляется и превращается в продольную (рисунок 1). Толщина слоя, подвергнутая вторичной деформации, может достигать до 10 % от толщины стружки.

В том случае, если напряжение внешнего трения станет больше сопротивления пластическому сдвигу стружки, то внешнее скольжение стружки по передней поверхности резца сразу же заменяется энергетически более выгодными внутренними сдвигами материала стружки. Самый нижний слой стружки затормозится и как бы прилипнет к передней поверхности. На тонкий заторможенный слой налипают все новые и новые слои материала стружки, и на передней поверхности инструмента образуется клиновидная область обрабатываемого материала, называемая наростом (рисунок 7, а). Время от времени происходит его разрушение, часть его уносится со стружкой, часть остается на поверхности резания и резце. После разрушения нарост вновь возрастает до предельной высоты, опять разрушается и т. д. Частота этого процесса может достигать 50-70 Гц.



**Рисунок 7 – а) нарост на передней поверхности инструмента;
б) увеличение переднего угла γ с образованием нароста**

На интенсивность наростообразования влияют свойства обрабатываемого материала, скорость резания, передний угол инструмента. Нарост в значительной степени влияет на условия резания. Он фактически заменяет собой участок передней поверхности, изменяя тем самым передний угол (рисунок 7, б), средний коэффициент трения, относительный сдвиг и другие характеристики. Средний коэффициент трения приблизительно может быть определен из следующей зависимости:

$$\mu = \text{ctg}(2\beta - \gamma). \quad (12)$$

Порядок выполнения работы

1. Контуры микрошлифов корней стружек скопировать на лист бумаги с фотографий, полученных от преподавателя, например, на лист бумаги напросвет через стекло. На корне стружки показать направление линий текстуры и плоскость сдвига (рисунок 8).

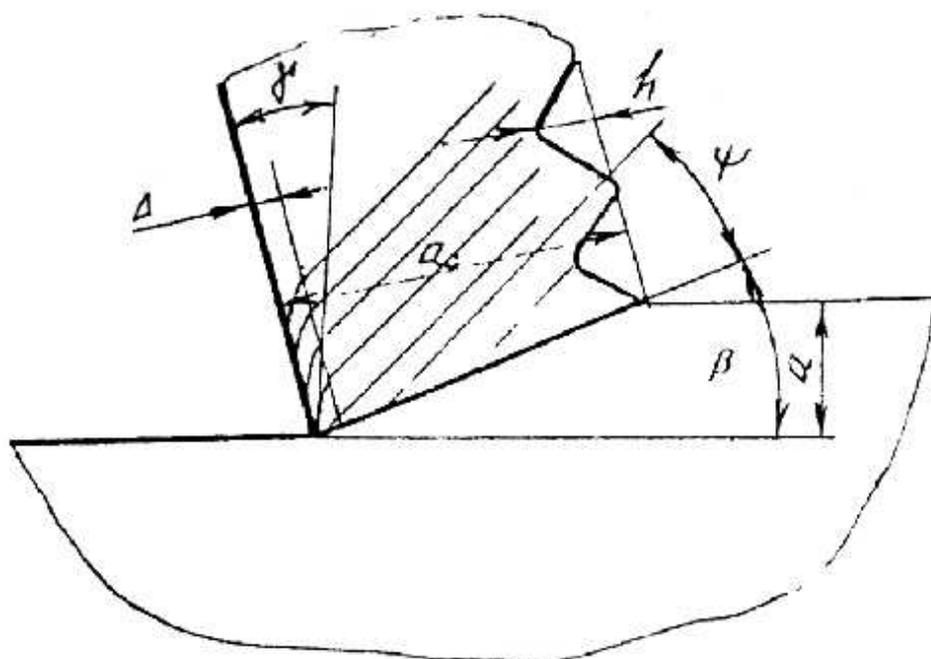


Рисунок 8 – Измеряемые параметры при исследовании корня стружки

2. На полученных изображениях обозначить (рисунок 8):

- толщину срезаемого слоя a ;
- толщину стружки a_c ;
- глубину выступов на свободной стороне стружки h ;
- угол сдвига β ;
- угол текстуры ψ ;
- передний угол инструмента γ ;
- толщину зоны вторичных деформаций Δ .

3. Измерить все эти величины линейкой и транспортиром и результаты измерений занести в протокол (таблица 1).

Таблица 1 – Протокол результатов измерений и расчётов

Образец №	a , мм	a_c , мм	h , мм	γ , °	k_{11}	k_{12}	β , °	ψ_1 , °	ψ_2 , °	Δ , мм	ϵ	μ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1												
2												

4. Вычислить величину коэффициента укорочения стружки: по формуле (4), если стружка сливная, или по формуле (5), если она имеет выступы на свободной стороне. Результат занести в графу 6 протокола (таблица 1).

5. Определить коэффициент укорочения стружки теоретически по формуле (7), результат занести в графу 7 протокола и сравнить его величину с полученными ранее значениями.

6. Рассчитать относительный сдвиг по формуле (9).

7. Рассчитать угол текстуры стружки, используя формулу (10), занести результат в графу 10 и сравнить полученные значения с измеренными транспортиром.

8. Определить коэффициент трения на передней поверхности по формуле (12).

Все результаты расчетов и измерений занести в протокол (таблица 1).

Если значения коэффициента укорочения стружки k_{11} и k_{12} , а также угла текстуры ψ_1 и ψ_2 , полученные на основе измеренных и расчетных данных для каждого образца корня стружки, приблизительно совпадут, это будет подтверждением того, что стружкообразование описывается закономерностями простого сдвига.

Содержание отчёта

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Перечень инструментов и принадлежностей.
3. Контуры или ксерокопии корней стружек с необходимыми обозначениями.
4. Расчётные зависимости и результаты вычислений.
5. Протокол результатов измерений и расчётов.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое корень стружки и как он получается?
2. Как образуется сливная стружка?
3. Как можно определить коэффициент укорочения стружки и относительный сдвиг?
4. Что такое нарост, как он образуется, каким образом влияет на процесс резания?
5. Какие факторы, как и почему влияют на процесс наростообразования и высоту нароста?
6. Каковы особенности трения при резании металлов?
7. От каких параметров зависит средний коэффициент трения?
8. Что такое текстура стружки и как она образуется?
9. Как влияют вторичные деформации на изменение текстуры стружки?
10. Каким образом в проведенной работе доказано, что процесс стружкообразования происходит в результате сдвиговых пластических деформаций?
11. Как можно использовать полученные в работе результаты на практике?

Учебное издание

Составители:

Драган Александр Вячеславович

Сокол Виктор Александрович

Парфиевич Андрей Николаевич

Методические указания

к лабораторной работе по курсам
«Теория резания» и «Резание материалов»
по теме **«Исследование физических процессов
при стружкообразовании по корню стружки»**

*для студентов специальности 1-36 01 01
«Технология машиностроения» и
1-36 01 03 «Технологическое оборудование
машиностроительного производства»
дневной, вечерней и заочной форм обучения*

Ответственный за выпуск: Сокол В.А.

Редактор: Боровикова Е.А.

Компьютерная вёрстка: Соколюк А.П.

Корректор: Никитчик Е.В.

Подписано в печать 26.11.2019 г. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага «Performer».
Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. 0,93. Уч. изд. л. 1,0. Заказ № 1607. Тираж 21 экз.
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Методические указания

к лабораторным работам по курсам
«Теория резания» и «Резание материалов»
на темы «Исследование влияния режимных факторов
на пластические деформации при стружкообразовании»
и «Исследование сил резания при точении»
для студентов специальности
1-36 01 01 «Технология машиностроения» и
1-36 01 03 «Технологическое оборудование
машиностроительного производства»
дневной и заочной форм обучения

Брест 2015

УДК 621.002 (075.8)

В методических указаниях изложены методики исследования влияния различных факторов на пластические деформации при стружкообразовании и силы резания. Методические указания предназначены для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» дневной и заочной форм обучения.

Составители: А.В. Драган, к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения»
В.А. Сокол, ст. преп. кафедры «Технология машиностроения»
А.Н. Парфиевич, ст. преп. кафедры «Технология машиностроения»

Рецензент: Н.И. Усов, инженер по стандартизации и сертификации I-й категории
СП ОАО «Брестгазоаппарат»

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМНЫХ ФАКТОРОВ НА ПЛАСТИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ СТРУЖКООБРАЗОВАНИИ

Цель работы: знакомство со способами измерения усадки стружки. Изучение методики расчёта физических параметров процесса резания. Выявление характера зависимости пластических деформаций металлов от условий резания.

Инструменты и принадлежности: токарно-винторезный станок «Куссон», комплект токарных резцов, обрабатываемая деталь, микрометр МК25 ГОСТ 6507-90.

Основные положения

Известно, что при превращении срезаемого слоя в стружку в результате пластических деформаций размеры стружки по длине, толщине и ширине (рисунк 1) отличаются от размеров срезаемого слоя, из которого стружка образовалась. Изменение размеров стружки по сравнению с размерами срезаемого слоя при стружкообразовании называется **усадкой стружки**.

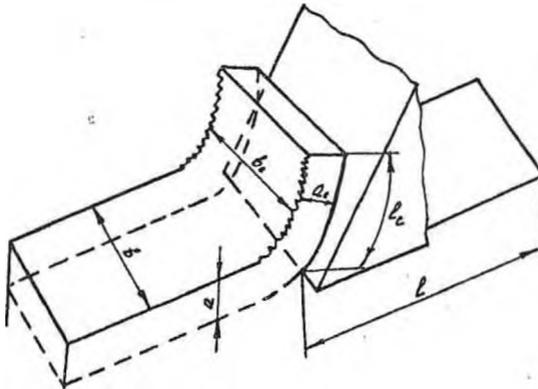


Рисунок 1 – Размеры срезаемого слоя и стружки

Величина усадки характеризуется тремя коэффициентами изменения формы: коэффициентом укорочения K_l , коэффициентом утолщения K_a и коэффициентом уширения K_b :

$$K_l = \frac{l}{l_c}; K_a = \frac{a_c}{a}; K_b = \frac{b_c}{b}; \quad (1)$$

где l, a, b – длина, толщина и ширина срезаемого слоя;

l_c, a_c, b_c – длина, толщина и ширина стружки.

Коэффициенты показывают, во сколько раз размеры стружки по длине, толщине и ширине меньше или больше соответствующих размеров срезаемого слоя.

Так как объем стружки равен объему срезаемого слоя, то:

$$l \cdot a \cdot b = l_c \cdot a_c \cdot b_c, \quad (2)$$

Поэтому

$$K_l = K_a \cdot K_b, \quad (3)$$

В большинстве случаев при резании ширина срезаемого слоя b значительно превосходит его толщину. При этом пластические деформации стружкообразования носят характер простого сдвига, поэтому ширина стружки почти не отличается от ширины срезаемого слоя, т.е. $K_b \approx 1$. Тогда формулу (3) можно представить как:

$$K_l = K_a, \quad (4)$$

Из приведенных выше коэффициентов изменения формы на практике чаще всего используют K_l .

Коэффициент укорочения можно определить следующими основными способами:

– по длине стружки и срезаемого слоя в соответствии с зависимостью (1).

Длину стружки l_c измеряют по прирезцовой поверхности гибкой нитью посередине ее ширины. Потом нить прикладывают к линейке и измеряют ее длину (рисунок 2).

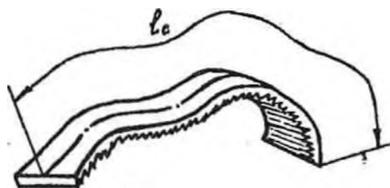


Рисунок 2 – Измерение длины стружки гибкой нитью

Длина срезаемого слоя l должна обеспечиваться автоматически. Например, при точении прорезают вдоль заготовки неглубокие пазы. Тогда длина срезаемого слоя будет равна длине дуги между пазами (рисунок 3):

$$l = \frac{\pi \cdot D \cdot \alpha}{360}, \quad (5)$$

где α – угол между пазами;

D – диаметр заготовки, мм.

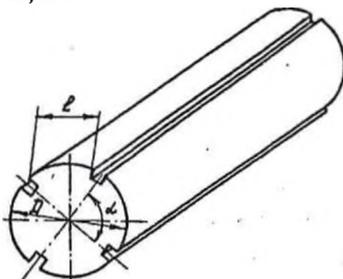


Рисунок 3 – Заготовка с пазами

Данный метод наиболее наглядный, позволяет определять K_1 в соответствии с его определением, однако не всегда удобен при получении тонкой завитой стружки.

– по толщине стружки.

При определении K_1 по толщине стружки используют зависимость (3) и допущение, что $K_b \approx 1$, т.е.:

$$K_1 \approx K_a = \frac{a_c}{a}, \quad (6)$$

Толщина стружки a_c измеряется микрометром, а толщина срезаемого слоя a – из выражения:

$$a = S \cdot \sin \varphi, \quad (7)$$

где S – подача, мм/об;

φ – главный угол в плане инструмента.

Достоинством данного метода является очевидная простота измерений, однако, его точность связана с величиной K_b , которая иногда может отличаться от единицы, что приводит к возникновению погрешности. Кроме того, при получении суставчатой стружки погрешность может возникнуть из-за того, что измеренная величина a_c не учитывает сплошность стружки.

– весовой метод.

Этот метод базируется на том, что объем V , а, следовательно, и масса m срезаемого слоя и полученной при этом стружки равны:

$$V = l \cdot a \cdot b = l_c \cdot a_c \cdot b_c, \quad (8)$$

$$m = V \cdot \rho, \quad (9)$$

где ρ – плотность обрабатываемого материала.

Тогда $m = l \cdot a \cdot b \cdot \rho$, откуда

$$l = \frac{m}{a \cdot b \cdot \rho}, \quad (10)$$

а K_1 в соответствии с зависимостью (1):

$$K_1 = \frac{m}{l_c \cdot a \cdot b \cdot \rho}, \quad (11)$$

Учитывая (7) и то, что $b = t/\sin\varphi$, получим:

$$K_1 = \frac{m}{l_c \cdot S \cdot t \cdot \rho}, \quad (12)$$

где t – глубина резания.

Масса кусочка стружки определяется на лабораторных весах, длина – с помощью гибкой нити по прирезцовой поверхности.

Данный метод наиболее совершенный, он позволяет избежать погрешностей, вносимых при использовании второго метода, не требует определения длины срезаемого слоя l , но не лишен недостатков первого метода, связанных с определением длины тонкой или завитой стружки.

Следует отметить, что коэффициенты, определяющие усадку стружки, сами по себе не могут полностью охарактеризовать пластические деформации стружкообразования, поскольку усадка – это лишь отображение деформаций, их результат. Примером тому может служить тот случай, когда $K_1 = 1$, при котором пластические деформации все же происходят, о чем свидетельствует наличие текстуры на стружке.

Однако, зная коэффициенты усадки стружки, геометрию режущего инструмента и, принимая допущение о том, что пластические деформации при стружкообразовании являются плоскими и представляют собой простой сдвиг, можно рассчитать такие важные физические параметры процесса резания, как угол и скорость сдвига, величину относительного сдвига, угол текстуры стружки и коэффициент трения на передней поверхности.

Угол сдвига:

$$\beta = \arctg \frac{\cos \gamma}{K_1 - \sin \gamma}, \quad (13)$$

где γ – передний угол инструмента.

Относительный сдвиг:

$$\varepsilon = \frac{K_1^2 - 2 \cdot K_1 \cdot \sin \gamma + 1}{K_1 \cdot \cos \gamma}, \quad (14)$$

Скорость сдвига:

$$v_s = v \cdot \frac{\cos \gamma}{\cos(\beta - \gamma)}, \quad (15)$$

где v – скорость резания, м/мин.

Угол текстуры стружки:

$$\psi = \arctg \frac{2}{\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2 + 4}}, \quad (16)$$

Коэффициент трения на передней поверхности инструмента:

$$\mu = \operatorname{ctg}(2 \cdot \beta - \gamma), \quad (17)$$

Методические указания

При увеличении переднего угла лезвия γ коэффициент укорочения стружки уменьшается. Это подтверждается рядом исследований, которые показывают, что при увеличении переднего угла лезвия уменьшается трение стружки о переднюю поверхность инструмента, что в свою очередь приводит к увеличению угла сдвига β . Известно, что чем больше угол β , тем меньше коэффициент укорочения стружки.

По этой же причине применение смазочно-охлаждающей жидкости также приводит к уменьшению усадки стружки.

Чем больше толщина срезаемого слоя металла, тем меньше коэффициент укорочения стружки, что также связано с изменением угла β .

Глубина резания t не оказывает влияния на коэффициент укорочения стружки.

С увеличением скорости резания происходит немонотонное изменение укорочения стружки. Такой немонотонный характер изменения K_1 объясняется изменением размеров нароста. Минимальный коэффициент укорочения стружки соответствует наибольшему размеру нароста.

Порядок выполнения работы

Экспериментальная часть лабораторной работы заключается в исследовании влияния скорости резания, подачи, глубины резания и переднего угла на коэффициент укорочения стружки K_1 . Изучение характера зависимости физических параметров от режимных параметров проводится методом однофакторного планирования эксперимента. При этом осуществляется 4 серии измерений, в каждой из которых переменным является лишь один исследуемый фактор.

В каждой серии необходимо провести не менее 3–4 экспериментов с различными значениями варьируемых факторов. Рекомендуемые интервалы варьирования:

v – 50; 100; 150; 200 м/мин

S – 0,05; 0,1; 0,2; 0,3 мм/об

t – 0,5; 1; 2; 3 мм

γ – -10° ; 0° ; $+10^\circ$

При проведении каждого из экспериментов устанавливают требуемые величины подачи, частоту вращения заготовки, глубину резания и резец с необходимым передним углом. Включают станок и отбирают образец стружки при установившемся процессе резания. Затем определяют коэффициент укорочения стружки одним из методов. Рассчитывают физические параметры процесса резания по приведенным выше формулам и заносят все исходные данные и результаты расчетов в таблицу 1.

По полученным расчетным данным строят графики зависимостей исследуемых характеристик пластических деформаций от режимов резания и переднего угла инструмента $K_1(v, S, t, \gamma)$, $\varepsilon(v, S, t, \gamma)$, $\psi(v, S, t, \gamma)$, $\beta(v, S, t, \gamma)$, $\mu(v, S, t, \gamma)$.

Содержание отчёта

1. Тему и цель лабораторной работы.
2. Перечень оборудования, инструментов и принадлежностей.
3. Формулы для расчета физических параметров.
4. Таблицу с исходными и расчётными данными.
5. Графики зависимости физических параметров процесса резания от режимов резания и геометрии инструмента.
6. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Какой вид деформации наблюдается при стружкообразовании?
2. Что такое усадка стружки?
3. Какими коэффициентами характеризуется усадка стружки?
4. Какие существуют методы определения коэффициента укорочения стружки?
5. Объяснить характер зависимости физических параметров процесса резания от изменения глубины резания t , подачи S , скорости резания v и переднего угла инструмента γ .

Таблица 1 – Результаты измерений и расчётов

N ш/п	Исходные данные						Результаты измерений *		Результаты расчётов					
	D, мм	v, мм/мин	S, мм/об	t, мм	γ , °	d, мм	d ₀ , мм	K _t	β , °	ϵ	v _н , мм/мин	ψ , °	μ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														

- * – название и содержание столбцов 8 и 9 зависят от выбранного метода получения K_t. В данном случае – по толщине стружки. Для метода «по длине стружки» – l и l₀. Для массового метода – m и l₀.
- в каждой серии эксперимента получить не менее 3 образцов стружки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ

Цель работы: 1. Изучить принципы и методики измерения сил, действующих в процессе резания.

2. Исследовать основные закономерности влияния режимов резания на силы, возникающие при резании.

3. Освоить методику обработки экспериментальных данных и вывести эмпирические формулы зависимости сил резания от элементов режима резания.

Инструменты и принадлежности: токарно-винторезный станок «Куссон», токарный резец, заготовка, измерительный комплекс, динамометр СУРП-600, измерительные принадлежности.

Основные положения.

В процессе резания на лезвие инструмента действуют силы сопротивления его перемещению по траектории относительного рабочего движения. Результирующая этих сил называется силой резания. Силы сопротивления рабочему движению лезвия не стабильны: их значения могут колебаться на $\pm(5...10)\%$ от средней величины. По тем же причинам нестабильно и направление действия силы резания, которое изменяется одновременно с текущим значением силы резания.

Источники возникновения сил резания:

1) сопротивление обрабатываемого материала упругим и пластическим деформациям при стружкообразовании;

2) сопротивление пластически деформированных металлов разрушению в местах возникновения новых поверхностей;

3) силы трения между сходящей стружкой и передней поверхностью инструмента, а также между задней поверхностью и поверхностью резания;

4) упругое восстановление деформированной поверхности резания в результате возможного распространения деформаций зоны стружкообразования ниже линии среза, а также из-за наличия радиуса округления режущего лезвия резца.

Взаимодействие режущего инструмента с обрабатываемым материалом осуществляется через контактные площадки, расположенные на передней и задней поверхностях лезвия. Обрабатываемый материал, оказывая сопротивление рабочему движению инструмента, воздействует на контактные площадки неравномерно распределенной нагрузкой p . Закон распределения давления p по передней поверхности показан на рисунке 4. Наибольшее давление p_{max} действует вблизи главной режущей кромки (точка 1). По мере удаления от нее давление p убывает, и в точке 2, в которой прекращается контакт сбегающей стружки с лезвием, давление $p = 0$. Ширина 1-2 контактной площадки при обработке хрупких металлов, например чугуна, равна или не намного больше толщины срезаемого слоя. При обработке пластичных металлов ширина контактной площадки в 1,5...3 раза больше толщины срезаемого слоя.

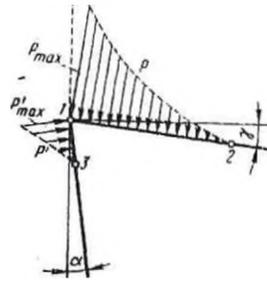


Рисунок 4 – Распределение давления на передней и задней поверхностях лезвия резца

На заднюю поверхность лезвия также действует неравномерно распределенная нагрузка p' , максимальное значение которой наблюдается у главной задней кромки и уменьшается до нуля в точке 3 прекращения контакта задней поверхности лезвия с поверхностью резания и обработанной поверхностью на заготовке (рисунок 4). Такие закономерности распределения давления поперек передней и задней контактных поверхностей лезвия сохраняются вдоль всей ширины срезаемого слоя b .

Заменяя распределённую нагрузку сосредоточенными силами, получим систему сил, возникающих при свободном резании (рисунок 5, а). На переднюю поверхность резца давит стружка с силой R_n , которая является равнодействующей нормальной силы N_n и силы трения стружки о переднюю поверхность F_n , т.е. $R_n = N_n + F_n$. В то же время на заднюю поверхность резца вблизи режущей кромки действует нормальная сила упругого противодействия обрабатываемого материала N_3 и сила трения о заднюю поверхность инструмента F_3 . Они дают результирующую силу R_3 . Так как задний угол α мал, а при наличии площадки износа на некотором участке задней поверхности он равен нулю, в расчетной схеме принимаем направление сил F_3 и N_3 , как показано на рисунке 5, б, т.е. направление F_3 противоположно вектору скорости резания v . Для осуществления процесса резания или сохранения равновесия резца к нему извне должна быть приложена сила, равная по величине и противоположная по направлению силе $R = R_n + R_3$ (рисунок 5, в).

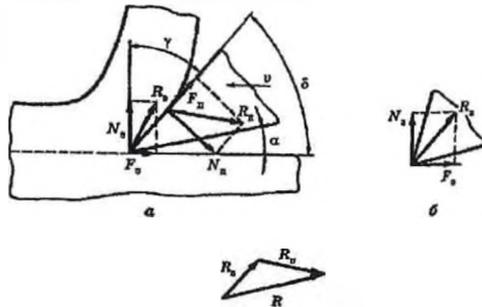


Рисунок 5 – Система сил, действующих при свободном резании

В общем случае вектор результирующей силы R в зависимости от комплекса условий резания имеет различные значения и направления действия. Для решения ряда теоретических и практических задач, например для определения мощности, затрачиваемой на резание, крутящего момента, прогиба и точности диаметра при обработке нежёстких валов требуется знание, как значения, так и направления её действия.

Рассмотренные силы можно рассчитать теоретически, на основе теории пластичности и теории упругости. Теоретические уравнения сложны и предполагают ряд допущений, что снижает точность расчётов. Поэтому на практике чаще всего силы определяют экспериментальным путём, производя измерение сил в определённых направлениях.

Вектор равнодействующей силы R может быть спроецирован на оси x , y и z в пространственной декартовой координатной системе xuz . В резании металлов приняты следующие принципы ориентации системы координат. Начало системы координат принято совмещать с вершиной резца, установленной на высоте оси вращения заготовки. Ось x располагается горизонтально, параллельно оси вращения обрабатываемой заготовки. Ось y горизонтальна и перпендикулярна оси вращения заготовки (параллельно оси y обычно располагают геометрическую ось державки резца). Ось z вертикальна и направлена вниз.

В условиях несвободного резания при точении равнодействующую силу R раскладывают на 3 составляющих (рисунок 6):

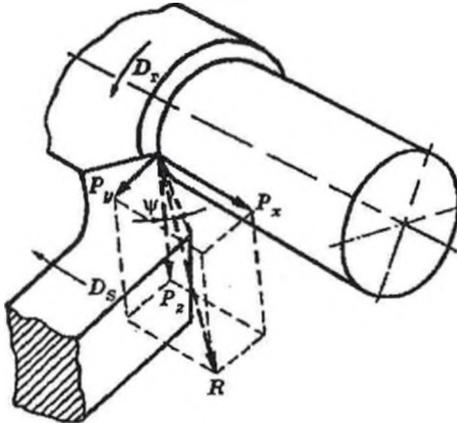


Рисунок 6 – Разложение силы резания при точении

P_x – осевая составляющая – равна сопротивлению обрабатываемого металла презанию резца в направлении подачи S и действующих в этом направлении сил трения. Значение осевой составляющей P_x необходимо знать при расчетах на прочность опор шпинделя и механизма подачи станка.

P_y – радиальная составляющая силы резания – направлена по радиусу к траектории главного движения резания, изгибает обрабатываемую заготовку в горизонтальной плоскости, что может служить причиной снижения точности об-

работки длинных заготовок, а также вызывает нежелательные вибрации. Силу P_y принимают за основу при определении прогиба детали, прочности и жёсткости элементов станка.

P_z – вертикальная (главная) составляющая силы резания – действует в направлении скорости главного движения. Равна суммарному действию сил сопротивления металла срезаемого слоя пластической деформации стружкообразования, изгиба стружки и сил трения, действующих в данном направлении. По P_z производят расчёты прочности и жёсткости резца, а также мощности, необходимой на осуществление резания.

Конструкции приборов для измерения сил резания весьма разнообразны, однако все они изготовлены по одной принципиальной схеме – измерение малых линейных перемещений или деформаций инструмента по направлению действия составляющих силы резания.

Одним из наиболее простых и надёжных методов измерения сил резания является тензометрирование. В нашем случае в качестве первичных измерительных преобразователей для измерения сил резания используются тензометрические резисторы с номинальным сопротивлением 100 Ом.

В основе принципа действия тензорезисторов лежит явление тензоэффекта, заключающееся в изменении электрического сопротивления проводников и полупроводников при их механической деформации. Сопротивление R резистора, выполненного в виде проволоки длиной l , определяется известным выражением.

$$R = \rho \cdot l/S, \quad (18)$$

где ρ – удельное сопротивление материала проволоки;

S – площадь поперечного сечения проволоки.

Устройство наиболее распространённого типа наклеиваемого проволочного тензорезистора изображено на рисунке 7. На полоску тонкой бумаги или лаковой пленки 1 наклеивается так называемая решетка из зигзагообразно уложенной тонкой проволоки 2 диаметром 0,02-0,05 мм. К концам проволоки присоединяются (пайкой или сваркой) выводные медные проводники 3. После высыхания слоя клея сверху преобразователь покрывается защитным слоем лака 4. Если такой преобразователь наклеить на поверхность испытуемой детали, то он будет воспринимать деформации ее поверхностного слоя. Измерительной базой преобразователя является длина детали, занимаемая проволокой.

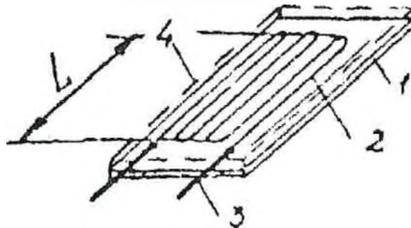


Рисунок 7 – Устройство проволочного тензорезистора

Данные измерительные преобразователи установлены в универсальном динамометре СУРП-600 (рисунок 8, а).

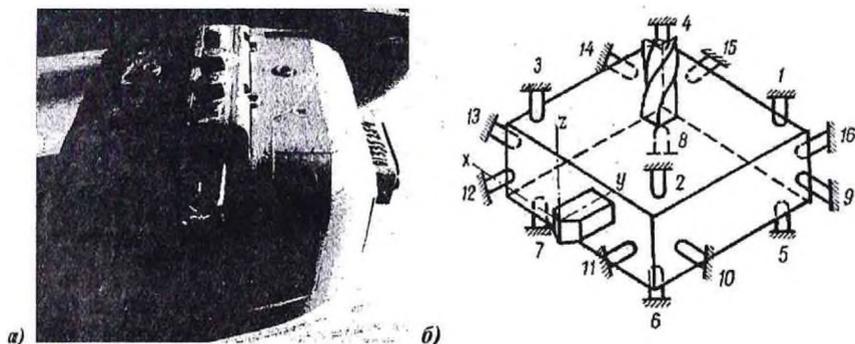


Рисунок 8 – Общий вид и принципиальная схема универсального динамометра СУИР-600

Он позволяет измерять составляющие силы резания при точении, фрезеровании, шлифовании, осевую силу и крутящий момент при сверлении, зенкеро-вании, развертывании, нарезании резьбы метчиком, и рассчитан на максимальное значение P_z , равное 6 кН.

Принципиальная схема динамометра изображена на рисунке 8, б. Основой его является квадратная пластина, установленная в корпусе динамометра на упругих опорах 1...16, на которых наклеены тензометрические преобразователи. Опоры имеют трубчатую форму и обладают высокой жесткостью вдоль оси и малой жесткостью в направлении, перпендикулярном к оси (рисунок 9). На вертикальные опоры, воспринимающие силы, направленные по оси z , наклеено по одному преобразователю; на горизонтальные опоры, воспринимающие силы, действующие вдоль осей x и y , и крутящий момент, – по два. Первые преобразователи служат для измерения горизонтальных сил, а вторые – крутящего момента. Преобразователи соединены между собой таким образом, что сигнал на выходе измерительной схемы является алгебраической суммой реакции опор. Это обеспечивает независимость показаний динамометра от вылета резца. В результате деформаций датчиков происходит изменение их сопротивления и, соответственно, силы тока по каждому из трёх каналов, соответствующих составляющим силам резания P_z , P_y , P_x .

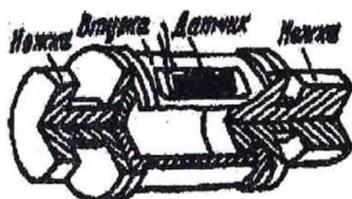


Рисунок 9 – Схема конструкции опор

В качестве регистрирующего прибора, фиксирующего выходной сигнал используется аппаратно-программный комплекс ВИКМА-2 (рисунок 9).

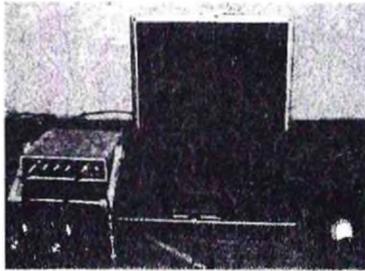
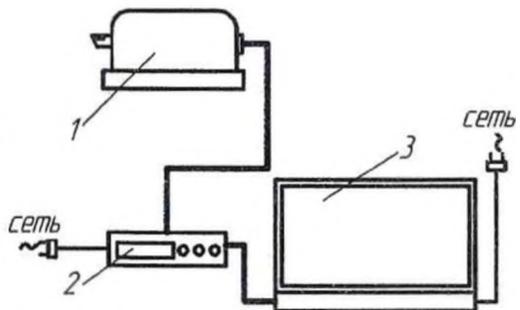
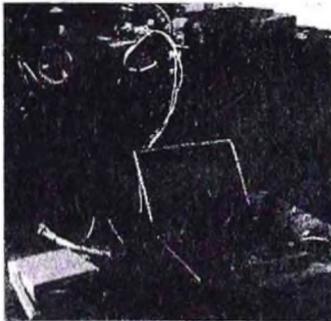


Рисунок 10 – Общий вид аппаратно-программного комплекса ВИКМА-2

Данный аппаратно-программный комплекс позволяет преобразовать измерительную информацию в цифровой вид, воспринимаемый ПЭВМ. Задачей последней в данном случае является обработка получаемой цифровой информации в соответствии с алгоритмами, заложенными при разработке программного обеспечения, а также управление аппаратными средствами в соответствии с командами, задаваемыми пользователем.



*1 – универсальный динамометр СУРП-600; 2 – измерительное устройство; 3 – компьютер
Рисунок 11 – Общий вид подключения измерительных средств к аппаратно-программному комплексу и принципиальная схема подключения:*

Независимо от компоновки используемого прибора измеряются фактически не силы, а характеристики тока, изменение которых происходит из-за возникновения этих сил. Поэтому должна быть предусмотрена процедура тарирования, которая заключается в установлении зависимости изменения величины силы тока от действующей на резец нагрузки.

Тарирование следует производить на тарировочном стенде в следующей последовательности:

- 1) установить динамометр на тарировочный стенд;
- 2) подготовить динамометр к работе согласно инструкции;
- 3) нагрузить динамометр эталонной нагрузкой отдельно по каждой измеряемой составляющей силы резания (рисунок 12, а) и зафиксировать показания динамометра по этой же составляющей.

В пределах диапазона измерения динамометра дают 3...4 различных значения эталонной нагрузки. По данным тарирования строят тарировочные графики (рисунок 12, б).

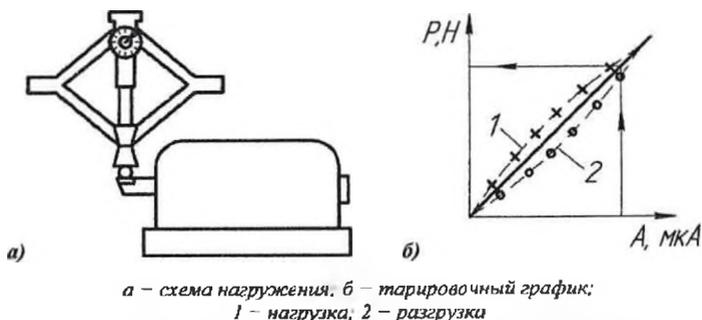


Рисунок 12 – Схема тарировки динамометра СУРП-600

Тарировочные графики динамометра строят в следующих координатах: по горизонтали откладывают показания динамометра в единицах отсчетного прибора А (мкА), а по вертикали – величину действующей составляющей силы резания Р (Н). Данная зависимость выражается, как правило, линейной функцией:

$$P = K A, \quad (19)$$

где К – тарировочный коэффициент, равный тангенсу угла наклона прямой тарировочного графика.

Методические указания

Проведение эксперимента для определения составляющих силы резания в каждом конкретном случае экономически и технически нецелесообразно. Поэтому на основе результатов экспериментальных исследований, накопленных за годы развития теории резания, выведены эмпирические формулы для расчета составляющих силы резания. Например, при точении они имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} P_z &= C_{P_z} \cdot t^{X_{P_z}} \cdot S^{Y_{P_z}} \cdot v^{-Z_{P_z}}, \\ P_y &= C_{P_y} \cdot t^{X_{P_y}} \cdot S^{Y_{P_y}} \cdot v^{-Z_{P_y}}, \\ P_x &= C_{P_x} \cdot t^{X_{P_x}} \cdot S^{Y_{P_x}} \cdot v^{-Z_{P_x}}. \end{aligned} \quad (20)$$

где C_{P_z} , C_{P_y} , C_{P_x} – постоянные множители, зависящие от свойств обрабатываемого материала и условий обработки;

X_{P_z} , Y_{P_z} , Z_{P_z} , ... , Z_{P_x} – показатели степени, величины которых показывают, насколько тот или иной режим резания влияет на составляющую силы резания.

Наиболее существенно на силу резания влияет глубина резания t , определяющая ширину срезаемого слоя. Это происходит потому, что с её увеличением в одинаковой мере возрастает объем ~~резания, поэтому магнетизм и деформация ст-~~

пению пластических деформаций. Поскольку температура, а значит и коэффициент трения стружки о переднюю поверхность, слабо зависят от ширины среза, то можно считать, что рост силы резания пропорционален увеличению глубины резания, т.е. X_p приблизительно равен единице.

С увеличением подачи S пропорционально возрастает толщина срезаемого слоя. Это вызывает увеличение нагрузки на единицу длины режущего лезвия. В связи с этим увеличивается температура резания, что приводит к уменьшению сил трения. Кроме того, пластические деформации и напряжения распределяются по толщине стружки неравномерно. Они значительно больше в слоях, прилегающих к передней поверхности. Тогда увеличение толщины среза приводит к относительному уменьшению слоя с максимальными деформациями. Поэтому показатель степени Y_p в формуле (19) меньше единицы.

Изменение скорости резания приводит к соответствующему изменению степени деформации, температуры и коэффициента трения. Поэтому увеличение скорости резания, как правило, снижает, силу. При обработке материалов, склонных к наростообразованию, зависимость силы резания от скорости, может иметь и немонотонный характер.

Порядок выполнения работы

В лабораторной работе предусматривается проведение экспериментальных исследований зависимости составляющих силы резания от режимов: глубины резания t , подачи S , и скорости резания v .

На основе полученных экспериментальных данных необходимо получить эмпирические формулы вида (20).

Для выполнения работы предлагается следующий порядок действий:

1. Изучить конструкцию и работу измерительных средств. Зарисовать в отчёте схему измерений.
2. Для выявления зависимости составляющих силы резания от режимных параметров необходимо провести три серии экспериментов:
 - в первой серии опытов определяется зависимость составляющих силы резания от глубины t при неизменных величинах подачи и скорости резания;
 - во второй – зависимость составляющих силы резания от подачи S при других неизменных параметрах;
 - в третьей – зависимость составляющих силы резания от скорости v при неизменных величинах подачи и глубины резания.

Для этого предварительно необходимо определить режимы, при которых будут производиться измерения, и занести их в таблицу 2.

3. Провести тарирование и полученные значения сил для каждого из режимов занести в таблицу.

4. Построить графики зависимости $F_z(t, S, v)$, $F_y(t, S, v)$, $F_x(t, S, v)$.

5. Вывести эмпирические формулы для расчета составляющих силы резания F_z , F_y , F_x . Для этого можно использовать графоаналитический метод, с помощью которого необходимо определить показатель степени и постоянные множители:

– построить в двойной логарифмической системе координат графики зависимости составляющих силы резания от элементов режимов резания (для главной составляющей пример на рисунке 12). Построенные точки на графике необходимо аппроксимировать линейной зависимостью. Тангенсы углов наклона полученных прямых представляют собой показатели степени при соответствующем режимном параметре в эмпирической формуле (22):

$$\begin{aligned} X_{Pz} &= \operatorname{tg} \varphi_t, \\ Y_{Pz} &= \operatorname{tg} \varphi_s, \\ Z_{Pz} &= \operatorname{tg} \varphi_v. \end{aligned} \quad (21)$$

Показатели степени для других составляющих силы резания определяются аналогично.

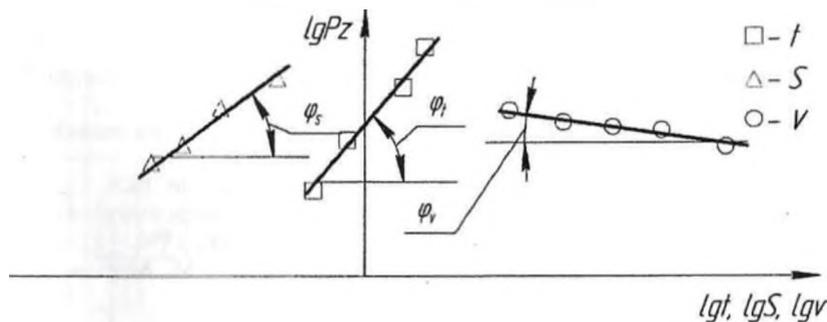


Рисунок 12 – Графики зависимости главной составляющей силы резания от режимных параметров в двойной логарифмической системе координат

– величины постоянных множителей определяют по известным исходным и экспериментальным и полученным показателям степени методом средних:

$$C_{Pz} = \frac{P_{z1} \cdot t_1^{-X_{Pz}} \cdot S_1^{-Y_{Pz}} \cdot v_1^{-Z_{Pz}} + P_{z2} \cdot t_2^{-X_{Pz}} \cdot S_2^{-Y_{Pz}} \cdot v_2^{-Z_{Pz}} + \dots + P_{zn} \cdot t_n^{-X_{Pz}} \cdot S_n^{-Y_{Pz}} \cdot v_n^{-Z_{Pz}}}{n} \quad (22)$$

где n – количество произведённых измерений.

Постоянные множители для других составляющих силы резания определяются аналогично.

6. Проанализировать полученные эмпирические формулы и сформулировать вывод.

Содержание отчёта

1. Название, цель работы, оборудование, инструменты принадлежности.
2. Схема измерительной установки.
3. Таблица с исходными данными и результатами измерений.
4. Графики зависимости составляющих силы резания от режимов резания в натуральной и двойной логарифмической системах координат.

5. Расчеты показателей степени и постоянных множителей в эмпирических формулах.
6. Эмпирические формулы в окончательном виде.
7. Заключение.

Контрольные вопросы

1. Перечислите факторы, влияющие на возникновение сил при резании.
2. Назовите составляющие силы резания.
3. Устройство и принцип действия динамометра СУРП-600
4. Зачем выполняется процедура тарирования?
5. Объяснить характер зависимости сил резания от изменения глубины резания t , подачи S , скорости резания v .

Список использованных источников

1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. - М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
2. Коженкова Т.И., Фельдштейн Е.Э. Лабораторные работы по резанию металлов. – Минск: Высшая школа, 1985. – 176 с.
3. Ящерицын П.И. и др. Теория резания – Мн.: Новое знание, 2006.
4. Ящерицын П.И. и др. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: Учеб. для вузов. – Мн.: Выш. шк., 1990. – 512 с.
5. Г.И. Грановский, В.Г. Грановский Резание металлов. – М.: Машиностроение, 1985.

Таблица 2 – Исходные данные и результаты измерений

№ п.п	Исследуемый режим	D, мм	n, мин ⁻¹	Режимы обработки			Составляющие силы резания					
				L, мм	S, мм/об	v, м/мин	A _x , мкА	P _z , Н	A _y , мкА	P _y , Н	A _z , мкА	P _x , Н
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Глубина резания t											
2												
3												
4												
5	Поддача S											
6												
7												
8												
9	Скорость резания v											
10												
11												
12												

Учебное издание

Составители:

Александр Вячеславович Драган

Виктор Александрович Сокол

Андрей Николаевич Парфиевич

Методические указания

к лабораторным работам по курсам
«Теория резания» и «Резание материалов»
на темы «Исследование влияния режимных факторов
на пластические деформации при стружкообразовании»
и «Исследование сил резания при точении»
для студентов специальности
1-36 01 01 «Технология машиностроения» и
1-36 01 03 «Технологическое оборудование
машиностроительного производства»
дневной и заочной форм обучения

Текст печатается в авторской редакции

Ответственный за выпуск: Сокол В.А.

Редактор: Боровикова Е.А.

Компьютерная вёрстка: Соколюк А.П.

Подписано к печати 16.03.2015 г. Формат 60x84^{1/16}. Гарнитура Times New Roman.
Бумага «Perforter». Усл. п. л. 1,16. Уч. изд. 1,25. Заказ № 304. Тираж 50 экз.
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Перечень вопросов к экзамену по дисциплине «Теория резания»

1. Понятие резание материалов. Цели, задачи и основные тенденции развития науки о резании материалов.
2. Движения инструмента и заготовки, необходимые для обеспечения процесса резания, и поверхности, образуемые на заготовке.
3. Рабочие поверхности инструмента.
4. Координатные плоскости и системы координат для оценки параметров режущей части инструмента.
5. Геометрические параметры режущей части инструмента.
6. Классификация видов резания.
7. Элементы режима резания и срезаемого слоя при точении.
8. Резание материалов как система.
9. Основные свойства инструментальных материалов.
10. Виды инструментальных материалов: углеродистые и легированные инструментальные стали, быстрорежущие инструментальные стали, монокристаллические материалы.
11. Виды инструментальных материалов: твёрдые сплавы, минералокерамика, сверхтвёрдые инструментальные материалы
12. Физико-химические явления при резании.
13. Пластические деформации металла при образовании стружки и характеристики, используемые для их оценки (угол сдвига, абсолютный и относительный сдвиг).
14. Зоны деформации при формировании стружки.
15. Классификация типов стружки.
16. Схема образования сливной стружки с единственной плоскостью сдвига.
Сила сдвига.
17. Формирование текстуры стружки.
18. Схема образования элементной стружки.
19. Образование стружки надлома.
20. Характеристики деформации стружки.
21. Факторы, влияющие на коэффициент укорочения стружки (передний угол, СОЖ, скорость резания, толщина среза).
22. Причины и методы дробления стружки.
23. Физико-химические явления на площадке контакта стружки с передней поверхностью инструмента.
24. Особенности трения передней поверхности инструмента и стружки.
25. Влияние различных факторов на величину среднего коэффициента трения стружки и передней поверхности инструмента.
26. Механизм наростообразования при резании металлов. Факторы, влияющие на интенсивность наростообразования.
27. Силы, возникающие при свободном резании.
28. Составляющие силы резания при точении.

29. Методы измерения сил резания и математической обработки экспериментальных данных. Эмпирические зависимости для определения сил резания.

30. Влияние различных факторов на силу резания в условиях свободного резания (ширина и толщина среза, свойства обрабатываемого металла, свойств инструментального материала, переднего и заднего углов инструмента, скорости резания).

31. Работа и мощность резания.

32. Вибрации в процессе резания и методы их устранения.

33. Показатели качества поверхностей.

34. Шероховатость поверхности, факторы ее определяющие.

35. Физико-механические свойства поверхностного слоя (наклеп, остаточные напряжения, изменение структуры поверхностного слоя).

36. Понятие о работоспособности, надёжности и отказах режущего инструмента.

37. Разрушение режущего инструмента. Виды хрупкого и пластического разрушения.

38. Изнашивание инструмента. Методы оценки износа. Кривые износа.

39. Гипотезы, объясняющие механизмы износа лезвий.

40. Стойкость инструмента. Критерии износа. Равный допустимый и оптимальный допустимый износ.

41. Взаимосвязь режимных параметров и стойкости инструмента.

42. Методы прогнозирования и диагностики технического состояния режущих инструментов.

43. Конструкция и геометрические параметры спиральных сверл.

44. Особенности передних и задних углов спиральных сверл.

45. Условия резания на поперечном режущем лезвии.

46. Элементы режима резания и срезаемого слоя при сверлении.

47. Силы резания и крутящий момент при сверлении. Влияние на них геометрических и конструктивных параметров сверла и условий резания.

48. Износ и критерий затупления сверл.

49. Стойкость сверл. Влияние на стойкость диаметра сверла, подачи, глубины отверстия, формы заточки, жесткости, СОЖ.

50. Конструкция и геометрия цилиндрических и торцовых фрез.

51. Элементы режима резания при фрезеровании (скорость резания, подача, глубина и ширина фрезерования, угол контакта фрезы, толщина и ширина среза, сечение среза для цилиндрических фрез с прямыми и винтовыми зубьями, основное время).

52. Особенности встречного и попутного фрезерования.

53. Условие равномерности цилиндрического фрезерования.

54. Силы и мощность при фрезеровании.

55. Износ и стойкость фрез.

56. Назначение и особенности абразивной обработки.

57. Характеристики абразивных инструментов (материал зерен, их величина, вид связки, твердость, структура, форма и размеры).

58. Работа шлифовального круга в режиме затупления и самозатачивания.

59. Основные виды шлифования.

60. Износ и правка шлифовальных кругов.

61. Специальные и отделочные виды шлифования.

62. Понятие обрабатываемости материала. Показатели обрабатываемости.

63. Обрабатываемость конструкционных сталей и чугунов.

64. Обрабатываемость алюминиевых и медных сплавов.

65. Обрабатываемость жаропрочных и нержавеющей сталей.

66. Обрабатываемость титановых сплавов.

67. Назначение режимов резания. Понятие оптимального режима резания.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ М.В. Нерода
_____ 2024

Регистрационный № УД-_____/уч.

Теория резания

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности

6-05-0714-02 Технология машиностроения, металлорежущие станки
и инструменты

профилизация

Технология машиностроения

Технологическое оборудование машиностроительного производства

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 6-05-0714-02-2023, и учебных планов специальности и специализации.

СОСТАВИТЕЛИ:

Сокол В.А., старший преподаватель кафедры машиностроения и эксплуатации автомобилей;

Парфиевич А.Н., декан факультета электронно-информационных систем, кандидат технических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Ларченко Д.С., технический директор ООО «Машиностроительное предприятие «КОМПО»»;

Горбунов В.П., доцент кафедры машиноведения учреждения образования «Брестский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой машиностроения и эксплуатации автомобилей

Заведующий кафедрой С.В. Монтик

(протокол № 3 от 07.10.2024);

Методической комиссией машиностроительного факультета

Председатель методической комиссии В.П. Горбунов

(протокол № _____ от _____ 2024);

Научно-методическим советом БрГТУ (протокол № _____ от _____ 2024)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Место учебной дисциплины

Актуальность дисциплины «Теория резания» определяется тем, что в ней рассматриваются способы и виды обработки материалов, а также физические процессы, происходящие при обработке. Владение данными и навыками их использования является неотъемлемой частью компетенций инженера по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». Указанная дисциплина входит в модуль «Теория резания, металлорежущие станки и инструменты» государственного компонента учебного плана БрГТУ для специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», который изучается на 2 курсе в 4 семестре студентами дневной формы получения образования и на 2 курсе в 4 семестре студентами заочной формы получения образования на основе среднего специального образования.

Цель преподавания учебной дисциплины: формирование базовых знаний, необходимых при изучении основных дисциплин специального курса, а также освоение методик решения задач по оптимизации процесса резания и технологического процесса в целом при лезвийной и абразивной обработке материалов.

Задачи учебной дисциплины:

- изучение студентами теоретических основ науки о резании металлов;
- приобретение знаний о влиянии различных факторов на условия протекания процесса резания;
- формирование навыков, необходимых при назначении рациональных режимов обработки, геометрических параметров инструментов для заданных условий производства, оборудования, обрабатываемых материалов.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- основные процессы при резании металлов;
- пути интенсификации и регулирования процесса резания;
- особенности различных процессов обработки (точения, фрезерования, шлифования и др.);

уметь:

- использовать закономерности процесса резания для расчёта режущего инструмента;
- оценить работоспособность режущего инструмента;
- выполнить оптимизацию процесса резания;

владеть:

- методологией расчёта режимов резания для различных процессов механической обработки деталей машин;
- навыками оценки работоспособности режущего инструмента в заданных условиях обработки детали, оптимизации этих условий;
- методами повышения интенсификации и регулирования процессов резания.

Для освоения дисциплины «Теория резания» необходимы знания следующих дисциплин: «Математика», «Физика», «Химия», «Теоретическая механика», «Информатика», «Механика материалов», «Технология конструкционных материалов», «Инженерная графика» Знания и навыки, полученные при изучении дисциплины «Теория резания» необходимы для усвоения следующих учебных дисциплин: «Металлорежущие станки», «Режущий инструмент», «Технология машиностроения», «Технологическая оснастка», «Конструирование и расчёт станков».

Освоение учебной дисциплины «Теория резания» должно обеспечить формирование специализированных компетенций:

УК-6: проявлять инициативу и адаптироваться к изменениям в профессиональной деятельности.

БПК-9: использовать знания об основных процессах при резании металлов, процессах образования поверхностей на металлорежущих станках, особенностях различных типов станков для конструирования режущих инструментов.

БПК-9.1: конструировать различные режущие инструменты, используя знания о силовых и тепловых процессах при резании.

План учебной дисциплины для дневной формы получения высшего образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
6-05-0714-02	Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты (Технология машиностроения)	2	4	130	3	68	52	16	-	-	-	Экзамен в 4 семестре
6-05-0714-02	Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты (Технологическое оборудование машиностроительного производства)	2	4	130	3	68	52	16	-	-	-	Экзамен в 4 семестре

**План учебной дисциплины для заочной формы получения высшего образования
на основе среднего специального образования**

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
6-05-0714-02	Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты (Технология машиностроения)	2	4	130	3	16	12	4	-	-	-	Экзамен в 4 семестре

1 СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Учебная дисциплина «Теория резания» включает в себя тринадцать основных тем. Темы лекционных и лабораторных занятий приведены в следующих пунктах содержания учебного материала.

1.1 ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

Тема 1. Введение. Дисциплина, её предмет, цели и задачи.

Значение дисциплины «Теория резания» и её место в учебном плане подготовки инженеров по специальности. Связь дисциплины с фундаментальными, общетехническими и специальными науками. История развития науки о резании материалов. Предмет, цели и задачи курса. Тенденции и перспективы развития обработки материалов резанием, как метода окончательного формирования формы и размеров детали.

Тема 2. Основные понятия, термины и определения теории резания материалов.

Движения инструмента и заготовки, необходимые для обеспечения процесса резания, и поверхности, образуемые на заготовке. Рабочие поверхности инструмента. Координатные плоскости и системы координат для оценки параметров режущей части инструмента. Геометрические параметры режущей части инструмента. Классификация видов резания. Элементы режима резания и срезаемого слоя при точении. Резание материалов как система.

Тема 3. Инструментальные режущие материалы.

Основные свойства инструментальных материалов. Виды инструментальных материалов и области их применения.

Тема 4. Физические основы процесса резания.

Физико-химические явления при резании. Пластические деформации металла при образовании стружки и характеристики, используемые для их оценки (угол сдвига, абсолютный и относительный сдвиг). Зоны деформации при формировании стружки. Классификация типов стружки. Схема образования сливной стружки с единственной плоскостью сдвига. Сила сдвига. Формирование текстуры стружки. Схема образования элементной стружки. Образование стружки надлома. Характеристики деформации стружки. Факторы, влияющие на коэффициент укорочения стружки (передний угол, СОЖ, скорость резания, толщина среза). Причины и методы дробления стружки.

Тема 5. Трение и контактные явления в зоне резания.

Физико-химические явления на площадке контакта стружки с передней поверхностью инструмента. Особенности трения передней поверхности инструмента и стружки. Влияние различных факторов на величину среднего коэффициента трения стружки и передней поверхности инструмента. Механизм наростообразования при резании металлов. Факторы, влияющие на интенсивность наростообразования.

Тема 6. Динамика процесса резания.

Силы, возникающие при свободном резании. Составляющие силы резания при точении. Методы измерения сил резания и математической обработки экспериментальных данных. Эмпирические зависимости для определения сил резания. Влияние различных факторов на силу резания в условиях свободного резания (ширина и толщина среза, свойства обрабатываемого металла, свойств инструментального материала, переднего и заднего углов инструмента, скорости резания). Работа и мощность резания. Вибрации в процессе резания и методы их устранения.

Тема 7. Формирование свойств обработанной поверхности в процессе резания.

Показатели качества поверхностей. Шероховатость поверхности, факторы ее определяющие. Физико-механические свойства поверхностного слоя (наклеп, остаточные напряжения, изменение структуры поверхностного слоя).

Тема 8. Работоспособность, надёжность и отказы режущего инструмента.

Понятие о работоспособности, надёжности и отказах режущего инструмента. Разрушение режущего инструмента. Виды хрупкого и пластического разрушения. Изнашивание инструмента. Методы оценки износа. Кривые износа. Гипотезы, объясняющие механизмы износа лезвий. Стойкость инструмента. Критерии износа. Равный допустимый и оптимальный допустимый износ. Взаимосвязь режимных параметров и стойкости инструмента. Методы прогнозирования и диагностики технического состояния режущих инструментов.

Тема 9. Особенности обработки осевым инструментом.

Конструкция и геометрические параметры спиральных сверл. Особенности передних и задних углов спиральных сверл. Условия резания на поперечном

режущем лезвии. Элементы режима резания и срезаемого слоя при сверлении. Силы резания и крутящий момент при сверлении. Влияние на них геометрических и конструктивных параметров сверла и условий резания. Износ и критерий затупления сверл. Стойкость сверл. Влияние на стойкость диаметра сверла, подачи, глубины отверстия, формы заточки, жесткости, СОЖ.

Тема 10. Фрезерование.

Конструкция и геометрия цилиндрических и торцовых фрез. Элементы режима резания при фрезеровании. Особенности встречного и попутного фрезерования. Условие равномерности цилиндрического фрезерования. Силы и мощность при фрезеровании. Износ и стойкость фрез.

Тема 11. Особенности процессов абразивной обработки.

Назначение и особенности абразивной обработки. Характеристики абразивных инструментов (материал зерен, их величина, вид связки, твердость, структура, форма и размеры). Работа шлифовального круга в режиме затупления и самозатачивания. Основные виды шлифования. Износ и правка шлифовальных кругов. Специальные и отделочные виды шлифования.

Тема 12. Особенности обработки резанием различных конструкционных материалов.

Понятие обрабатываемости материала. Показатели обрабатываемости. Обрабатываемость конструкционных сталей и чугунов. Обрабатываемость алюминиевых и медных сплавов. Обрабатываемость жаропрочных и нержавеющей сталей. Обрабатываемость титановых сплавов.

Тема 13. Оптимизация процесса резания.

Назначение режимов резания. Понятие оптимального режима резания.

1.2 ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ, ИХ НАЗВАНИЕ

1.2.1 Изучение конструкции и измерение геометрических параметров токарных резцов.

1.2.2 Исследование физических процессов при стружкообразовании по корню стружки.

1.2.3 Исследование влияния режимных факторов на пластические деформации при стружкообразовании.

1.2.4 Исследование сил резания при точении.

2 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
2.1 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
для дневной формы получения высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов самост. работы	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинарские занятия		
	4 семестр						
1	Введение. Дисциплина, её предмет, цели и задачи	2					Экз.
2	Основные понятия, термины и определения теории резания материалов	6	4			4	Экз. Защ.
3	Инструментальные режущие материалы					8	Экз.
4	Физические основы процесса резания	6	8			10	Экз. Защ.
5	Трение и контактные явления в зоне резания	2					Экз.
6	Динамика процесса резания	6	4			14	Экз. Защ.
7	Формирование свойств обработанной поверхности в процессе резания	4					Экз.
8	Работоспособность, надёжность и отказы режущего инструмента	6				8	Экз.
9	Особенности обработки осевым инструментом	4				8	Экз.
10	Фрезерование	4					Экз.
11	Особенности процессов абразивной обработки	6				6	Экз.
12	Особенности обработки резанием различных конструкционных материалов	4					Экз.
13	Оптимизация процесса резания	2				4	Экз.
	Всего часов в 4 семестре	52	16			62	
	Всего часов по дисциплине	52	16			62	

Расшифровка сокращений форм контроля знаний: экз.– экзамен; защ. – защита лабораторных работ.

2.2 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ для заочной формы получения высшего образования на основе среднего специального образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов самост. работы	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинарские занятия		
	4 семестр						
1	Введение. Дисциплина, её предмет, цели и задачи	2					Экз.
2	Основные понятия, термины и определения теории резания материалов	4				8	Экз.
3	Инструментальные режущие материалы					12	Экз.
4	Физические основы процесса резания	6	4			8	Экз. Защ.
5	Трение и контактные явления в зоне резания					8	Экз.
6	Динамика процесса резания					16	Экз.
7	Формирование свойств обработанной поверхности в процессе резания					12	Экз.
8	Работоспособность, надёжность и отказы режущего инструмента					12	Экз.
9	Особенности обработки осевым инструментом					8	Экз.
10	Фрезерование					8	Экз.
11	Особенности процессов абразивной обработки					8	Экз.
12	Особенности обработки резанием различных конструкционных материалов					8	Экз.
13	Оптимизация процесса резания					6	Экз.
	Всего часов в 4 семестре	12	4			114	
	Всего часов по дисциплине	12	4			114	

Расшифровка сокращений форм контроля знаний: экз. – экзамен; защ. – защита лабораторных работ.

3 ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Перечень литературы (учебной, учебно-методической, научной, нормативной, др.)

Основная

1. Дечко Э.М., Дечко М.М. Резание металлов и режущий инструмент: учебное пособие – Минск: Вышэйшая школа, 2020. – 287 с.

2. Ящерицын П.И. и др. Теория резания: учеб. – 2-е изд., испр. и доп. – Мн.: Новое знание, 2006. – 512 с.

3. Солоненко В.Г., Рыжкин А.А. Резание металлов и режущие инструменты: учеб. Пособие – М.: Высшая школа, 2014. – 416 с.

4. Кожевников Д.В., Кирсанов С.В. Резание материалов: учебник для студ. вузов/ под общей редакцией С.В. Кирсанова. – М.: Машиностроение, 2007. – 528 с.

Дополнительная

5. Ящерицын П.И. и др. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: учеб. для вузов – Мн.: Высшая школа, 1990. – 512 с.

6. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с.

7. Справочник технолога-машиностроителя [Текст] : в 2 т. / редсовет.: В. Ф. Безъязычный [и др.] ; под. ред. А. С. Васильева, А. А. Кутина. – 7-е изд. испр. – Москва : Инновационное машиностроение, 2023. – ISBN 978-5-907523-26-5.

8. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т./ Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001.

9. Обработка металлов резанием: Справочник технолога [Текст] А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А.А. Панова. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2004. – 784 с.: ил.

10. Справочник инструментальщика/ Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л: Машиностроение, 1987. – 846 с.

11. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник/ Под общ. ред. В.И. Баранчикова. – М.: Машиностроение, 1990. – 560 с.

3.2 Перечень методических указаний и материалов, наглядных и других пособий, технических средств обучения, оборудования для выполнения лабораторных работ

Методические указания

1. Методические указания к лабораторным работам по курсам «Теория резания» и «Резание материалов» по теме «Основные способы обработки резанием и геометрические характеристики режущих инструментов» для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» дневной, вечерней и заочной форм обучения/ Сост. А. В. Драган, В. А. Сокол, А. Н. Парфиевич ; под ред. В. А. Сокола. – Брест.: БрГТУ, 2017.

2. Методические указания к лабораторной работе по курсам «Теория резания» «Резание материалов» на тему «Исследование физических процессов при стружкообразовании по корню стружки» для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» дневной, вечерней и заочной форм обучения/ Сост.: А. В. Драган, В. А. Сокол, А. Н. Парфиевич ; под ред. В. А. Сокола. – Брест.: БрГТУ, 2019.

3. Методические указания к лабораторным работам по курсам «Теория ре-

зания» и «Резание материалов» на тему «Исследование влияния режимных факторов на пластические деформации при стружкообразовании и исследование сил резания при точении» для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» дневной и заочной форм обучения/ Сост.: А.В. Драган, В.А. Сокол, А.Н. Парфиевич. – Брест.: БрГТУ, 2015.

Техническое обеспечение и наглядные пособия

1. Токарный станок «Куссон».
2. Комплект фотографий микрошлифов корней стружки.
3. Универсальный динамометр СУРП-600 (УДМ-600).
4. Контрольно-диагностический комплекс ВИКМА-2 с программным обеспечением.

3.3. Перечень средств диагностики результатов учебной деятельности

1. Текущая аттестация.
2. Письменные отчеты по аудиторным лабораторным занятиям с их устной защитой.
3. Письменный экзамен.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в виде:

- контрольного опроса в письменной форме;
- письменные отчёты по аудиторным лабораторным занятиям с их устной защитой.

При расчете итоговой отметки по текущей аттестации учитывается объем качественно выполненных к моменту аттестации лабораторных работ (в соответствии с учебно-методической картой учебной дисциплины).

В семестре предусмотрена одна текущая аттестация.

Обучающиеся допускаются к промежуточной аттестации по учебной дисциплине при условии успешного прохождения текущей аттестации.

Результаты текущей аттестации учитываются при проведении промежуточной аттестации по учебной дисциплине.

Промежуточная аттестация по учебной дисциплине проводится в форме письменного экзамена.

3.4. Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы обучающихся учебной дисциплине

При изучении дисциплины используются следующие формы самостоятельной работы в соответствии с п. 3 Положения о самостоятельной работе студентов учреждения образования «Брестский государственный технический университет», утвержденного ректором БрГТУ №56 от 01.06.2020:

– самостоятельное изучение тем лекционного курса по литературным источникам и методическим указаниям, имеющимся в библиотеке БрГТУ и указанным в разделе 3 настоящей программы:

– самостоятельная подготовка к выполнению лабораторных работ по методическим указаниям, разработанным на кафедре машиностроения и эксплуатации автомобилей и указанным в разделе 3 настоящей программы – методические указания 1, 2, 3;

– самостоятельная работа под контролем преподавателя во время лабораторных занятий по расписанию, по индивидуальным заданиям;

– самостоятельная подготовка к экзамену.

Самостоятельное изучение тем лекционного курса выполняется по следующим литературным источникам:

Номер темы	Название раздела, темы	Номер литературного источника
1	Введение. Дисциплина, её предмет, цели и задачи	[1, 2, 5, 6]
2	Основные понятия, термины и определения теории резания материалов	[1, 2, 5, 6]
3	Инструментальные режущие материалы	[1, 4, 5, 10]
4	Физические основы процесса резания	[1, 2, 5, 6]
5	Трение и контактные явления в зоне резания	[1, 2, 5, 6]
6	Динамика процесса резания	[1, 2, 5, 6]
7	Формирование свойств обработанной поверхности в процессе резания	[1, 2, 5, 6]
8	Работоспособность, надёжность и отказы режущего инструмента	[1, 2, 5, 6]
9	Особенности обработки осевым инструментом	[1, 2, 5, 6]
10	Фрезерование	[1, 2, 5, 6]
11	Особенности процессов абразивной обработки	[1, 2, 5, 6]
12	Особенности обработки резанием различных конструкционных материалов	[1, 2, 5, 6]
13	Оптимизация процесса резания	[1, 2, 5, 6]

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1. Режущий инструмент	МЭА	нет	Рекомендовать к утверждению (протокол №3 от 07.10.2024) Зав. кафедрой МЭА С.В. Монтик
2. Металлорежущие станки	МЭА	нет	
3. Конструирование и расчёт станков	МЭА	нет	
4. Технологическая оснастка	МЭА	нет	

Содержание учебной программы
согласовано с выпускающей кафедрой

Заведующий выпускающей кафедрой,
кандидат технических наук, доцент

С.В. Монтик