

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Профессиональное обучение и педагогика»

**Электронный учебно-методический комплекс
ТЕОРИЯ РЕЗАНИЯ И РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ
(ОСНОВЫ ТЕОРИИ РЕЗАНИЯ)**

для студентов обучающихся по направлению специальности
1-08 01 01-01 «Профессиональное обучение (машиностроение)»

Составители: Игнаткович И. В.,
Иващенко С. А., Кравченя Э. М.

Минск БНТУ 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАБОТЕ С ЭЛЕКТРОННЫМ ЭУМК.....	4
УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА.....	7
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ.....	11
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	17
1 ОСНОВЫ ТЕОРИЯ РЕЗАНИЯ.....	17
1.1 Конструкционные материалы и их обрабатываемость	17
1.2 Кинематика резания	24
1.3 Конструкция и геометрия резца.....	29
1.4 Технологические и физические параметры резания. Сечение среза и гребешки шероховатости.....	38
1.5 Процессы стружко – и наростообразования, усадка стружки и упрочнение обработанной поверхности.....	46
Зона стружкообразования.....	49
1.6 Силы резания при обработке резцами.....	53
1.7 Теплота и температура в зоне резания	60
Методы экспериментального определения теплоты и температуры	61
1.8 Износ и разрушение режущей части инструментов	67
1.9 Стойкость инструмента и скорость резания, допускаемая его режущими свойствами	71
1.10 Определение режимов резания	75
ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	83
Лабораторная работа № 1	83
ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ... 83	
Лабораторная работа № 2	94
НАЗНАЧЕНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ МНОГОПЕРЕХОДНОЙ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ ЕДИНИЧНЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ.....	94
РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ.....	111

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ	114
ГЛОССАРИЙ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ	114
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	117

ПРЕДИСЛОВИЕ

Общие сведения

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) разработан в соответствии с образовательным стандартом высшего образования, учебной программой для учреждений высшего образования по направлению специальностям 1-08 01 01 «Профессиональное обучение (машиностроение)». ЭУМК предназначен для методического и информационного обеспечения раздела «Основы теории резания» учебной дисциплины «Теория резания и режущий инструмент».

Состав учебника

Разработанный ЭУМК раздела «Основы теории резания» дисциплины «Теория резания и режущий инструмент» включает в себя теоретический раздел (лекционный материал, электронные презентации, видеоматериал); практический раздел (материал для проведения лабораторных работ); раздел контроля знаний (вопросы для самоконтроля, тематику рефератов) и вспомогательный раздел (учебная программа, содержащая перечень информационных изданий и информационно-аналитических материалов, глоссарий).

Взаимосвязь материалов учебника обеспечивается с помощью гиперссылок.

Комплект поставки и структура дистрибутивного диска

ЭУМК поставляется на компакт-диске. Стандартный комплект поставки предполагает наличие в корневом каталоге файла электронного УМК в формате скомпилированного HTML-файла с именем «Электронный учебно-методический комплекс» (с расширением htm) и файлов презентаций в формате демонстраций презентаций MS PowerPoint 2010 и выше. Кроме того, на диске находятся исходные файлы документов, презентаций и видеофрагментов, которые свободно могут корректироваться и использоваться преподавателем, читающим лекции.

Требования к системе

Электронный УМК не предъявляет никаких специальных требований к системе, что делает возможным его применение на любом компьютере, на котором установлена операционная система MS Windows. Для просмотра презентаций на компьютере должна быть установлена программа MS PowerPoint 2010 или более поздняя версия этой программы.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАБОТЕ С ЭЛЕКТРОННЫМ ЭУМК

Электронный УМК можно запустить непосредственно с компакт-диска или скопировав все файлы в каталог на жестком диске. Для запуска ЭУМК достаточно дважды щёлкнуть левой кнопкой мыши, указав на файл «Электронный учебно-методический комплекс» (с расширением htm).

Знакомство с ЭУМК

Несомненным достоинством данного ЭУМК является то, что его использование не требует дополнительных усилий обучаемого по освоению интерфейса. После запуска ЭУМК он отображается на экране в формате, хорошо знакомом каждому пользователю компьютера по help файлам Windows и документации для многих программных систем.

В левой части находится окно навигации, в котором под вкладкой «Содержание» все организованные материалы ЭУМК. В правом окне отображается содержание статей ЭУМК. Используя окно навигации можно легко увидеть структуру ЭУМК и перемещаться по его разделам. При щелчке мыши по любому из элементов в окне навигации отображается соответствующий элемент содержания электронного УМК (например, это может быть фрагмент учебного материала, материалы тестового контроля и т.д.).

Система гиперссылок в ЭУМК

В содержание ЭУМК «Теория резания и режущий инструмент» входит система основных понятий изучаемой учебной дисциплины. Эти основные понятия связаны системой гиперссылок со статьями электронного учебника. Гиперссылки традиционно выделены синим цветом и подчеркиванием. Просмотренные гиперссылки изменяют свой цвет на фиолетовый.

Ссылки на презентации также реализованы в виде гиперссылок, содержащих название презентации; видеоматериалы оформлены в виде отдельных файлов.

Презентации

Все отображаемые презентации в формате демонстраций презентаций MS PowerPoint 2010 находятся в одном каталоге с файлом ЭУМК с именем .ppt. Связь между ссылками на файлы презентаций и самими презентациями устанавливается по именам файлов.

Преподаватель, использующий ЭУМК, может свободно корректировать исходные файлы презентаций, расположенные на диске, сохранять их в формате готовых демонстраций и формировать свою версию ЭУМК, копируя свои файлы под теми же именами в корневой каталог.

Исходные тексты презентаций могут свободно использоваться в исходном или измененном виде при чтении лекций с использованием видеопроекционной техники.

Структура ЭУМК

Структуру электронного УМК «Теория резания» составляют следующие разделы:

- Титульный лист.
- Предисловие, в котором описываются цели и задачи изучения учебной дисциплины «Теория резания и режущий инструмент».
- Методические указания по работе с электронным УМК, включающие рекомендации для преподавателей и студентов.
- Учебная программа дисциплины «Теория резания и режущий инструмент».
- Учебный материал, структурированный по темам.

Рекомендации по использованию ЭУМК

Данный ЭУМК можно использовать для методического обеспечения учебной дисциплины «Теория резания и режущий инструмент», изучаемой в соответствии учебным планом по направлению специальности 1-08 01 01-01 «Профессиональное обучение (машиностроение)».

Структура и содержание учебных материалов электронного УМК способствует системному освоению учебного материала и вовлечению обучающихся практически во все этапы учебного процесса: от разработки и принятия целей

обучения до рефлексии и оценки (самооценки) образовательных результатов через самостоятельную работу.

Содержание учебного материала соответствует требованиям компетентностного подхода по обеспечению практико-ориентированного и прикладного характера.

Овладение студентами раздела «Основы теории резания» дисциплины посредством ЭУМК позволяет им комплексно увидеть цели и задачи изучения дисциплины, поэтапно овладеть учебным материалом и сформировать практические умения и соответствующие компетенции.

Электронный УМК содержит как основной, так и дополнительный учебный материал, обеспечивая возможность просмотра больших информационных объемов и наглядных примеров, легкого доступа к нужной справочной информации и дополнительной литературе посредством Интернет.

Использование электронного УМК позволяет более эффективно реализовать одну из важнейших функций образования – формирование профессиональных компетенций.

Важным для реализации электронного УМК является использование видеоматериалов. В процессе преподавания дисциплины «Теория резания и режущий инструмент» видеофрагменты можно использовать для решения педагогических задач и ситуаций с последующим обсуждением в аудитории. Эти фрагменты могут быть просмотрены обучающимися как в аудитории, так и индивидуально. После изучения видеоматериалов студентам могут быть даны задания: ответить на вопросы, сформулировать позицию, отстаивать собственную точку зрения и др.

Повышение эффективности организации учебного процесса с помощью электронного УМК достигается: а) более целенаправленной реализацией личностно ориентированного подхода (содержание учебного материала, задач и ситуаций и имеет личностно и социально значимый, прикладной характер, может использоваться студентами в личной и профессиональной деятельности; широкие возможности для студентов работать с ЭУМК в любое удобное время в соответствии с личностными возможностями и потребностями), б) широким использованием методов проблемного обучения, исследовательских, коммуникативных методик, активных форм и методов; в) созданием условий для активизации мыслительной деятельности студентов (системный анализ, сравнение, классификация, обобщение, моделирование и проектирование и др.) посредством освоения, применения и рефлексии большого объема презентаций и видеомате-

риалов; г) воспитательным воздействием на студентов самого содержания учебного материала, включающего наряду с социально и личностно значимой проблематикой исторические сведения (в том числе о персоналиях), которые имеют важное значение для формирования мировоззрения, нравственного сознания студентов, их гражданской ответственности.

УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

Раздел I Основы теории резания

Тема 1.1 Конструкционные материалы и их обрабатываемость. Инструментальные материалы

Металлы как основной конструкционный материал в машиностроении. Виды конструкционных металлов, их маркировка. Влияние механических свойств и структурного состояния металлов на их обрабатываемость. Краткий исторический очерк развития инструментальных материалов и их классификация. Физико-механические свойства инструментальных материалов, определяющие их режущую способность, прочность, износостойкость, технологические характеристики и стоимостные показатели. Химический состав, маркировка, назначение и преимущественная область применения различных марок инструментальных, углеродистых, низко- и высоколегированных (быстрорежущих) сталей, твёрдых сплавов, минералокерамики, сверхтвёрдых материалов на основе синтетических алмазов и эльбора. Современные композитные и монокристаллические инструментальные материалы.

Способы улучшения режущих свойств инструментальных материалов. Обработка холодом, цианирование, сульфидирование, хромирование, упрочнение светолучевой обработкой быстрорежущих сталей. Однослойные и многослойные покрытия на режущие части инструментов из быстрорежущих сталей и твёрдых сплавов.

Тема 1.2 Кинематика резания

Понятие о кинематической схеме резания. Одноподвижные, двух-, трех- и более подвижные кинематические схемы резания. Главное движение резания и вспомогательные движения подачи. Способы механической обработки резанием и присущие им кинематические схемы резания.

Понятие о скорости резания и скоростях подачи. Величина и направление скорости резания при главном вращательном и главном поступательном движениях. Средняя скорость резания при неравномерном поступательном движении инструмента. Виды подач – продольная и поперечная, радиальная и тангенциальная, осевая и круговая. Вектор истинной скорости и траектория результирующего движения точек главного режущего лезвия инструмента относительно заготовки.

Тема 1.3 Конструкция и геометрия резца

Державка и головка как основные конструктивные элементы резца. Виды и габаритные размеры сечения державки, её опорные и зажимные поверхности. Связь габаритов резца с сечением снимаемого слоя. Сопряжённые режущие клинья на головке резца; их поверхности, режущие кромки и вершины. Координатные плоскости: основная, резания, рабочая. Углы заточки в основной плоскости (в плане), в плоскостях резания (наклона режущих кромок), в главной и вспомогательной секущих плоскостях (углы режущих клиньев).

Функциональная связь между передними и задними углами резца в нормальной, продольной и поперечной секущих плоскостях.

Тема 1.4 Технологические и физические параметры резания. Сечение среза и гребешки шероховатости

Понятие о глубине резания, срезе и сечении среза. Свободное и несвободное, прямоугольное и косоугольное резание. Сечение срезаемого слоя при свободном резании. Толщина и ширина срезаемого слоя и их взаимосвязь с подачей и глубиной резания. Номинальное, действительное и остаточное поперечные сечения среза при несвободном резании. Высота остаточного сечения как характеристика шероховатости обработанной поверхности. Понятие о силовом резании. Сечение среза при различных видах обработки резцами.

Тема 1.5 Процессы стружко- и наростообразования, усадка стружки и упрочнение обработанной поверхности

Деформация и разрушение срезаемого слоя при обработке хрупких материалов. Стружка надлома. Закономерности пластической деформации и сдвига элементов срезаемого слоя при обработке хрупко-пластичных и пластичных материалов. Образование элементов стружки:

- с последующим их полным отделением друг от друга (элементная стружка);
- с отделением друг от друга блоков элементов (стружка скалывания);
- без отделения друг от друга, т. е. с образованием полностью связанных между собой элементов в виде непрерывной ленты (сливная стружка).

Негативные факторы, связанные с образованием сливной стружки; методы борьбы с ней – металлургические, инструментальные, кинематические.

Понятие о плоскостях скалывания и сдвига. Углы сдвига, действия и резания; их взаимозависимость. Связь между длинами элементов срезаемого слоя и стружки. Понятие о продольной усадке стружки. Другие виды усадок – утолщение, уширение.

Нарост и его физическая сущность. Закономерности наростообразования и влияние на них свойств обрабатываемых и инструментальных материалов, режимов резания, геометрии инструмента и других факторов. Влияние наростообразования на качество обработанной поверхности.

Упрочнение поверхностного слоя. Понятие о глубине и степени наклепа. Влияние упрочнения на эксплуатационные свойства обработанной поверхности.

Тема 1.6 Силы резания при обработке резцами

Источники возникновения силы резания. Распределение давления на передней и задней поверхностях резца. Результирующая и составляющие силы резания. Экспериментальные методы определения составляющих силы резания. Аппроксимация результатов эксперимента и вывод общего уравнения силы резания. Мощность и энергозатраты процесса резания.

Тема 1.7 Теплота и температура в зоне резания

Источники образования теплоты. Тепловой баланс процесса резания. Измерение температуры в зоне резания. Температурное поле в стружке, в обрабатываемой заготовке и инструменте. Влияние на температуру в зоне резания режимов резания, геометрических параметров инструмента, свойств обрабатываемого и инструментального материалов.

Методы снижения температуры в зоне резания. Смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС): смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), твердые и аэрозольные среды, поверхностно-активные вещества. Смазывающее, охлаждающее и смывающее действие СОЖ и других СОТС. Основные практи-

ческие результаты их применения. Методы ввода СОЖ и других технологических сред в зону резания. Общие требования к ним, в том числе с точки зрения техники безопасности и охраны природы.

Тема 1.8 Износ и разрушение режущей части инструментов

Условия трения на лезвиях резца и гипотезы, объясняющие механизм их изнашивания. Виды износа по задней и передней поверхностям резца и их количественные характеристики. Расчетные методы определения массы изношенных участков на задней и передней поверхностях режущего лезвия. Кривые износа и их характеристики. Интенсивность изнашивания. Влияние свойств обрабатываемого и инструментального материалов, динамики процесса резания и других факторов на микро- и макроразрушения.

Тема 1.9 Стойкость инструмента и скорость резания

Технологические и физические критерии износа режущих инструментов. Понятие о стойкости инструмента. Зависимость стойкости от скорости резания, толщины и ширины среза, твердости обрабатываемого материала. Норма износа и ресурс работоспособности инструмента. Скорость резания как функция стойкости режущего инструмента, режимных параметров и свойств обрабатываемого и инструментального материалов. Обобщенное уравнение для определения скорости резания.

Тема 1.10 Методика назначения режимов резания при обработке резцами

Алгоритм назначения режимов резания. Определение исходных условий обработки. Предварительный выбор модели металлорежущего станка. Выбор маршрута обработки. Установление числа переходов и глубин резания в зависимости от требуемых величин точности и шероховатости обрабатываемой поверхности. Выбор конструкции и назначение периода стойкости резцов для разных стадий обработки. Расчёт подач, скоростей резания и частот вращения шпинделя для каждого прохода. Расчёт силовых параметров резания. Проверка станка по мощности. Корректировка режимов резания. Расчёт машинного времени обработки. Особенности выбора режимов резания при обработке на станках с ЧПУ.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ
ДИСЦИПЛИНЫ
очная форма получения высшего образования**

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	6 семестр							
	Введение	1						
1	Раздел «Основы теории резания»							
1.1	Конструкционные материалы и их обрабатываемость. Инструментальные материалы 1. Химический состав, маркировка, назначение и преимущественная область применения. 2. Способы улучшения режущих свойств инструментальных материалов.	5						
1.2	Кинематика резания	2						
1.3	Конструкция и геометрия резцов 1. Составные части резца и их назначение. Основные поверхности и кромки режущей части резца. Углы заточки резца. 2. Изменение углов резца от его установки.	6			6			Защита лабораторной работы
1.4	Технологические и физические параметры резания. Сечение среза и гребешки шероховатости	4						

1.5	Процессы стружко- и наростообразования, усадка стружки и упрочнение обработанной поверхности 1. Усадка стружки. Теоретические и экспериментальные способы определения коэффициента продольной усадки стружки 2. Влияние параметров обработки (V , S , δ) на коэффициент продольной усадки стружки.	6			4			Защита лабораторной работы
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.6	Силы резания при обработке резцами 1. Источники возникновения сил сопротивления резанию. Результирующая и составляющая силы резания. 2. Методика обработки экспериментальных данных и получение частных зависимостей $P_z=f(t)$ и $P_z=f(s)$ Получение общей зависимости силы резания от режимных и других параметров.	4			6			Защита лабораторной работы
1.7	Теплота и температура в зоне резания	4						
11.8	Износ и разрушение режущей части инструментов 1. Внешняя картина изнашивания задней и передней поверхностей инструмента. Методы измерения величины износа. Измерение величины износа во времени. 2. Гипотезы изнашивания режущего инструмента.	6						
1.9	Стойкость инструмента и скорость резания	2						
1.10	Методика назначения режимов резания при обработке резцами	2			6			Защита лабораторной работы

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ
ДИСЦИПЛИНЫ**
Заочная форма получения высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
	2	3	4	5	6	7	8	9
	4 семестр							
	<p>Конструкция и геометрия резцов</p> <p>1. Составные части резца и их назначение. Основные поверхности и кромки режущей части резца. Углы заточки резца.</p> <p>2. Изменение углов резца от его установки.</p>	2			4			Защита лабораторной работы
	<p>Силы резания при обработке резцами</p> <p>1. Источники возникновения сил сопротивления резанию. Результирующая и составляющая силы резания.</p> <p>2. Методика обработки экспериментальных данных и получение частных зависимостей $P_z=f(t)$ и $P_z=f(s)$ Получение общей зависимости силы резания от режимных и других параметров.</p>	2						

	Теплота и температура в зоне резания	2						
	Износ и разрушение лезвий резца 1. Внешняя картина изнашивания задней и передней поверхностей инструмента. Методы измерения величины износа. Измерение величины износа во времени. 2. Гипотезы изнашивания режущего инструмента.	2						
	Стойкость инструмента и скорость резания	2						
	Методика назначения режимов резания при обработке резцами							Контроль-ная работа
	Итого	10			4			экзамен

Средства диагностики результатов учебной деятельности

- Оценка уровня знаний студента производится по десятибалльной шкале в соответствии с критериями, утвержденными Министерством образования Республики Беларусь.
- Для оценки достижений студента рекомендуется использовать следующий диагностический инструментарий:
- модульно-рейтинговую систему обучения;
- защита выполненных на лабораторных занятиях индивидуальных заданий;
- защита выполненных в рамках самостоятельной работы индивидуальных заданий;
- выступление студента на конференции по подготовленному реферату;
- сдача экзамена.

Перечень тем лабораторных работ

1. Конструкция и геометрия резца.
2. Влияние технологических факторов на усадку стружки.
3. Влияние режимных параметров на величину тангенциальной силы резания.
4. Влияние режимных параметров на температуру в зоне резания.

Тематика рефератов

1. Роль металлообработки в техническом прогрессе.
2. Смазочно-охлаждающие технологические среды.
3. Особенности обработки инструментов с износостойкими покрытиями.
4. Комбинированные методы механической обработки, их технологические возможности.
5. Вибрационное резание материалов.
6. Прогрессивные конструкции сборных инструментов.
7. Кинематические особенности ротационного резания.
8. Анализ способов и устройств для дробления стружки при резании.
9. Анализ способов и устройств для измерения температуры резания.
10. Современные теории изнашивания инструмента.
11. Виды поверхностного упрочнения инструмента.
12. Современные виды инструментальных материалов.

13. Влияние элементов режимов резания и геометрии инструмента на физико-механические характеристики процесса резания.
14. Математические методы обработки экспериментальных данных при исследовании процесса резания.
15. Анализ способов и устройств для удаления стружки из зоны резания.
16. Виды поверхностного упрочнения инструмента.
17. Высокоскоростная обработка резанием.
18. Оптимизация режимов резания.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- решение индивидуальных заданий;
- подготовка рефератов по индивидуальным темам;
- подготовка сообщений, тематических докладов, презентаций по заданным темам;
- изготовление макетов;
- составление тематической подборки литературных источников, интернет-источников;
- проработка тем (вопросов), вынесенных на самостоятельное изучение.

Методы (технологии) обучения

Основными методами (технологиями) обучения, отвечающими целям изучения дисциплины, являются:

- модульное обучение;
- элементы проблемного обучения (проблемное изложение, вариативное изложение, частично-поисковый метод), реализуемые на лекционных занятиях;
- элементы учебно-исследовательской деятельности, творческого подхода, реализуемые при выполнении лабораторных работ и при самостоятельной работе.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Введение

Обработка резанием в настоящее время является ведущим технологическим процессом в машиностроении, обеспечивающим изготовление деталей требуемой геометрической точности и совокупности показателей качества, необходимых для работы детали в условиях эксплуатации.

Обработка резанием имеет существенный недостаток, так как процесс резания приводит к образованию значительных отходов производства в виде стружки. Это снижает экономические показатели производства и ограничивает применение способов резания.

Тенденция развития современных отраслей машиностроения направлена на уменьшение отходов производства, снижение непроизводительных затрат материалов, энергии и времени, поэтому обработка резанием постепенно вытесняется из сферы производства путем внедрения более прогрессивных методов, таких как, обработка давлением, порошковая металлургия, электро-физико-химические методы обработки, лучевые методы сварки и т.п. Тем не менее, метод обработки резанием является единственно возможным для изготовления высокоточных деталей машин и уникальных изделий для различных отраслей техники и других сфер деятельности общества.

1 ОСНОВЫ ТЕОРИИ РЕЗАНИЯ

1.1 Конструкционные материалы и их обрабатываемость

Материалы, применяемые для рабочей части режущих инструментов

Эффективность режущего инструмента, определяемая его работоспособностью при максимально возможной стойкости, зависит главным образом от материала рабочей части.

В настоящее время для рабочих частей режущих инструментов применяют инструментальные стали (быстрорежущие, легированные и углеродистые), твердые сплавы, минералакерамику, сверхтвердые материалы, к которым относятся природные и синтетические алмазы и материалы на основе нитрида бора (композиты), и абразивные материалы.

К инструментальным материалам предъявляют требования, которые можно объединить в три группы:

- **эксплуатационные требования:** высокая красностойкость, износостойкость, достаточная прочность, в том числе усталостная, хорошая теплопроводность, малая схватываемость с обрабатываемым материалом;
- **технологические требования:** хорошая обрабатываемость (особенно шлифуемость), способность к пластическому деформированию, необходимые свойства термической обработки (хорошая закаливаемость, прокаливаемость);
- **инструментальный материал должен быть экономичным**(обеспечивать минимальные затраты на изготовление инструмента, влияющие на себестоимость выпускаемой продукции).

Углеродистые инструментальные стали ГОСТ 1433-74

Для изготовления режущих инструментов углеродистые стали, находят ограниченное применение главным образом из-за низкой красностойкости (200°С). Применяют в основном стали У9, У10А, У12А, У13А.

Достоинством углеродистых инструментальных сталей являются не высокая стоимость, хорошая шлифуемость. Небольшая прокаливаемость позволяет получить инструменты с вязкой сердцевиной, что очень важно при обработке с ударными нагрузками. Применяют в основном для изготовления мелкоразмерного и ручного режущего инструмента (У9 - зубила, шаберы, деревообрабатывающие и кузнечные инструменты; У10А-У13А – напильники, метчики, плашки, развертки). Твердость 60-63HRC.

Легированные стали ГОСТ5950-73

Для изготовления режущих инструментов используют ограниченное число марок легированных инструментальных сталей с относительно малым содержанием легирующих элементов. Это стали 9ХС, ХВГ, 11Х, ХВСГ, ХБВФ основными легирующими элементами, которых являются марганец, кремний, хром, вольфрам и ванадий. Красностойкость инструментальных легированных сталей до 250-260 °С, твердость после термической обработки 6133 HRC.

Чаще всего в инструментальном производстве применяют сталь 9ХС. Она обладает хорошей прокаливаемостью, равномерным распределением карбидов по всему поперечному сечению прутка, менее чувствительна к перегреву, однако плохо шлифуется и имеет повышенную чувствительность к обезуглероживанию. Сталь 9ХС следует рекомендовать в первую очередь для изготовления инструментов, лезвия которых находятся в середине корпуса (например, круглые плашки), а так же для изготовления сверл, разверток, метчиков, гребенок, фрез, работающих при сравнительно низких скоростях резания.

Сталь ХВГ отличается хорошей прокаливаемостью, но имеет склонность к образованию карбидной сетки. Повышенное содержание марганца в этой стали уменьшает объемные деформации при закалке. Сталь ХВГ следует рекомендовать для изготовления режущих инструментов, габаритные размеры которых оказывают заметное влияние на процесс деформирования (например, протяжки, длинные развертки и метчики).

Сложнолегированная сталь ХВСГ, у которой недостатки, свойственные двум рассмотренным маркам, проявляются в значительно меньшей степени, предназначена для замены сталей 9ХС и ХВГ. Сталь ХВСГ применяют для изготовления ручных инструментов по металлу (сверла, развертки, метчики, плашки и др.).

Сталь ХБВФ является более износостойкой вследствие повышенного содержания хрома, поэтому целесообразно ее применять для изготовления резьбо-накатных роликов и ножовочных полотен.

Быстрорежущие стали (ГОСТ 19265-73)

Применяемые быстрорежущие стали, делятся на три группы:

- нормальной;
- повышенной;
- высокой производительности.

Стали нормальной производительности

Характеризуются пониженной теплостойкостью (615-620 °С). К ним относятся: вольфрамовые (Р9, Р12, Р18), вольфрамомолибденовые (Р6М5, Р6М3, Р8М3 и др.), безвольфрамовые (9ХБМЗФЗАГСТ (ЭК-41), 9Х4МЗФ2АГСТ (ЭК-42)). Их применяют в основном при обработке цветных сплавов, чугунов, углеродистых и легированных сталей при скоростях резания 35-40м/мин.

Стали повышенной производительности

Дополнительно легированы кобальтом и ванадием. К ним относятся, стали с теплостойкостью 625-640 °С такие как:

- вольфрамокобальтовые (Р9К5, Р9К10 и др.);
- вольфрам-ванадиевые (Р9Ф5, Р12Ф3, Р14Ф4, Р18Ф2 и др.);
- вольфрамомолибденовые с кобальтом и ванадием (Р6М5К5, Р9М4К8, Р6М5Ф3, Р6М5Ф2К8);
- вольфрам-ванадиевые с кобальтом (Р10Ф5К5, Р12Ф4К5, Р18К5Ф2);
- вольфрам-ванадиевые с кобальтом и молибденом (Р12Ф3К10М3, Р12Ф2К5М3, Р18Ф2К8М).

Стали повышенной производительности, применяют для обработки коррозионностойких, жаростойких жаропрочных деформируемых сталей и сплавов и высокопрочных сталей.

Порошковые быстрорежущие стали

Характеризуются повышенной шлифуемостью и пластичностью при холодной и горячей деформации, обладают более высокой (в 1,5– 2,5 раза) стойкостью по сравнению с быстрорежущими сталями аналогичного состава обычного производства. Порошковые быстрорежущие стали P9M4K8-МП и P10M6K8-МП обладают повышенной красностойкостью, хорошо шлифуются и предназначены для обработки материалов повышенной твердости до 38-42 HRC и нашли применение в инструментах для станков с ЧПУ.

Стали высокой производительности

Характеризуются высокой теплостойкостью (700-725⁰С) и вторичной твердостью (после закалки и отпуска) 69- 70 HRC. Данные стали характеризуются также пониженным содержанием углерода (0,1 – 0,25%), но весьма большим количеством легирующих элементов. К ним относятся, стали В11М7К23, В24М12К23, В18К25Х4 и др. инструменты из сталей высокой производительности имеют высокую стойкость при повышенных режимах резания труднообрабатываемых материалов и титановых сплавов. Стойкость инструментов при обработке таких материалов выше в 30-80 раз чем из стали P18 и в 8-15 раз выше, чем из твердого сплава ВК8.

К быстрорежущим сталям высокой производительности относятся:

Карбидостали

Композиционный материал, в котором зерно на тугоплавких карбидах (преимущественно TiC) равномерно распределены в связке из легированной стали (изготавливаются методом порошковой металлургии). Карбидостали выпускаются на основе двух сталей P6M5 – КТ20 и P6M5K5КТ20 с массовой долей TiC 20%. Вторичная твердость карбидосталей 70-72 HRC, теплостойкость 650-6900С.

Твердые сплавы (ГОСТ 3882-74)

Для обработки труднообрабатываемых материалов широко применяют твердые сплавы, состоящие из зерен карбидов тугоплавких металлов – вольфрама, титана и тантала, сцементированных кобальтом.

выше окалинстойкость, пониженное адгезионное взаимодействие с обрабатываемым металлом и имеют повышенную краснотойкость (до 1000 ОС). КНТ16, ТН20, ТН50.

Твердые сплавы выпускают в виде пластин различной формы, которые либо припаивают к державке, либо крепят к ней механическим путем (сменные многогранные пластины).

Минералокерамические инструментальные материалы (ГОСТ 26630-85)

– обладают высокой твердостью, тепло- и износостойкостью. Их основой является глинозем Al_2O_3 (белая оксидная керамика, содержащая 99,7% Al_2O_3) или смесь окиси алюминия и карбидовтитана (Al_2O_3+TiC) – черная карбидно – оксидная керамика.

На основе алюмооксидной керамики разработан материал ОНТ-20 (кортинит), имеющий мелкозернистую структуру. К этой группе относится и материал силинит – Р (смешанная керамика на основе нитрида кремния Si_3Ni_4). Используются эти материалы для чистовой и получистовой обработки закаленных сталей до 55 HRC. Так же различают оксидно-карбидные (ВОК71, ВОК95). В состав последних марок входят карбиды титана и окись алюминия.

Минералокерамика поставляется в виде неперетачиваемых многогранных режущих пластинок.

Синтетические сверхтвердые материалы

– обладают высокой износостойкостью, твердостью ($HV = 75000$ МПа), низким коэффициентом трения и высокой теплостойкостью (1100 °С).

В технологии получения современных сверхтвердых материалов выделяются **три основные группы:**

– синтез из гексагонального нитрида бора –композит 01 (эльбор – Р) и композит 02(белбор);

– синтез из вюртцитоподобной модификации нитрида бора –композит 10 (гексонит – Р) и композит09;

– спекание из порошков кубического нитрида бора с легирующими добавка – миккомпозиты 05 и 06.

Наибольшее распространение получили резцы и фрезы, оснащенные режущими пластинками из композитов 01 и 10.

Область применения: тонкое, чистовое и получистовое точение с ударными, торцовое фрезерование закаленных сталей и чугунов любой твердости, твердых сплавов групп ВК.

Материалы, применяемые для изготовления присоединительной части РИ

Материалы для присоединительной части должны обладать достаточной прочностью и теплопроводностью, сохранять точность размеров и формы после термообработки; хорошо обрабатываться и обеспечивать надежное соединение с режущей частью после сварки, наварки и напайки, а также быть дешевыми и не содержать дефицитных элементов. Всем этим требованиям в полной мере отвечают конструкционные углеродистые (40, 45, 50) и легированные (40X, 45X, 40XH) стали.

Углеродистые стали применяются для державок резцов, корпусов сборных разверток, втулок, клиньев, винтов и других элементов сборных конструкций. Корпуса остальных составных и сборных инструментов, в том числе и ножи под напайные пластины из твердых сплавов, изготавливают из легированных сталей, в основном из стали 40X, которые обладают повышенной прочностью и обеспечивают меньшее коробление в процессе термической обработки.

Для тяжелых условий работы, особенно когда требуется высокая твердость и износостойкость, корпус делают из инструментальных сталей У7А, У8А, 9ХС и даже быстрорежущих. Так, например, у сверл с напаянными пластинами твердого сплава и диаметром по пластинам, равным диаметру корпуса, корпус трется об обработанную поверхность детали со скоростью резания. Поэтому его изготавливают из стали 9ХС или быстрорежущей с последующей закалкой на высокую твердость.

Методические материалы

Презентация:

- [1.1 Инструментальные стали](#)

Вопросы для самоконтроля

1. Особенности метода механической обработки резанием, его достоинства и недостатки.
2. Виды обработки резанием и их кинематические схемы.
3. Главное и вспомогательное движения при резании.
4. Конструкционные материалы и их обрабатываемость.
5. Инструментальные материалы и предъявляемые к ним основные требования.
6. Углеродистые и низколегированные инструментальные стали.
7. Быстрорежущие стали.
8. Твердые сплавы.

9. Минералокерамика и керметы.
10. Сверхтвердые инструментальные материалы.
11. Эльборовый и алмазный инструмент.

1.2 Кинематика резания

Резанием называется обработка материала, заключающаяся в образовании новых поверхностей путем механического или какого-либо другого воздействия и последующего отделения части материала (стружки). Обработка резанием является по форме простой, так как для ее осуществления необходимы три основных компонента (рис. 1.1): режущий инструмент, заготовка и их относительное движение, а по содержанию – сложной, так как она зависит от большого количества величин, называемых параметрами резания.

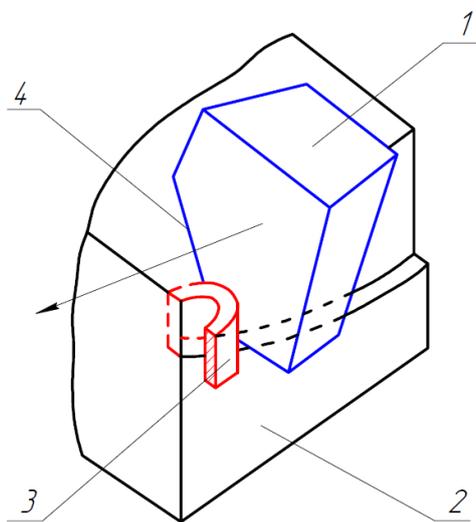


Рисунок 1.1 – Общая схема обработки резанием:

1 - режущий инструмент; 2 - заготовка; 3 - стружка; 4 - режущая кромка

К параметрам резания относятся: форма и размеры инструмента и заготовки, форма траектории резания, скорость относительного перемещения инструмента и заготовки, степень заглубления инструмента в заготовку, физические и химические характеристики обрабатываемого и инструментального материалов и другие. Эти параметры в процессе резания взаимодействуют и приводят к возникновению взаимосвязанных механических, электрических, тепловых, химических и других явлений, которые обуславливают отделение и формирование поверхностного слоя обрабатываемой заготовки, а также воздействие на инструмент. Поэтому обработку резанием можно представить, как *систему* (рис. 1.2), включающую на«входе» параметры резания, которые определяют совокупность

характеристик физических явлений в процессе резания, и на «выходе» параметры обработанной поверхности детали и работоспособного состояния режущего инструмента.

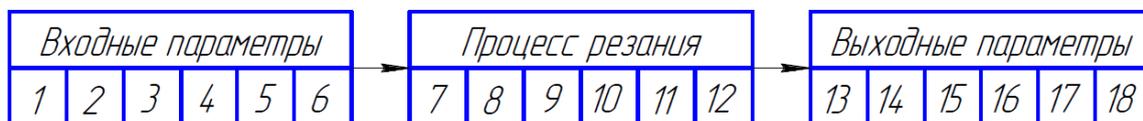


Рисунок 1.2 – Система резания:

1 - станок; 2 - приспособление; 3 - инструмент; 4 - заготовка; 5 - среда технологическая; 6 - режим резания; 7 - кинематика; 8 - упругие и пластические деформации; 9 - трение и разрушение; 10 - тепловые явления; 11 - химические явления; 12 - электромагнитные явления; 13 - точность обработки; 14 - качество поверхности; 15 - стойкость инструмента; 16 - прочность инструмента; 17 - производительность; 18 – экономичность

Функционирование системы и процесса резания определяется, прежде всего, кинематикой резания.

Кинематика резания– это раздел теории резания, рассматривающий относительное движение инструмента и заготовки в процессе резания, его элементы, влияние этих элементов на процесс резания.

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

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

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

Касательное движение– движение режущего инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения и направлена по касательной к режущей кромке в рассматриваемой точке, предназначенное для того, чтобы сменять контактирующие с заготовкой участки режущей кромки. Примеры элементарных движений резания представлены на рис. 1.3 ... 1.7.

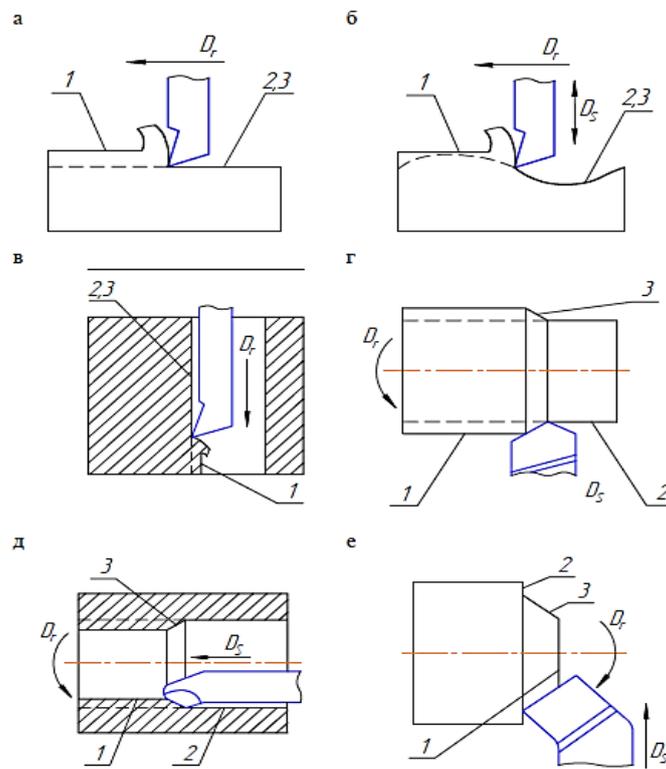


Рисунок 1.3 – Схемы видов лезвийной обработки:

а - строгание; б - строгание по копиру; в - долбление; г - обтачивание; д - растачивание; в - подрезание; 1 - обрабатываемая поверхность; 2 - обработанная поверхность; 3 - поверхность резания; D_f - главное движение; D_s - движение подачи.

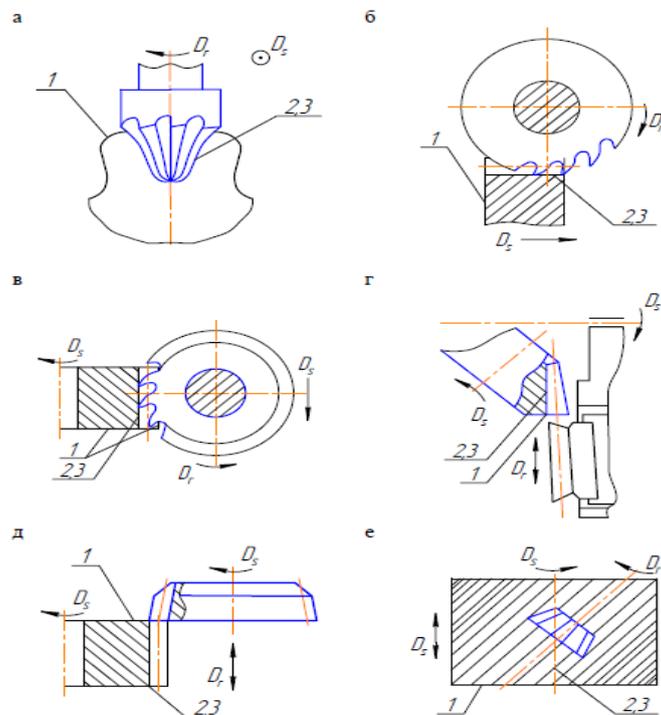


Рисунок 1.4 – Схемы зубонарезания:

а - модульной пальцевой фрезой; б - модульной дисковой фрезой;

в - зубофрезерование модульной червячной фрезой; г - зубострогание; д - зубодолбление; е - зуботочение долбяком; 1, 2, 3, Dr, Ds - по рис. 1.3

Несмотря на многообразие видов обработки резанием все они могут быть сведены к сравнительно небольшому числу основных случаев работы лезвий инструмента:

1. По количеству рабочих участков режущих кромок, участвующих в резании – свободное резание, если в работе участвует только одна прямолинейная режущая кромка и несвободное резание, если в работе участвуют две и более режущих кромок.
2. По ориентации режущей кромки относительно вектора скорости резания – прямоугольное резание, если вектор скорости резания перпендикулярен режущей кромке, и косоугольное резание, если вектор скорости резания не перпендикулярен режущей кромке.
3. По количеству одновременно участвующих в работе лезвий – однолезвийное и многолезвийное.
4. По протеканию процесса резания во времени – непрерывное и прерывистое резание.
5. По форме сечения срезаемого слоя – с постоянным и переменным сечениями [4].

Кинематические схемы и траектории резания

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

Кинематические схемы по числу элементарных движений можно разделить на одноэлементные (рис. 1.5, а, б); двухэлементные (рис. 1.5, в, и); трехэлементные (рис. 1.6, а ... е); четырехэлементные и т.д. Схемы из четырех и более сочетаний движений в настоящее время используются редко. На практике широкое применение получили лишь два-три десятка кинематических схем резания.

Как видно из рассматриваемых схем, точки режущих кромок инструмента находятся в сложном относительном движении и описывают сложные траектории резания.

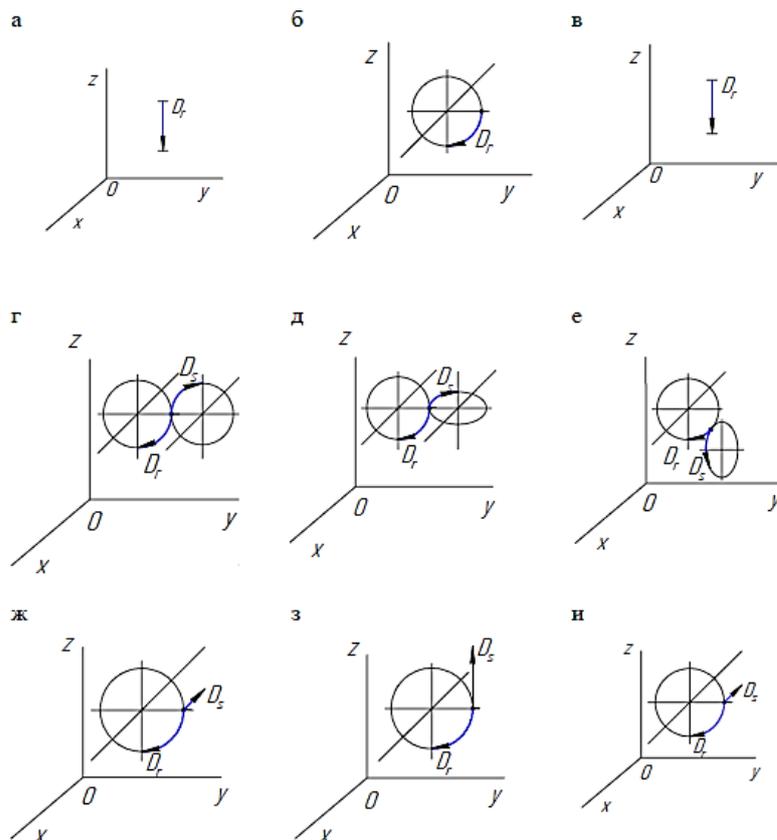


Рисунок 1.5 – Одно - и двухэлементные кинематические схемы резания:
а - строгание, долбление, протягивание; б - круговое протягивание с оставленной деталью; в - строгание или долбление по копиру; г - круговое фрезерование, круглое шлифование; д - зубофрезерование червячной фрезой; е - круговое фрезерование, шлифование торцом чашечного круга; ж - обтачивание, осевая обработка, резьбонарезание, хонингование; з - плоское шлифование, фрезерование; и - отрезание, подрезание, фрезерование, зубофрезерование модульной фрезой

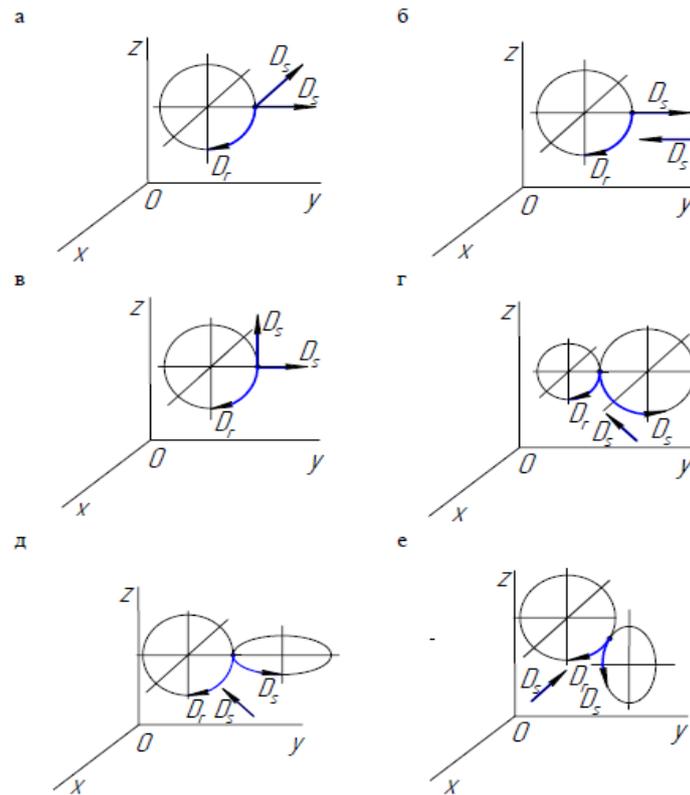


Рисунок 1.6 – Трехэлементные кинематические схемы резания:

а - обтачивание конуса, затылование червячных фрез, копировальное фрезерование; б - затылование круговых протяжек; в - копировальное фрезерование; г - круговое фрезерование, вихревое резьбонарезание, круглошлифование; д - зубофрезерование червячной фрезой, ротационное точение; е - ротационное точение, шлифование торцом круга

Методические материалы

Видеоматериал:

– [Кинематика резания](#)

Презентация:

– [1.2 Кинематика резания](#)

1.3 Конструкция и геометрия резца

Для того, чтобы [режущий инструмент](#) мог осуществлять процесс резания, его режущая часть должна быть очерчена определенными поверхностями. Рассмотрим эти поверхности на примере наиболее распространенного инструмента – резца (Рисунок. 1.7).

Резец состоит из двух частей: головки – рабочей части, несущей на себе режущие кромки, и стержня (тела), служащего для закрепления резца в резцедержателе. У головки различают поверхности: переднюю 1, заднюю 2, заднюю вспомогательную 3.

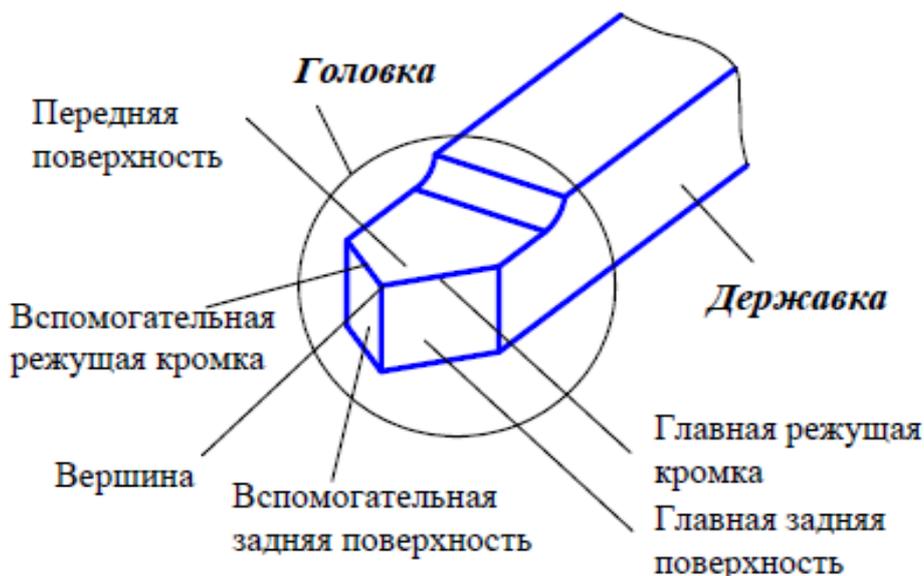


Рисунок 1.7 – Элементы токарного резца:

1 - передняя поверхность; 2 - главная задняя поверхность; 3 - вспомогательная задняя поверхность; 4 - главная режущая кромка; 5 - вспомогательная режущая кромка; 6 - вершина

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

Задняя поверхность – это поверхность, контактирующая в процессе резания с поверхностями заготовки.

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

Режущие кромки разделяются на главную режущую кромку, выполняющую основную работу резания и вспомогательную режущую кромку.

Вершина резца представляет собой место сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок. Вершина резца в плане может быть острой, закругленной или в виде фаски.

Геометрию любого инструмента следует рассматривать в двух аспектах: в статике и в кинематике. В первом случае инструмент рассматривается как геометрическое тело, т.е. его углы интересуют нас как параметры конструкции, которые нужно выполнить и проконтролировать согласно чертежу. Во втором случае углы инструмента рассматриваются в процессе резания, когда их фактические значения могут измениться в зависимости от режимов резания и точности установки инструмента относительно обрабатываемой заготовки.

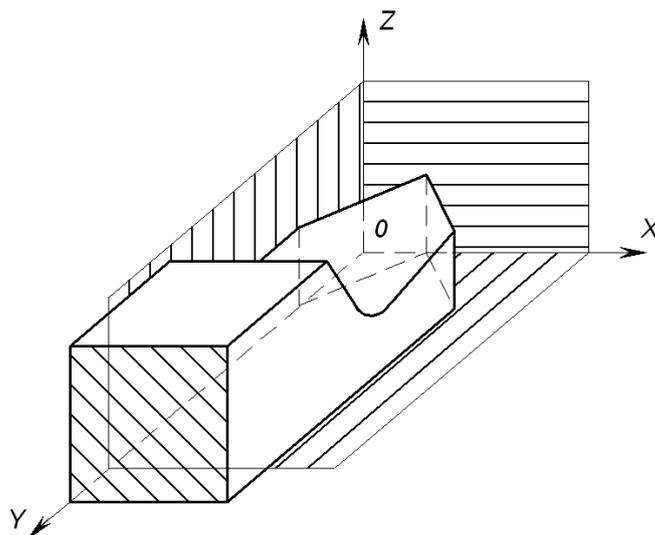


Рисунок 1.8 – Координатные плоскости резца

Для рассмотрения геометрии конкретного вида инструмента в статике выбирается наиболее удобная система координат, в которой однозначно определяются все его геометрические параметры. Такой системой могут являться три взаимно перпендикулярные плоскости (Рисунок. 1.8): опорная XOY , продольная YOZ и поперечная XOZ .

На практике для определения углов резца чаще используют следующие координатные плоскости:

Плоскость резания – плоскость, касательная к поверхности резания и проходящая через главную режущую кромку резца.

Основная плоскость – плоскость, параллельная продольному (параллельно оси заготовки) и поперечному (перпендикулярно оси заготовки) перемещениям резца. У призматических резцов за основную плоскость может быть принята нижняя (опорная) поверхность резца.

Главная секущая плоскость $N-N$ – плоскость, перпендикулярная к поверхности главной режущей кромки на основную плоскость.

Вспомогательная секущая плоскость N_1-N_1 – плоскость, перпендикулярная к проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость.

Главные углы реза измеряются в главной секущей плоскости (Рисунок. 13), к ним относятся:

Главный задний угол α – угол между главной задней поверхностью и плоскостью резания.

Угол заострения β – угол между передней и главной задней поверхностями реза.

Передний угол γ – угол между передней поверхностью реза и плоскостью, перпендикулярной к плоскости резания.

Угол резания δ – угол между передней поверхностью реза и плоскостью резания.

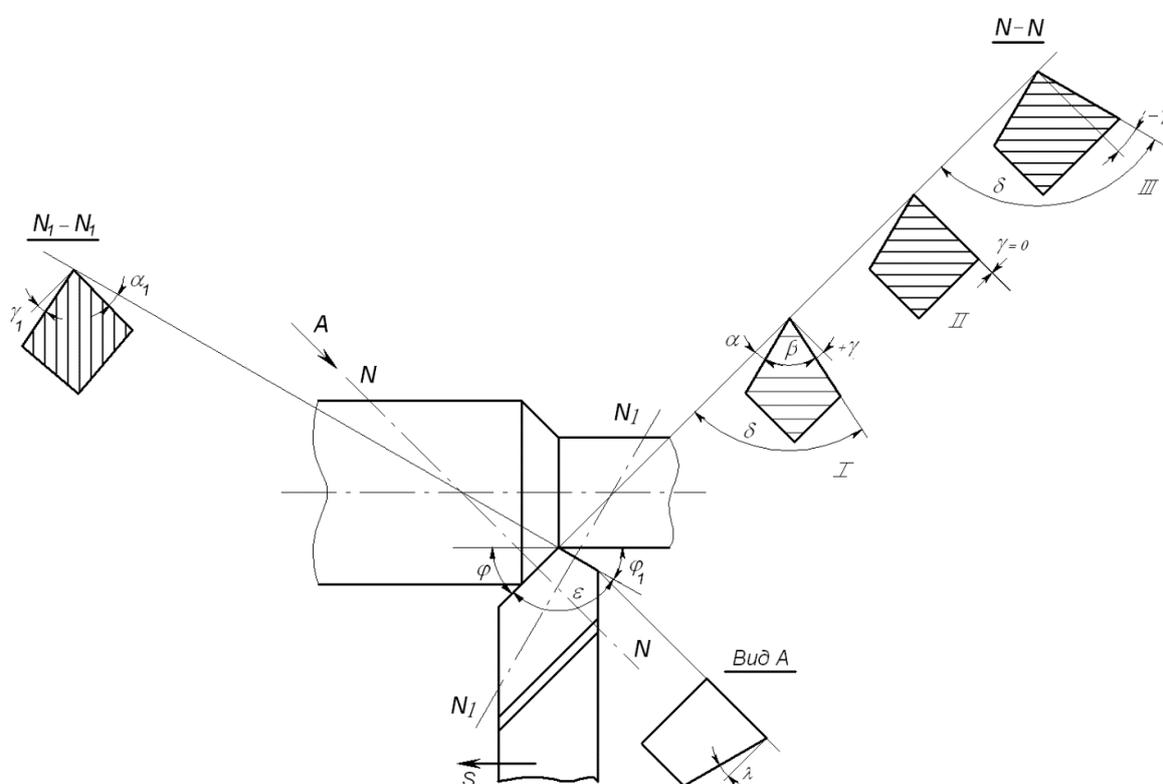


Рисунок 1.9 – Углы реза в статике:

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

Когда угол резания $\delta < 90^\circ$ (Рисунок. 1.9, I) считается, что угол $\gamma > 0$; когда $\delta > 90^\circ$, угол $\gamma < 90^\circ$ (Рисунок. 1.9, III).

Вспомогательные углы измеряются во вспомогательной секущей плоскости, к ним относятся:

Вспомогательный задний угол α_1 – угол между вспомогательной задней поверхностью и плоскостью, проходящей через вспомогательную режущую кромку перпендикулярно к основной плоскости.

Вспомогательный передний угол γ_1 также измеряют во вспомогательной секущей плоскости N_1-N_1 .

Кроме рассмотренных углов, резец имеет углы в плане и угол наклона главной режущей кромки. Углы в плане измеряют в основной плоскости:

Главный угол в плане φ – угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи.

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

Угол при вершине в плане ε – угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость.

Как видно из рисунка 1.13 между углами в плане существует зависимость:

$$\varphi + \varphi_1 + \varepsilon = 180. \quad (1.1)$$

Угол наклона главной режущей кромки λ – угол, заключенный между главной режущей кромкой и плоскостью, проведенной через вершину резца параллельно основной плоскости. Этот угол измеряется в плоскости, проходящей через главную режущую кромку, перпендикулярно к основной плоскости.

Угол наклона главной режущей кромки считается положительным, когда вершина резца является нижней точкой режущей кромки (Рисунок. 1.10, в); равным нулю – при главной режущей кромке, параллельной основной плоскости (Рисунок. 1.10, б) и отрицательным – когда вершина резца является наивысшей точки режущей кромки (Рисунок. 1.10, а).

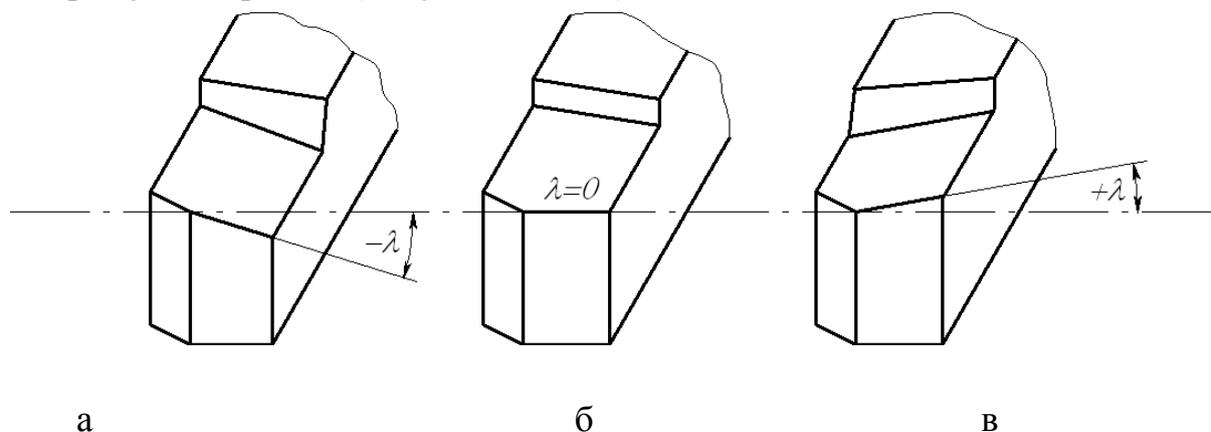


Рисунок 1.10 – Углы наклона главной режущей кромки резца

Углы режущей части инструмента значительно влияют на процесс резания. Правильно назначив углы резца, можно значительно уменьшить интенсивность износа его режущей части (увеличить стойкость).

Задний угол α служит для уменьшения трения между задней поверхностью резца и поверхностью резания. С уменьшением трения уменьшается нагрев резца, а, следовательно, и его износ со стороны задней поверхности. Однако если задний угол значительно увеличен, резец получается ослабленным, и он быстро разрушается. При выборе заднего угла учитывают свойства материалов детали и инструмента, а также условия резания. При обработке мягких и вязких металлов задний угол резца берут обычно большим, для твердых и хрупких металлов – меньшим. На практике величину заднего угла выбирают в пределах $6 \dots 12^\circ$.

Передний угол γ имеет большое значение в процессе образования стружки. С увеличением переднего угла облегчается врезание резца в металл, уменьшается деформация срезаемого слоя, облегчается сход стружки, уменьшается сила резания и расход мощности. Вместе с тем увеличение переднего угла приводит к уменьшению угла β , т.е. к ослаблению режущего клина и снижению его прочности, что вызывает увеличение износа резца. Поэтому при обработке твердых и хрупких металлов передний угол выбирают меньшим, при обработке мягких и вязких металлов – большим. При обработке закаленных сталей твердосплавным инструментом, а также при ударной нагрузке (прерывистое резание) следует для увеличения прочности режущей кромки применять даже отрицательные передние углы. На практике величину переднего угла выбирают в пределах от -10° до $+15^\circ$.

Угол наклона главной режущей кромки λ служит для отвода стружки в определенном направлении: при $+\lambda$ – к обработанной поверхности; при $-\lambda$ – к обрабатываемой поверхности. Положительный угол λ служит также для упрочнения режущей кромки, что особенно важно при прерывистом резании, а также при обработке закаленных материалов. На практике величину угла наклона главной режущей кромки выбирают в пределах: для быстрорежущих резцов $3 \dots 5^\circ$, для твердосплавных резцов $12 \dots 15^\circ$.

Главный угол в плане ϕ влияет на шероховатость обработанной поверхности, на стойкость инструмента. Чем меньше угол, тем выше стойкость резца, выше допустимая скорость резания, меньше шероховатость обработанной поверхности. Но с уменьшением главного угла в плане возрастает отжим резца от заготовки, возникают вибрации, в результате чего ухудшается качество обрабо-

танной поверхности и увеличивается износ инструмента. Обычно угол φ выбирают в пределах $30...90^\circ$ в зависимости от вида обработки, типа резца, жесткости заготовки и резца.

Вспомогательный угол в плане φ_1 – служит для уменьшения трения вспомогательной задней поверхности об обработанную поверхность, оказывает влияние на шероховатость обработанной поверхности. Для получения большей стойкости резца и меньшей шероховатости обработанной поверхности угол φ_1 выбирают возможно меньшим, учитывая жесткость технологической системы. На практике угол φ_1 выбирают в пределах $10...30^\circ$.

Иногда, например при заточке, кроме углов, рассматриваемых в главной секущей плоскости, необходимы углы, рассматриваемые в продольной и поперечной плоскостях (Рисунок. 1.11): продольная плоскость *А-А* параллельна оси резца, поперечная плоскость *Б-Б* перпендикулярна к оси резца.

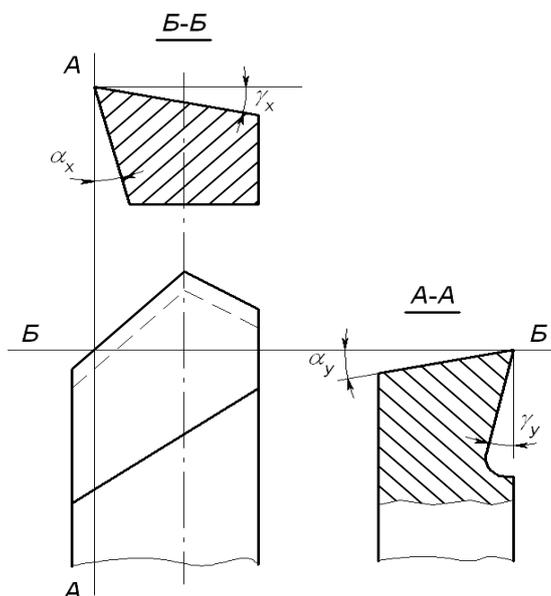


Рисунок 1.11 – Углы резца в продольной и поперечной плоскостях

Углы резца при установке на станке

Выше рассматривались углы резца как геометрического тела, находящегося в состоянии покоя, при расположении точек его режущей кромки на уровне оси центров станка, а оси резца – перпендикулярно оси центров (Рисунок. 1.12, *а*). При подъеме и опускании точек режущей кромки относительно линии центров значения углов γ , α и δ будут изменяться.

В случае установки режущей кромки резца выше линии центров станка изменяется положение плоскости резания (Рисунок. 1.12, *б*), передний угол при

этом увеличивается, а задний угол уменьшается. При установке ниже линии центров (Рисунок.1.16,в) указанные углы изменяются наоборот: передний угол уменьшается, а задний угол увеличивается.

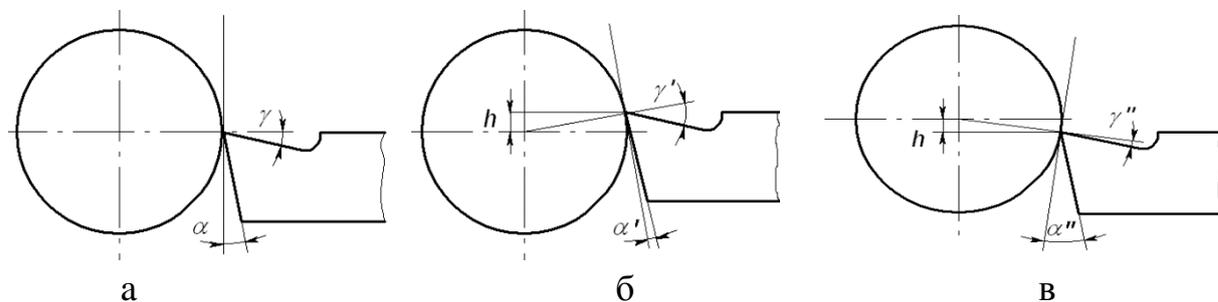


Рисунок 1.12 – Изменение углов резца при установке на станке

Углы резца в кинематике

Рассмотренные углы резца представляют собой углы в статическом состоянии, т.е. когда резец не работает. В процессе резания статические углы изменяются. Изменение величин переднего и заднего углов вызывается сложным относительным движением инструмента и заготовки, в результате чего изменяется положение поверхности резания.

В случае продольного точения заготовка имеет вращательное движение, а резец получает поступательное движение вдоль оси заготовки. Следовательно, поверхность резания представляет собой винтовую поверхность (Рисунок. 1.13).

Действительный задний угол будет иметь величину:

$$\alpha_k = \alpha - \mu \text{ и } \operatorname{tg} \mu = \frac{S}{\pi D}. \quad (1.2)$$

где μ – угол подъема винтовой линии, α – угол заточки, S – подача в мм/об, D – диаметр заготовки в мм.

С увеличением подачи и уменьшением диаметра заготовки угол μ увеличивается, а, следовательно, уменьшается действительный задний угол α_k . Действительный передний угол γ_k соответственно увеличивается.

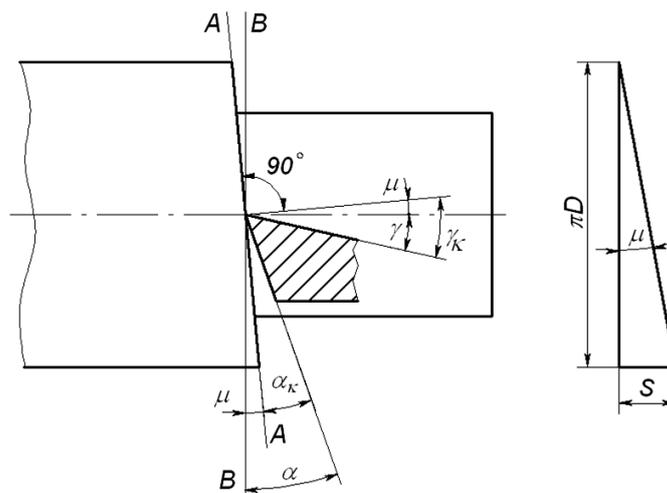


Рисунок 1.13 – Изменение углов при продольном точении

При поперечном точении в результате сочетания вращательного движения заготовки и поперечного перемещения резца траекторией движения точек режущей кромки является архимедова спираль, касательная к которой будет действительной плоскостью резания.

Чем ближе режущая кромка к центру заготовки (Рисунок. 1.14), тем круче спираль и тем больше будет отклоняться касательная $A-A$ к спирали от плоскости резания $B-B$, касательной к окружности в статическом состоянии. Вследствие этого действительный задний угол будет непрерывно уменьшаться, а передний – увеличиваться.

Таким образом, углы α и γ (полученные после заточки) претерпевают изменения во время установки резца и при движении инструмента и заготовки. Эти изменения необходимо заранее учитывать при выборе значений углов инструмента для конкретных условий обработки.

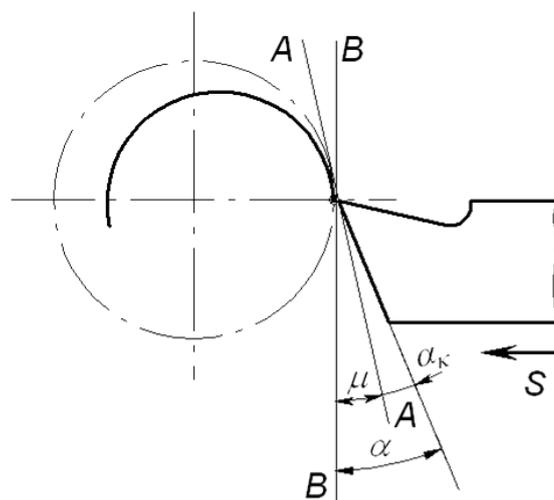


Рисунок 1.14 – Изменение углов при поперечном точении

Методические материалы:

Видеоматериал:

- [Конструкция и геометрия резца](#)

Презентация:

- [1.3 Конструкция и геометрия резца](#)

Вопросы

1. Классификация резцов.
2. Составные части резца и их назначение. Основные поверхности и кромки режущей части резца. Углы заточки резца.
3. Углы резца в плане (на примере обычных и фасонных резцов).
4. Углы резца в секущих плоскостях. 9
5. Углы наклона режущих кромок λ и λ_1 .
6. Трансформация рабочих углов при учете вспомогательного движения подачи.
7. Изменение углов резца от его установки.
8. Призматические фасонные резцы. Рабочие углы резца. Схема резания и получаемый профиль детали.
9. Профилирование рабочей кромки призматического резца
10. Дисковые (круглые) фасонные резцы. Рабочие углы резца. Схема резания и получаемый профиль детали.
11. Профилирование рабочей кромки дискового резца.

1.4 Технологические и физические параметры резания. Сечение среза и гребешки шероховатости

Для определения срезаемого слоя представим, что режущая кромка 1 произвольной формы участвует в движении резания, описывая в пространстве некоторую траекторию 2 и образуя поверхность резания (рис.1.15). За один виток в главном движении режущая кромка за счет подачи срежет слой материала 3, называемый срезаемым слоем.

Срезаемый слой – это часть объема снимаемого слоя, удаляемая за один оборот или двойной ход главного движения. Фигура, образуемая при расчете срезаемого слоя основной плоскостью, называется *сечением срезаемого слоя*.

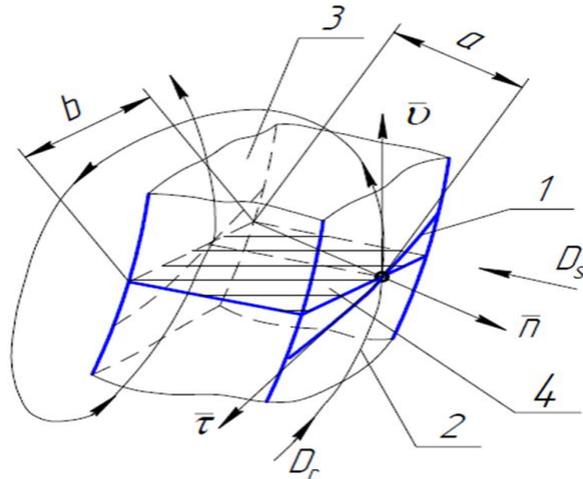


Рисунок 1.15 – Срезаемый слой и сечение срезаемого слоя:

1 - режущая кромка; 2 - траектория резания; 3 - срезаемый слой; 4 - сечение срезаемого слоя; a - толщина срезаемого слоя; b - ширина срезаемого слоя

Срезаемый слой характеризуется длиной l , шириной b и толщиной a .

Длина l измеряется в направлении непрерывного движения точки режущей кромки по траектории резания. Ширина b – это размер сечения срезаемого слоя, измеряемый по поверхности резания. Толщина a – это линейный размер сечения срезаемого слоя в рассматриваемой точке режущей кромки в направлении нормали к поверхности резания.

Глубина резания t и подача S называются технологическими параметрами сечения среза. Эти параметры устанавливаются с помощью органов управления станком и они определяют физические параметры сечения срезаемого слоя: ширину b и толщину a .

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

$$a = S_0 \cdot \sin \varphi, \quad b = \frac{t}{\sin \varphi}. \quad (1.3)$$

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

$$a_\mu = S_0 \cdot \sin \mu. \quad (1.4)$$

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

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

Различают *номинальное* ($abcd$) и *действительное* ($abed$) сечения срезаемого слоя, отличающиеся на величину так называемого «гребешка» bce , определяющего шероховатость обработанной поверхности (рис. 1.17).

Исходя из формул (1.3) и (1.5), площадь сечения среза может быть определена через технологические параметры:

$$\mathbf{f = a \cdot b = S_0 \cdot \sin\varphi \cdot t / \sin\varphi = S_0 \cdot t.} \quad (1.6)$$

Из выражения (1.6) следует, что независимо от формы режущей кромки площадь срезаемого слоя всегда будет определяться произведением подачи на глубину резания.

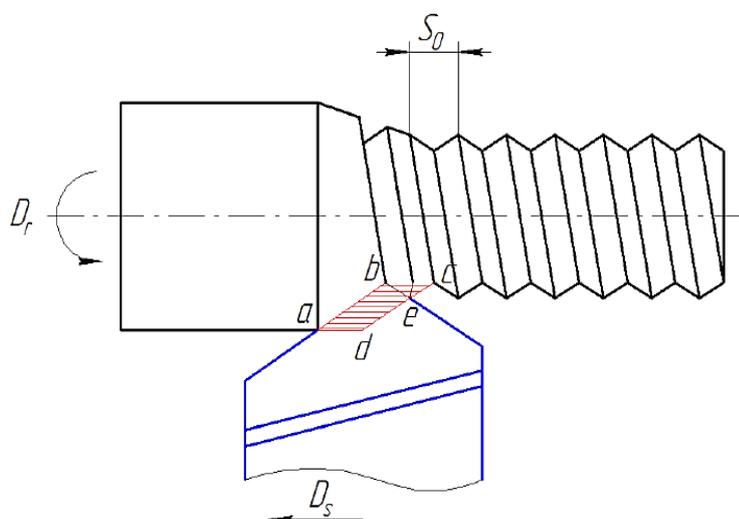


Рисунок 1.16 – Номинальное ($abcd$) и действительное ($abed$) сечения срезаемого слоя

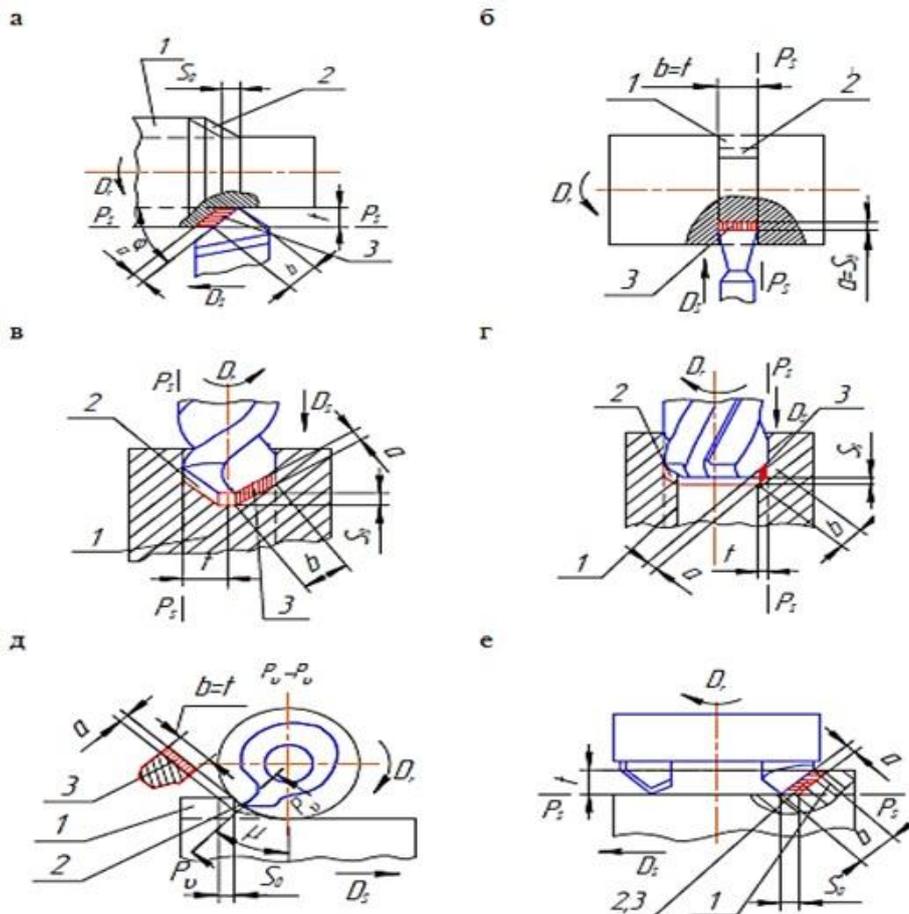


Рисунок 1.17 – Геометрические элементы и параметры заготовки при операциях:

а - обтачивание; б - отрезание; в - сверление; г - зенкерование; д - периферийное фрезерование; е - торцовое фрезерование; 1 - снимаемый слой; 2 - срезаемый слой; 3 - сечение срезаемого слоя

Качество обработанной поверхности

Под *качеством детали* понимают свойства её поверхностного слоя, которые формируются в результате воздействия на поверхность одного или нескольких последовательно применяемых технологических методов обработки. Качество обработанной поверхности характеризуется *шероховатостью* и волнистостью, а также физико-механическими свойствами поверхностного слоя, такими как *наклеп* и *остаточные напряжения*.

Шероховатостью поверхности называется совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующая рельеф поверхностей детали и рассматриваемая на определённой (базовой) длине.

Под *волнистостью* поверхности понимают совокупность периодически чередующихся возвышенностей и впадин, изменяющихся примерно по синусоидальному закону. Расстояние между смежными возвышенностями или впадинами превышает принимаемую при измерении шероховатости базовую длину.

Поверхность детали характеризуется макрогеометрией, микрогеометрией и субмикрогеометрией. К макрогеометрии можно отнести неровности на больших участках поверхности, к микрогеометрии относятся отклонения на участке примерно 1 мм^2 (шероховатость) и к субмикрогеометрии относятся неровности, обусловленные несовершенством внутреннего строения металла. Субмикроскопический рельеф рассматривается на участках поверхностей от одного до нескольких микрометров.

Шероховатость оценивается критерием R_z или высотой неровностей (рис. 1.18):

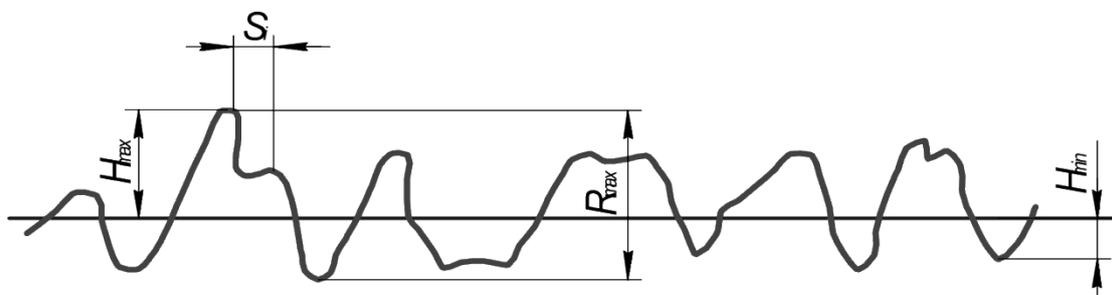


Рисунок 1.18 – Схема к определению шероховатости поверхности

Влияние на качество обработки режимов резания и геометрических параметров инструмента

Наибольшее влияние на качество обработки оказывают режимы резания и геометрические параметры инструмента. Основные причины образования шероховатости поверхности: 1) геометрия и кинематика процесса резания; 2) упругие и пластические деформации; 3) вибрации.

Для снижения шероховатости надо стремиться к уменьшению подачи и к увеличению радиуса при вершине резца.

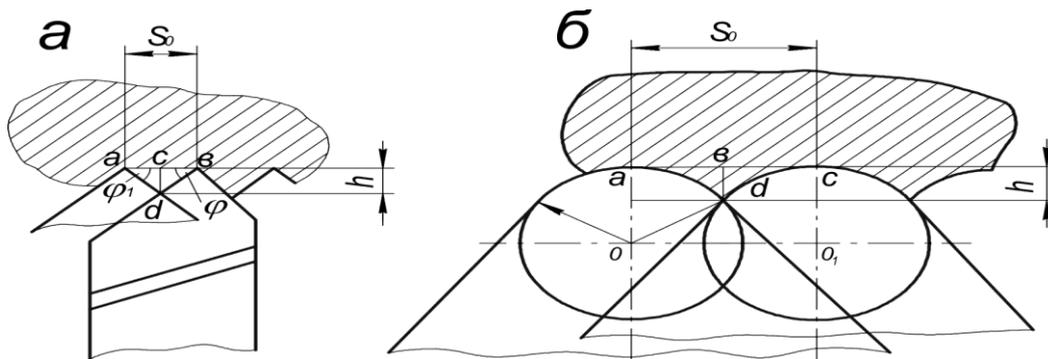


Рисунок 1.19 – Высота микронеровностей поверхности при токарной обработке:

а - остро заточенным резцом; б - резцом с радиусом при вершине

Из кинематических параметров обработки наибольшее влияние на высоту неровностей оказывает скорость резания (рис. 1.19 а). С увеличением скорости резания высота неровностей снижается. В диапазоне скоростей, при котором образуется нарост, характерен рост величины неровностей.

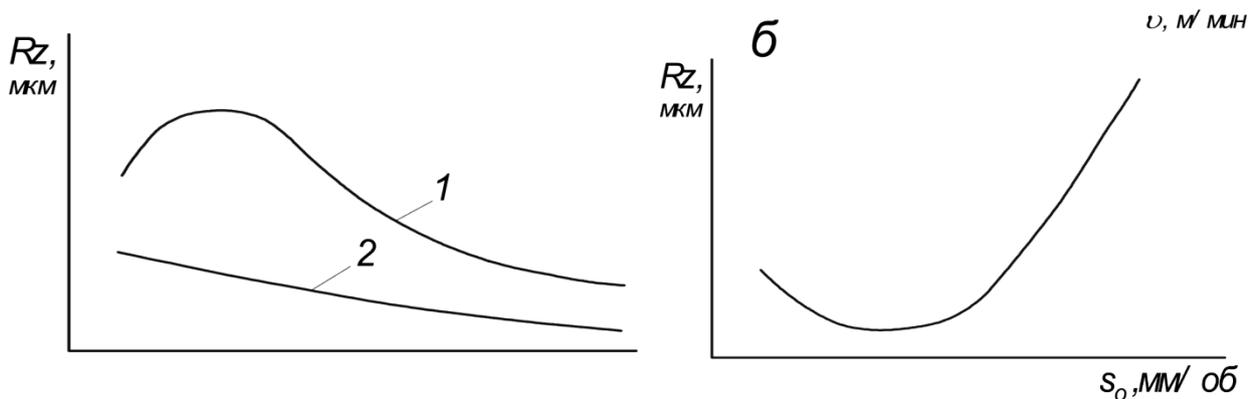


Рисунок 1.20 – Зависимости шероховатости обработанной поверхности детали от скорости резания (а) и подачи (б):

1 – резание с наростом; 2 - резание с наростом

При увеличении подачи высота неровностей возрастает (рис. 1.20, б). При малых подачах основное влияние оказывают не геометрические факторы, а пластическая и упругая деформации, [скорость резания](#) и радиус при вершине резца. При больших значениях подачи на шероховатость оказывают влияние геометрические факторы (следы движения инструмента). Глубина резания почти не влияет на шероховатость обработанной поверхности.

Из геометрических параметров инструмента наибольшее влияние на шероховатость поверхности, оказывает угол в плане ϕ и радиус закругления режущих

кромки. С увеличением ϕ шероховатость несколько возрастает, а с уменьшением ϕ_1 микронеровности уменьшаются. Передний угол γ влияет на шероховатость по столько, по сколько он влияет на образование нароста. Поэтому изменение γ особенно заметно влияет на шероховатость обработанной поверхности деталей из углеродистых конструкционных сталей в диапазоне скоростей 20–40 м/мин. С уменьшением γ высота нароста возрастает.

Задний угол α влияет на шероховатость значительно меньше, чем γ . Наиболее сильно α влияет в тех случаях, когда обработанная поверхность образуется главной режущей кромкой, например, при протягивании.

На величину шероховатости существенное влияние оказывает структура и твёрдость обрабатываемого металла (наличие феррита, перлита) через образование нароста, износ инструмента, микронеровности режущей кромки инструмента (копируются), жёсткость технологической системы (вибрации), [СОЖ](#) (можно уменьшить шероховатость в пределах до одного класса).

Влияние условий обработки на физико-механические свойства поверхностного слоя детали

При обработке заготовок резанием в результате воздействия на поверхностный слой силового и температурного полей в нём возникают пластические деформации и создаются внутренние остаточные напряжения. Поверхностная пластическая деформация обуславливает появление [наклёпа](#) (упрочнения) поверхностного слоя. Наклёп обычно характеризуется микротвёрдостью и рентгенографическими показателями (расширение или размытие интерференционных линий).

Основными причинами возникновения остаточных напряжений являются:

- Наличие пластической деформации, приводящее к упрочнению и изменению физических свойств металла.
- Вытягивание кристаллических зёрен металла, которые при этом претерпевают упругую и пластическую деформации растяжения в направлении резания.
- Нагрев и охлаждение детали при резании, приводящие к развитию остаточных напряжений растягивания во внешних слоях и сжатие в нижележащих слоях металла.
- Структурные превращения в металле.
- При различных методах, режимах механической обработки, а также геометрии инструмента степень и глубина распространения наклёпа оказываются различными (от 30 до 200 мкм).

С увеличением *подачи и глубины резания* наклёп поверхностного слоя увеличивается.

То же наблюдается при переходе от положительных значений передних углов лезвия к отрицательным. Это объясняется возрастанием усилий резания.

С увеличением *скорости резания* выделяется больше теплоты и уменьшается продолжительность силового воздействия на металл, это способствует разупрочнению поверхностного слоя и, следовательно, снижению степени наклёпа и микротвёрдости.

Значительное повышение наклёпа наблюдается при затуплении режущего инструмента, а также при встречном фрезеровании по сравнению с попутным.

При абразивной обработке в принципе сохраняются те же самые закономерности возникновения наклёпа, что и при работе лезвийным инструментом. Он возрастает с увеличением глубины и скорости шлифования, а также размера и радиуса округления абразивных зёрен.

Внутренние остаточные напряжения поверхностного слоя также зависят от вида обработки, режимов резания, свойств металла и других факторов.

Влияние режимов обработки и геометрии инструмента на остаточные напряжения определяются физико-механическими свойствами обрабатываемого металла. Например, при обработке пластичных материалов повышение скорости резания и подачи приводит к увеличению остаточных напряжений растяжения.

С уменьшением переднего угла γ лезвия инструмента остаточные напряжения сжатия возрастают. По мере затупления инструмента возрастают остаточные напряжения растяжения.

Методические материалы

Презентация:

- [1.4 Технологические и физические параметры резания. Сечение среза и гребешки шероховатости](#)

Вопросы

1. Свободное и несвободное, прямоугольное и косоугольное резание. Технологические и физические параметры обработки. Сечение среза и гребешки шероховатости при продольном точении.
2. Схема резания при подрезании торца. Технологические и физические параметры обработки. Сечение среза и гребешки шероховатости.
3. Схема резания при растачивании сквозных и глухих отверстий. Сечение среза и гребешки шероховатости.

4. Схема резания при отрезании. Основные технологические и физические параметры обработки. Сечение среза и гребешки шероховатости.

5. Схема резания при строгании. Основные технологические и физические параметры обработки. Сечение среза и гребешки шероховатости.

1.5 Процессы стружко – и наростообразования, усадка стружки и упрочнение обработанной поверхности

Процесс *пластической деформации* срезаемого слоя является основным процессом при обработке резанием. Большую роль в изучении этого процесса играет *стружка* – деформированный и отделенный в результате обработки поверхностный слой материала заготовки (рис. 1.21).

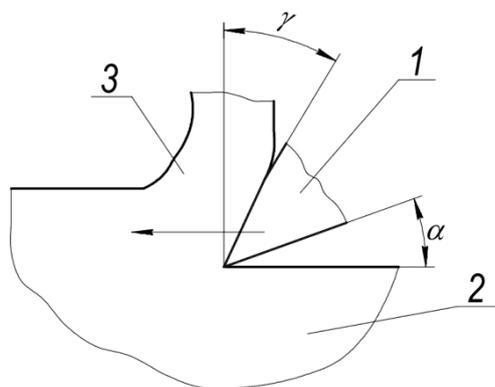


Рисунок 1.21 – Схема стружкообразования:
1- инструмент; 2 - заготовка; 3 - стружка

В зависимости от свойств обрабатываемого материала, режима резания, геометрии инструмента и т. п. при резании образуются следующие виды *стружки* (рис.1.22): 1) сливная; 2) элементная; 3) надлома. По классификации И.А. Тиме выделяется также стружка суставчатая, по зарубежным классификациям эти виды стружки носят названия соответственно гладкой, пилообразной и дробленой.

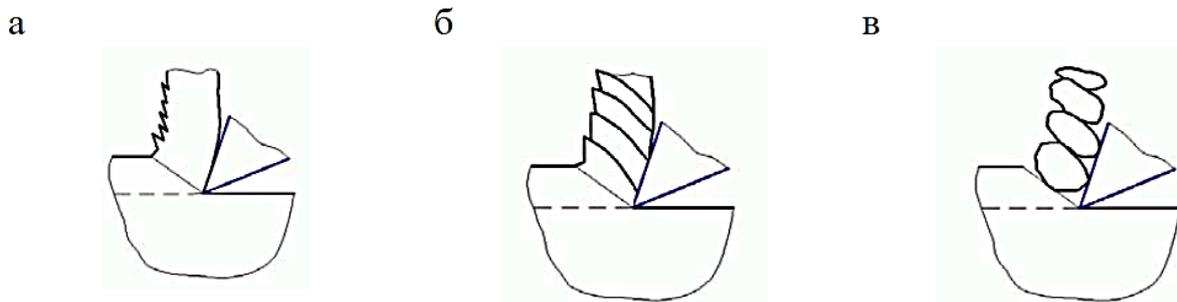


Рисунок 1.22 – Типы стружек:
а - сливная; б - элементная; в - надлома

Сливная и элементная стружки (рис. 1.22, а, б) образуются при обработке пластичных материалов. В основе формирования этих видов стружки лежит образование чередующихся элементов: у сливной – микроскопических, у элементной – явно выраженных. Стружка надлома (рис. 1.22, в) образуется при обработке хрупких материалов и состоит из отдельных, не связанных друг с другом частей различной формы и размеров.

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

Стружку также классифицируют: по форме, например, ленточная, спутанная, винтовая, спирально-винтовая, завитковая, осколочная; по размерам; степени и направлению скручивания; по цвету стружки и т. д. Такая классификация стружки важна для оценки резания с точки зрения эффективного дробления, удаления и переработки стружки, автоматизации производственного процесса, силовой и тепловой напряженности в зоне резания, качества обработанной поверхности детали.

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

1. Подбор геометрии лезвия инструмента.
2. Подбор режима резания.
3. Выполнение уступов и лунок на передней поверхности лезвия.
4. Использование накладных стружколомов на передней поверхности

лезвия.

5. Кинематическое дробление стружки за счет прерывания подачи, наложения вибраций и колебаний на зону резания, использования видов обработки, обеспечивающих прерывистый характер работы инструмента.
6. Нанесение канавок и рисок на обрабатываемую поверхность или поверхность резания.
7. Термическое дробление стружки за счет ее расплавления или перегигания импульсами электрического тока.

Механизм образования сливной стружки

В образовании сливной стружки можно выделить три переходящие друг в друга этапа (рис. 1.23):

1. При воздействии лезвия инструмента на срезаемый слой (рис. 1.23, а) впереди него создается упруго — пластическая зона, сконцентрированная в ограниченной области обрабатываемого материала и примыкающая к передней поверхности лезвия инструмента. Образующийся в результате пластической деформации смятия элемент срезаемого слоя увеличивается в объеме. В нем возрастают пластические напряжения смятия вплоть до величины предела прочности материала.

2. В некоторой области деформированного элемента напряжения смятия превосходят предел прочности обрабатываемого материала и этот элемент разрушается путем пластического сдвига по некоторой *поверхности или плоскости сдвига* (рис. 1.23, б). Угол наклона этой плоскости к направлению вектора скорости резания называется *углом сдвига* β_1 . Угол β_1 является комплексной характеристикой напряженного состояния зоны *стружкообразования* и его величина зависит от свойств обрабатываемого материала, геометрии инструмента, режима резания и других условий обработки.

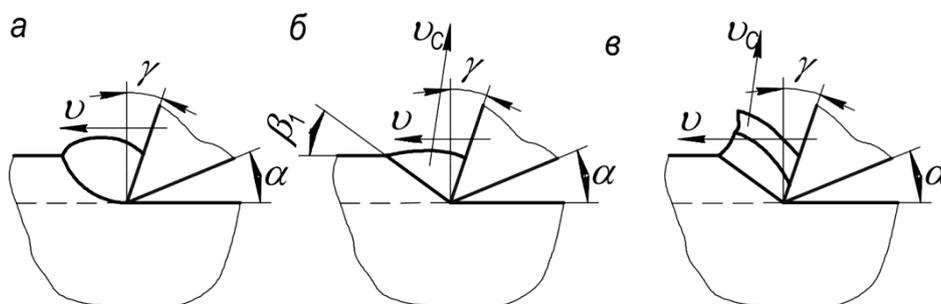


Рисунок 1.23 – Основные этапы стружкообразования:

а - образование элемента смятия; б - разрушение элемента; в - формирование стружки

В момент разрушения сопротивление элемента сдвигу снижается, а продолжающееся движение инструмента приводит к формированию нового элемента и повторению первого этапа. Сдвинутый элемент имеет тенденцию перемещаться по направлению перпендикулярному плоскости сдвига. Однако, встречая сопротивление со стороны передней поверхности инструмента, элемент стружки изменяет свое направление по вектору скорости движения стружки v элемент стружки, перемещаясь вдоль передней поверхности инструмента, испытывает в при контактных слоях большое давление, которое приводит к дополнительной пластической деформации при контактных слоев стружки (рис. 1.23, в). По этой причине стружка завивается и отрывается от передней поверхности инструмента.

Зона стружкообразования

Рассмотрим схему образования стружки (рис. 1.24).

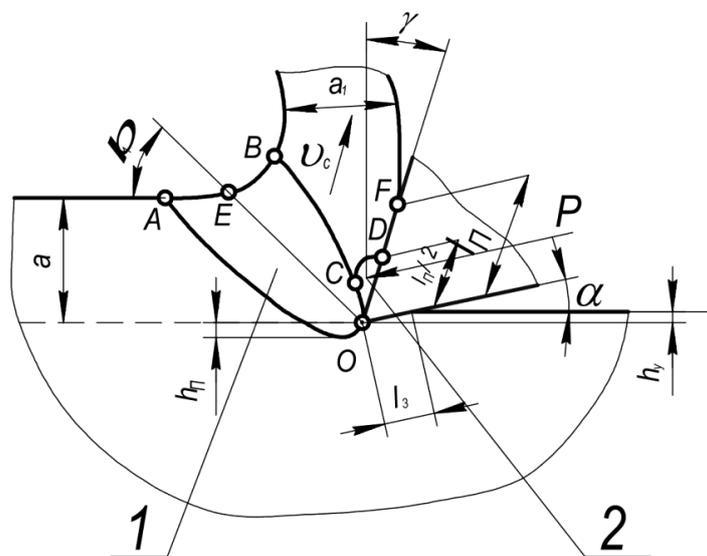


Рисунок 1.24 – Зона стружкообразования:

1 - зона первичной деформации; 2 - зона вторичной деформации

Как отмечалось выше, лезвие инструмента, воздействуя на срезаемый слой толщиной a , создает в нем область упругой деформации, переходящей на линии OA в пластическую. По представлению И.А. Тиме пластические деформации

сдвига происходят в одной плоскости по линии ОЕ, наклонной к вектору скорости резания v под углом β_1 . Однако А.А. Брикс, а позднее Н.Н. Зорев предположили и доказали, что пластические сдвиги происходят в семействе плоскостей или поверхностей, ограниченном областью ОАВ, называемой *зоной первичной деформации*. Линия ОВ—это поверхность или плоскость, по которой осуществляется последняя сдвиговая деформация. Левее линии ОА находятся еще недеформированные структурные зерна кристаллической решетки материала срезаемого слоя, а правее линии ОВ—структурные зерна материала стружки. Форма структурных зерен материала в зоне первичной деформации претерпевает изменения в виде вытянутости в поперечном по отношению к скорости их движения v направлению. Это приводит к формированию *поперечной текстуры стружки*.

Стружка, перемещаясь по передней поверхности инструмента, в силу неровностей контактируемых поверхностей и других причин на участке ОФ затормаживается, и отдельные ее элементы или волокна на участке ОД могут вообще остановиться. Это приводит к дополнительной деформации элементов стружки, изменению направления образования структуры стружки с поперечного на продольное (вдоль скорости движения стружки v_c) и формированию *продольной текстуры стружки*. Зона, в которой происходят эти процессы, называется *зоной вторичной деформации* или *застойной зоной*.

Физико-механические свойства и структура поверхностного слоя существенно отличаются от исходного материала. Это обусловлено воздействием на обрабатываемую поверхность заготовки силовых и тепловых факторов. После механической обработки стальной заготовки структура ее поверхностного слоя изменяется. Значительные деформации металла в зоне резания вызывают повышение его твердости и предела прочности и одновременное снижение пластичности. Как известно, это явление называется *наклепом*. Интенсивность и глубина распространения наклепа возрастают с увеличением сил резания и с повышением степени пластической деформации металла поверхностного слоя.

Одновременно с упрочнением под влиянием нагрева зоны резания в металле поверхностного слоя протекают процессы разупрочнения и отдыха, возвращающие металл в его первоначальное ненаклепанное состояние.

Степень и глубина распространения наклепа изменяются в зависимости от вида и режима механической обработки и геометрии режущего инструмента. Изменение режима обработки, вызывающее увеличение сил резания и степени пластической деформации, ведет к повышению степени наклепа. Рост продолжительности воздействия сил резания на металл поверхностного слоя приводит к

увеличению глубины распространения наклепа. Например, при точении, фрезеровании, протягивании, т.е. при процессах, происходящих с относительно небольшими скоростями, но с большими силами резания, поверхностный слой наклепывается на глубину до 0,5...1,0 мм.

Характеристиками пластической деформации при резании являются коэффициент усадки стружки, угол сдвига и относительный сдвиг.

В результате пластической деформации при резании металлов наблюдается усадка стружки, которая является внешним выражением этой деформации и до некоторой степени характеризует условия протекания процесса резания.

Коэффициент усадки стружки измеряется по отношению длины пути инструмента L (рис. 1.28) к длине стружки L_c , либо по отношению толщины стружки a_c к толщине среза a . Изменение ширины стружки b_c по сравнению с шириной среза b незначительно, поэтому этим изменением обычно пренебрегают. Тогда:

$$K_L = \frac{L}{L_c} = \frac{a_c}{a}. \quad (1.7)$$

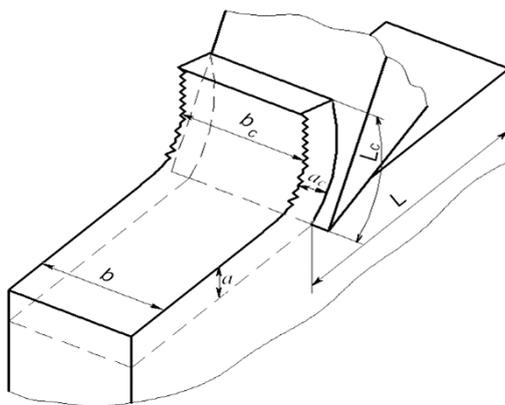


Рисунок 1.25 – Размеры срезаемого слоя и стружки

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

Коэффициент усадки стружки позволяет качественно оценить разные условия резания с точки зрения действующих сил, энергонапряженности процесса, температуры. Коэффициент усадки стружки при резании пластичных материалов больше, чем при резании хрупких материалов.

С увеличением переднего угла инструмента, толщины среза и скорости резания коэффициент усадки стружки уменьшается, а от ширины среза он практически не зависит. При использовании СОЖ, снижающей трение между стружкой и инструментом, коэффициент усадки стружки уменьшается.

Коэффициент усадки стружки позволяет определить величину скорости стружки по скорости резания:

$$V_c = \frac{V}{K_L}. \quad (1.8)$$

Т.е. скорость стружки меньше скорости резания и увеличивается с уменьшением коэффициента усадки стружки.

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

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{\cos \gamma}{K_L - \sin \gamma}, \quad (1.9)$$

$$\varepsilon = \frac{K_L^2 - 2K_L \sin \gamma + 1}{K_L \cos \gamma}. \quad (1.10)$$

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

Методические материалы

Видеоматериал:

- [Образование стружки](#)

Презентация:

- [1.5 Процессы стружко и наростообразования, усадка стружки и упрочнение обработанной поверхности](#)

Вопросы

1. Процесс образования и виды стружек при обработке хрупких и пластичных материалов.
2. Способы борьбы со сливной стружкой.

3. Кинематическое стружкодробление. Условия перерезания стружки при вибрационном и дискретном резании.
4. Усадка стружки. Теоретические и экспериментальные способы определения коэффициента продольной усадки стружки
5. Влияние параметров обработки (V , S , δ) на коэффициент продольной усадки стружки.
6. Наростообразование при резании.

1.6 Силы резания при обработке резцами

Для того, чтобы происходило резание, к резцу должна быть приложена некоторая сила P_z , действующая в направлении главного движения (рисунок 1.26). Эта сила должна преодолеть сопротивление металла разрушению (образованию стружки). Это сопротивление может быть выражено силами, действующими на резец со стороны обрабатываемой заготовки.

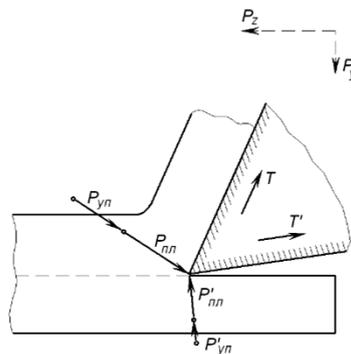


Рисунок 1.26 – Схема сил, действующих на резец

Так как в процессе резания происходят упругие и пластические деформации, то со стороны срезаемого слоя нормально к передней поверхности резца действуют силы упругой P_{yn} и пластической P_{nl} деформаций. Со стороны обработанной поверхности нормально к задней поверхности резца действуют силы P'_{yn} и P'_{nl} .

При наличии нормальных сил давления и относительного перемещения резца и стружки, а также резца и заготовки по передней и задней поверхностям резца возникают и действуют силы трения T и T' . Силы трения:

$$T = \mu(P_{nl} + P_{yn}), \quad (1.11)$$

и

$$T' = \mu'(P'_{nl} + P'_{yn}). \quad (1.12)$$

где μ и μ' - средние коэффициенты трения соответственно по передней и задней поверхностям. Сумма проекций сил сопротивления $P_{nl}, P_{yn}, P'_{nl}, P'_{yn}, T$ и T' на горизонтальную плоскость преодолевается силой P_z , на вертикальную плоскость – силой P_y .

Данная схема правильно отображает действие сил сопротивления материала резанию и объясняет ряд явлений, сопутствующих процессу резания. Однако в связи с трудностью подсчета и измерения сил, действующих на резец со стороны срезаемого слоя и обработанной поверхности, приведенная схема для практических расчетов не применяется.

Сила резания и ее составляющие

Система сил, действующих при точении, может быть приведена к одной равнодействующей силе R (рисунок 1.27), называемой силой резания. Точка приложения этой силы находится на рабочей части режущей кромки.

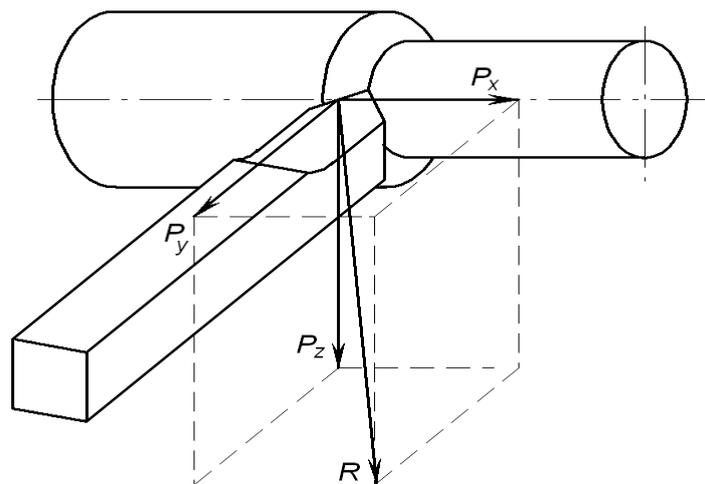


Рисунок 1.27 – Разложение равнодействующей силы R на составляющие P_z, P_y, P_x

В общем случае сила резания не расположена в главной секущей плоскости, а составляет с ней некоторый угол. При изменении обрабатываемого материала, геометрических параметров резца и режима резания сила резания R изменяет не только свою величину, но и направление относительно детали и резца. Поэтому при расчетах силу резания R раскладывают на три координатные оси Z, Y, X , получая проекции P_z, P_y и P_x .

Сила P_z – окружная сила или главная составляющая силы резания – действует в плоскости резания в направлении главного движения и определяет нагрузку на станок и резец. Величина P_z определяет крутящий момент $M_{кр}$, по которому ведется расчет зубчатых колес и валов коробки скоростей станка.

Сила P_y – радиальная составляющая, приложенная перпендикулярно оси заготовки. Эта составляющая определяет силу отжима резца от заготовки и прогиб заготовки, обуславливающий точность изготовления детали. Величина P_y необходима для расчета станины и суппорта станка.

Сила P_x – осевая составляющая, действующая вдоль оси заготовки параллельно направлению подачи. Эта составляющая определяет нагрузку механизма подачи станка. Величина P_x является исходной для расчета звеньев механизма подачи станка.

Три указанные составляющие силы взаимно перпендикулярны, поэтому величина и направление равнодействующей силы определяются как диагональ параллелепипеда:

$$R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2} . \quad (1.13)$$

Соотношение величин составляющих сил P_z , P_y , P_x не остается постоянным и зависит от геометрических параметров рабочей части резца, элементов режимов резания, износа резца, обрабатываемого материала, условий резания.

В некоторых случаях обработки одной из двух составляющих (P_x или P_y) может не быть. Например, при отрезке прутка отрезным резцом с режущей кромкой, параллельной оси:

при $P_x = 0$

$$R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2} . \quad (1.14)$$

Сила P_z действует во всех случаях, поэтому ее и называют главной составляющей силы резания.

Мощность, затрачиваемая на резание

Для того, чтобы подсчитать мощность, затрачиваемую на резание, необходимо сложить мощности на преодоление каждой силы сопротивления P_z , P_y , P_x :

$$N_{рез} = N_{Pz} + N_{Py} + N_{Px} . \quad (1.15)$$

Поскольку перемещения жестко закрепленного резца в направлении силы P_y не происходит, мощность, обусловленная действием этой составляющей, может быть приравнена нулю:

$$N_{рез} = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1020} + \frac{P_x \cdot S \cdot n}{1000 \cdot 60 \cdot 1020} \quad (1.16)$$

где коэффициенты выражают перевод единиц измерения: 60 – мин в сек, 1000 – мм в м, 1020 – н·м/сек в кВт.

Численное значение второго члена правой части уравнения мало и составляет 1-2% от значения первого члена, поэтому мощность, затрачиваемую на резание, практически определяют как создаваемую одной силой P_z :

$$N_{рез} = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1020} \quad (1.17)$$

Принимая во внимание КПД станка η , расчетная мощность электродвигателя составит:

$$N_{расч} = \frac{N_{рез}}{\eta} \quad (1.18)$$

Для осуществления процесса резания на заданном станке необходимо, чтобы мощность электродвигателя данного станка $N_{ст}$ была больше (или, в крайнем случае, равна) расчетной мощности:

$$N_{ст} \geq N_{расч}$$

Влияние условий резания на силы резания

Влияние различных факторов на силы резания очень сложно. Поэтому чаще всего в инженерных расчетах пользуются эмпирическими зависимостями сил от условий резания. После проведения ряда экспериментов, в ходе которых определяются силовые зависимости от каждого из интересующих переменных параметров, устанавливается обобщенная зависимость в виде:

$$P_i = C_{Pi} \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^z \cdot \prod_{q=1}^n K_q \quad (1.19)$$

где P_i – соответствующая составляющая силы резания; C_{Pi} – постоянный коэффициент, отражающий влияние условий обработки, поддерживаемых постоянными в ходе эксперимента; x, y, z – показатели степени, характеризующие

интенсивность влияния соответствующего элемента режима резания на P_i составляющую; K_q – коэффициенты, учитывающие влияние свойств обрабатываемого материала, геометрию инструмента, СОЖ, износа и других факторов, не учитываемых коэффициентом C_{P_i} .

Влияние глубины резания и подачи на силу резания сказывается через изменение сечения срезаемого слоя (Рисунок. 1.28). Увеличение силы резания происходит пропорционально увеличению глубины резания (ширины срезаемого слоя) и несколько отстает от увеличения подачи (толщины срезаемого слоя).

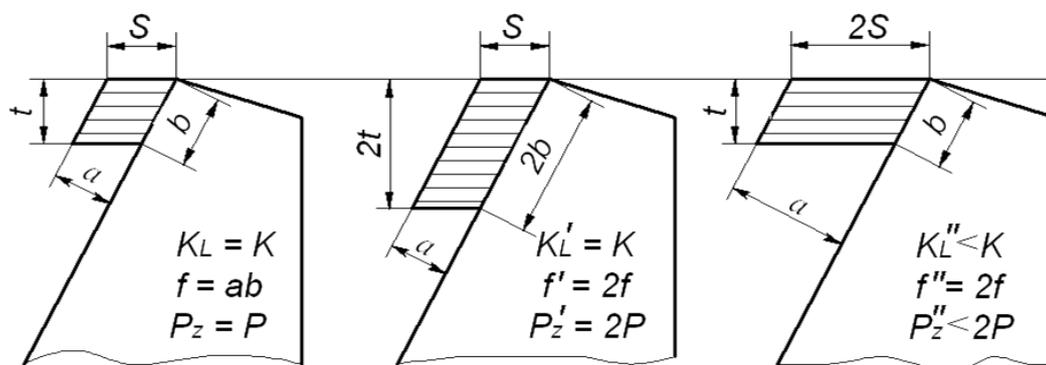


Рисунок 1.28 – Изменение толщины и ширины среза с изменением

При увеличении ширины среза (Рисунок 1.28, б) происходит пропорциональное увеличение площади среза, что при сохранении постоянного коэффициента усадки стружки требует пропорционального увеличения силы, вызывающей деформацию.

При увеличении толщины среза (Рисунок 1.28, в) происходит пропорциональное увеличение площади среза. Однако с увеличением нагрузки на единицу длины режущей кромки увеличивается температура в зоне резания, что приводит к снижению силы трения, коэффициента усадки стружки и сопротивления обрабатываемого материала сдвигу. Кроме того, деформация по толщине среза распределена неравномерно, поэтому увеличение толщины среза приводит к уменьшению относительной толщины слоя с максимальными деформациями. Поэтому в данном случае сила, требуемая на деформацию срезаемого слоя, увеличивается не пропорционально увеличению толщины среза, а меньше.

Влияние скорости резания на силу резания качественно подобно влиянию скорости на коэффициент усадки стружки. Это влияние определяется склонно-

стью обрабатываемого материала к наростообразованию и снижением силы трения и сопротивления деформированию материала с ростом температуры, сопровождающим увеличением скорости резания.

Влияние свойств обрабатываемого материала. Свойства материала в зоне резания из-за высоких температур, степени деформации и давлений значительно отличаются от физико-механических свойств в нормальных условиях. Поэтому точных однозначных зависимостей между силой резания, твердостью и прочностными характеристиками материалов не имеется. Тем не менее, установлено, что силы резания растут с увеличением твердости, прочности, пластичности и вязкости обрабатываемого материала.

Влияние свойств инструментального материала на величину силы резания вызвано изменением сил трения (коэффициентов трения) на контактных поверхностях. В этой связи с целью снижения трения на контактные поверхности инструмента наносят покрытия карбидов и нитридов тугоплавких металлов. Покрытия позволяют снизить силы резания и уменьшить интенсивность износа инструментов.

Влияние геометрии инструмента на силу резания. Передний угол влияет на силу резания через изменение условий деформации. С увеличением переднего угла (уменьшением угла резания) увеличивается угол сдвига, уменьшается коэффициент усадки стружки, а следовательно, и сила резания. Влияние углов в плане и радиуса при вершине на силу резания обусловлено соответствующим изменением толщины и ширины срезаемого слоя и изменением коэффициента усадки стружки.

Влияние СОЖ. Смазочно-охлаждающие жидкости оказывают влияние не только на понижение температуры резания, но и на уменьшение трения, облегчения процесса стружкообразования, а следовательно, и на снижение силы резания.

Влияние износа на силу резания. В зависимости от характера и степени износа изменение сил может происходить в различных направлениях. Например, износ резцов по задней поверхности сопровождается увеличением силы резания. При преобладающем износе по передней поверхности сила резания может и снижаться.

Таким образом, силы, действующие в процессе резания, необходимо знать для правильного расчета и конструирования режущего инструмента, станков и приспособлений, для расчета жесткости системы СПИД и мощности, затрачиваемой на резание. Знание этих сил нужно и для правильной эксплуатации станка, инструмента и приспособлений.

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

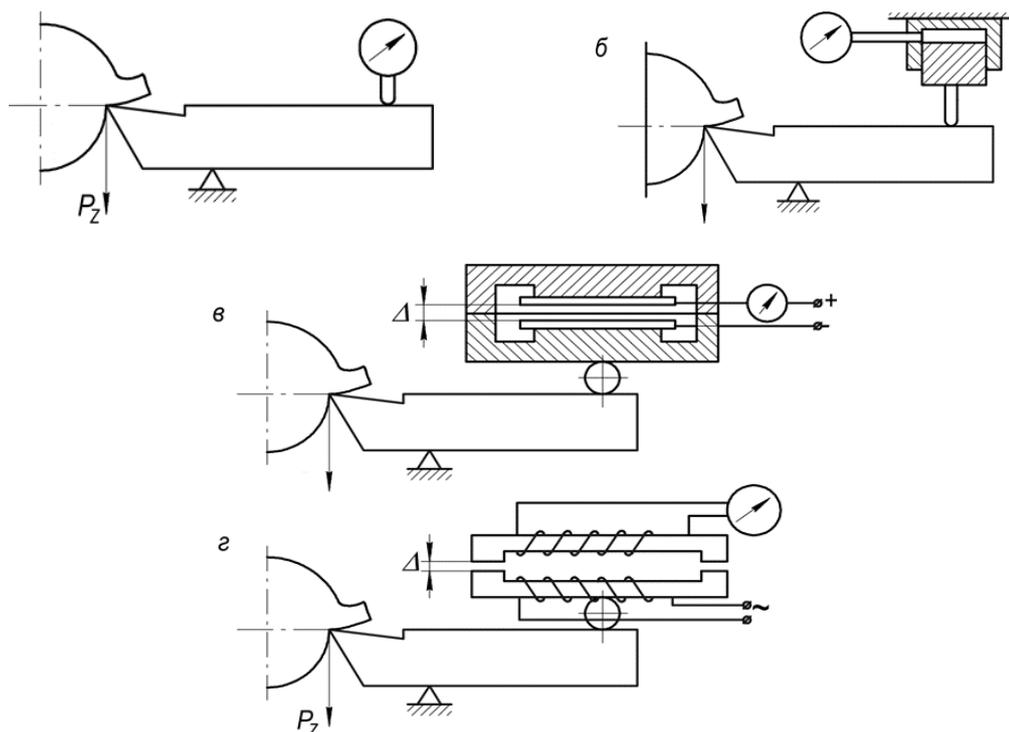


Рисунок 1.29 – Схемы динамометров:

а - механический; б - гидравлический; в - емкостный; г - индуктивный

В механических динамометрах (рис. 1.29, а) в качестве датчика используется пружина, упругая пластина и т. п., по величине прогиба которых судят о величине составляющей силы резания. Прогиб измеряется индикатором часового типа. Эти динамометры просты по конструкции, надежны, но в силу большой инерционности применяются при небольших скоростях резания (2-3 м/мин).

В гидравлических динамометрах (рис. 1.29, б) используются гидравлические месдозы (глицерин). О величине силы резания судят по давлению на манометре, создаваемому силой, давящей на поршень гидравлической месдозы. Эти динамометры так же, как и механические просты по конструкции и надежны в

работе. К недостаткам следует отнести их большие габаритные размеры, невысокую точность, большую инерционность. Применяются эти динамометры при скоростях резания до 80 м/мин.

Наибольшее распространение получили электрические динамометры, в которых используются датчики, преобразующие деформацию или перемещение упругих элементов в электрический сигнал.

Методические материалы

Видеоматериал:

– [Обработка резцами](#)

Презентация:

– [1.6 Силы резания при обработке резцами](#)

Вопросы

1. Силы резания. Источники возникновения сил сопротивления резанию. Результирующая и составляющая силы резания.
2. Теоретическое уравнение силы резания (уравнение Зворыкина).
3. Экспериментальные методы определения составляющих силы резания. Схемы динамометров.
4. Методика обработки экспериментальных данных и получение частных зависимостей $P_z = f(t)$ и $P_z = f(s)$ Получение общей зависимости силы резания от режимных и других параметров.
5. Зависимость составляющих силы резания от угла в плане ϕ резца и длины l_k криволинейного участка режущего лезвия.
6. Работа и мощность при резании.

1.7 Теплота и температура в зоне резания

Экспериментами установлено, что при резании конструкционных материалов более 99,5 % работы резания переходят в тепло. Количество тепла, выделяющегося в процессе резания, определяется по формуле:

$$Q = P_z v. \quad (1.20)$$

где P_z тангенциальная составляющая силы резания; v — скорость резания.

Эта теплота образуется в следующих очагах:

1) в плоскости деформации Q_d ; 2) в приконтактных областях инструмента со стружкой $Q_{сп}$; в приконтактных областях инструмента с заготовкой $Q_{тз}$ Теплотарасходуется на нагрев стружки $t_{тс}$ нагрев заготовки $Q_{,}$ нагрев ин-

струмента Q_q , нагрев окружающей среды Q . Уравнение, связывающее образующуюся теплоту с расходной, называется *уравнением теплового баланса*.

$$Q = Q_d + Q_{mn} + Q_{mz} = Q_c + Q_z + Q_u + Q. \quad (1.21)$$

При обработке конструкционных материалов величины составляющих теплоты, входящих в уравнение (3), по отношению к общему количеству теплоты колеблются в следующих пределах: $Q_d = (60-90\%)Q$; $Q_{mn} = (20-30\%)Q$; $Q_{mz} = (5-10\%)Q$; $Q_c = (60-90\%)Q$; $Q_z = (30-60\%)Q$; $Q_u = (5-15\%)Q$; $Q_o = (2...3\%)Q$.

Как видно из этих соотношений, количество тепла, выделяемого в зоне деформации, наибольшее, так как в этой зоне совершается основная работа резания. Образованное тепло в большей части расходуется на нагрев стружки, что связано, прежде всего, с более высокой теплопроводностью материала заготовки по сравнению с инструментальным материалом и малыми объемами стружки. Однако температура на передней поверхности лезвия инструмента высока и примерно равна температуре стружки

Методы экспериментального определения теплоты и температуры

Методы определения температуры делятся на косвенные и прямые. К *косвенным* относятся методы оценки значений температуры по некоторым её косвенным проявлениям. Например, по изменению составляющей силы резания $P_{z,t}$, к. количество тепла определяется по формуле (1.20).

Прямые методы основываются на сравнительно более точном определении температуры с использованием температурных датчиков. Прямые методы, в свою очередь, подразделяются на *контактные* и *бесконтактные*. К *контактным* относят методы и устройства, в которых между датчиком температуры и объектом измерения имеется непосредственный контакт. К *бесконтактным* – методы, при которых датчики измерительных устройств находятся на некотором удалении от объекта, температура которого подлежит определению.

При контактных методах используются термометры, термоиндикаторы, термопары; при бесконтактных – радиационные и другие устройства, оптические, акустические и пневматические датчики.

В силу специфики измерения температуры элементов технологической системы термометры (ртутные, монометрические и механические) применяются в основном для определения температуры жидкостей, расплавов и при тарировании. Также ограниченное применение находят термоиндикаторы, которые подразделяют на химические, термохимические и плавления. Термоиндикаторы выпускаются в виде термокарандашей, термотаблеток, термокрасок, термолаков и

термобумаги. Термоиндикаторы имеют диапазон измерения температуры от 20 °С до 1500 °С и несколько изменений цвета (от 1 до 6). Каждый из цветов показывает определённую температуру.

Из прямых методов наиболее широкое применение получили методы с использованием термопар, калориметров и радиационных пирометров.

Термопарой называется спай двух разнородных металлов, общая точка которых С называется горячим спаем, а все остальные соединения разнородных металлов А и В в цепи термопары называются холодными спаями (рис. 1.30).

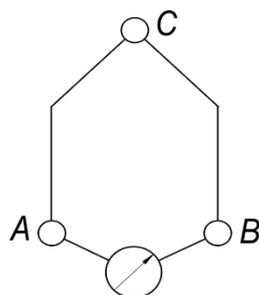


Рисунок 1.30 – Принципиальная схема термопары

В термопарах используют явление, которое состоит в том, что в замкнутой цепи из двух разнородных металлических проводников при нагреве одного из спаев возникает электрический ток или так называемая термоэлектродвижущая сила (термо-ЭДС). Термопара фиксирует разность температур между горячим и холодными спаями. Холодные спаи могут поддерживаться при комнатной температуре или нулевой температуре, которая обеспечивается за счёт размещения холодных спаев в сосуде с таящим льдом.

Термопары при измерении температуры резания делятся на искусственные, полуискусственные или полуестественные, естественные (рис. 1.31). Искусственная термопара состоит из двух проводников, не являющихся инструментом и заготовкой (рис. 1.31, а).

Искусственные термопары могут быть прижимные, закладные, бегущие, напылённые, перерезаемые. Например, бегущие термопары применяются для изучения закона распределения температуры на контактных поверхностях инструмента (рис. 1.31). Обработываемая поверхность заготовки выполняется в виде винтового гребня с отверстием под электроды из проволоки диаметром 0,1 мм и материала – медь, константант. До начала резания проводники не замкнуты и их контакты К1-К2 и К3-К4 подсоединены к измерительным приборам. При перерезании электроды замыкаются, и приборы фиксируют изменение температуры резания на передней и задней поверхностях режущего инструмента.

В *полуискусственной термопаре* только один из проводников не принадлежит компонентам технологической системы, а второй присутствует в ней естественно, выполняя какую-либо функцию в процессе обработки (рис. 1.31, б). Полуискусственная термопара имеет следующие преимущества: 1) проще искусственной; 2) позволяет уменьшить объём термочувствительной зоны термопары до площади поперечного сечения электрода; 3) сравнительно просто закладывать термоэлектрод в объект; 4) применение одного стандартного термоэлектрода (медь, хромель, константант, алюмель). Недостатки этой термопары: 1) необходимость изготовления специальных гнёзд и отверстий для закрепления электродов; 2) необходимость тарировки стандартного термоэлектрода с материалом резца или заготовки.

В *естественной термопаре* оба проводника, образующие спай, естественно присутствуют в технологической системе, участвуя в ней в качестве необходимых компонентов (рис. 1.31, в).

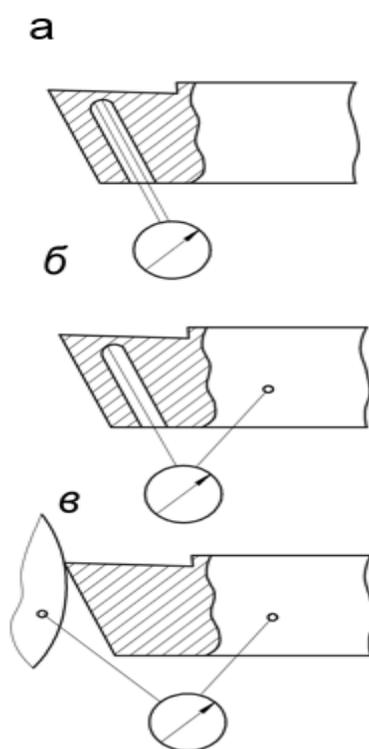


Рисунок 1.31 – Схемы искусственной (а), полуискусственной (б) и естественной (в) термопар

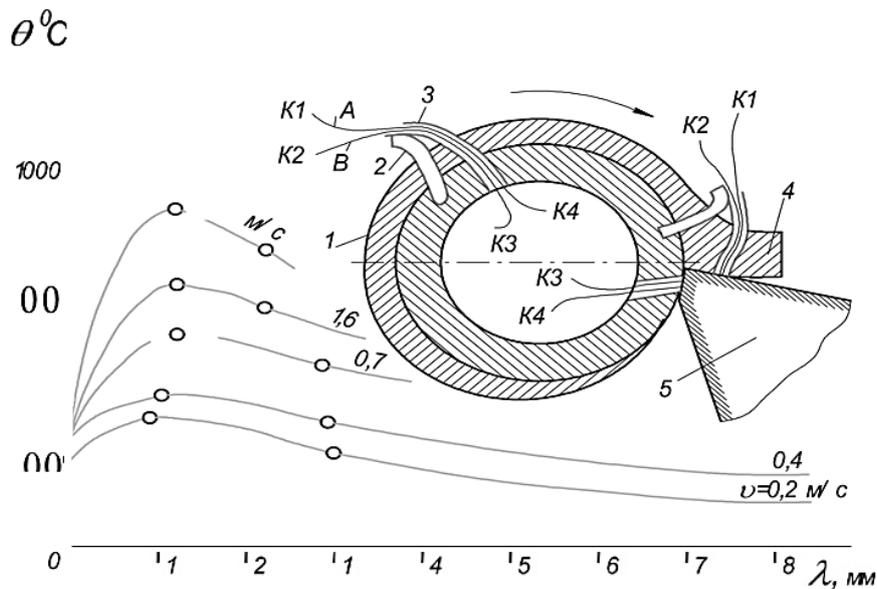


Рисунок 1.32 – Перерезаемая (бегущая) искусственная термопара и зависимость распределения температуры на при резцовой поверхности стружки при точении заготовки стали 45 (резец BK8, сечение среза $6 \times 0,5 \text{ мм}^2$)

Преимущества естественной термопары: 1) простота использования; 2) даёт информацию о температуре нагрева непосредственно контактных площадок инструмента, т. е. о той температуре, которая наиболее опасна для инструмента.

Недостатки: 1) необходимость тарирования любой вновь образуемой термопары, например, при замене изношенного резца; 2) термопара даёт среднюю температуру на контактных площадках инструмента; невозможность в процессе тарирования воссоздать реальные условия контакта термоэлектродов.

Примером естественно образуемой термопары может служить контакт резца и заготовки при обработке на токарном станке (рис. 1.33). Схема измерения включает миллиамперметр 1, ртутную ванночку 2, гибкий контакт 3, изолирующую заглушку 4, токопровод 5, заготовку 6, инструмент 7 и изолирующие прокладки 8.

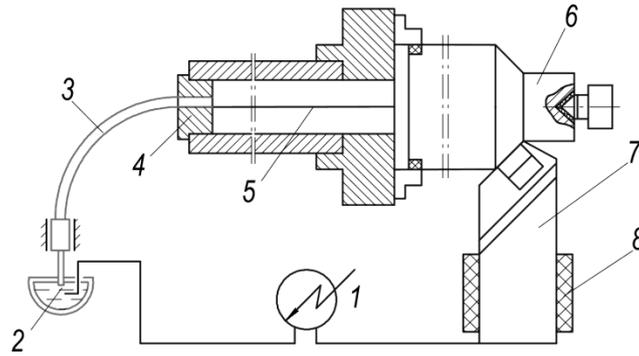


Рисунок 1.33 – Схема измерения температуры резания естественной термопарой

Эффективны термопары в виде напыленных или пластинчатых термоэлектродов, которые могут использоваться в зависимости от их количества и схемы размещения как искусственные, полуискусственные и естественные при различных видах обработки (рис. 1.34), в том числе при не токопроводящих материалах заготовки и инструмента.

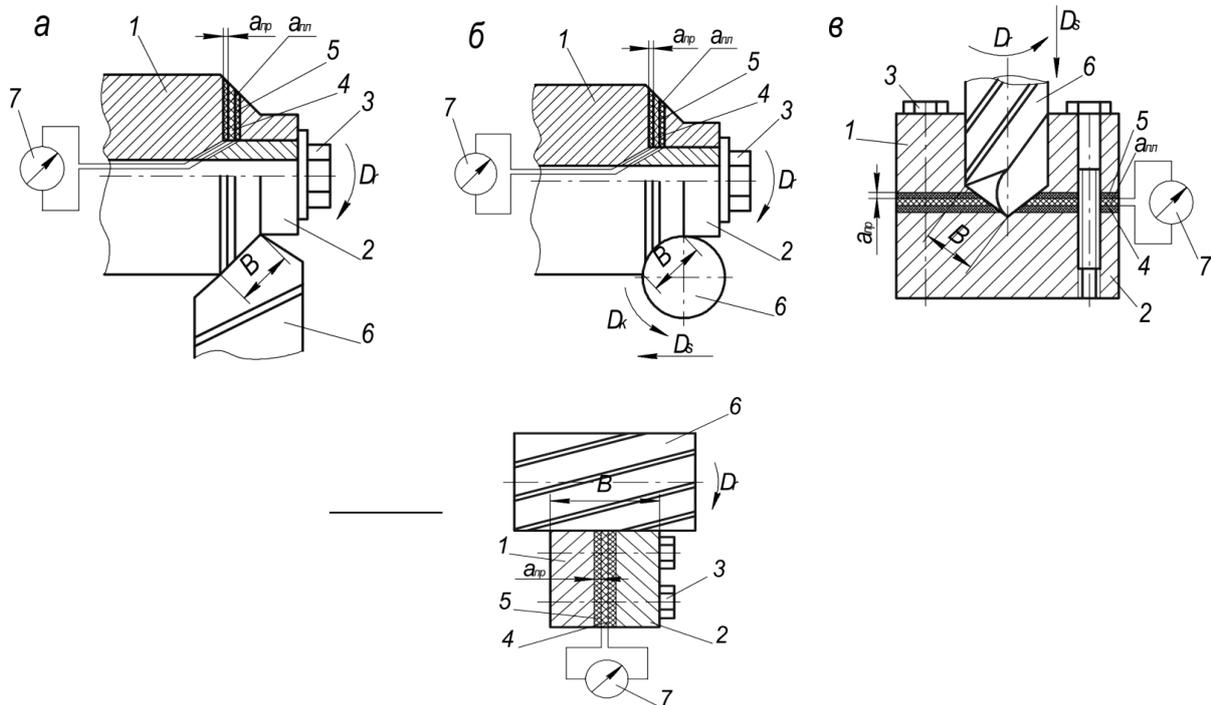


Рисунок 1.34 – Схемы измерения температуры резания с использованием пластинчатых термопар при обтачивании (а), ротационном точении (б), сверлении (в) и фрезеровании (г):

1 и 2 - части заготовки; 3 - гайка; 4 - термоэлектрод; 5 - изолятор

Бесконтактные методы

Калориметрический метод заключается в применении ёмкостей с жидкостью (водой) 1 и для улавливания отлетающей стружки 2, которые устанавливаются под зоной обработки (рис. 1.35,а).

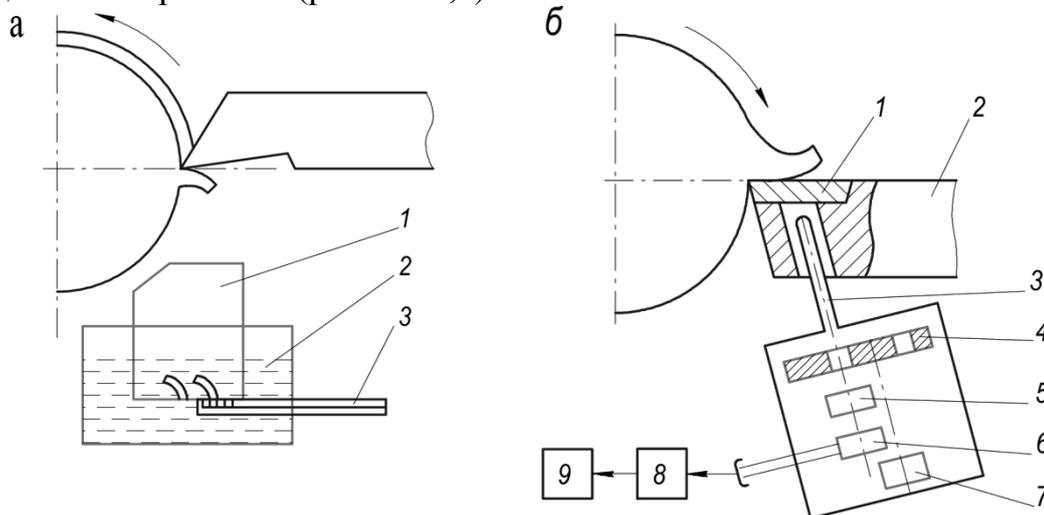


Рисунок 1.35 – Схемы измерения температуры резания калориметром(а) и радиационным пирометром(б)

После попадания стружки в калориметр, состав воды в нём перемешивается для выравнивания температуры. После перемешивания измеряется температура воды, затем стружка взвешивается на аналитических весах и по массе стружки, температуре воды в калориметре рассчитывается теплосодержание стружки в калориях и её среднеобъёмная температура. Радиационный метод основан на измерении уровня инфракрасного излучения в зоне резания радиационными пирометрами (рис. 1.35, б). Режущая пластина 1 резца 2 должна быть прозрачной, например, алмазной, для инфракрасных лучей, которые через светопровод 3 попадают на модулятор 4 и далее через светофильтр на приемник излучения 6. Для привода модулятора 4 используется микродвигатель 7. Инфракрасное излучение усиливается усилителем 8 и регистрируется прибором 9. Этот метод эффективен, однако его применение при резании ограничивается малыми площадями зоны излучения тепла и ее закрытостью.

Методические материалы

Презентация:

– [1.7 Теплота и температура в зоне резания](#)

Вопросы

1. Источники возникновения и распределения тепловых потоков в процессе резания, уравнения теплового баланса. Стационарное и нестационарное температурное поле.
2. Методы определения температуры в зоне резания.
3. Влияние элементов резания, физико-механических свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров режущей части инструмента на температуру резания.
4. Смазочно-охлаждающие среды (жидкие и газообразные), механизм их действия и эффективность, способы подвода в зону резания.

1.8 Износ и разрушение режущей части инструментов

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

Неисправный инструмент снижает качество обработки, в частности увеличивает шероховатость и ухудшает состояние поверхностного слоя детали. Поэтому важно знать момент снятия инструмента со станка для его восстановления.

В зависимости от времени работы различают три этапа изнашивания инструмента (рис. 1.36):

- I. этап–интенсивное изнашивание;
- II. этап–равномерное изнашивание без учёта воздействия окислов;
- III. этап–катастрофическое изнашивание.

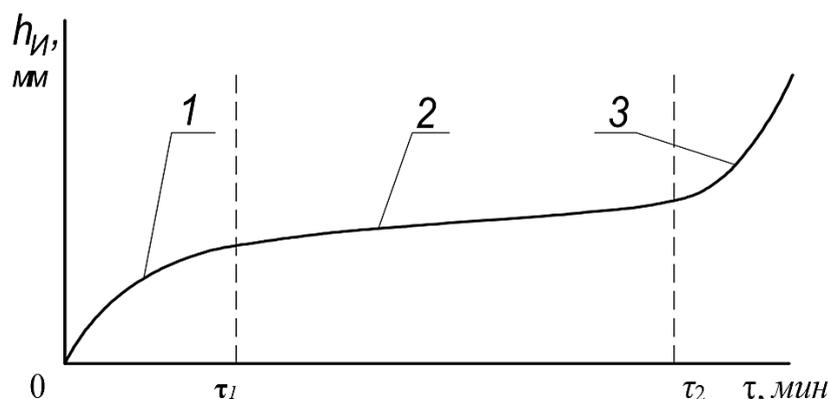


Рисунок 1.36 – Зависимость величины фаски износа лезвия инструмента от времени обработки:

- 1- интенсивное изнашивание; 2 - равномерное изнашивание;
3 - катастрофическое изнашивание

В зависимости от условий резания режущий инструмент может подвергаться различным видам износа, которые могут протекать одновременно или какой-то из них может преобладать над другими. Различают четыре основных вида износа: абразивный, адгезионный, диффузионный и окислительный.

Абразивный износ

Механизм данного износа заключается в том, что твердые частицы обрабатываемого материала, внедряясь в контактные площадки режущего инструмента, царапают их, действуя как микрорезцы. Интенсивность данного износа зависит от твердости инструментального материала и увеличивается по мере ее уменьшения. Контактные поверхности инструмента могут также царапать частицы нароста. Данный вид износа проявляется на низких скоростях резания и особенно при обработке материалов с ярко выраженными абразивными свойствами.

Абразивный износ проявляется в большей степени для быстрорежущего инструмента и в меньшей степени для инструмента, оснащенного твердым сплавом, твердость которого значительно выше твердости быстрорежущей стали.

Адгезионный износ

Высокие температуры и нагрузки, действующие на контактных площадках режущего инструмента, способствуют адгезионному взаимодействию материала инструмента и обрабатываемой заготовки. В результате этого на контактных площадках режущего инструмента образуются «мостики схватывания» (рис.1.37).

При перемещении стружки по передней поверхности и поверхностям заготовки относительно задней поверхности эти «мостики схватывания» разрушаются и образуются вновь. Повторение циклов образования и разрушения «мостиков схватывания» приводит к циклическому нагружению поверхностного объема инструментального материала и вызывает местное усталостное разрушение контактного слоя режущего инструмента, протекающее в виде выкрашивания отдельных частиц инструментального материала. Вырванные с контактных поверхностей частицы инструментального материала уносятся сходящей стружкой и поверхностями заготовки. Чем выше циклическая прочность и ниже хрупкость инструментального материала, тем выше его износостойкость при равной теплостойкости.

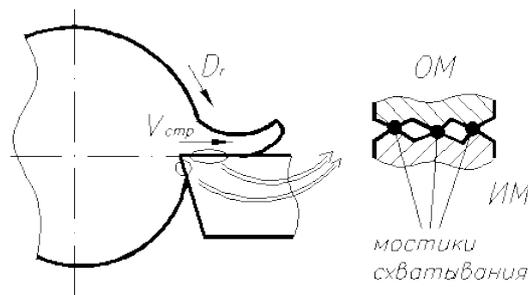


Рисунок 1.37 – Схема адгезионного износа

Поэтому в зоне невысоких температур резания, когда теплостойкость инструментального материала не имеет решающего значения, сопротивляемость твердых сплавов циклическим нагрузкам ниже, чем быстрорежущих сталей, имеющих большую прочность. Следовательно, при таких условиях твердосплавные инструменты в большей степени подвергаются адгезионному износу, чем быстрорежущие. При высоких температурах резания хрупкость твердого сплава уменьшается и сопротивляемость его циклическим нагрузкам возрастает. Кроме того, при высоких температурах происходит разупрочнение обрабатываемого материала и прочность «мостиков схватывания» снижается. Все это вместе взятое приводит к увеличению времени работы инструмента до местного усталостного разрушения контактных слоев инструмента (вырывов частиц инструментального материала) и интенсивность адгезионного износа твердосплавного инструмента уменьшается.

Диффузионный износ

Высокие температуры и нагрузки, действующие на контактных площадках инструмента, высокая деформация прирезцовых слоев стружки (слоев, прилегающих к передней поверхности), схватывание на контактных площадках режущего инструмента приводят к взаимному диффузионному растворению инструментального и обрабатываемого материала, которое сопровождается диффузией отдельных элементов инструментального материала в стружку и обрабатываемый материал и наоборот. В результате процессов диффузии и самодиффузии в контактных слоях режущего инструмента происходят структурные превращения, которые вызывают их разупрочнение и охрупчивание. В результате этого, ослабленные диффузионными процессами, контактные слои режущего инструмента разрушаются и уносятся сходящей стружкой и поверхностью заготовки.

Окислительный износ

Окислительным износом называют установившейся стационарный процесс динамического равновесия разрушения и восстановления окисных пленок.

При этом скорость окисления превосходит скорости всех других процессов, происходящих на контактных поверхностях инструмента, т. е. окисление является преобладающим. Пленки окислов влияют на интенсивность износа инструмента. В случае образования тонких пленок и достаточно прочных пленок интенсивность износа снижается. При образовании более толстых и рыхлых пленок интенсивность износа резко увеличивается.

Хрупкое разрушение инструмента, пластическое течение и пластическая деформация режущего клина инструмента

В процессе резания может происходить хрупкое разрушение режущего инструмента, протекающее в виде выкрашивания режущих кромок и сколов режущей части режущего инструмента.

Выкрашивание представляет собой отделение мелких частиц материала режущей кромки, вызванное наличием на ней различного рода дефектов (микротрещин, микросколов и т.д.).

Сколы представляют собой отделение значительных объемов материала режущей части режущего инструмента, связанное со свойствами обрабатываемого и инструментального материала и толщиной срезаемого слоя.

При высоких температурах (900°-1200° для твердосплавного режущего инструмента) в поверхностных слоях режущего инструмента может происходить пластическое течение материала инструмента, оно сопровождается вырывом отдельных твердых включений инструментального материала и пропахиванием ими контактных площадок режущего инструмента, а также «намазыванием» инструментального материала на прирезцовые слои стружки.

Методические материалы

Презентация:

- [1.8 Износ и разрушение режущей части инструментов](#)

Вопросы

1. Гипотезы изнашивания режущего инструмента.
2. Внешняя картина изнашивания задней и передней поверхностей инструмента. Методы измерения величины износа. Измерение величины износа во времени.
3. Расчет изношенной массы задней поверхности лезвия резца при равновеликом его износе.
4. Расчет массы изношенной части передней поверхности резца.

1.9 Стойкость инструмента и скорость резания, допускаемая его режущими свойствами

Свойство режущего инструмента сохранять работоспособными свои контактные поверхности и лезвия называют стойкостью инструмента, а время T , в течение которого это происходит (как уже указывалось) – периодом стойкости. Период стойкости равен времени работы инструмента между двумя его заточками или заменой режущей кромки. Период стойкости любого инструмента зависит от вида, механических и теплофизических свойств обрабатываемого и инструментального материалов, геометрии инструмента, параметров режима резания и применяемой СОТС. Стойкостные и скоростные зависимости в настоящее время устанавливают исключительно экспериментально.

Для установления связи между периодом стойкости T и, например, скоростью резания V все параметры процесса резания, кроме скорости, сохраняют постоянными. Затем последовательно изменяют скорость резания и при каждом ее значении изнашивают инструмент, получая кривые износа $h_3 = f(\tau)$ (рисунок 1.38).

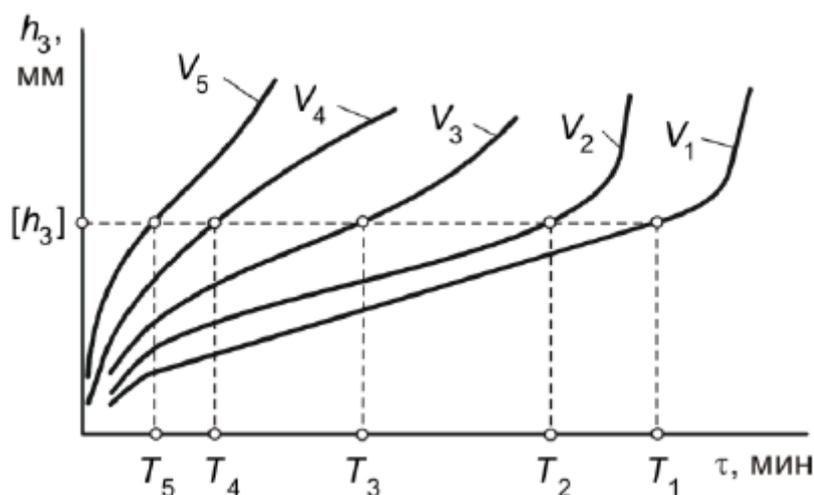


Рисунок 1.38 – Кривые износа инструментов

Кривые износа являются основным экспериментальным материалом для получения зависимости $T=f(V)$. Задаваясь критерием износа задней поверхности $h_3 = \text{const}$ для каждой скорости резания, по кривым износа находят соответствующие периоды стойкости.

ющие времена работы инструмента до достижения этого критерия, т.е. его периоды стойкости T . Такие опыты дублируют несколько раз, окончательно принимая период стойкости T_i как среднее значение результатов в каждом опыте.

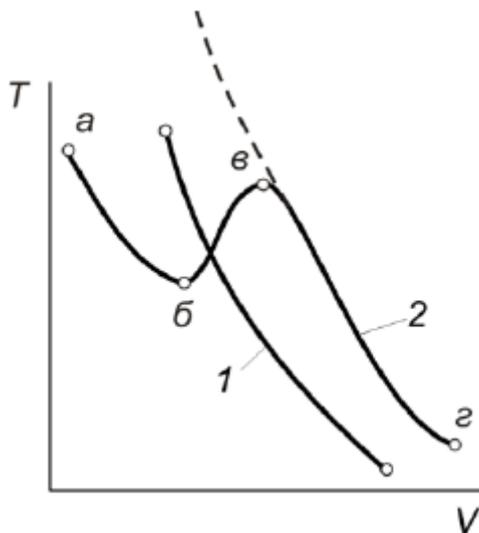


Рисунок 1.39 – Общий вид зависимости периода стойкости T инструмента от скорости резания V

Связь между скоростью резания V и периодом стойкости T при обработке чугуна инструментами из быстрорежущих сталей и однокарбидных твердых сплавов выражается непрерывно убывающей кривой 1 (рисунок 1.39), напоминающей гиперболу. Такой же кривой изображается связь между V и T при обработке углеродистых и легированных конструкционных сталей инструментами из быстрорежущих сталей. При обработке конструкционных углеродистых и легированных сталей, жаропрочных сталей и сплавов и некоторых других материалов инструментами из однокарбидных и двухкарбидных твердых сплавов связь между V и T изображается более сложной кривой 2, имеющей несколько перегибов. Аппроксимацию кривой 1 и участка $вг$ кривой 2 производят степенной функцией

$$T = \frac{C_1}{Vm_1} \quad (1.22)$$

в которой показатель степени m_1 определяет силу влияния скорости резания на стойкость. Зависимость впервые была установлена Ф. Тейлором, поэтому носит название «**формула Тейлора**». Постоянная C_1 характеризует обрабатываемый

и инструментальный материалы, геометрические параметры инструмента, применяемую СОТС, а также глубину резания и подачу, с постоянными значениями которых ведется обработка при получении этой эмпирической формулы, т.е. для заданных условий обработки $C_1 = \text{const}$, из чего следует, что $V^{m_1} T = \text{const}$.

Величину показателя m_1 легко определить графически, если применить метод выпрямления экспериментальных кривых путем логарифмирования функции. Если на координатных осях откладывать не абсолютные числовые значения V и T , а их логарифмы, то получим уравнение прямой: $\lg T = \lg C_1 - m_1 \lg V$, тангенс угла наклона которой к оси $\lg V$ и есть искомый показатель степени m_1 (Рисунок 1.40): $m_1 = \text{tg} \psi = a/b$.

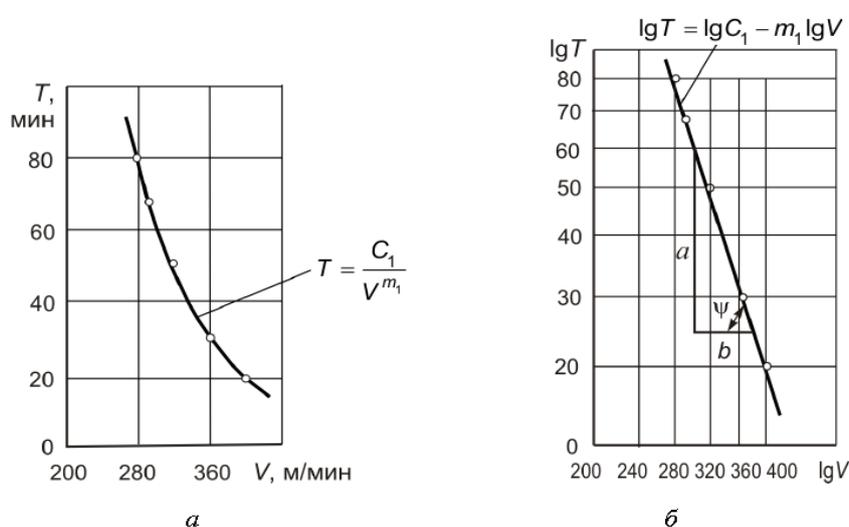


Рисунок 1.40 – Зависимость между скоростью резания и периодом стойкости:

а - в простых координатах; б - в логарифмических координатах (сталь 45, $R_m = 450$ МПа, Т15К6, $t = 2$ мм, $S = 0,4$ мм/об)

С физической точки зрения показатель степени m_1 характеризует «чувствительность» инструментального материала к изменению скорости резания при различных видах обработки: чем он меньше, тем в меньшей степени будет уменьшаться стойкость инструмента с увеличением скорости резания и наоборот. Показатель m_1 определяется опытным путем и зависит от обрабатываемого и инструментального материала, толщины срезаемого слоя, вида и условий обработки. Чем ниже износостойкость материала режущей части инструмента и тяжелее условия резания, вызывающие повышение тепловыделения и температуры, тем больше величина m_1 . Для проходных, подрезных и расточных резцов из быстрорежущей стали при обработке стальных заготовок с охлаждением $m_1 =$

8; для инструментов, оснащенных пластинками из твердых сплавов, в зависимости от вида обработки $m_1 = 3,3 \dots 8$. Экспериментально установлено, что при точении большинства обрабатываемых материалов инструментами из твердых сплавов $m_1 \approx 5$.

На участке $V_0 - V_1$, где интенсивность относительного (в основном – адгезионного) износа примерно постоянна (рисунок 1.41), период стойкости T должен уменьшаться.

При $V > V_1$ происходит размягчение зерен твердого сплава и точек адгезионного схватывания, увеличение циклической прочности и уменьшение относительного (адгезионного) износа. Поэтому T увеличивается.

При скоростях $V > V_2$ возрастает интенсивность диффузионных и окислительных процессов, интенсивность износа увеличивается и стойкость падает.

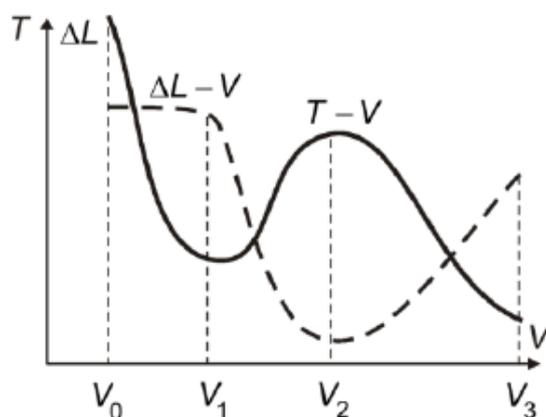


Рисунок 1.41 – Взаимосвязь между интенсивностью износа и стойкостью инструмента

Используя аналогичную методику стойкостных экспериментов, получают зависимости стойкости от подачи и глубины резания, аппроксимируемые степенными формулами вида:

$$T = \frac{C_2}{t^p}, \quad (1.23)$$

и

$$T = \frac{C_3}{s^q}. \quad (1.24)$$

Эти частные формулы могут быть объединены в одну общую, включающую все три параметра режима резания:

$$T = \frac{C_4}{V^{m_1} S q t^p}. \quad (1.25)$$

В производственных условиях чаще приходится решать задачу определения одного из составляющих режима резания для обеспечения заданного периода стойкости. Учитывая степень влияния режимных параметров, наиболее целесообразно определять скорость резания.

$$V = \frac{C_V}{T^{m_2} S^{\gamma_V} t^{x_V}}. \quad (1.25)$$

Методические материалы

Видеоматериал:

- [Обработка резцами](#)

Презентация:

- [1.9 Стойкость инструмента и скорость резания, допускаемая его режущими свойствами](#)

Вопросы

1. Критерии износа режущих инструментов.
2. Стойкость инструментов и ее зависимость от скорости резания, элементов сечения среза и других факторов.
3. Вывод формулы для определения скорости резания при обработке резцами.

1.10 Определение режимов резания

К элементам режимов резания относят глубину резания, подачу, скорость и силу резания, необходимые для выполнения рабочего перехода технологической операции механической обработки детали.

Назначение режимов резания может быть выполнено двумя способами: – *расчётно-аналитическим*, при котором режимы резания подсчитывают по эмпирическим (полученным опытным путём) формулам теории резания; – *статистическим*, при котором режимы резания назначают по справочным таблицам общемашиностроительных нормативов режимов резания. Независимо от выбранного способа, параметры режимов резания назначают таким образом, чтобы достичь наибольшей производительности труда при наименьшей себестоимости данной технологической операции. Эти условия удаётся выполнить при работе

инструментом рациональной конструкции, с экономически целесообразной геометрией его режущей части, с максимальным использованием всех эксплуатационных возможностей станка.

Элементы режимов резания

Основными элементами режимов резания металлов являются глубина резания f , подача s и скорость резания v .

Глубина резания определяется расстоянием между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренным по перпендикуляру к последней.

Подачей называют перемещение инструмента (заготовки) за один оборот (рабочий ход) заготовки (инструмента).

Скорость резания отношение перемещения режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой поверхности к времени обработки.

При расчёте или выборе режимов резания учитывают также расчётные размеры (длину L обработки, диаметр D или ширину B обрабатываемой поверхности), приводят частоту вращения шпинделя станка (или заготовки), определяют основное технологическое время t_0 . Важным элементом является припуск Z на механическую обработку, по которому по принятой глубине резания f рассчитывается число рабочих ходов i . При необходимости определяют составляющие усилия резания, мощность резания и другие параметры [5].

Режимы резания могут быть определены расчётным путём или взяты из нормативных документов. В зависимости от вида обработки, заготовки, материала выбирают режущий инструмент с требуемой характеристикой, глубину резания f и подачу s . По заданному периоду стойкости Γ инструмента, по значениям f и s определяют скорость резания v , а следовательно, частоту вращения n обрабатываемой заготовки или режущего инструмента.

Для различных схем обработки деталей на различных металлорежущих станках приняты некоторые условные обозначения:

D – диаметр обрабатываемой (обработанной) поверхности или режущего инструмента, мм;

l – длина обрабатываемой поверхности, мм;

L_2 – длина врезания (перебега) режущего инструмента, мм;

L – расчётная длина обработки, мм;

i – число рабочих ходов инструмента;

Z – односторонний припуск на обработку, мм;

z – число зубьев фрезы;

f – глубина резания за один рабочий ход, мм; v – скорость резания, м/мин;

n – частота вращения шпинделя, об/мин;

n – число двойных ходов в минуту, дв.ход/мин;

$S_{пб}$ – подача (продольная) за оборот шпинделя (заготовки), мм/об; v — вертикальная подача;

$S_{п}$ – поперечная подача;

S_m – минутная подача, мм/мин;

S_z – подача на зуб, мм/зуб;

a – толщина среза, мм;

b – ширина среза, мм;

ϕ – главный угол в плане режущей части инструмента, ...⁰;

T – период стойкости режущего инструмента, мин;

30 – основное (технологическое) время на операцию, мин.

При назначении режимов обработки материал режущей части инструмента выбирают в зависимости от особенностей механической обработки, обрабатываемого материала и вида заготовки. Достижимые точность и шероховатость, получаемые на различных операциях, позволяют оценивать их возможности.

Назначение режимов резания

Расчёт (выбор) режимов резания производят по таблицам или расчётом в соответствии с существующими нормативами режимов резания или отраслевыми (фирменными) нормативными документами. При назначении режимов резания расчётным путём необходимо помнить, что применяемые формулы, как правило, являются *эмпирическими*, то есть, получены экспериментальным путём. Эмпирические формулы справедливы только для тех условий, в которых проводился эксперимент, поэтому точные результаты по ним можно получить лишь при соблюдении заданных границ значений параметров. При назначении режимов резания придерживаются алгоритма, показанного в таблице 1.1.

Анализ условия производства и исходных данных

По чертежу детали устанавливают её форму, точность размеров и шероховатость её отдельных поверхностей, жёсткость, материал, а также твёрдость и другие свойства обрабатываемого материала. По технологической документации определяют характер поверхностей, размеры и способ получения заготовки, припуски на механическую обработку. В ряде случаев выясняют назначение и особенности детали, особые требования к её обработке, как правило, отражённые в технических требованиях рабочего чертежа. Важным фактором является информация об объёме производства (общее количество деталей). На данную операцию технологического процесса выполняют (уточняют) операционный эскиз и оборудование. По техническому описанию (паспорту) уточняют параметры

станка и, если известно, на каком конкретном станке будет проводиться обработка, оценивают его фактическое состояние и жёсткость технологической системы СПИД – станок - приспособление - инструмент - деталь[5].

Выбор инструмента и режимов резания по нормативам выполняют в соответствии с основным размерным параметром станка D_c (наибольшим возможным диаметром обрабатываемой заготовки), который является усреднённым комплексным показателем жёсткости и виброустойчивости технологической системы. На токарных станках жёсткость определяют диаметром заготовки D_z или отношением D_z/D_c , а на карусельных станках—вылетом ползуна L_p . От параметров D_c и L_p зависит группа жёсткости технологической системы.

Таблица 1.1 – Алгоритмы назначения режимов резания

Анализ условий производства и исходных данных
<ol style="list-style-type: none"> 1. Форма, размеры детали и требования к ней 2. Группа операций. Группа жёсткости технологической системы, группа обрабатываемых материалов 3. Точность заготовки и детали. Стадии обработки 4. Минимальные по точности и максимальные по виброустойчивости глубины резания 5. Уровень надёжности инструмента. Требования к периоду стойкости T. 6. Смазывающе-охлаждающие жидкости (СОЖ) 7. Требования по производительности, затратам, расходу инструмента, имеющемуся оборудованию 8. Уточнение параметров станка, оценка его физического состояния и жёсткости
Выбор режущего инструмента
<ol style="list-style-type: none"> 1. Материал режущей части пластины. 2. Вид инструмента. 3. Тип конструкции инструмента и его размеры. 4. Форма передней поверхности и геометрические параметры режущей части.
Расчёт и выбор режимов резания
<ol style="list-style-type: none"> 1. Глубина резания по проверке виброустойчивости (для черновой обработки). 2. Подача по прочности инструмента (для черновой обработки) 3. Подача по заданной точности размеров и шероховатости поверхности по проверке прочности инструмента (для чистовой обработки) 4. Скорость резания по стойкости инструмента 5. Скорость резания по эргономическим соображениям. 6. Осевые и окружные усилия резания по отношению к возможностям станка и условиям обработки.

7. Мощность резания по отношению к эффективной мощности главного привода станка
8. Частота вращения по выбранной скорости резания. Уточнение по техническому описанию станка
9. Частота вращения при заданной массе детали (для тяжёлых станков и массивных деталей)
10. Крутящий момент по отношению к допустимому моменту для привода станка.
11. Основное технологическое время
12. Производительность по сравнению с заданной

Определение расхода режущего инструмента

1. Период стойкости инструмента, число периодов стойкости и полный период стойкости
2. Период стойкости инструмента в сравнении с основным технологическим временем.
3. Расход режущего инструмента
4. Расход режущего инструмента в сравнении с нормой его расхода (лимитом на инструмент)

Карты общемашиностроительных нормативов и эмпирические формулы режимов резания рассчитаны на среднюю жёсткость технологической системы универсальных станков с ручным управлением. Если известно, что выбранный станок по своим конструктивным параметрам или по своему состоянию имеет пониженную жёсткость, то выбирают станок с меньшим значением D_c . При повышенной жёсткости станка выбирают станок с большим значением D_c .

После общего анализа детали на технологичность основой для назначения режимов резания является анализ операционного эскиза на данную операцию

По операционному эскизу и техническим требованиям устанавливают необходимую точность размеров отдельных поверхностей детали и значения параметров шероховатости. В зависимости от качества точности заготовки и детали устанавливают технологический маршрут – стадии обработки, определяемые как отдельные переходы.

Затем выбирают минимально необходимую глубину резания t_{min} , учитывая при этом [шероховатость поверхности](#) и толщину дефектного слоя на предшествующем технологическом переходе или рабочем ходе, а также допуск на предшествующем и выполняемом рабочих ходах. Обычно это делается на отделочной, чистовой или получистовой обработке. Далее определяют часть припуска, оставшуюся на черновую механическую обработку детали.

После этого проверяют, не превышает ли часть припуска на черновую обработку глубину резания t_{max} , максимально допустимую по виброустойчивости

технологической системы. Если у казанная часть припуска больше, её делят в соотношении примерно 0,7 и 0,3(0,7—на первый рабочий ход, чтобы вершина инструмента по возможности оставалась в металле). В некоторых случаях (чаще всего у перетачиваемых пластин) проверяют глубину резания, чтобы она не была больше глубины, обусловленной длиной главной режущей кромки.

Уточняют требования к периоду стойкости – важному показателю надёжности режущего инструмента. Использование средних периодов стойкости в нормативах в качестве основных является экономически выгодным (соответствует наименьшим затратам) при работе на средних станках и эргономически нецелесообразным (обуславливается психофизиологическими возможностями рабочего) при работе на тяжёлых станках. При последующих расчётах найденные значения стойкости могут измениться в связи с внесением поправочных коэффициентов на подачу и скорость резания, учитывающих особые требования производства к производительности или расходу режущего инструмента, а также в связи с учётом различных ограничений, связанных, например, с кинематическими или динамическими свойствами металлорежущего станка.

В завершении действий первого этапа (рисунок 1.45) выбирают СОЖ.

Выбор режущего инструмента

Выбор материала режущего инструмента осуществляется по различным таблицам, рекомендующим данный материал, в первую очередь, в зависимости от материала обрабатываемой детали и его состояния. Далее учитывают выполняемую операцию, характер припуска и поверхности заготовки, глубину резания. При высокой жёсткости технологической системы или необходимости уменьшения подачи и, соответственно, роста скорости резания, целесообразно использовать для режущей части инструмента материалы повышенной износостойкости. При пониженной жёсткости технологической системы, необходимости повышения подачи и надёжности инструмента целесообразно выбирать инструментальные материалы повышенной прочности.

В зависимости от решаемых технологических задач выбирают вид резца в плане, форму пластины в плане, учитывают необходимые углы φ и φ_1 . Если целесообразно использование одного и того же инструмента на нескольких переходах, то его выбирают по наиболее трудоёмкому технологическому переходу, но следят, чтобы он был допустимым по остальным переходам.

Режущий инструмент с механическим креплением пластин обычно имеет производительность, в среднем на 15% большую, чем инструмент с напаянными пластинами. Инструмент с механическим креплением пластин может быть ис-

пользован при меньшей подаче, но во всех случаях при большей скорости резания, что обеспечивает рост производительности труда. При высоком качестве изготовления сборный режущий инструмент обеспечивает меньшее рассеяние стойкости, поэтому его применение предпочтительно при работе на автоматизированных станках. Если необходимо обеспечить высокую надёжность режущего инструмента, рост производительности процесса резания для инструмента с механическим креплением пластин достигает 25 %.

При разработке технологического процесса выбор режущего инструмента определяется, прежде всего, экономической эффективностью принятого решения. В общем случае надо стремиться выбирать стандартный режущий инструмент. Использование специального, комбинированного, фасонного инструмента, позволяющего совмещать обработку нескольких поверхностей и этим сокращать основное время, должно быть экономически обосновано.

Назначение подачи и скорости резания

Назначение (выбор и расчёт) этих величин начинается с уточнения глубины резания, определяемой припуском на механическую обработку.

Определение подачи при черновой обработке. Подачу при черновой обработке, экономически целесообразной по прочности режущей части инструмента, выбирают в зависимости от факторов, влияющих на такие параметры, как:

прочность режущей части (материал инструмента, форма и размеры режущей пластины, тип конструкции инструмента ит.п.);

прочность технологической системы (размеры станка и инструмента);

средняя нагрузка (сила резания и напряжения в инструменте, зависящие от свойств обрабатываемого материала, глубины резания и других причин).

Определение подачи при чистовой обработке. Подачу при чистовой обработке выбирают в зависимости от требуемой точности размеров и шероховатости поверхностей детали. Из двух возможных подач выбирают наименьшую. Для режущих инструментов, оснащённых пластинами из твёрдого сплава, проводят проверку условий, при которых выбранное значение не превышает подачу, рекомендованную по прочности режущей части. Назначенные подачи (найденные по таблицам общемашиностроительных нормативов или подсчитанные по формулам) корректируют с помощью поправочных коэффициентов на подачу, связанных с обрабатываемым материалом и видом обработки.

Назначение скорости резания. Скорость резания определяют (для принятого материала инструмента и заданного материала детали) в зависимости от глубины резания и подачи с учётом поправочных коэффициентов. При этом должна быть принята во внимание заданная стойкость режущего инструмента.

При чистовой обработке, а также обработке цветных сплавов, необходимо установить, что скорость резания не превышает скорость, допустимую с учётом требований эргономики (психофизиологических возможностей рабочего).

Определение осевых и окружных сил резания

После выбора или расчёта скорости резания определяют осевую и окружную (тангенциальную) составляющие силы резания. По известной глубине резания, подаче и скорости при обработке деталей с большими сечениями среза проверяют соблюдение следующего условия: суммарные значения осевых P и окружных P , составляющих силы резания не должны превышать предельные значения этих составляющих, допустимых для станка. Значения сил резания могут быть подсчитаны по эмпирическим формулам, а максимально допустимые силы для станка определяют по его паспорту. Если расчётные значения сил превышают паспортные данные, то уменьшают подачу, или изменяют скорость резания, или изменяют и то, и другое. После внесения всех поправок уточняют подачу и скорость резания (частоту вращения шпинделя) по паспорту станка.

Определение мощности резания и крутящего момента

Мощность резания N не должна превышать эффективную мощность N_e , главного привода станка, а крутящий момент – обеспечиваемого станком крутящего момента. Если $N \gg N_e$, уменьшают скорость резания. После расчёта частоты вращения шпинделя по данным детали и скорости резания находят ближайшие значения частоты вращения по паспорту станка, причём для тяжёлых станков n не должно превышать максимального значения, допускаемого конструкцией станка для соответствующей массы детали и выбранного способа её закрепления на станке. Когда подсчитанное значение частоты вращения больше паспортных данных станка, частоту и скорость резания уменьшают.

При обработке поверхностей достаточно большого диаметра и при больших сечениях среза проверяют, не превышает ли крутящий момент максимально допустимого значения, соответствующего паспортным данным станка. Если крутящий момент больше максимально допустимого значения, то уменьшают скорость резания и, соответственно, частоту вращения шпинделя (детали).

Основное, вспомогательное и штучное время

После назначения режимов резания находят длину рабочего хода, несколько дополнительных размеров (длину подвода инструмента, врезания и перебега) и основное технологическое время t_0 .

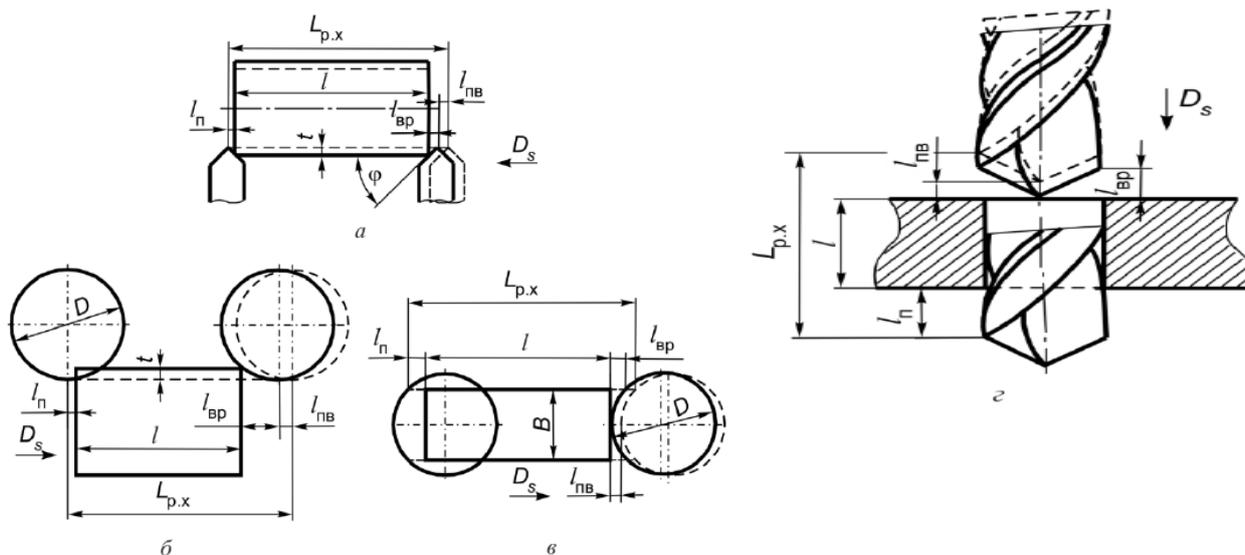


Рисунок 1.42 – Схемы для определения рабочего хода инструмента при точении (а), фрезеровании (б, в) и сверлении (з)

Методические материалы

Видеоматериал:

– [Точение](#)

Презентация:

– [1.10 Режимы резания таблица](#)

Вопросы

1. Методика расчета режимов резания при точении аналитическим и табличным методами.
2. Методика расчета режимов резания при строгании и долблении.

ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Лабораторная работа № 1

ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ

Цель работы - ознакомиться с основными типами, назначением и элементами токарных резцов, научиться пользоваться приборами для измерения геометрических параметров резцов.

Основные положения

Обработка металлов резанием - это процесс снятия режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла для получения необходимой геометрической формы, точности размеров и шероховатости поверхности детали.

В процессе обработки на заготовке различают: обрабатываемую поверхность, с которой срезается слой металла; обработанную поверхность, с которой слой металла срезан и превращён в стружку; поверхность резания, образованную главной режущей кромкой инструмента и являющуюся переходной между обрабатываемой и обработанной поверхностями (рис.1.1).

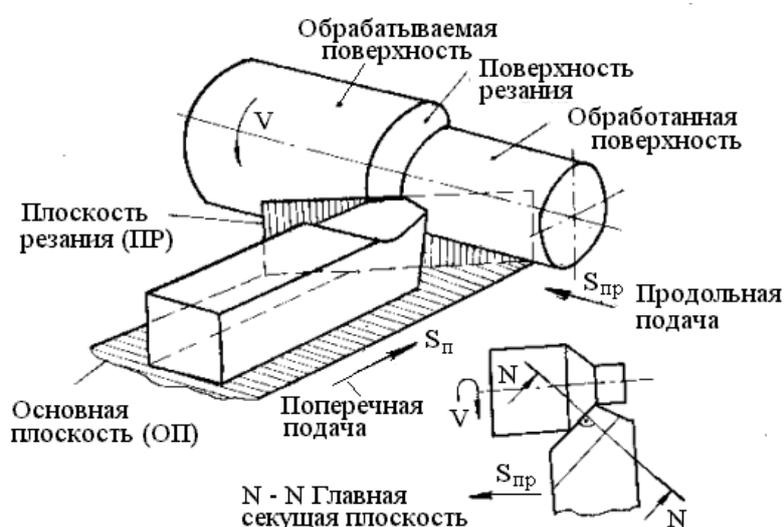


Рис. 1.1 – Поверхности и координатные плоскости

Классификация резцов:

- по роду работы – токарные, строгальные, долбежные;
- по виду обработки – проходные, подрезные, отрезные, прорезные, расточные, резьбонарезные, фасонные.
- по направлению подачи – правые и левые;
- по форме головки – прямые, отогнутые, изогнутые, оттянутые;
- по форме режущего лезвия – с прямолинейным и криволинейным лезвием;
- по способу крепления режущей части – цельные, с напаянной пластинкой (составные), сборные с механическим креплением пластинки;
- по роду материала режущей части – с пластинками из быстрорежущей стали, твердого сплава, минералокерамики, алмазные;
- по сечению державки – квадратные, прямоугольные, круглые;
- по установке относительно детали – радиальные, тангенциальные;

При работе на токарных станках наиболее часто используют проходные прямые, проходные отогнутые, проходные упорные и отрезные резцы (рис. 2).

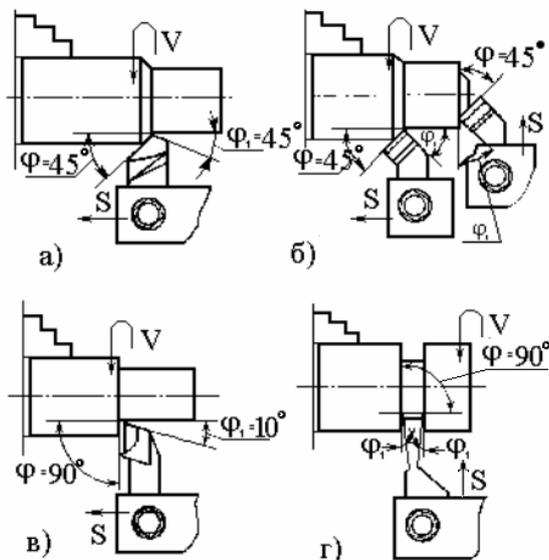


Рис. 1.2 – Основные типы токарных резцов:

- а - проходной прямой; б - проходной отогнутый; в - проходной упорный;
г – отрезной

Проходные прямые резцы предназначены для обработки наружных поверхностей с продольной подачей (рис. 1.2, а).

Проходной отогнутый резец наряду с обтачиванием с продольной подачей может применяться для подрезания торцов с поперечной подачей (рис. 2, б).

Проходной упорный резец применяется для наружного обтачивания с подрезкой уступа под углом 90° к оси (рис. 1.2, в).

Отрезной резец предназначен для отрезания частей заготовок и протачивания кольцевых канавок (рис. 1.2, г).

Токарный резец состоит из стержня, служащего для закрепления его в резцедержателе станка, и головки резца (рис. 1.3).

Различают следующие элементы режущей части резца: **передняя поверхность**, по которой сходит стружка. **Главная задняя поверхность**, обращенная к поверхности резания заготовки. **Вспомогательная задняя поверхность**, обращенная к обработанной поверхности заготовки. **Главная режущая кромка** – линия пересечения передней и главной задней поверхностей. **Вспомогательная режущая кромка** – линия пересечения передней и вспомогательной задней поверхностей. **Вершина резца** – точка пересечения главной и вспомогательной режущих кромок. Для увеличения износостойкости резца и повышения чистоты

обработанной поверхности вершину иногда закругляют или срезают прямолинейной переходной кромкой.



Рис. 1.3 – Элементы токарного резца.

Для выполнения работы резания рабочей части резца необходимо придать форму клина. С этой целью резец затачивают по передней и задней поверхностям. Для определения углов, под которыми располагаются относительно друг друга поверхности рабочей части инструмента, вводят координатные плоскости (рис.1.1).

Основная плоскость (ОП) – плоскость, параллельная направлениям продольной и поперечной подачи. У токарных резцов за основную плоскость принимают нижнюю опорную поверхность резца.

Плоскость резания (ПР) – плоскость, проходящая через главную режущую кромку резца касательно к поверхности резания заготовки.

Главная секущая плоскость (N - N) – плоскость, перпендикулярная к проекции главной режущей кромки на основную плоскость.

Все три плоскости взаимно перпендикулярны.

В главной секущей плоскости измеряют: главный передний угол γ , главный задний угол α , угол заострения β и угол резания δ (рис.1.4).

Главный передний угол γ образован плоскостью перпендикулярной плоскости резания и передней поверхностью.

Главный задний угол α – плоскостью резания и главной задней поверхностью.

Угол заострения β – передней и главной задней поверхностями $\beta = 90^\circ - (\alpha + \gamma)$. Угол резания δ образован плоскостью резания и передней поверхностью $\delta = 90^\circ - \gamma$.

В основной плоскости измеряют: главный угол в плане φ , вспомогательный угол в плане φ_1 и угол при вершине ε (рис.1.4).

Главный угол в плане φ образован проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи.

Вспомогательный угол в плане φ_1 – проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением обратным подаче.

Угол при вершине ε – угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость: $\varepsilon = 180^\circ - (\varphi + \varphi_1)$. В плоскости резания измеряется угол наклона главной режущей кромки λ – угол между главной режущей кромкой и плоскостью параллельной основной.

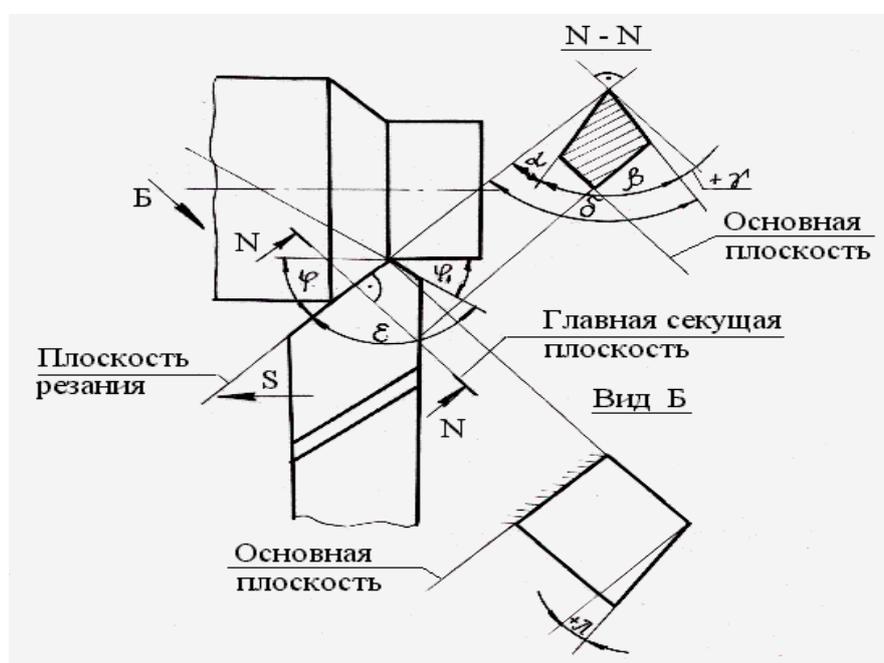


Рис. 1.4 – Углы проходного резца

Углы резца имеют следующее основное назначение:

1. **Главный передний угол γ** оказывает большое влияние на процесс резания материала. С увеличением угла γ уменьшается деформация срезаемого слоя, так как инструмент легче врезается в материал, понижается сила резания и расход мощности при одновременном улучшении условий схода стружки и повышения качества обработанной поверхности заготовки. Однако чрезмерное увеличение угла γ ведёт к понижению прочности режущего инструмента. На практике величину угла γ берут в зависимости от твердости и прочности обрабатываемого и инструментального материалов. При обработке хрупких и твёрдых материалов для повышения прочности и увеличения стойкости (времени работы

инструмента до переточки) следует назначать углы $\gamma = -(5 - 10)^\circ$, при обработке мягких и вязких материалов передний угол $\gamma = +(10 - 25)^\circ$.

2. **Угол α** способствует уменьшению трения между обрабатываемой поверхностью заготовки и главной задней поверхностью резца. Величина его назначается в пределах от 6° до 12° .

3. **Угол ϕ** влияет на шероховатость обработанной поверхности заготовки: с уменьшением угла ϕ шероховатость уменьшается, однако при малых значениях угла ϕ возможно возникновение вибраций в процессе резания, что снижает качество обработки.

4. **С уменьшением угла ϕ_1** шероховатость обработанной поверхности уменьшается, одновременно увеличивается прочность и снижается износ вершины резца.

5. **Угол наклона главной режущей кромки λ** может быть положительным, отрицательным и равным нулю (рис.1.5), что влияет на направление схода стружки. Если вершина резца является высшей точкой главной режущей кромки, то λ отрицателен и стружка сходит в направлении подачи. Если главная режущая кромка параллельна основной плоскости, то $\lambda = 0$ и стружка сходит по оси резца. Если вершина резца является низшей точкой главной режущей кромки, то λ положителен и стружка сходит в направлении обратной подачи. При обработке заготовок на токарных автоматах стружку необходимо отводить так, чтобы она не мешала работе инструментов на соседних позициях.

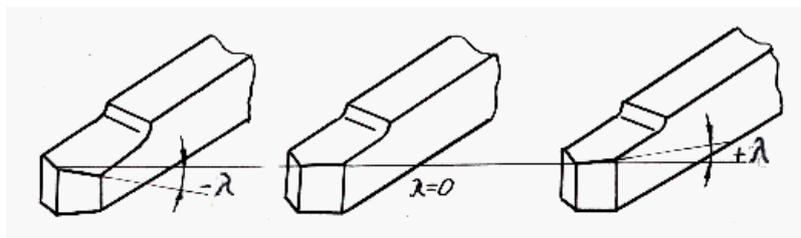


Рис. 1.5 – Углы наклона главной режущей кромки.

Геометрические параметры токарных резцов зависят от свойств обрабатываемого материала, марки материала режущего инструмента и условий резания.

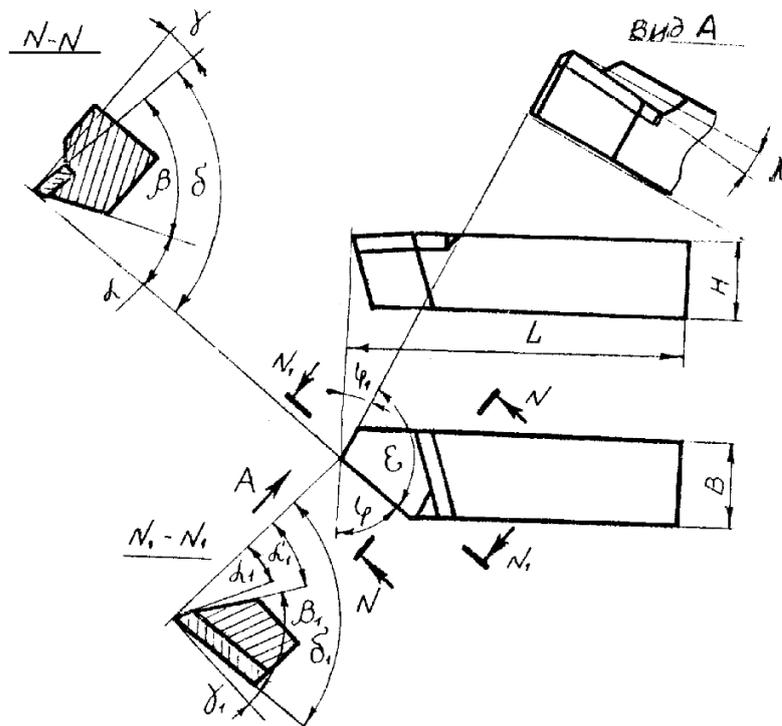


Рис. 1.2. Чертеж резца

Рис. 1.6 – Чертеж резца.

В качестве материала для режущего инструмента наиболее часто используют спечённые твёрдые сплавы, состоящие из карбидов вольфрама (WC), титана (TiC), тантала (TaC), связанных кобальтом, и которые подразделяются на вольфрамовые (BK3, BK6, BK8, BK2), титановольфрамовые (Т30К4, Т15К6, Т5К10), титано-тантало-вольфрамовые (ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ20К9). В марках первые буквы обозначают группу, к которой относится сплав; цифры в вольфрамовой группе – количество (процентный объём) кобальта, а остальное карбид вольфрама; первые цифры в титановольфрамовой группе – количество карбида титана, вторые – количество кобальта, а остальное карбид вольфрама. Первые цифры в титано-тантало-вольфрамовой группе – суммарное процентное количество карбидов титана и тантала, вторые – количество кобальта, а остальное карбид вольфрама.

Твёрдые сплавы используют в виде пластинок определённой формы и размеров, которые получают путём прессования порошков карбидов и кобальта в изделия необходимой формы и последующего спекания при 1250 – 1450 °С в атмосфере водорода или в вакууме. Твёрдосплавные пластинки припаивают к стержням резцов медными или латунными припоями или крепят механическим

способом. Марку материала твердосплавной пластинки вместе с товарным знаком завода-изготовителя клеймят на боковой поверхности стержня.

Теплостойкость твёрдых сплавов 800 – 1000 °С.

Карбиды вольфрама и титана обеспечивают сплавам высокую твёрдость, теплостойкость и износостойкость, а добавка тантала увеличивает усталостную прочность, снижает склонность к трещинообразованию при циклических изменениях температуры; кобальт обеспечивает сплавам необходимую прочность и связывает порошки карбидов.

Инструментами из сплавов группы ВК обрабатывают чугуны, цветные металлы, пластмассы, а также весьма прочные закалённые стали.

Сплавы ТК имеют высокую износостойкость и теплостойкость и поэтому их применяют для обработки сталей, дающих сливную стружку.

Трёхкарбидные сплавы применяют при тяжёлых условиях резания, например, строгании сталей с большими сечениями срезаемого слоя металла, а также чистовой и получистовой обработке жаропрочных сталей.

Методика измерения углов

Углы резца измеряют с помощью универсального настольного угломера, состоящего из основания, в котором закреплена вертикальная стойка с измерительным устройством. При настройке угломера измерительное устройство перемещают по вертикальной стойке и в нужном положении фиксируют стопорным винтом.

Для измерения главного переднего угла γ планку угольника **б** поворачивают до соприкосновения с передней поверхностью резца. При этом риска на указателе покажет значение угла (рис.1.6).

При измерении главного заднего угла α пользуются вертикальной планкой угольника **а**, которой касаются главной задней поверхности резца.

Необходимо помнить, что главные углы резца α и γ измеряют в плоскости нормальной к проекции главной режущей кромки на основную плоскость. Полученные значения заносят в таблицу 1.

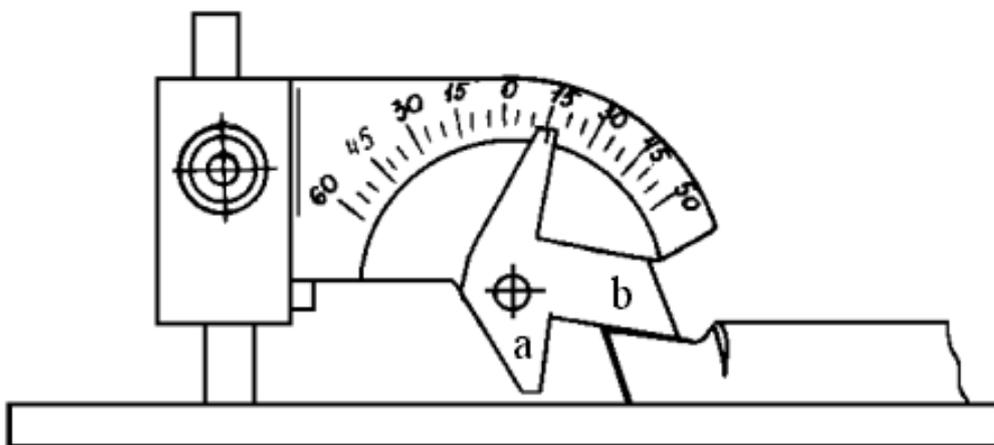


Рис. 1.7 – Схема измерения углов в главной секущей плоскости.

Перед измерением углов в плане φ и φ_1 измерительное устройство поворачивают на 180° и снова фиксируют (рис.1.7). При измерении главного угла в плане φ резец прижимают к упору стола, а поворотную планку разворачивают до соприкосновения с главной режущей кромкой. Тогда указатель покажет значение угла φ .

Аналогично измеряют вспомогательный угол в плане φ_1 , только в этом случае поворотную планку разворачивают до соприкосновения со вспомогательной режущей кромкой.

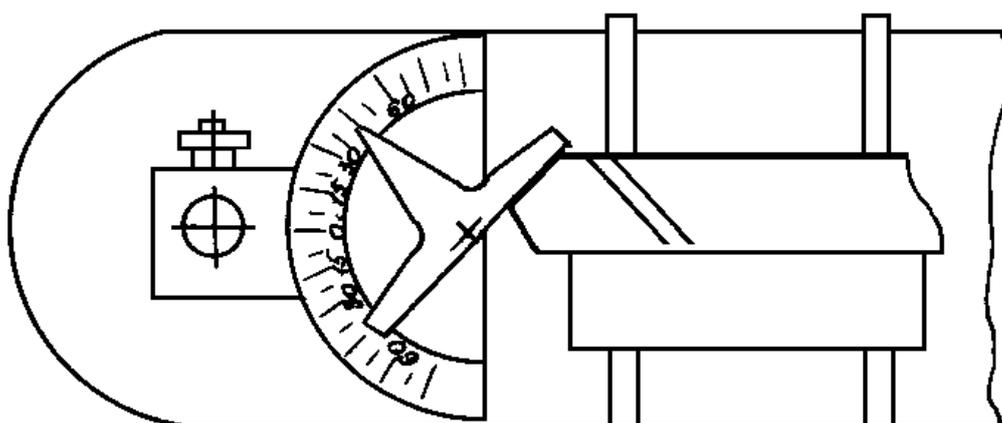


Рис. 1.8 – Схема измерения углов в основной плоскости.

Для определения величины угла λ , регулируя положение измерительного устройства по высоте, горизонтальную планку приводят в соприкосновение с главной режущей кромкой без зазора (рис.1.8).

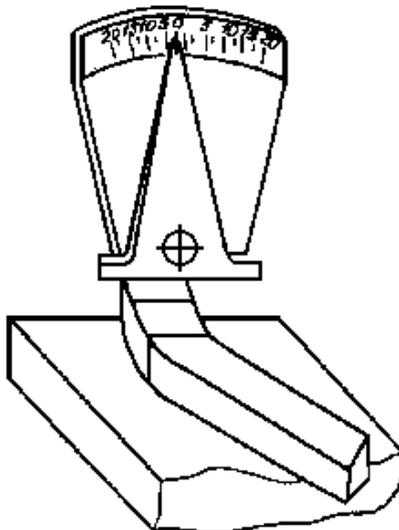


Рис. 1.9 – Схема измерения угла λ

Отчет о выполненной работе должен содержать:

Название работы и ее цель;

Краткое описание применяемых измерительных инструментов и приборов;

Чертеж резца;

Сводную таблицу с указанием в ней численных значений измеренных величин;

Таблица 1.1

Тип	Марка материала режущей части	Размеры державки			Углы резца в градусах						
		Высота, Н	Ширина, В	Длина, L	Передний, g	Задний, а	δ	в плане			
								Главный, φ	Вспомогательный, j	При вершине, ϵ	

Схему резания;

Выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое обработка металлов резанием?
2. Какие поверхности различают на обрабатываемой заготовке?
3. Назовите основные типы токарных резцов.
4. Перечислите поверхности на режущей части резца.
5. Для чего вводятся координатные плоскости и как они располагаются?
6. Какие углы измеряются в основной плоскости?
7. Какой угол измеряется в плоскости резания?
8. Какие углы измеряются в главной секущей плоскости?
9. На что влияет и от чего зависит величина углов в главной секущей плоскости?
10. На что влияет правильный подбор геометрических параметров резца?
11. Расшифровка заданных марок инструментальных материалов их краткая характеристика и область применения.

Марки сплавов

В1. У7, 9ХВГ, М6Ф1, Р18, ВК3, Т30К4, ТТ7К12, ТН-20, ЦМ-332

В2. У9А, Х12М, М6Ф3, Р6М5, ВК6, Т15К6, ТТ8К6, ТН-30, ВШ-75

В3. У12, 5Х2МНФ, М5Ф1С, Р6М5Ф3, ВК8, Т14К8, ТТ10К8Б, ТН-40, ЦН-304 У8ГА

В4. ХЗВМФ, М5Ф1С4, Р18К5Ф2, ВК10, Т5К10, ТТ20К9, КТН-16, ВШ-75

В5. У9, ХВСГФ, М6Ф1С2, Р9К5, ВК15, Т5К12, ТТ8К7, ТН-25, ВОК-60

В6. У7А, 4Х5В2ФС, М6Ф1С, Р12, ВК20, Т30К4, ТТ7К12, ТН-20, В-3

В7. У10, 9Х5В2Ф, М6Ф1, Р6М5, ВК3-М, Т15К6, Т8К6, ТН-30, ЦМ-332

В8. У12А, 8Х6НФТ, М6Ф3, Р2АМ9К5, ВК6-М, Т14К8, ТТ10К8Б, ТН-40, ВОК-60

В9. У7, 9Г2Ф, М5Ф1С, Р6М5, ВК6-ОМ, Т5К10, ТТ20К9, КТН-16, ЦН-30

В10. У9А, Х6ВФ, М5Ф1С4, Р6М5Ф3, ВК6-В, Т5К12, ТТ8К7, ТН-25, ВШ-75

В11. У8, 9ХС, М6Ф1С2, 11Р3АМ3Ф2, ВК8-В, Т30К4, ТТ7К12, ТН-20, ВОК-60

Лабораторная работа № 2

НАЗНАЧЕНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ МНОГОПЕРЕХОДНОЙ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ ЕДИНИЧНЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

Цель работы – рассчитать режимы резания при токарной обработке с учетом анализа условий и требований к заготовке и исходных технологических данных, с последующим уточнением частот вращения шпинделя по паспортным данным станка и расчета действительных скоростей резания. Определить полный период стойкости и расход инструмента на партию заготовок.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 1 и на рисунках 1а, 1б, и 1в.

Таблица 2.1 Исходные данные

№ варианта	заготовка										деталь							Количество штук	
	1. размеры						Материал	Форма (рисунок 1)	Способ получения	Квалитет, IT	изменяемый размер					шероховатость	Квалитет, IT		
	D ₁ , мм	L ₁ , мм	D ₂ , мм	L ₂ , мм	d ₁ , мм	l ₁ , мм					D ₁ , мм	L ₁ , мм	D ₂ , мм	L ₂ , мм	d ₁ , мм				l ₁ , мм
1	100	60	50	35			40X	Вал	Прокат	17	88						6,3 3,2	12 10	1200
2	65	80	40	50			Ст 45	Вал	Прокат	15		72					6,3 3,2	12 10	1400
3	170	30	100	30	70	20	20X	Фланец	Штамповка	16					76		6,3 3,2	12 10	1500
4	180	35	106	30	80	25	30X	Фланец	Штамповка	16						20	6,3 3,2	12 10	1200
5	200	40	120	35	85	30	КЧ35-10	Фланец	Отливка	17					92		6,3 3,2	12 10	1600
6	200	40	120	35	85	30	СЧ25	Фланец	Отливка	15						26	6,3 3,2	12 10	1400
7	48	40	30	35			ШХ15	Вал	Прокат	16	36						6,3 3,2	12 10	1800

Анализ исходных данных и выбор технологических условий обработки

Расчет ведется по источнику [3], ссылка на который с целью сокращения записей опускается. На все остальные литературные источники ссылки даются в соответствии с представленным в конце инструкции перечнем использованной литературы. В инструкции также используются условные обозначения, принятые в [3]; в частности вместо слов “Приложение”, “Карта” соответственно используются буквы “П” “К”.

1.1. Определение механических характеристик обрабатываемого материала

По названию обрабатываемого материала в П1 (стр. 150-160) найти и записать: номер группы материалов и ее название; номер подгруппы и ее название, название разновидности материала в подгруппе; состояние поставки и механические характеристики материала – твердость по Бринеллю НВ или (при отсутствии данных по твердости) предел прочности при растяжении (временное сопротивление) σ_B .

1.2. Назначение вида СОЖ

Производится по К6 в зависимости от группы материалов, в которую входит обрабатываемый материал.

1.3. Определение вида токарной обработки

По изменяемому размеру детали определить и записать вид токарной обработки. Например, если изменяемым является наружный диаметр – то это обточка, если изменяется длина заготовки – то это подрезание торца, если изменяемым является внутренний диаметр – то это растачивание.

1.4. Назначение технологических переходов (стадий обработки)

Технологические переходы для принятого вида токарной обработки назначают по К2 (стр. 26-28) в зависимости от заданных квалитетов точности заготовки и детали.

Необходимо записать стадии обработки, а также достигаемые квалитеты точности обработки и классы шероховатости обрабатываемой поверхности после каждого технологического перехода (К2, стр. 26-28).

2. Выбор оборудования

Выбор токарного станка производится в два этапа. На первом (предварительном) этапе выбирается наименьший по габаритам токарно-винторезный

станок, у которого удовлетворяются условия $D_3 \leq D_C$ и $L_3 \leq L_C$, где D_3 , L_3 , D_C и L_C – соответственно диаметры и длины заданной (D_3 , L_3) и максимально возможной (D_C и L_C) по паспортным данным заданной модели токарного (токарно-винторезного) станка обрабатываемой заготовки. Окончательный выбор станка производится на более поздней стадии расчета (после проведения мощностных расчетов).

Технические характеристики токарных станков приведены в [2, стр.7..20], в том числе токарно-винторезных – [2, стр. 15..17].

При выборе модели ориентироваться на средние токарные станки как наиболее распространенные (на станках такого типа выполняется 70-80% всех токарных работ). Принадлежность к определённой группе станков определяется их массой (мелкие – до 500 кг, средние – от 500 до 4000 кг, крупные – свыше 4000 кг).

3. Выбор инструмента

3.1. Выбор типа резца

На основании установленного в п.1.2 вида токарной обработки назначается соответствующий ему тип режущего инструмента: при обточке — проходной резец, при подрезании — подрезной резец, при растачивании — расточной резец. При этом в зависимости от исходных данных решается вопрос о конструктивных разновидностях выбранного резца, например, проходной резец прямой или отогнутый, подрезной резец для полного подрезания торца или подрезания ступени, расточной резец для обработки сквозного или глухого отверстия.

3.2. Выбор материала режущей части

Для черновых и получистовых переходов рекомендуется применять резцы, оснащенные пластинами из твердых сплавов. Известно, что твердосплавные резцы бывают составными, т. е. с напайными пластинами, и сборными, т. е. с механическим креплением многогранных неперетачиваемых пластин (МНП).

Предпочтительнее выбирать резцы с МНП, поскольку их применение обеспечивает []:

- многократное использование державок;
- формирование геометрии пластин при её изготовлении;
- устранение переточек и пайки, что обеспечивает повышение стойкости инструмента на 20-25% по сравнению с напаянными резцами;
- сокращение времени замены инструмента;
- сокращение: затрат на инструмент в 2-3 раза;
- возможность использования покрытий.

Для чистовых переходов рекомендуется применять твердосплавные резцы, а также резцы с лезвиями из минералокерамики и сверхтвердых материалов.

Резцы с лезвиями из композита (сверхтвердые материалы) предназначены для чистовой и окончательной обработки материалов с высокими скоростями резания ($V \geq 500$ м/мин), а также материалов с большой твердостью ($HRC \geq 60$).

3.3. Выбор марки твердого сплава или вида режущей керамики

Марку твердого сплава выбирают в зависимости от обрабатываемого материала, вида стадии обработки (черновая, получистовая, чистовая), вида припуска (непрерывный, прерывистый) и глубины резания t мм. Однако расчеты режимных параметров нами еще не проводились и величины глубин резания на соответствующих стадиях обработки нам пока неизвестны. Поэтому выбор марки твердого сплава следует производить из рекомендаций К7 (стр. 34..42), в соответствии с которыми черновой стадии обработки будут соответствовать глубины резания $t=3..7$ мм, получистовой – $t=1,5..3$ мм и чистовой – $t < 1,5$ мм. Уточнение выбранных марок твердого сплава и режущей керамики будет произведено после проведения расчетов глубин резания.

Выбор марок твердого сплава может также производиться по справочнику [3, табл. 49].

3.4. Стойкость инструмента

Период стойкости инструмента T , мин выбирают по К5 (стр. 32..33) в зависимости от стадий обработки, способа закрепления пластины на головке резца, материала пластины и способа управления процессом обработки, который, в свою очередь, зависит от выбранного типа токарного (токарно-винторезного) станка: ручное (РУ) у станков обычного типа и числовое программное (ЧПУ) – у станков с ЧПУ. Для получистовой стадии обработки период стойкости резца назначают таким же, как и для черновой стадии.

3.5. Выбор углов резца в плане и формы твердосплавной пластины

У напайных твердосплавных резцов главный угол в плане φ назначается в соответствии с таблицей 8.13 [3, стр.304], а вспомогательный угол φ_1 – в соответствии с таблицей 8.14 [3, стр.305]. Угол ε определяется расчетом: $\varepsilon=180-\varphi-\varphi_1$. Форма твердосплавной пластины определяется выбранным типом токарного резца [3, таблица 8.3 стр.266-272]. У сборных твердосплавных резцов с МНП главный угол в плане φ выбирается в зависимости от вида технологического перехода по К8 (стр. 43-44) или по таблице 8.15 [3, стр. 305-307].

Чтобы сузить многовариантность выбора эскизов резцов, отмеченных знаком + в К8, полезно ориентировочно определиться с числом режущих граней и формой МНП. Величину m можно рассчитать по формуле $m=360/(\varphi+\varphi_1)$, используя рекомендуемые для напайных твердосплавных резцов значения углов φ и φ_1 .

Если в результате расчета m получается дробным, то его округляют до целого числа – большего и меньшего.

Далее по К8 выбираем те номера эскизов резца, которые соответствуют рассчитанным значениям m . Окончательный выбор формы и числа граней МНП производится при выборе конкретной конструкции резца (следующий пункт инструкции).

3.6. Выбор конструкции и габаритных размеров резца

После выбора типа резца и его возможных форм в плане (п. 3.5) конкретная конструкция инструмента выбирается по ГОСТам на резцы или на основании справочников [3, табл. 8.4, стр.275] и [2, стр.127-128]. Для сборных твердосплавных резцов с известным углом в плане φ углы ε и φ_1 определяются формой и расположением МНП.

Габаритные размеры резца, в частности, его высота H определяется размерами высоты паза резцедержателя выбранного типа токарного станка. При отсутствии в справочниках соответствующих сведений можно руководствоваться данными таблицы 1, увязывающей размеры поперечного сечения державок резца с высотой $H_{ц}$ центров средних токарных станков. Ориентировочно величину $H_{ц}$ можно принять равной $H_{ц}=D_c/2$ (D_c – наибольший диаметр обрабатываемой заготовки над станиной токарного станка).

Таблица 2.2

Установка резца	Поперечное сечение державок	Высота центров $H_{ц}$, мм			
		160	180	200	250
В 4-х резцовой головке	Прямоугольная $H \times V$	16×	20×	25×	32×
		10	12	16	
	Квадратная $H=V$	16×	20×	25×	25
		12	16	20	
		16	20	25	32

3.7. Определение толщины твердосплавной пластины

Толщину твердосплавной пластины можно ориентировочно определить по формуле $h=(0,18\div 0,25)H$, где H – высота державки резца. Значение h уточняется по справочнику [3, стр. 145..149] или (для МНП) по карте 27 (стр. 145..146, 148).

3.8. Определение положения твердосплавной пластины в державке и формы ее передней поверхности

Положение твердосплавной пластины в державке и форму ее передней поверхности определяют по К10 (стр. 48..49) в зависимости от: вида операции и стадии обработки; группы обрабатываемого материала и его твердости; типа конструкции резца.

4. Эскизирование схемы обработки заготовки

Эскиз обработки вычерчивается для промежуточного положения резца. При этом должны выдерживаться заданные размеры заготовки и габаритные размеры выбранного типа резца (с учетом принятого линейного масштаба).

5. Расчет режимных параметров

5.1. Определение общего припуска на обработку Δ , мм.

При обтачивании $\Delta = (D_3 - D)/2$, при подрезании $\Delta = L_3 - L$ и при растачивании $\Delta = (D - D_3)/2$, где D_3 и D – диаметры, а L и L_3 – длины заготовки и детали.

5.2. Определение глубин резания t (мм) на технологических переходах

Определение глубин резания t_i производится в порядке, обратном последовательности обработки, т.е. начиная с последнего, затем предпоследнего и так далее до первого технологического перехода. Глубины резания на чистовых и получистовых токарных операциях не должны быть меньше некоторой предельной величины t_{\min} , определяемой для операций обточки и растачивания в зависимости от степени точности последнего и предпоследнего переходов по К3 (стр. 28). При подрезании торца величина t_{\min} может быть также определена по К3, если в первый столбец таблицы вместо диаметра заготовки D_3 подставить ее длину L_3 .

При несовпадении табличных значений диаметра D_3 (или длины L_3) заготовки с исходными данными задачи проводится операция интерполирования. При этом в исходной формуле (1) в качестве аргумента X выступает один из параметров (D_3 или L_3) заготовки, а в качестве функции Y принимается минимально допустимая глубина резания t_{\min} . С учётом принятых выше обозначений формула (1) принимает вид:

$$t_{min} = t_{min_1} + \frac{D_3 - D_{31}}{D_{32} - D_{31}} \cdot (t_{min_2} - t_{min_1}), \quad (3)$$

и

$$t_{min} = t_{min_1} + \frac{L_3 - L_{31}}{L_{32} - L_{31}} \cdot (t_{min_2} - t_{min_1}). \quad (3a)$$

Расчёт по формулам (3) или (3a) ведётся для всех технологических переходов (кроме первого). Глубина резания на первом переходе определяется по остаточному принципу, т.е. в соответствии с формулой

$$t_1 = \Delta - \sum(t_2 + t_3 + \dots + t_z) \quad t_1 = \Delta - \sum(t_2 + t_3 + \dots + t_z). \quad (4)$$

где t_2, t_3 и t_z – соответственно глубины резания на втором, третьем и последующих (до z-ого) технологических переходах.

5.2.1 Проверка по виброустойчивости

Проводится для черновой ($t_{черн}$) и в некоторых случаях для получистовой ($t_{пч}$) операций. При этом должно выполняться условие: $t_{черн} < t_{max}$ или $t_{пч} < t_{max}$, где t_{max} рассчитывают по формуле:

$$t_{max} = t_{max_T} K_{t_{max_1}} K_{t_{max_2}} K_{t_{max_3}} K_{t_{max_4}} K_{t_{max_5}}. \quad (4a)$$

Максимальное табличное значение t_{max_T} выбирают по К4 (стр. 29..30). Поправочные коэффициенты $K_{t_{max}}$ также определяют по К4 (31..32).

Если условие не выполняется, то черновой проход необходимо разбить на $t_{черн}/t_{max}$ переходов. При дробном значении $t_{черн}/t_{max}$, его округляют до ближайшего большего целого числа. Тот же принцип используется при проверке отношения $t_{пч} < t_{max}$.

После определения глубин резания на технологических переходах возвращаемся к п. 3.3 и производим уточнение марок твердого сплава инструмента на технологических переходах с учетом рассчитанных значений глубин резания для каждого технологического перехода (К7 стр. 34-42).

5.3. Расчет оборотной подачи S, мм/об.

Во всех случаях обработки подача на оборот S рассчитывается по формуле:

$$S = S_T \cdot K_{S_0} \cdot K_{S_1} \cdot K_{S_2} \cdot \dots \cdot K_{S_n}. \quad (5)$$

где S_T – табличное значение подачи, а $K_{S_0} \dots K_{S_n}$ - поправочные коэффициенты, учитывающие нережимные параметры обработки.

Из рассмотрения карт выбора значений табличной подачи S_T при черновой и получистовой стадий обработки следует, что они зависят от трёх параметров - глубины резания t , а также диаметров обрабатываемой D_3 и наибольшей D_C заготовки, которую возможно установить над станиной предварительно выбранного токарно-винторезного станка. Из справочника [4, стр.15-16] следует, что для станков модели 16Б16А и 16Б16Т1 $D_C=320$ мм; для станков модели 16Л20, 16Л20П, 16К20, 16К20П, 16К20Ф3 - $D_C=400$ мм; для станков модели 16К25 - $D_C=500$ мм.

Если модель станка выбрана, то D_C можно рассматривать как известную величину. Для каждого диаметра D_C табличные подачи S_T даются для трёх уровней диаметров D_3 . Конкретная величина D_3 попадает в один из уровней и поэтому может рассматриваться как известная величина. Следовательно подачу можно рассматривать только как функцию глубины резания t . Здесь возможно два варианта выбора S_T : принятое t совпадает с табличным – тогда принимается соответствующая ему и принятому уровню диаметров D_3 . значение S_T ; принятое значение t не совпадает с его табличными значениями – тогда значение S_T выбирается исходя из принятого уровня диаметров D_3 . и двух ближайших его известных значений S_{T_1} и S_{T_2} либо приближённо, либо с использованием правила интерполирования по формуле

$$S_T = S_{T_1} + \frac{t-t_1}{t_2-t_1} \cdot (S_{T_2} - S_{T_1}). \quad (6)$$

Фиксированные табличные значения подачи S_T , а также численные значения поправочных коэффициентов $K_{S_0}, K_{S_1} \dots K_{S_n}$ находятся по картам, соответствующим виду токарной обработки, а также инструментальному и обрабатываемому материалам. Для облегчения поиска указанных параметров может быть использован указатель их страничного расположения (таблица 2.3).

Таблица 2.3 Черновая и получистовая стадии обработки (мелкие и средние токарно-винторезные станки)

№	Вид токарной обработки	Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	Искомый режимный параметр	Номера карт, приложений, страниц
1	Обтачивание и подрезание торца	Стали конструкционные	ТС	S_T и K_{S0}	К12 стр.58-59
				K_{S1} и K_{Sn}	К12 стр.70-73
			БРС	S_T и K_{S0}	К13 стр.77
				K_S	К13 стр.80
				K_{S1} и K_{Sn}	К12 стр.70-73
			Коррозионно-стойкая сталь	ТС и БРС	S_T и K_{S0}
		K_{S1} и K_{Sn}			К14 стр. 90-91
		Чугунные и медные сплавы высокой твёрдости	ТС и БРС	S_T и K_{S0}	К15 стр. 93-94
				K_{S1} и K_{Sn}	К15 стр. 103-104
		Медные сплавы низкой твёрдости и алюминиевые сплавы	ТС и БРС	S_T и K_{S0}	К16 стр. 110
				K_{S1} и K_{Sn}	К15 стр. 103-104
		2	Растачивание	Стали конструкционные и коррозионно-стойкие	ТС и БРС
K_{S1} и K_{Sn}	К12 стр. 70-73				
Чугун, медные и алюминиевые сплавы	ТС и БРС			S_T и K_{S0}	К18 стр. 115-116
				K_{S1} и K_{Sn}	К15 стр. 103-104

При нахождении табличных значений оборотной подачи при чистовом точении заданного обрабатываемого материала исходят как из требуемой шероховатости R_a (или R_z) обрабатываемой поверхности, так и из требуемой точности (IT11 или IT10) обработки. Подачу, обеспечивающую заданную шероховатость, обозначают как S_R , а подачу, обеспечивающую заданную точность

обработки, как S_T . Величину подачи S_R выбирают по К19 (стр. 118-119) в зависимости от обрабатываемого материала, формы МНП и радиуса r , мм, при вершине резца. Величину r студент должен выбрать самостоятельно (для многогранных пластин предпочтительно принимать среднее значение, например, $r = 1,2$ мм или $r = 1,6$ мм).

Поправочные коэффициенты на подачу K_S для измененных условий обработки выбирают из той же К19.

Табличное значение подачи S_T принимают по К19 в зависимости от качества точности обработки и принятой глубины резания с учетом поправочных коэффициентов, представленных в той же К19 (стр.120).

Таблица 2.4 Чистовая обработка (мелкие и средние токарно-винторезные станки)

№	Вид токарной обработки	Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	Искомый режимный параметр	Номера карт, приложений, страниц
1	Обтачивание, подрезание торца, растачивание	Конструкционная (210НВ) и коррозионно-стойкая ($\sigma_B > 550$ МПа) стали	ТС	S_T и K_{S0}	К20, стр.121
				K_{S1}	К20, стр. 123
		Чугун, медные и алюминиевые сплавы	ТС	S_T и K_{S0}	К21, стр. 125
				K_{S1}	К21, стр. 127
				K_{S2} и K_{Sn}	К12, стр. 70-73
		Конструкционные стали, закалённые стали, чугун	ПК	S_T	К22, стр. 128
Конструкционные стали, закалённые стали, чугуны, алюминиевые и медные сплавы	СТМ АСПК	S_T	К23, стр. 129-130		

В качестве расчетной подачи S принимают меньшую из рассчитанных подач S_R и S_T .

Полученное значение подачи S не должно превышать подачу, рекомендуемую по прочности режущей части инструмента.

Проверка по прочности проводится в зависимости от обрабатываемого и инструментального материалов по картам, расположение которых в справочнике [1] находят по указателю (таблица 2.4).

Рассмотрение карт 20-23 показывает, что подача по прочности лезвия S_T зависит от глубины резания t . Поэтому здесь, как и в предыдущих случаях, возможны два варианта ее нахождения: при совпадении t с фиксированным табличным значением величина S_T находится на пересечении соответствующих строки и столбца таблицы; при несовпадении t с фиксированными табличными значениями величина S_T находится по интерполяционной формуле (6)

При нахождении карт и страниц для определения величин поправочных коэффициентов K_S может быть использован тот же указатель (таблица 2.4). После нахождения всех коэффициентов $K_{S_0} \dots K_{S_n}$ конечное значение S_T определяется по формуле (5).

Если величина S_T окажется большей S , то расчетное значение S сохраняется, так как прочность лезвия в этом случае гарантированно обеспечивается. В противном случае (при $S_T < S$) в качестве расчетной следует принимать подачу S_T .

Расчетные значения подач на всех переходах корректируют до ближайшего меньшего по паспортным данным предварительно выбранного токарно-винторезного станка.

Если по паспортным данным станка задается минутная подача $S_{\text{мин}}$, то ее выбор производится после расчета частот вращения шпинделя на соответствующих стадиях обработки.

5.4. Определение скорости резания V , м/мин

Во всех случаях обработки скорость резания V рассчитывается по формуле:

$$V = V_T \cdot K_{V_1} \cdot K_{V_2} \cdot \dots \cdot K_{V_n} \quad (8)$$

где V_T - табличное значение скорости резания, м/мин, а $K_{V_1} \dots K_{V_n}$ - поправочные коэффициенты, учитывающие влияние на скорость резания перечисленных факторов.

Анализ карт, по которым осуществляется выбор табличных значений скорости резания V_T , показывает, что значения V_T зависят от принятых величин двух параметров - подачи S и глубины резания t .

Следовательно, в этом случае имеет место три варианта их нахождения.

Первый – когда принятые величины S и t совпадают с табличными значениями; в этом случае искомое значение V_T находится на пересечении соответствующих строки и столбца таблицы функции $V = f(S, t)$.

Второй — когда один из параметров (S или t) не совпадает с фиксированными табличными значениями S или t в таблице функции $V_T = f(S, t)$. В этом случае V_T определяется либо приближённо, с учётом значений V_{T_1} и V_{T_2} , либо по интерполяционной формуле (1), которая после замены параметров y , x и z на соответствующие параметры V_T , S и t будет иметь вид:

при $t=t_1$

$$V_T = V_{T_1} + \frac{S-S_1}{S_2-S_1} \cdot (V_{T_2} - V_{T_1}), \quad (8a)$$

при $S=S_1$

$$V_T = V_{T_1} + \frac{t-t_1}{t_2-t_1} \cdot (V_{T_2} - V_{T_1}). \quad (8б)$$

Третий вариант – когда оба принятые значения параметров S и t не совпадают с табличными. В этом случае V_T определяется либо приближённо с учётом известных значений $V_{T_{11}}$, $V_{T_{12}}$, $V_{T_{21}}$, $V_{T_{22}}$, либо тройным интерполированием с использованием цепочки формул:

при $t=t_1$

$$V' = V_{T_{22}} + \frac{S-S_1}{S_2-S_1} (V_{T_{22}} - V_{T_{12}}), \quad (9)$$

при $t=t_2$

$$V'' = V_{T_{22}} + \frac{S-S_1}{S_2-S_1} (V_{T_{22}} - V_{T_{12}}), \quad (9a)$$

и

$$V_T = V'_T + \frac{t-t_1}{t_2-t_1} (V''_T - V'_T). \quad (9б)$$

Фиксированные табличные значения скорости резания, а также значения поправочных коэффициентов K_{V_0} , K_{V_1} ... K_{V_n} находятся по картам, соответствующим виду токарной обработки, а также инструментальному и обрабатываемому материалам. Поиск соответствующих карт облегчается при использовании таблицы 2.5.

Таблица 2.5 Указатель страничного расположения параметров V и K_V , N и K_N (мелкие и средние токарно-винторезные станки)

№	Вид токарной обработки	Обрабатываемый материал	Инструментальный материал	Искомый режимный параметр	Номера карт, приложений, страниц
Черновая и получистовая обработка					
1	Обтачивание и подрезание торца	Стали конструкционные	ТС	V_T и K_{V_0}	К12, стр.59-63
				K_{V_1} и K_{V_n}	К12, стр.73-75
				N_T и K_{N_0}	К12, стр.76-77
			БРС	V_T и K_{V_0}	К13, стр.78
				K_{V_1}	К13, стр.80
				K_{V_2} и K_{V_n}	К12, стр.73-75
				N_T и K_{N_0}	К13, стр.81-82
			Коррозионно-стойкая сталь	ТС и БРС	V_T
		K_{V_1} и K_{V_n}			К14, стр. 91
		N_T и K_{N_0}			К14, стр. 92-93
		Чугунные и медные сплавы высокой твёрдости	ТС и БРС	V_T и K_{V_0}	К15, стр. 95-103
				K_{V_1} и K_{V_n}	К15, стр. 105
				N_T и K_{N_0} (чугун)	К15, стр. 106-107
				N_T и K_{N_0} (медные сплавы)	К15, стр. 108-110
		Медные сплавы низкой твёрдости и алюминиевые сплавы	ТС и БРС	V_T и K_{V_0}	К16, стр. 111
				K_{V_1} и K_{V_n}	К15, стр. 105
N_T и K_{N_0} (медные сплавы)	К15, стр. 108-110				
2	Растачивание	Стали конструкционные и коррозионно-стойкие	ТС и БРС	V_T и K_{V_0}	К17, стр. 112-113
				K_{V_1} и K_{V_n}	К12, стр. 73-75
		Чугун, медные и алюминиевые сплавы	ТС и БРС	V_T и K_{V_0}	К18, стр. 116
				K_{V_1} и K_{V_n}	К15, стр. 105
Чистовая обработка					
1	Обтачивание, подрезание торца, растачивание	Сталь конструкционная и коррозионно-стойкая, чугун	ТС	V_T и K_{V_0}	К20, стр. 122
				K_{V_1}	К20, стр. 124
				K_{V_5}	К12, стр. 75
				K_{V_6}	К20, стр. 124-125

	Чугун, медные и алюминиевые сплавы	ТС	V _T и K _{V0}	К21, стр. 126-127
			K _{V1}	К20, стр. 124
			K _{V4} и K _{V5}	К12, стр. 75
			K _{V6}	К20, стр. 124-125
	Конструкционные стали, закалённые стали, чугун	РК	V _T	К22, стр. 129
	Конструкционные стали, закалённые стали, чугуны, алюминиевые и медные сплавы	СТМ АСПК	V _T	К23, стр. 129-130

5.5. Расчёт частот вращения шпинделя n , мин⁻¹ и фактических значений скоростей резания V_{ϕ} , м/мин

Расчёт частот вращения n ведётся для всех технологических переходов на основании формулы:

$$n_i = \frac{1000 \cdot V_i}{\pi \cdot D_i} \quad (10)$$

где V_i и D_i – расчётная скорость резания и диаметр заготовки на i -ом переходе.

Полученные расчётные значения n_i корректируются по паспортным данным предварительно выбранного токарно-винторезного станка (выбирается ближайшее меньшее фактическое значение), после чего по формуле:

$$V_{\phi i} = \frac{\pi \cdot D_i \cdot n_{\phi i}}{1000} \quad (10a)$$

определяются фактические значения скоростей резания на всех технологических переходах.

5.6. Расчёт мощности резания N , кВт

Мощность резания рассчитывается для черновой и в некоторых случаях для получистовой стадий обработки по формуле

$$N = N_T \cdot K_{N_0} \quad (106)$$

Численные значения табличной мощности N_T и поправочного коэффициента K_{N_0} определяют по соответствующим картам в зависимости от вида токарной обработки, а также вида обрабатываемого и инструментального материалов. Поиск страничного расположения указанных карт может быть осуществлен на основе таблицы 2.5.

Правило пользования картами по нахождению табличной мощности:

В левой части карты находят столбец с равной или ближайшей большей по отношению к принятой глубиной резания t . Далее в этом столбце находят одно из значений оборотной подачи S_0 , равное или ближайшее большее к принятой в задаче. Затем, перемещаясь по горизонтали, находим столбец в правой части таблицы с равным или ближайшим большим значением скорости резания V . Искомая табличная мощность N , кВт лежит на пересечении указанных горизонтальной строчки и вертикального столбца.

6. Проверка возможности резания с расчетными режимами на выбранной модели токарно-винторезного станка

Проверка производится исходя из условия $N < N_{эф}$. Здесь N – расчетная, а $N_{эф}$ – эффективная мощность станка, которую рассчитывают по формуле $N_{эф} = N_{дв} \cdot \eta$.

Мощность электродвигателя привода главного движения $N_{дв}$ находят в [2, стр.16,17]; КПД привода η можно принять равным 0,75..0,8.

Если $N \leq N_{эф}$, то резание с рассчитанными режимами резания возможно. При $N > N_{эф}$ резание становится невозможным.

Если превышение N над $N_{эф}$ невелико, необходимо уточнить расчет N , поскольку при табличном её нахождении он производился для несколько больших, чем принятые, значений t , S и V . Уточнение расчета можно производить по формуле

$$N = P_z \cdot V, \quad (11)$$

где

$$P_z = C_{P_z} \cdot t \cdot S^{y_{P_z}} \cdot V^n, \quad (11a)$$

откуда

$$N = C_{P_z} \cdot t \cdot S^{y_{P_z}} \cdot V^{1+n}. \quad (11б)$$

В формуле (11) C_{P_z} и y_{P_z} – постоянные коэффициент и показатель степени, численные величины которых берутся для соответствующих условий обработки по П9 (стр. 189).

Если и после уточнения N окажется большим $N_{эф}$, то здесь возможны два пути решения задачи.

Первый путь – снижение скорости резания в соответствии с условием $N=N_{эф}$, исходя из которого уточненная скорость резания будет равна

$$V_y = \frac{N_{дв} \cdot \eta}{C_{Pz} \cdot t \cdot S^{y_{pz}}}. \quad (11в)$$

Далее по формуле $n=1000V_y/\pi D$ рассчитывается уточненная частота вращения шпинделя.

Для токарно-винторезных станков имеющих ступенчатый привод главного движения по паспорту выбранного станка принимается ближайшее меньшее фактическое значение $n_{уф}$, после чего по формуле

$$V_{уф} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{уф}}{1000}. \quad (11г)$$

пересчитывается фактическая скорость резания после ее уточнения.

Второй путь – переход к более мощной модели среднего токарно-винторезного станка, удовлетворяющего не только габаритным ($D_3 \leq D_c$, $L_3 \leq L_c$), но и мощностным ($N < N_{дв} \cdot \eta$) требованиям.

При переходе к другому типу токарно-винторезного станка необходимо провести уточнение (исходя из его паспортных данных) ранее выбранных значений S_o и $n_{шп}$.

7. Длина рабочего хода $L_{р.х.}$, мм.

Рассчитывают по формуле:

$$L_{р.х.} = l + y. \quad (12)$$

где l – длина заготовки, мм, а y – суммарная длина подвода, врезания и перебега, мм, определяемая в зависимости от угла в плане φ резца и глубины резания t по Пб (стр.168).

8. Основное (машинное) время t_o , мин.

Рассчитывают отдельно для каждой стадии обработки по формуле:

$$t_o = \frac{L_{р.х.}}{S_{мин}} = \frac{L_{р.х.}}{n \cdot S}. \quad (13)$$

9. Определение периода стойкости и расхода инструмента

9.1. Число периодов стойкости (k), полный период стойкости ($\sum T$), расход ($R_{шт}$) режущих элементов на 1000 часов основного времени.

Выписать все вышеперечисленные значения (k , $\sum T$, $R_{шт}$) отдельно для черновой, получистовой и чистовой стадий обработки из К27 (стр. 145-149) для сборных резцов и К30-33 (стр.151-153) для напайных резцов.

9.2. Расход Mp режущих элементов на обработку заданной партии заготовок N .

Определяется отдельно для черновой, получистовой и чистовой стадий обработки исходя из пропорции:

1000(часов) – R (шт.)

$$\frac{t_0 N}{60} = Mp . \quad (14)$$

Находим неизвестное:

$$Mp = \frac{R t_0 N}{60 \cdot 1000} , \quad (14a)$$

При $N=1000$ шт.,

$$Mp = \frac{R t_0}{60} . \quad (14б)$$

РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Тематика рефератов

1. Особенности обработки инструментов с износостойкими покрытиями.
2. Комбинированные методы механической обработки, их технологические возможности.
3. Вибрационное резание материалов.
4. Геометрические параметры ротационного инструмента.
5. Анализ способов и устройств для дробления стружки при резании.
6. Современные теории изнашивания инструмента.
7. Виды поверхностного упрочнения инструмента.
8. Обзор современных видов инструментальных материалов: углеродистые стали; быстрорежущие стали; твердые сплавы; минералокерамика и керметы; сверхтвердые материалы; износостойкие покрытия.

9. Влияние элементов режима резания и геометрии инструмента на физико-механические характеристики процесса резания.
10. Математические методы обработки экспериментальных данных при исследовании процесса резания.
11. Анализ способов для удаления стружки из зоны резания.
12. Виды поверхностного упрочнения инструмента.
13. Особенности расчета режимов резания при многоинструментальной обработке.
14. Аналитическое определение силы резания.
15. Колебания в процессе резания.
16. Схематизация элементов технологической системы.
17. Особенности обработки титановых и алюминиевых сплавов.
18. Высокоскоростная обработка резанием.
19. Оптимизация резания по критерию обрабатываемости.
20. Управление тепловыми явлениями при резании.

Вопросы для самоконтроля

1. Особенности метода механической обработки резанием, его достоинства и недостатки.
2. Виды обработки резанием и их кинематические схемы.
3. Главное и вспомогательное движения при резании.
4. Конструкционные материалы и их обрабатываемость.
5. Инструментальные материалы и предъявляемые к ним основные требования.
6. Углеродистые и низколегированные инструментальные стали.
7. Быстрорежущие стали.
8. Твердые сплавы.
9. Минералокерамика и керметы.
10. Сверхтвердые инструментальные материалы.
11. Эльборовый и алмазный инструмент.
12. Классификация резцов.
13. Составные части резца и их назначение. Основные поверхности и кромки режущей части резца. Углы заточки резца.
14. Углы резца в плане (на примере обычных и фасонных резцов).
15. Углы резца в секущих плоскостях. 9
16. Углы наклона режущих кромок λ и λ_1 .
17. Трансформация рабочих углов при учете вспомогательного движения подачи.

18. Изменение углов резца от его установки.
19. Призматические фасонные резцы. Рабочие углы резца. Схема резания и получаемый профиль детали.
20. Профилирование рабочей кромки призматического резца
21. Дисковые (круглые) фасонные резцы. Рабочие углы резца. Схема резания и получаемый профиль детали.
22. Профилирование рабочей кромки дискового резца.
23. Свободное и несвободное, прямоугольное и косоугольное резание. Технологические и физические параметры обработки. Сечение среза и гребешки шероховатости при продольном точении.
24. Схема резания при подрезании торца. Технологические и физические параметры обработки. Сечение среза и гребешки шероховатости.
25. Схема резания при растачивании сквозных и глухих отверстий. Сечение среза и гребешки шероховатости.
26. Схема резания при отрезании. Основные технологические и физические параметры обработки. Сечение среза и гребешки шероховатости.
27. Схема резания при строгании. Основные технологические и физические параметры обработки. Сечение среза и гребешки шероховатости.
28. Процесс образования и виды стружек при обработке хрупких и пластичных материалов.
29. Способы борьбы со сливной стружкой.
30. Кинематическое стружкодробление. Условия перерезания стружки при вибрационном и дискретном резании.
31. Усадка стружки. Теоретические и экспериментальные способы определения коэффициента продольной усадки стружки
32. Влияние параметров обработки (V , S , δ) на коэффициент продольной усадки стружки.
33. Наростообразование при резании.
34. Силы резания. Источники возникновения сил сопротивления резанию. Результирующая и составляющая силы резания.
35. Теоретическое уравнение силы резания (уравнение Зворыкина).
36. Экспериментальные методы определения составляющих силы резания. Схемы динамометров.
37. Методика обработки экспериментальных данных и получение частных зависимостей $P_z = f(t)$ и $P_z = f(s)$ Получение общей зависимости силы резания от режимных и других параметров.

38. Зависимость составляющих силы резания от угла в плане ϕ резца и длины l_k криволинейного участка режущего лезвия.
39. Работа и мощность при резании.
40. Источники возникновения и распределения тепловых потоков в процессе резания, уравнения теплового баланса. Стационарное и нестационарное температурное поле.
41. Методы определения температуры в зоне резания.
42. Влияние элементов резания, физико-механических свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров режущей части инструмента на температуру резания.
43. Смазочно-охлаждающие среды (жидкие и газообразные), механизм их действия и эффективность, способы подвода в зону резания.
44. Гипотезы изнашивания режущего инструмента.
45. Внешняя картина изнашивания задней и передней поверхностей инструмента. Методы измерения величины износа. Измерение величины износа во времени.
46. Расчет изношенной массы задней поверхности лезвия резца при равновеликом его износе.
47. Расчет массы изношенной части передней поверхности резца.
48. Критерии износа режущих инструментов.
49. Стойкость инструментов и ее зависимость от скорости резания, элементов сечения среза и других факторов.
50. Вывод формулы для определения скорости резания при обработке резцами.
51. Методика расчета режимов резания при точении аналитическим и табличным методами.
52. Методика расчета режимов резания при строгании и долблении.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

ГЛОССАРИЙ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ

Вершина резца – место сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок.

Вспомогательная секущая плоскость N_1-N_1 – плоскость, перпендикулярная к проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость.

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

Высота неровностей профиля по десяти точкам R_z – сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубины пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины.

Главная секущая плоскость $N-N$ – плоскость, перпендикулярная к поверхности главной режущей кромки на основную плоскость.

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

Главный задний угол α – угол между главной задней поверхностью и плоскостью резания.

Главный угол в плане ϕ – угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи.

Глубина резания t – расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями.

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

Задние поверхности – поверхности, обращенные в сторону обрабатываемой детали.

Зенкерование – вид механической обработки резанием, в котором с помощью специальных инструментов (зенкеров) производится обработка цилиндрических и конических отверстий в деталях с целью увеличения их диаметра, повышения качества поверхности и точности.

Кинематика резания – кинематика резания – это раздел теории резания, рассматривающий: относительное движение инструмента и заготовки в процессе резания; элементы движения; влияние элементов движения на процесс резания.

Минутная подача S_m – скорость перемещения инструмента или заготовки во вспомогательном рабочем движении называется.

Наклёп – упрочнение металлов и сплавов вследствие изменения их структуры и фазового состава в процессе пластической деформации при температуре ниже температуры рекристаллизации.

Нарост представляет собой размельченные частички обрабатываемого металла, которые, оторвавшись от заготовки в процессе пластической деформации, затем вследствие больших давлений и температур в зоне резания привариваются к вершине резца, образуя на ней защитный колпачок.

Основная плоскость – плоскость, параллельная продольному (параллельно оси заготовки) и поперечному (перпендикулярно оси заготовки) перемещениям резца.

Основное технологическое время T_0 – время, которое затрачивается непосредственно на осуществление технологического процесса (снятия стружки).

Передний угол γ – угол между передней поверхностью резца и плоскостью, перпендикулярной к плоскости резания.

Передняя поверхность резца – поверхность, по которой сходит стружка.

Плоскость резания – плоскость, касательная к поверхности резания и проходящая через главную режущую кромку резца.

Поверхность резания – поверхность, образуемую на обрабатываемой заготовке непосредственно главной режущей кромкой инструмента.

Точность обработки – понимают степень соответствия формы, размеров и положения обработанной поверхности требованиям чертежа и технических условий (ТУ).

Режущие кромки образуются пересечением передней и задних поверхностей.

Подача на зуб S – соотношение подачи на оборот к числу зубьев фрезы

Подача на оборот S – кинематическая связь главного и вспомогательного рабочих движений.

Развертывание – вид чистовой механической обработки отверстий резанием.

Режущий инструмент – инструмент для формирования новых поверхностей отделением поверхностных слоёв материала с образованием стружки.

Сверление – вид механической обработки материалов резанием, при котором с помощью специального вращающегося режущего инструмента получают отверстия различного диаметра и глубины, или многогранные отверстия различного диаметра и глубины.

Резание металлов – сложный процесс взаимодействия режущего инструмента и заготовки.

Скорость резания – скорость перемещения поверхности резания относительно режущей кромки в направлении главного рабочего движения.

СОЖ – смазывающие охлаждающие средства.

СОТС – *смазывающие* охлаждающие технические средства.

Толщиной среза a называется расстояние между двумя последовательными положениями поверхности резания, измеренное по нормали к режущей кромке.

Точение – это механическая обработка резанием наружных и внутренних поверхностей вращения, в том числе цилиндрических и конических, торцевание, отрезание, снятие фасок, обработка галтелей, прорезание канавок, нарезание внутренних и наружных резьб на токарных станках.

Угол заострения β – угол между передней и главной задней поверхностями резца.

Угол наклона главной режущей кромки λ – угол, заключенный между главной режущей кромкой и плоскостью, проведенной через вершину резца параллельно основной плоскости.

Угол при вершине в плане ϵ – угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость.

Угол резания δ – угол между передней поверхностью резца и плоскостью резания.

Шероховатость поверхности – совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами на базовой длине. Измеряется в микрометрах.

Шириной среза b называется расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями, измеренное вдоль режущей кромки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бородина, Н.В. Практикум по теории резания металлов: учеб. пособие / Н.В. Бородина. – Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2012. – 105 с.

2. Нефедов, Н.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту: учеб. пособие для техникумов./ Н.А. Нефедов, К.А. Осипов. – 5-е изд., перераб. и доп. – Минск : Машиностроение, 1990. – 448с.

3. Общемашиностроительные нормативы режимов резания. Справочник: в 2-х т. Т.1 /А.Д. Локтев, И.Ф. Гущин, В.А. Батуев и др.- Минск: Машиностроение, 1991. – 640 с.

4. Попок, Н.Н. Теория резания: учебное пособие / Н.Н. Попок. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – 372 с.

5. Режущий инструмент: учебник для вузов / под редакцией С. В. Кирсанова – Минск : Машиностроение, 2005. – 528 с.

6. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / А.М. Дальский [и др.]; под общ. ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова [и др.] – 5-е изд., Минск: Машиностроение, 2001. – 2 т.

7. Ящерицын, П.И. Основы резания материалов и режущий инструмент: [Учебник для машиностр. спец. вузов] / П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, Н.И. Жигалко. – 2-е изд., доп. и перераб. Минск :Выш. школа, 1981. – 560с.