

Школа ИШНПТ

Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение

Отделение школы (НОЦ) Материаловедение

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование величины наклепанного слоя при обработке стали 40Х концевыми фрезами из быстрорежущей стали с разными углами винтовой стружечной канавки

УДК 621.914.22

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Кокочко Виталий Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гаврилин А.Н.	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Якимова Т.Б.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Сечин А.И.	Д.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01	Арляпов А.Ю.	К.Т.Н.		

Планируемые результаты обучения по ООП 15.04.01
«Автоматизация технологических процессов и производств в
машиностроении»

Код	Результат обучения
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р1	Способность применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин.
Р2	Способность выполнять и обосновывать инженерные проекты для создания сложных конкурентоспособных изделий машиностроения и технологий их производства, в том числе с использованием современных CAD/CAM/CAE продуктов.
Р3	Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения.
Р4	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники.
Р5	Готовность обеспечивать прогрессивную эксплуатацию оборудования и других средств технологического оснащения автоматизированного производства изделий машиностроения, осваивать и совершенствовать технологические процессы изготовления новых конкурентоспособных изделий, обеспечивать их технологичность.
Р6	Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в создании или совершенствовании системы менеджмента в качестве предприятия.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р7	Готовность следовать кодексу профессиональной этики и социальным нормам ведения инженерной деятельности.
Р8	Готовность к непрерывному самосовершенствованию в инженерной педагогической и исследовательской деятельности и способность критически переосмысливать накопленный опыт.
Р9	Способность организовывать и эффективно управлять работой коллектива, состоящего из специалистов различных направлений и квалификаций, а также готовность нести ответственность за результаты выполненной работы
Р10	Способность осуществлять коммуникации в профессиональной среде, презентовать и защищать результаты инженерной и исследовательской деятельности, в том числе и на иностранном языке

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа ИШНПТ

Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение

Отделение школы (НОЦ) Материаловедение

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Арляпов А.Ю

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ82	Кокочко Виталию Сергеевичу

Тема работы:

Исследование величины наклепанного слоя при обработке стали 40Х концевыми фрезами из быстрорежущей стали с разными углами винтовой стружечной канавки

Утверждена приказом директора (дата, номер)

59-118/С от 28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:

25.05.2020

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

– концевые фрезы из быстрорежущей стали Р6М5 с разными углами наклона винтовой стружечной канавки в 20°, 30°, 45° и концевая фреза с волнообразной режущей кромкой;

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Исследование сил резания при фрезеровании; 2. Исследование процесса стружкообразования; 3. Методы исследования деформаций в зоне стружкообразования; 4. Методы измерения остаточных напряжений и наклёпа обработанной поверхности;
--	--

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>– Демонстрационный материал (презентация) - PowerPoint</p>
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Исследовательский	Гаврилин А.Н.
Конструкторский	Гаврилин А.Н.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Т.Б.
Социальная ответственность	Сечин А.И.
Исследовательский (на английском языке)	Кобзева Н.А.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

<p>1.3 Методы измерения остаточных напряжений и наклёпа обработанной поверхности 1.3 Methods for measuring the residual stress and hardening of the treated surface</p>
--

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>1.10.2018</p>
--	------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гаврилин Алексей Николаевич	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Кокочко Виталий Сергеевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ82	Кокочко Виталий Сергеевич

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 «Машиностроение»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами по городу Томску; - ресурсы НИ ТПУ (аудитория);
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- районный коэффициент- 1,3; - накладные расходы – 16%;
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- общая система налогообложения; - страховые взносы во внебюджетные фонды 30,2%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Анализ потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, оценка готовности проекта к коммерциализации
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Определение целей и результатов проекта, организационной структуры проекта
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Формирование плана и графика проекта: - Определение структур работ; - Определение трудоемкости работ; - Разработка диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат проекта.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка сравнительной эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *Матрица SWOT*
3. *График проведения и бюджет НТИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ82	Кокочко Виталий Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ82	Кокочко Виталий Сергеевич

ШКОЛА	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Тема выпускной квалификационной работы: «Исследование величины наклепанного слоя при обработке стали 40Х концевыми фрезами из быстрорежущей стали с разными углами наклона винтовой стружечной канавки»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является участок цеха по фрезерованию заготовок, в частности оборудовании, находящегося в нем.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности. 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности.	1) Повышенная или пониженная относительно нормативных требований температура, влажности и подвижности воздуха; 2) Повышенный уровень шума; 3) Повышенный уровень вибраций 4) Недостаточная освещенность рабочей зоны; 5) Эмоциональные нагрузки; 6) Отлетающие кусочки металла, абразивного материала; 7) Электрический ток; 8) Движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся изделия, заготовки и материалы;
2. Экологическая безопасность	1) Влияние деятельности на литосферу, атмосферу и гидросферу: Токсичные выбросы, неразлагающийся мусор. 2) Способы утилизации отходов
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Рассмотрены 2 ситуации ЧС: 1) природная – сильные морозы зимой; 2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) Приведены: <ul style="list-style-type: none"> • перечень НТД, используемых в данном разделе, • схема эвакуации при пожаре, • схема размещения светильников на потолке согласно проведенному расчету.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.02.2020 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преп. ООД ШБИП	Сечин Александр Иванович	Д.т.н.		26.02.2020 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ82	Кокочко Виталий Сергеевич		26.02.2020 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа имеет объем 110 с., включает в себя 41 рисунок, 60 формул, 20 таблиц, 23 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: наклеп, фрезерование, концевая фреза из быстрорежущей стали, микротвердость, качество обработки, обработанная поверхность, косой шлиф.

Объектом исследования являются концевые фрезы из быстрорежущей стали Р6М5 с разными углами наклона винтовой стружечной канавки в 20°, 30°, 45° и концевая фреза с волнообразной режущей кромкой.

Целью является исследовать величину наклепанного слоя при обработке стали 40Х концевыми фрезами из быстрорежущей стали с разными углами наклона винтовой канавки, выявить меньшую величину наклепанного слоя, определить конструкцию и геометрию концевых фрез для улучшения качества обработки стали 40Х.

Для оценки глубины и степени пластической деформации применялся метод выборочного контроля твёрдости поверхностного слоя обработанных заготовок, с заранее выполненным косым шлифов под углом α к поверхности заготовки. Косой шлиф выполнялся для увеличения протяженности исследуемой области, так как глубина наклепанного слоя очень мала и составляет сотые доли миллиметра.

Измерение микротвердости обработанной поверхности проводилось на автоматическом микротвердомере модели Duramin-5 производителя Struers GmbH (Германия).

Результаты работы используются в ООО «ПК МИОН» г. Томск для производства корпусов сборного режущего инструмента.

Оглавление

Введение.....	10
1. Исследовательская часть	
1.1. Обзор литературы по теме исследования.....	12
1.1.1 Исследование сил резания на передней и задней поверхностях.....	12
1.1.2 Исследование сил резания при фрезеровании.....	13
1.1.3 Влияние основных элементов резания на силы резания при фрезеровании	16
1.1.4 Исследование процесса стружкообразования.....	18
1.1.5 Влияние обрабатываемого материала на силы и температуру резания.....	26
1.2 Методы исследования деформаций в зоне стружкообразования.....	27
1.2.1 Метод координатных сеток.....	27
1.2.2 Металлографический метод.....	30
1.2.3. Поляризационно-оптический метод.....	31
1.3. Методы измерения остаточных напряжений и наклёпа обработанной поверхности.....	32
2. Методика выполнения работы	
2.1. Выбор металлорежущего инструмента.....	38
2.2. Выбор обрабатываемого материала.....	41
2.3 Расчет режимов резания.....	42
2.4. Подготовка косоугольного шлифа.....	51
2.5. Измерение микротвердости обработанной поверхности.....	53
2.6. Построение графиков.....	60
3. Финансовый менеджмент, Ресурсоэффективность и Ресурсосбережение.	
3.1 Общие сведения о научно-техническом исследовании.....	64

3.2 Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	64
3.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования....	64
3.2.2 Технология QuaD.....	65
3.2.3 SWOT-анализ	66
3.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	68
3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	68
3.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	69
3.4 Определение бюджета научно-технического исследования.....	73
3.4.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования.....	73
3.4.2 Расчет основной заработной платы исполнителей темы.....	74
3.4.3 Расчет дополнительной заработной платы исполнителей темы.....	76
3.4.4 Расчет отчислений во внебюджетные фонды.....	76
3.4.5 Расчет накладных расходов.....	77
3.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	77
3.5 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	78
4. Социальная ответственность.	
Введение.....	82
4.1 Производственная безопасность.....	83
4.2 Анализ выявленных вредных факторов.....	84
4.3 Экологическая безопасность.....	91
4.4 Защита в чрезвычайных ситуациях (ЧС).....	92
4.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	93
Заключение.....	99
Список литературы.....	100
Приложение А	105

Введение

Объект исследования – концевые фрезы из быстрорежущей стали Р6М5 с разными углами наклона винтовой стружечной канавки в 20°, 30°, 45° и концевая фреза с волнообразной режущей кромкой.

Предмет исследования – влияние на величину наклепанного слоя после обработки фрезерованием стали 40Х.

Актуальность. Упрочнение металла поверхностного слоя обработанной детали оказывает существенное влияние на её эксплуатационные характеристики. Наклеп в большинстве случаев приводит к повышению износостойкости деталей и их усталостной прочности. При работе изделия в условиях высоких температур упрочнение поверхностного слоя является вредным. Коррозионная стойкость деталей возрастает с уменьшением наклепа.

В результате пластической деформации и тепловыделения происходят структурные изменения металла поверхностного слоя, что, в конечном итоге, и обуславливает появление наклепа. Потому актуальным является исследование наклепанного слоя после обработки фрезерованием стали 40Х.

Цель. Исследовать величину наклепанного слоя при обработке стали 40Х концевыми фрезами из быстрорежущей стали с разными углами наклона винтовой канавки, выявить меньшую величину наклепанного слоя, определить конструкцию и геометрию концевых фрез для улучшения качества обработки стали 40Х.

Задачи:

1. Составить технологию изготовления концевых фрез из быстрорежущей стали с разными углами наклона винтовой канавки.
2. Разработать управляющую программу на вышлифовку стружечной канавки и заточку фрез на станке Walter Helitronic 50 CNC и изготовить концевые фрезы.
3. Провести испытания изготовленных концевых фрез на станке MCV-400 методом попутного фрезерования заготовок кубической формы из стали 40Х (НВ 250).
4. Подготовить косые шлифы обработанных заготовок.
5. Провести измерения микротвердости косых шлифов обработанных заготовок.

Практическая применимость. Тема диссертации актуальна для производства корпусов сборного инструмента на предприятии ООО «ПК МИОН», для получения с помощью механической обработки и ионного азотирования заданной структуры и твердости опорных и упорных поверхностей при креплении твердосплавных режущих пластин к корпусу. А также определение зависимости стойкости инструмента второго порядка от величины и степени наклепа, обрабатываемой поверхности.

1. Исследовательская часть

1.1. Обзор литературы по теме исследования

1.1.1 Исследование сил резания на передней и задней поверхностях

Силы резания являются важными параметрами процесса резания. От их величины зависит мощность, необходимая для осуществления резания. Они оказывают влияние на износ инструмента и вибрации, а значит, и на качество обработанной поверхности. Силы резания являются исходными данными при расчетах на прочность и жесткость режущих инструментов, элементов оснастки, узлов деталей металлорежущих станков.[23]

Силы, действующие на переднюю поверхность резца, зависят от свойств обрабатываемого материала, размеров срезаемого слоя и других условий стружкообразования.

Силы, действующие на заднюю поверхность резца, в основном, зависят от свойств обрабатываемого материала, размеров заднего угла, размеров площади контакта и коэффициента трения на задней поверхности.

Для удобства анализа и измерения общую силу резания P раскладывают в трех направлениях: тангенциальном (F_z), радиальном (F_y) и в направлении, противоположном направлению подачи (F_x).

Тангенциальная сила F_z (P_z) действует в направлении главного движения; по ней подсчитывается крутящий момент и мощность резания

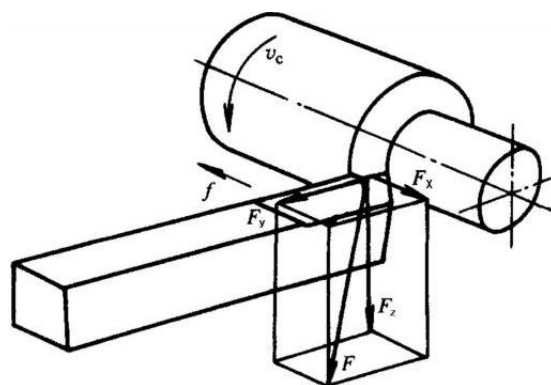


Рис. 1.1. Схема сил, действующих на передней поверхности резца при резании

Радиальная сила F_y (P_y) стремится оттолкнуть резец от обрабатываемой детали, а ее реакция – изогнуть обрабатываемую деталь. Эта сила способствует возникновению вибраций в горизонтальной плоскости. Она оказывает наибольшее влияние на точность и геометрическую форму обрабатываемой детали.

Осевую силу или силу подачи F_x (P_x) так же, как и силы трения, должен преодолеть механизм подачи при своем перемещении по направляющим станка.

Суммарная сила F , действующая на резец, рассчитывается по формуле:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$$

Численное значение составляющих силы резания может быть измерено с помощью токарного трёхкомпонентного динамометра.

1.1.2 Исследование сил резания при фрезеровании

При фрезеровании каждый зуб фрезы преодолевает сопротивление резанию со стороны материала заготовки и силы трения, действующие на поверхностях зубьев фрезы. Обычно в контакте с заготовкой находится не один зуб, и поэтому фреза преодолевает некоторую суммарную силу резания, складывающуюся из сил, действующих на эти зубья. Схема действия сил резания при фрезеровании зависит от принятого способа фрезерования и типа фрезы.[23]

При обработке цилиндрическими фрезами (режущие кромки расположены на цилиндрической поверхности) рассматривается два способа обработки (Рис.1.2) в зависимости от направления движения подачи заготовки:

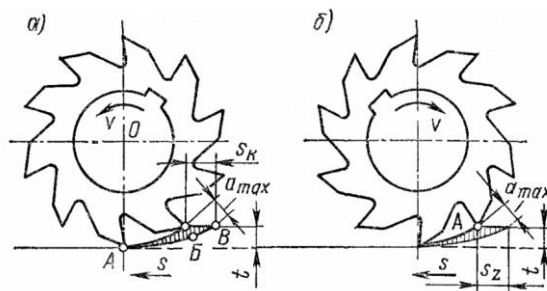


Рис.1.2. Схемы фрезерования: а – против подачи (встречное); б – по подаче (попутное)

- встречное фрезерование, когда направление движения режущей кромки фрезы, находящейся в процессе резания, противоположно направлению движения подачи;

- попутное фрезерование, когда направление движения режущей кромки фрезы, находящейся в процессе резания, совпадает с направлением движения подачи.

При встречном фрезеровании нагрузка на зуб возрастает от нуля до максимума; при этом зубья фрезы, действуя на заготовку, стремятся «оторвать» ее от стола станка или приспособления, в котором она закреплена. Преимуществом встречного фрезерования перед попутным является работа зубьев фрезы из-под корки. Режущие лезвия в момент входа в зону хрупкого металла повышенной твердости (корки) прекращают контакт своей задней поверхности с заготовкой в точке Б (рис.1.2, а), так как происходит скол стружки.

При попутном фрезеровании зуб врезается в материал в точке А (рис.1.2, б), начиная работать при максимальной толщине срезаемого слоя и наибольшей нагрузке, что исключает начальное проскальзывание зуба. При попутном фрезеровании получается поверхность с меньшей шероховатостью и более высокой точностью, так как зубьями фрезы во время обработки заготовка прижимается к столу станка, что уменьшает вибрацию.

Схемы действия сил при попутном и встречном фрезеровании различаются (рис.1.3.); на них показаны силы резания, действующие на

заготовку (реакции сил, действующих на зуб). На каждый зуб фрезы, находящийся в пределах угла контакта, действует своя сила сопротивления срезаемого слоя. Каждую из этих сил можно разложить на составляющие, действующие тангенциально (по касательной) к зубьям фрезы и по радиусам фрезы.



Рис. 1.3. Схемы действия сил при встречном м(а) и попутном(б) фрезеровании

Суммарная окружная, или касательная составляющая сила P_z и радиальная составляющая сила P_y имеют равнодействующую P_{zy} , которую можно разложить на две силы — горизонтальную составляющую силу P_r и вертикальную составляющую силу P_v . Касательная составляющая сила P_z имеет наиболее важное значение, так как производит основную работу резания. По значению силы P_z определяют мощность электродвигателя привода станка и рассчитывают на прочность валы, зубчатые колеса и другие звенья привода станка. Эмпирическая формула для определения силы P_z :

$$P_z = \frac{10C_p t^x S^y V^u z}{D^n w} K_p$$

где C_p - коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал и другие условия;

K_p - общий поправочный коэффициент, представляющий собой произведение коэффициентов, отражающих состояние отдельных параметров, влияющих на величину силы резания,

$$K_p = K_{\mu p} \cdot K_{v p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\phi v} \cdot$$

Значение отдельных составляющих силы резания можно определить, зная P_z .

При встречном фрезеровании цилиндрическими, дисковыми, фасонными и работающими периферией концевыми фрезами:

$$P_r \approx (1,0 \div 1,2) P_z; P_v = (0,2 \div 0,3) P_z; P_y \approx (0,35 \div 0,4) P_z$$

При попутном фрезеровании:

$$P_r \approx (0,8 \div 0,9) P_z; P_v \approx (0,75 \div 0,8) P_z; P_y \approx (0,35 \div 0,4) P_z.$$

При фрезеровании торцевыми фрезами и работающими торцом концевыми фрезами:

$$P_r \approx (0,4 \div 0,5) P_z; P_v \approx (0,85 \div 0,95) P_z; P_y \approx (0,5 \div 0,55) P_z.$$

1.1.3 Влияние основных элементов резания на силы резания при фрезеровании

Элементами резания при фрезеровании являются ширина фрезерования, глубина фрезерования, скорость резания и подача.

Ширина (B) и глубина (t) фрезерования - Шириной фрезерования называют ширину обрабатываемой поверхности в миллиметрах. Глубиной резания при фрезеровании называют толщину (в миллиметрах) слоя металла, снимаемого с поверхности заготовки фрезой за один проход.

Скорость резания (v) - Главным движением при фрезеровании является вращение фрезы. В процессе фрезерования фреза вращается с определенным числом оборотов, которое устанавливается при настройке станка; однако для характеристики вращения фрезы принимают не число ее оборотов, а так называемую скорость резания. Скоростью резания при фрезеровании называют путь, который проходят в одну минуту наиболее отдаленные от оси точки режущей кромки зуба фрезы. Формула скорости резания при фрезеровании:

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

Подача - При фрезеровании различают: 1) подачу в одну минуту — перемещение стола в миллиметрах за 1 мин.; обозначается S и выражается в мм/мин; 2) подачу на один оборот фрезы — перемещение стола в миллиметрах за полный оборот фрезы; обозначается S_0 и выражается в мм/об; 3) подачу на один зуб фрезы — перемещение стола в миллиметрах за время, когда фреза повернется на часть оборота, соответствующую расстоянию от одного зуба до другого (на один шаг); обозначается $S_{зуб}$ и выражается в мм/зуб. Часто подачу на один зуб фрезы обозначают S_z . Связи между ними:

$$S_0 = S_z \cdot z \text{ мм/об}; S = S_0 \cdot n \text{ мм/мин}; S_z = \frac{S_0}{z} = \frac{S}{n \cdot z} \text{ мм/зуб.}$$

Скорость резания, подача, глубина и ширина резания не могут выбираться произвольно фрезеровщиком по собственному усмотрению, так как это может вызвать преждевременное затупление фрезы, перегрузку и даже поломку отдельных узлов станка, нечистую поверхность обработки и т.д.

Все перечисленные выше элементы резания находятся в тесной зависимости друг от друга. Например, с увеличением скорости резания необходимо уменьшать подачу на зуб и снижать глубину резания, фрезерование с большой шириной резания требует уменьшения скорости резания и подачи, фрезерование с большой глубиной резания (черновую обработку) производят с меньшей скоростью резания, чем чистовую обработку, и т.д.

Кроме того, назначение скорости резания зависит от материала фрезы и материала заготовки. Фреза из быстрорежущей стали, как уже знаем, допускает большие скорости резания, чем из углеродистой стали; в свою очередь скорость резания для твердосплавной фрезы может быть в 4—5 раз выше, чем для быстрорежущей. Легкие сплавы можно фрезеровать со

значительно большей скоростью резания, чем чугун. Чем тверже (крепче) стальная заготовка, тем меньше должна быть скорость резания.

1.1.4 Исследование процесса стружкообразования

Металл, срезанный с заготовки режущим инструментом, называется стружкой. Процесс резания (стружкообразование) является одним из сложных физических процессов, при котором возникают и упругие и пластические деформации; этот процесс сопровождается большим трением, тепловыделением, наростообразованием, завиванием и усадкой стружки, повышением твердости деформируемых слоев металла и износом режущего инструмента.[23]

Процесс стружкообразования представляет собой процесс упругопластического деформирования (сжатия) срезаемого слоя.

В зависимости от условий обработки срезанный слой (стружка) может быть различных видов:

При обтекании клина материалом образуется сплошная стружка без разрывов и больших трещин, то в этом случае она называется сливной стружкой (рис. 1.4. а). Такой тип стружки чаще всего образуется при резании вязких, пластичных материалов.



Рис. 1.4. Типы стружки

При резании пластичных материалов имеет место интенсивное трещинообразование, происходит полное разделение стружки на элементы, имеющие определенную правильную форму и последовательность образования, такой тип стружки называется элементной стружкой (рис. 1.4 б).

При резании пластичных материалов образуются стружки, не имеющие четко выраженных признаков сливных или стружек скалывания. При их образовании не происходит полного разделения на элементы и трещины заканчивают свое развитие в толще деформированного материала, не выходя на его наружную поверхность. Такие стружки называют ступенчатыми (рис. 1.4 в).

При резании хрупких материалов (чугуна, бронзы, керамических материалов и др.) происходит вырывание отдельных частиц поверхностного слоя заготовки режущей частью инструмента, Такой тип стружек носит название стружек надлома (рис. 1.4 г).

Качество обработанной поверхности заготовки, режим резания, стойкость инструмента, расход энергии на резание зависят от характера и степени деформирования металла, превращаемого в стружку. Поэтому изучению зоны стружкообразования всегда уделялось много внимания.

Это облегчает наблюдение и видеосъемку боковой поверхности зоны стружкообразования.

Впервые схему стружкообразования при резании предложил И.А. Тиме (1870 г.), а затем ее развил К.А. Зворыкин (1893 г.). За рубежом (США) эти схемы повторил *M.E. Merchant* (1945 г.).

При строгании резец движется со скоростью резания V (рис. 1.5). Толщина срезаемого слоя a при строгании равна глубине резания t . Линия среза P_1-P_2 теоретически касается вершины режущей кромки и параллельна направлению скорости резания. Практически всегда режущая кромка имеет округление радиусом ρ вследствие износа или неизбежно образуется в процессе обычной заточки инструмента. При резании часть металла в точке O вдавливается под радиусный участок и проходит под задней поверхностью резца. Поэтому фактически линия среза определяется линией $N-O-E-B-Q$.

Толщина слоя вдавливаемого под режущую кромку металла h_1 зависит от радиуса округления режущей кромки ρ , толщины срезаемого слоя a , механических свойств обрабатываемого материала и наличия нароста или застойной зоны обрабатываемого материала у режущей кромки. Обычно h_1 составляет от нескольких микрометров при чистовой обработке до десятых долей миллиметра при черновой обработке, но при анализе явлений на передней поверхности инструмента в первом приближении ею можно пренебречь.

Величина упругого восстановления обработанной поверхности h_2 немного меньше h_1 и зависит от тех же факторов плюс выдавливание на боковые поверхности пластины и пластическая деформация металла на обработанной поверхности. От величины h_2 в большой степени зависит глубина и степень пластической деформации обработанной поверхности, долговечность детали при её эксплуатации.

При движении резца перед ним образуется зона **первичной пластической деформации**, в которой обрабатываемый металл деформируется уже не только упруго, но и пластически, и изменяет

направление своего движения на параллельное относительно передней поверхности инструмента. Начало этой зоны определяется кривой $D-I-E$, окончание – кривой $G-K-F$. Скорость деформаций в этой зоне очень большая, на несколько порядков больше, чем при обычных испытаниях образцов на разрыв или сжатие. Большое влияние здесь оказывает скорость резания и температура, которая увеличивается вследствие пластической деформации. Большая часть деформаций и изменений происходит вблизи поверхности, определяемой линией MO . Чем меньше пластичность металла и больше скорость резания, тем меньше величина зоны первичной пластической деформации $D-I-E-O-F-K-G$, тем больше она сужается до плоскости MO , которую называют **условной плоскостью сдвига**. Такое название эта область получила в связи с принятием упрощения: условно считается, что вся пластическая деформация происходит только в этой зоне и по этой плоскости происходит сдвиг обрабатываемого материала из слоя, подлежащего удалению, и преобразования его в стружку (рис. 1.6 и 1.7)

Из-за изменения направления скорости перемещения срезаемого слоя от параллельного скорости резания V до параллельного передней поверхности инструмента после прохождения условной плоскости сдвига MO и больших пластических деформаций толщина стружки a_1 больше толщины срезаемого

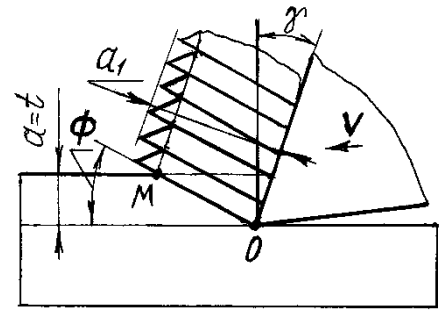


Рис. 1.6. Схема сдвига элементов стружки по условной плоскости сдвига при строгании пластины

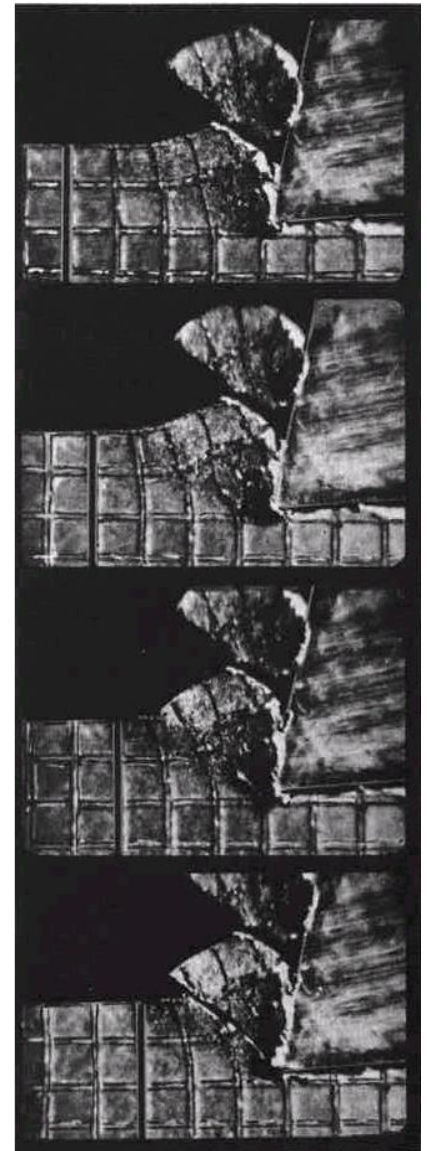


Рис. 1.7. Формирование элементной стружки со сдвигом элементов стружки по плоскости сдвига при строгании пластины (увеличено в 5 раз)

слоя a (рис. 1.5). Отношение a_1/a называется *усадкой стружки по толщине* и обозначается k_a ($k_a = a_1/a$). Чем больше k_a , тем большей пластической деформации подвергся удаляемый слой металла при его прохождении через зону первичной пластической деформации, т.е. k_a есть мера пластической деформации стружки.

При увеличении пластичности металла k_a увеличивается, увеличивается и зона первичной пластической деформации. Например, при увеличении толщины стружки a_1 до a'_1 при неизменной толщине срезаемого слоя a зона первичной пластической деформации увеличится до положения $D'-I'-E'-O-F'-K'-G'$ и начало зоны первичной пластической деформации переместится до положения $D'-I'-E'$ (см. рис. 1.5). При этом существенно увеличится объём металла, подвергаемый пластической деформации, а, значит, и увеличится сила резания.

При увеличении усадки стружки зона пластической деформации опускается ниже (точка I'), поэтому помимо увеличения степени пластической деформации увеличивается и глубина пластически деформированного поверхностного слоя обработанной поверхности. Увеличение степени пластической деформации приводит к увеличению наклёпа поверхностного слоя заготовки, что может привести к появлению усталостных трещин при эксплуатации детали.

Наружная поверхность стружки, как правило, имеет пилообразный характер (рис. 1.6 и 1.7), что сказывается на точности измерения средней толщины стружки. При пластической деформации объём срезаемого слоя ($\omega = l \times a \times b$) и объём стружки, снятой с этой длины ($\omega' = l_1 \times a_1 \times b_1$), равны, т.е. $\omega = \omega'$. При вычислении объёмов используются следующие условные обозначения: l – длина пластины, с которой снята стружка; a – толщина среза (при строгании пластины это глубина резания t); b – ширина строгаемой пластины; l_1 – длина непрерывной стружки, срезанной с пластины длиной l ; a_1 – толщина стружки; b_1 – ширина стружки (рис. 1.5).

Это свойство равенства объёмов используется при измерении *истинной усадки* стружки по длине:

$$l \times a \times b = l_1 \times a_1 \times b_1.$$

После переноса l_1 в левую часть уравнения получим:

$$l/l_1 = (a_1 \times b_1)/(a \times b).$$

$$k_l = l / l_1 = (a_1/a) \times (b_1/b) = k_a \times k_b,$$

где k_l – усадка стружки по длине; $k_a = a_1/a$ – усадка стружки по толщине; $k_b = b_1/b$ – усадка стружки по ширине.

Своё название «усадка стружки» термин получил из-за того, что длина стружки всегда меньше длины поверхности, с которой эта стружка была снята.

Из рис. 1.5 видно, что чем больше усадка стружки, тем меньше *угол условной плоскости сдвига* Φ . Угол Φ зависит от пластичности обрабатываемого металла, режимов резания, а в общем от усадки стружки по толщине k_a (K) и главного переднего угла γ :

$$\operatorname{tg} \Phi = \cos \gamma / (k_a \cdot \sin \gamma).$$

При движении стружки по передней поверхности инструмента чистая (*ювенильная*, т.е. не окисленная и ещё не взаимодействовавшая с атмосферой), только что образовавшаяся прирезцовая поверхность стружки «прилипает» к передней поверхности инструмента. Этому явлению (*адгезии*) способствует высокая температура стружки из-за выделения теплоты при пластической деформации в зоне стружкообразования. Большая величина *нормальной* (перпендикулярной к передней поверхности) *контактной нагрузки* в этой зоне ещё больше увеличивает этот эффект, в результате чего слой металла стружки, контактирующий с передней поверхностью резца, затормаживается (рис. 1.8). Выше расположенные слои стружки также замедляются, но всё же перемещаются относительно ниже расположенных (более близких к передней поверхности инструмента). [23]

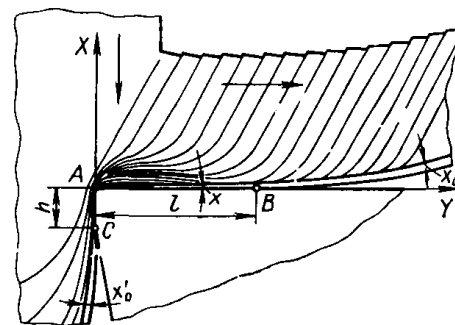


Рис. 1.8. Образование зоны вторичной пластической деформации

Такое явление носит название «*внутреннее трение*» и коэффициент этого трения $\mu = N/F$ отличается от коэффициента обычного внешнего трения

скольжения, определяемым законом Ньютона-Кулона по такой же формуле $f=N/F$. Коэффициент внешнего трения скольжения f не зависит от нормальной нагрузки N , поэтому сила трения F может быть рассчитана по формуле $F = N \times f$, т.е. она зависит от нормальной нагрузки N .

В случае **внутреннего трения** сила трения F в прилегающей к режущей кромки зоне **не зависит от нормальной нагрузки N** , а зависит от предела прочности обрабатываемого материала на сдвиг τ при рассматриваемой температуре. Коэффициент внутреннего трения μ на участке OL не является постоянной величиной и во много раз меньше коэффициента трения скольжения f .

Из-за взаимного смещения слоёв металла в прирезцовой части стружки у режущей кромки происходят дополнительные пластические деформации, поэтому зона FKL (см. рис. 1.5) является зоной **вторичных пластических деформаций**, т.е. происходящих после первичных пластических деформаций в зоне $D-I-E-O-F-K-G$. Длина участка **пластического** контакта $c_1 = (0,3 \dots 0,7) c$, где c – длина контакта стружки с передней поверхностью инструмента (см. рис. 1.5). Для пластичных металлов, например, меди, коэффициент больше (приблизительно 0,7); для малопластичных, например, чугуна, – меньше (приблизительно 0,3); для конструкционной незакалённой стали – приблизительно 0,5.

На участке вторичных пластических деформаций отсутствует обычное внешнее трение, потому на участке OL практически отсутствует и абразивный износ, что можно видеть на фотографиях передней поверхности изношенного инструмента. Для конструкционной незакалённой стали длина контакта стружки с передней поверхностью инструмента $c \approx (5 \dots 10) a$. При точении заготовки резцом с главным углом в плане φ с продольной подачей s (мм/об) толщина срезаемого слоя $a = s \times \sin \varphi$ (мм).

1.1.5 Влияние обрабатываемого материала на силы и температуру резания

При увеличении прочности материала увеличивается и сила резания. Большое влияние оказывает и усадка стружки. Усадка стружки по толщине рассчитывается по формуле $K_a = a_1/a$, где a_1 – толщина стружки, a – толщина среза ($a = s \cdot \sin\varphi$). При обработке пластичных материалов, образующих сливную стружку, $K_a = 5-8$, при обработке хрупких материалов, образующих элементную стружку, $K_a = 1,1-1,5$. Увеличение усадки стружки приводит к увеличению зоны стружкообразования, и это, в свою очередь, вызывает увеличение силы резания.

Большое влияние оказывает и температура резания – с её увеличением уменьшается прочность, но если при этом увеличивается пластичность, то усадка будет увеличиваться, что вызовет увеличение силы резания. С увеличением теплопроводности материала рост температуры при увеличении скорости резания будет не столь значительным. Титановые сплавы имеют малый коэффициент теплопроводности λ , поэтому при резании происходит более сильное увеличение температуры в зоне стружкообразования, по сравнению с обработкой конструкционной стали.

Большое влияние на силы резания оказывают силы трения стружки и обрабатываемого материала соответственно о переднюю и заднюю поверхности инструмента. Нагрев металла может существенно изменить его свойства по сравнению с теми, которые были получены при обычных статических испытаниях. Поэтому нет точной и однозначной зависимости между силой резания и прочностью обрабатываемого материала, а также его твердостью и другими механическими характеристиками.

В целом силы резания растут при увеличении твердости, пластичности и вязкости обрабатываемого материала.

При обработке хрупких металлов, например чугуна, когда работа пластической деформации весьма мала и удельные силы резания

незначительны, температура резания заметно ниже, чем при обработке стали. Давление чугушной стружки сосредотачивается непосредственно на режущей кромке или вблизи нее, но это весьма неблагоприятное обстоятельство влияет на выкрашивание и абразивно-механический износ режущей кромки, по сравнению со сравнительно небольшой температурой резания.

1.2 Методы исследования деформаций в зоне стружкообразования

1.2.1 Метод координатных сеток

Этот метод позволяет качественно и количественно оценить напряженно-деформированное состояние в зоне резания при образовании сливных и элементных (стружек скалывания) стружек. На боковой отшлифованной поверхности пластины из обрабатываемого материала твёрдосплавным острым наконечником или алмазным индентором царапанием наносится сетка. Размеры ячеек, с одной стороны, должны быть как можно меньше, чтобы точнее определить границы зоны деформации. С другой стороны, излишне малый размер ячеек не позволит различать границы после прохождения через зону пластической деформации и их искажения. Обычно размер ячеек сетки 0,01...0,1 мм.

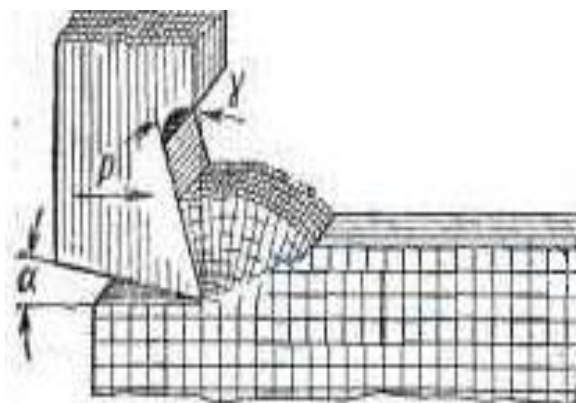


Рис. 1.9. Метод координатных сеток

Если не ставится задача о наблюдении деформации непосредственно при резании, то готовится обычно две пластины, которые затем сжимаются в тисках подготовленными поверхностями друг к другу для уменьшения выдавливания металла у боковой поверхности. Горизонтальные линии сетки должны быть параллельны направлению скорости резания.

По характеру искажения формы ячеек сеток можно получить представления о размерах зоны деформированного материала, количественных характеристиках напряженно-деформированного состояния в очаге деформации и поверхностном слое детали, а также о контактных нагрузках и трении на поверхностях режущего клина. [18]

Разновидностью этого метода является нанесение на боковую поверхность лунок на твердомере (рис. 1.10, а). О степени деформации судят по изменению круглой формы в эллипсовидную. После прохождения материала заготовки через зону первичной пластической деформации *угол наклона главной оси эллипса* β всегда больше угла наклона условной плоскости сдвига Φ на величину ψ (*угол текстуры стружки*) (рис. 1.10, б). А.М. Розенберг вывел уравнение для расчёта этого угла :

$$\operatorname{ctg} \psi = \operatorname{tg}(\Phi - \gamma) + \frac{a \cos \Phi (1 + \operatorname{tg} \Phi)}{a \sin \Phi} = \operatorname{tg}(\Phi - \gamma) + 1 + \operatorname{ctg} \Phi = \varepsilon + 1,$$

где ε – относительный сдвиг, определяемый по формуле

$$\varepsilon = \operatorname{ctg} \Phi + \operatorname{tg}(\Phi - \gamma),$$

или

$$\varepsilon = \frac{\cos \gamma}{\cos(\Phi - \gamma) \sin \Phi} = \frac{K^2 - 2K \sin \gamma + 1}{K \cos \gamma}$$

Угол текстуры стружки может быть определён и по формуле Боброва В.Ф.:

$$\operatorname{ctg} \psi = \frac{\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2 + 4}}{2}$$

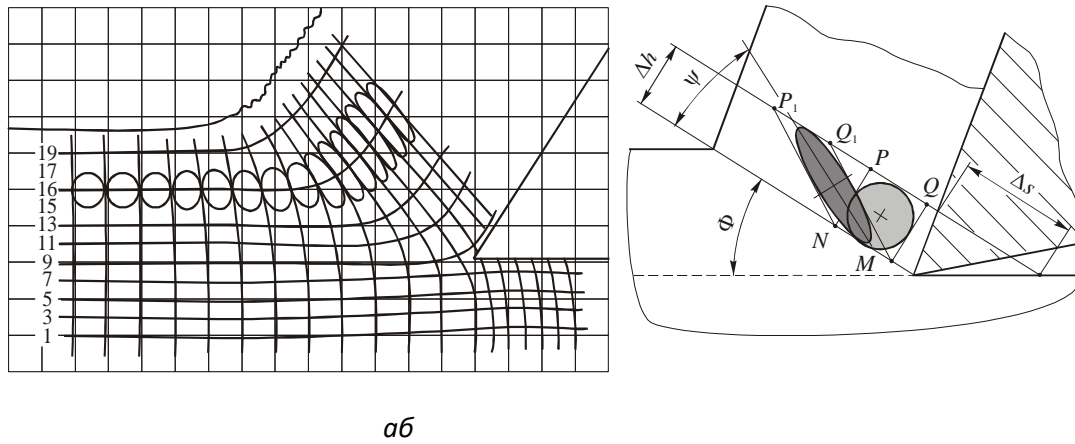


Рис.1.10. Искажения (а) координатной сетки, полученной методом вдавливания

Относительный сдвиг при резании может быть определен также через скорость сдвига на условной плоскости сдвига из уравнений v_{Φ}

$$\varepsilon = \frac{v_{\Phi}}{v \sin \Phi} = \frac{\cos \gamma}{\cos(\Phi - \gamma) \sin \Phi},$$

а скорость деформации по формуле

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\Delta S}{\Delta h \Delta t} = \frac{v_{\Phi}}{\Delta h} = \frac{v \cos \gamma}{\cos(\Phi - \gamma) \Delta h},$$

где ΔS - протяжённость зоны первичных пластических деформаций, Δh мм (рис. 1.10, б).

Скорость деформации зависит от скорости резания. При очень узкой зоне деформации, которая составляет десятые доли миллиметра, скорость деформации достигает очень больших значений. Например, при резании латуни резцом с углом $\psi = +17^\circ$ и скоростью $v = 250$ м/мин скорость деформации $\dot{\varepsilon} = 2,410 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ [22].

Таким образом, при резании скорость деформации по сравнению с механическими испытаниями выше в 10^6 раз, а степень деформации в несколько раз выше, чем при других видах пластической деформации. При этом деформация протекает при высоких температурах и давлениях на передней поверхности режущего клина. Все эти факторы необходимо учитывать, используя справочные данные о пределе прочности, текучести

и пр., которые, как правило, были получены при нормальных температурах и в статических условиях.

Отсюда следует, что процесс резания металлов является процессом глубокой пластической деформации, протекающей в экстремальных условиях. Поэтому многие закономерности этого процесса в настоящее время не могут быть установлены чисто теоретически и являются результатом экспериментально-теоретических исследований.

1.2.2 Металлографический метод

При исследовании процесса резания металлографическим методом производят исследование шлифов стружки, обработанной поверхности, рабочей поверхности резца и, что особенно ценно, шлифов корня стружки в различных сечениях.

После прохождения материала заготовки через зону первичной пластической деформации границы зёрен искажаются и вытягиваются, что позволяет судить о направлении и степени пластической деформации (рис. 1.11).

Наблюдая распределение микротвердости деформированного материала и зная величину интенсивности деформации, можно определить величины интенсивностей напряжений в различных точках зоны резания (рис. 1.11).

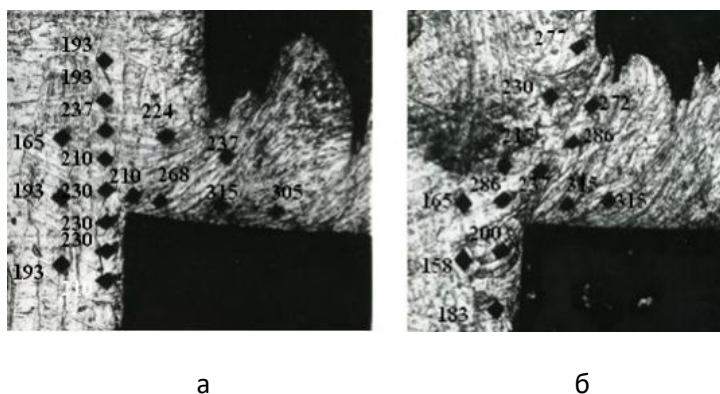


Рис. 1.11. Распределение микротвердости при точении стали: а – $V = 5$ м/мин; б – $V = 8$ м/мин

1.2.3. Поляризационно-оптический метод

При исследованиях напряжённого состояния поляризационно-оптическим методом применяют образцы из однородного, изотропного прозрачного материала, например, стекла, целлулоида, ксилолита, фенолита и бакелита. При

действии напряжений эти материалы становятся

двоякопреломляющими.

Если пропустить пучок поляризованного света через прозрачную модель, находящуюся в



Рис. 1.12. Изохромы при резании целлулоида резцами с различными передними углами

напряженном состоянии, получается окрашенное изображение, по которому можно найти распределение напряжений (рис. 1.12).

Лучи, проходящие через образец, в разных точках и разных направлениях будут иметь разную скорость прохождения, в результате получится сдвиг фаз световых колебаний. опыты показывают, что разность скоростей света пропорциональна разности напряжений.

В лаборатории резания металлов ТПУ под руководством М.Ф. Полетики была разработана и изготовлена поляризационно-оптическая установка. Установка монтировалась на токарном станке и состояла из оптической системы для наблюдения и фотографирования процесса резания в поляризованном свете и динамометра для измерения силы резания.[23]

В качестве источника света использовалась ртутно-кварцевая лампа ДРШ-250. Для получения монохроматического света применялся либо зеленый фильтр ЖЗС-9, либо водный раствор сернокислого никеля. Круговая поляризация света обеспечивалась с помощью слюдяных пластинок.

Поляриды диаметром в 45мм закрепляются в специальных втулках, которые могут поворачиваться на любой угол, отсчитываемый по лимбу, что

позволят определять направления главных напряжений при скрещенных поляризаторах. Фотографирование производилось с помощью фотокамеры 9×12.

Важным достоинством поляризационно-оптического метода является то, что картины распределения напряжений, получаемые оптическим методом на прозрачных веществах, и все выводы остаются справедливыми для любых непрозрачных однородных материалов. Иначе говоря, картина распределения напряжений, получаемая оптическим методом, не зависит от природы испытуемого материала. Вследствие этого оптический метод может применяться для моделирования процесса резания с разной геометрией в главной секущей плоскости и толщиной среза.

1.3. Методы измерения остаточных напряжений и наклёпа обработанной поверхности

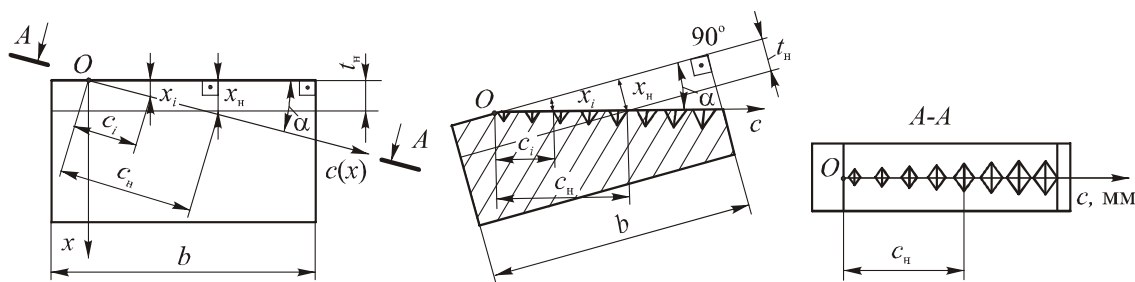
Наряду со стружкой определённый слой материала заготовки на обработанной поверхности тоже деформируется.

Сначала он упруго-пластически деформируется после прохождения зоны первичной пластической деформации, т.к. её фронтальная граница у режущей кромки проходит ниже линии среза (см. рис. 1.5), и чем больше зона первичной пластической деформации, тем в большей степени и на большей глубине происходят пластические деформации от зоны первичной пластической деформации. Дополнительную пластическую деформацию получает обработанная поверхность в результате подмятия слоя материала толщиной h_1 под радиусный участок режущей кромки, что приводит к существенному увеличению и степени пластической деформации, у глубины её проникновения.[21]

Пластическая деформация поверхностного слоя приводит к её *наклёпу*. Наряду с повышением твёрдости это вызывает и повышенную склонность к образованию микро- и макротрещин, особенно при последующей закалке, существенному уменьшению усталостной прочности и увеличению остаточных напряжений.

Все эти факторы могут привести к короблению заготовки сразу же после обработки или спустя некоторое время (наследственность может сохраняться даже после многократных последующих обработок этой поверхности), уменьшению надёжности работы детали при эксплуатации.

Для оценки глубины и степени пластической деформации применяется выборочный контроль твёрдости поверхностного слоя обработанных заготовок. Глубина наклёпа очень мала и составляет сотые доли миллиметра при получистовой и чистовой обработке, поэтому для увеличения протяжённости исследуемой области выполняется косой шлиф под углом α к поверхности заготовки (рис.2.13, а). Величина этого угла – несколько градусов: чем меньше глубина слоя, тем меньше должен быть этот угол.



абв

Рис.1.13. Исследование глубины и степени наклёпа: а – выполнение косого шлифа под углом α к поверхности заготовки; б – положение контролируемой поверхности при измерении её микротвёрдости; в – размеры отпечатков при измерении микротвёрдости

После этого измеряется микротвёрдость по Виккерсу (HV) поверхности образовавшейся гипотенузы прямоугольного треугольника (рис.1.13, б), где катетом является глубина исследуемой зоны

$$x_i = c_i \times \sin \alpha, \text{ [мм]},$$

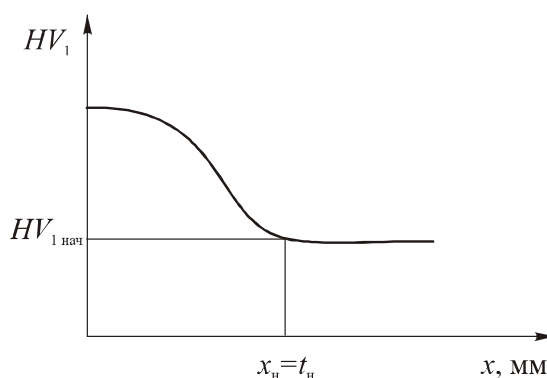


Рис.1.14. Изменение микротвёрдости в зависимости от глубины от поверхности заготовки

где x_i – глубина исследуемой зоны, мм; c_i – расстояние от поверхности (от точки O) до исследуемой зоны по поверхности косого шлифа, мм.

Чем больше степень наклёпа, тем больше твёрдость и тем меньше размеры отпечатка после внедрения индентора (рис.1.13, в, вблизи точки O)

По результатам измерений строится график, где по оси абсцисс откладывается глубина исследуемой зоны (катет x_i на рис.1.13, а), по оси ординат – микротвёрдость на этой глубине (рис.1.14).

На графике видно, что сначала твёрдость не изменяется или изменяется незначительно – это соответствует наибольшей величине наклёпа. Затем с удалением от поверхности твёрдость уменьшается, что свидетельствует об уменьшении степени наклёпа. Величина $x_i = x_H$ на графике, начиная с которой твёрдость не изменяется и равна твёрдости исходной заготовки до обработки есть глубина наклёпанного слоя t_H , хотя, как это было показано, степень его наклёпа не везде одинакова.

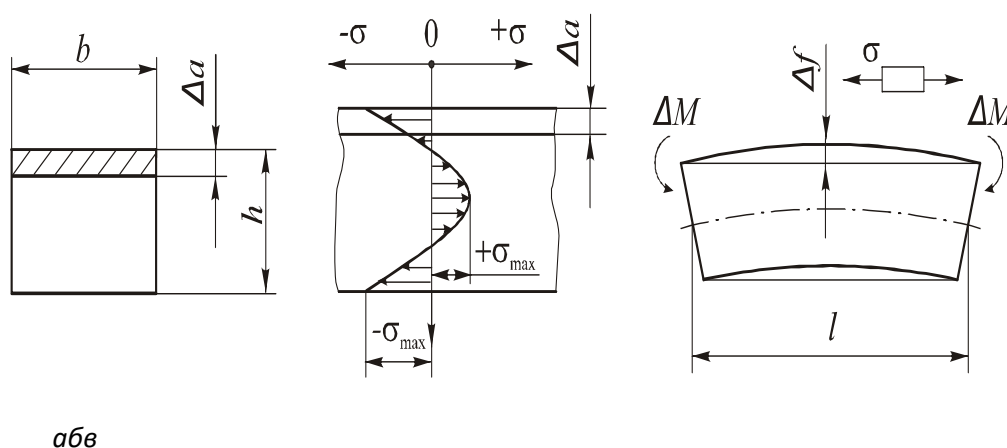


Рис.1.15. Определение остаточных напряжений в заготовке механическим путём: а – удаление слоя металла толщиной Δa ; б – пример распределения остаточных напряжений в заготовке; в – изгиб пластины после удаление слоя металла толщиной Δa от перераспределения остаточных напряжений

Остаточные напряжения характеризуются:

- 1) знаком: растягивающие – со знаком (+), сжимающие – со знаком (-) (рис. 1.15, б);

- 2) текущей величиной по абсолютному значению $|\sigma_{ост i}|$ и максимальной величиной по абсолютному значению $|\sigma_{ост max}|$ (рис. 1.15, б);
- 3) глубиной нахождения максимального значения σ_{max} .

Остаточные напряжения могут определяться разрушающим контролем (механическим путём) и неразрушающим контролем (с использованием рентгеновских лучей, ультразвуковых или акустических колебаний).

Рентгеновский метод основан на измерении разницы параметров кристаллической решётки обработанной поверхности и не деформированной решётки материала заготовки. Существенными недостатками этого метода являются невысокая точность и трудоёмкость.

Для измерения остаточных напряжений механическим путём применяется последовательное поэтапное шлифование поверхности заготовки с измерением деформации заготовки на каждом этапе (рис. 1.15, а).

После удаления с поверхности пластины слоя материала толщиной Δa пластина изгибается с величиной прогиба Δf (рис. 1.15, в). Этот прогиб вызван появлением момента ΔM от перераспределения внутренних напряжений, которые были уравновешены до удаления слоя материала (рис. 1.15, б). Из сопромата известно, что этот прогиб может быть рассчитан по формуле:

$$\Delta f = \Delta M \times \ell^2 / 8EJ, \text{ [мм]},$$

где: ℓ – длина пластины, мм; E – модуль упругости (модуль Юнга), н/мм² (МПА); J – момент сопротивления изгибу, мм⁴.

Для простейшего случая – изгиба пластины, – момент сопротивления определяется по формуле:

$$J = b \times h^3 / 12, \text{ [мм}^4\text{]},$$

где: b – ширина пластины, мм; h – толщина пластины, мм.

Изгибающий момент при изгибе от перераспределения остаточных напряжений:

$$\Delta M = \sigma_{\text{ост}} \times \Delta a \times b \times h/2, \text{ [Н}\cdot\text{мм]},$$

где: $\sigma_{\text{ост}}$ – остаточные напряжения на контролируемой глубине, Н/мм²; Δa – толщина удаляемого слоя при определении остаточного напряжения механическим способом, мм.

Контролируемая глубина h_i рассчитывается по формуле

$$h_i = \Delta a_1 + \Delta a_1 + \dots + \Delta a_i, \text{ [мм]},$$

где: Δa_i – толщина удаляемого слоя на каждом предварительном этапе определения остаточных напряжения, мм.

В результате преобразований получается формула для определения остаточные напряжения на контролируемой глубине h_i

$$\sigma_{\text{ост}i} = \frac{4}{3} \cdot \frac{E \cdot h^2}{\ell^2} \cdot \frac{\Delta f_i}{\Delta a}, \text{ [Н/мм}^2\text{]}.$$

где: Δf_i – величина прогиба на i -том этапе определения остаточных напряжения, мм; E – модуль упругости (модуль Юнга), Н/мм².

$$E = \sigma / \varepsilon, \text{ [Н/мм}^2\text{]},$$

где: σ – напряжение, возникающее в образце при его относительной упругой деформации ε ($\varepsilon = \Delta \ell / \ell$, где $\Delta \ell$ – удлинение образца длиной ℓ под действием растягивающей силы P , Н); $\sigma = P / S$, где S – площадь поперечного сечения образца, мм².

Для уменьшения наклёпа и остаточных напряжений применяется термическая обработка: отжиг и отпуск. Отжиг характеризуется нагревом на высокую температуру – вплоть до температуры рекристаллизации, – и медленным остыванием в догревочной печи. Он применяется только в том

случае, когда степень наклёпа очень большая и требуется практически полностью избавиться от него.

Отпуск характеризуется нагревом на меньшую температуру и более быстрым остыванием на воздухе или в теплоизолированных камерах. Он бывает высоким, средним и низким в зависимости от температуры нагрева и скоростью охлаждения.

Для уменьшения остаточных напряжений может применяться естественное или искусственное старение, однако на промежуточных этапах изготовления детали они практически не используются.

Для уменьшения наклёпа и остаточных напряжений необходимо использовать жёсткое закрепление заготовки при её обработке, острозаточенные инструменты с оптимальной геометрией и не допускать их существенного износа, применять небольшие подачу и глубину резания, использовать обильный полив СОЖ для предотвращения нагрева заготовки и т.п. Всё это положительно сказывается на точности изготовления и увеличении надёжности работы.

2. Методика выполнения работы

Для проверки зависимостей параметров качества поверхностного слоя заготовок, обработанных концевыми фрезами с разными углами наклона винтовой стружечной канавки, необходимо провести серию экспериментов, предварительно выбрав металлорежущий инструмент, обрабатываемый материал, используемые в настоящее время на машиностроительных производствах, режимы резания. В ходе выполнения диссертационной работы была разработана методика, позволяющая провести спектр экспериментальных исследований параметров качества поверхностного слоя после операции концевой фрезерования с минимальными затратами материала и времени. Разработанная методика позволяет получить значения шероховатости обработанной поверхности, глубины и степени наклепа.

2.1. Выбор металлорежущего инструмента

Предприятием ООО «ПК МИОН» была поставлена задача, в данной работе, провести исследования величины наклепанного слоя при металлообработке концевыми фрезами из быстрорежущей стали определённой геометрии, чтобы определить зависимость геометрических параметров инструмента второго порядка от величины и степени наклепа, обрабатываемой поверхности.

Материал всех фрез – быстрорежущая сталь по ГОСТ 19265-73, твердость фрез 63...66 HRC. Далее в разделе представлены чертежи концевых фрез.

Основные геометрические параметры **Фрезы 1** :

- Диаметр $\varnothing = 20\text{мм}$;
- Число зубьев $z = 2$;
- Угол наклона винтовой стружечной канавки $\omega = 20^\circ$;
- Передний угол главной режущей кромки $\gamma = 5^\circ \pm 1^\circ$;

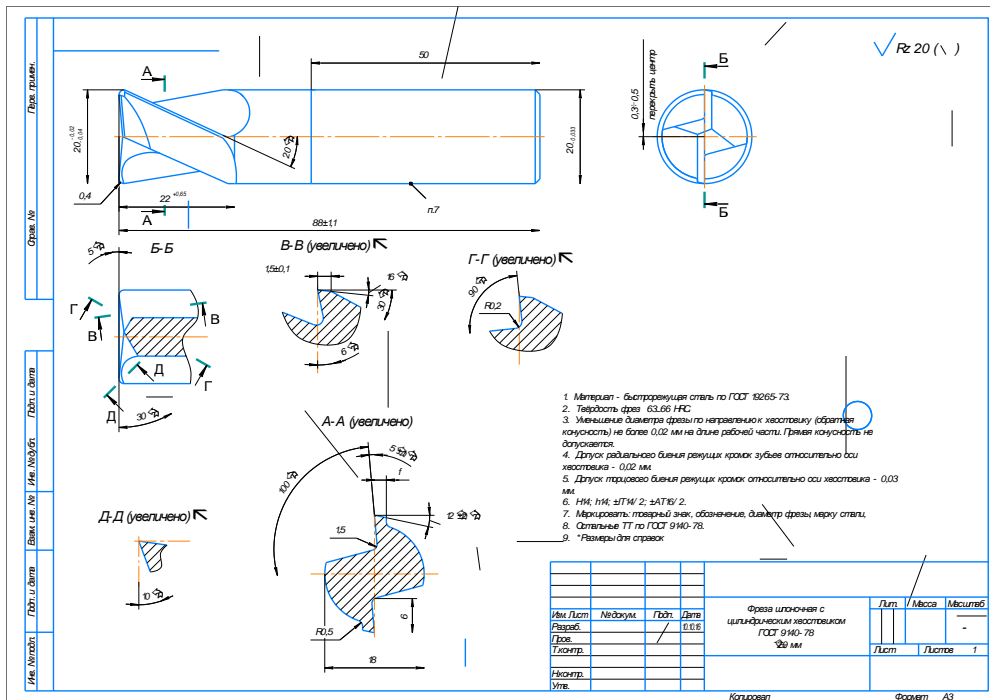


Рис.2.1. Фреза шпоночная с цилиндрическим хвостовиком.

Основные геометрические параметры **Фрезы 2** :

- Диаметр $\varnothing = 20\text{мм}$;
- Число зубьев $z = 6$;
- Угол наклона винтовой стружечной канавки $\omega = 30^\circ$;
- Передний угол главной режущей кромки $\gamma = 15^\circ \pm 2^\circ$;

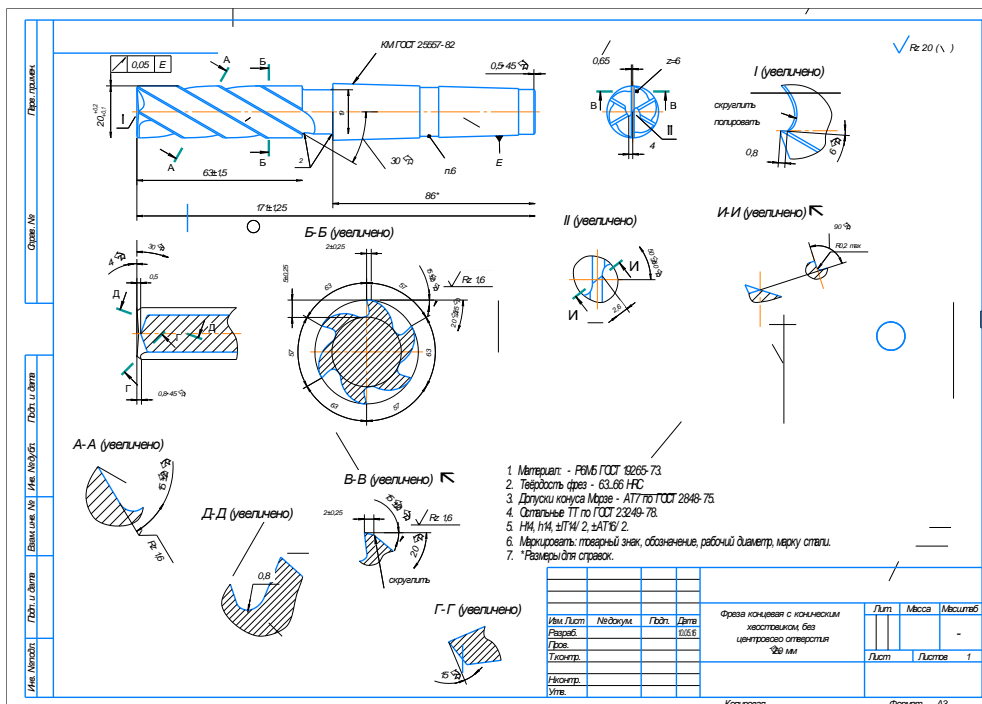


Рис.2.2. Фреза концевая с коническим хвостовиком.

Основные геометрические параметры Фрезы 3 :

- Диаметр $\varnothing = 20\text{мм}$;
- Число зубьев $z = 3$;
- Угол наклона винтовой стружечной канавки $\omega = 45^\circ$;
- Передний угол главной режущей кромки $\gamma = 15^\circ \pm 2^\circ$;

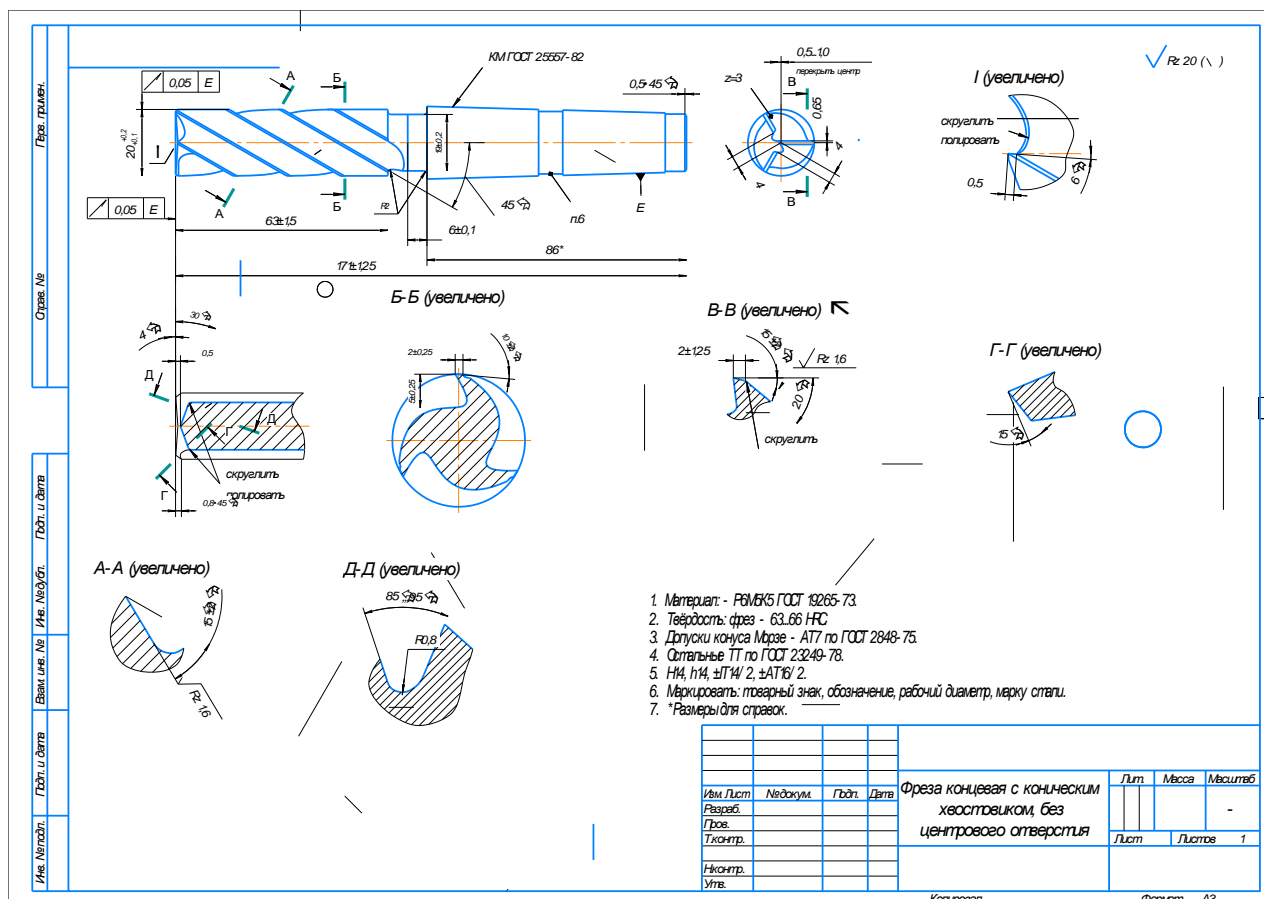


Рис.2.3. Фреза концевая с коническим хвостовиком.

Основные геометрические параметры Фрезы 4 :

- Диаметр $\varnothing = 20\text{мм}$;
- Число зубьев $z = 4$;
- Винтовая стружечная канавка волновая;
- Передний угол главной режущей кромки $\gamma = 14^\circ \pm 30'$;

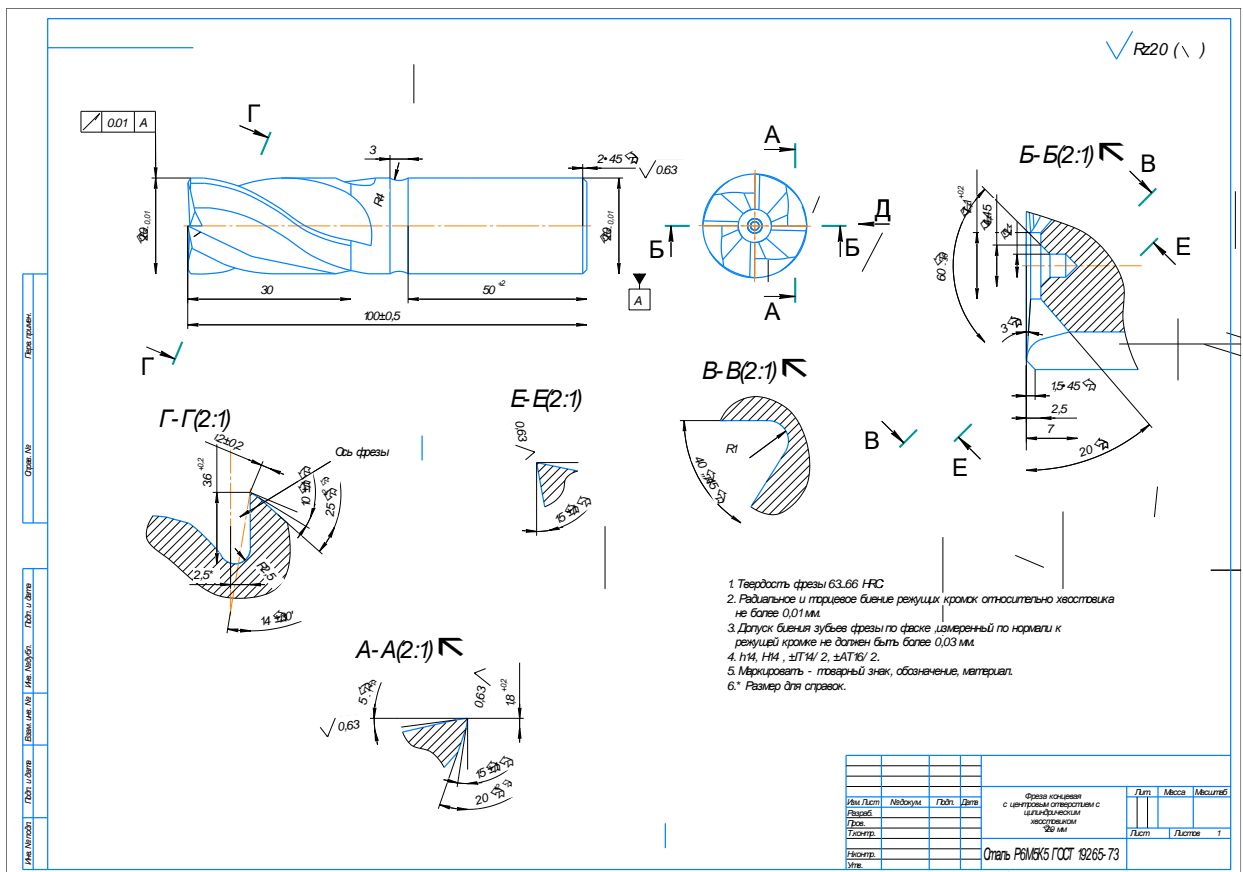


Рис.2.4. Фреза с волнообразной режущей кромкой с центровым отверстием с цилиндрическим хвостовиком.

2.2. Выбор обрабатываемого материала

Исследование влияния фрезерования на зависимость геометрических параметров концевых фрез от степени и глубины наклепанного слоя, осуществлялось на образцах конструкционно углеродистой стали 40Х. Так как материалы для корпусов сборного инструмента должны обладать достаточной прочностью и теплопроводностью, сохранять точность размеров и формы после термообработки, хорошо обрабатываться и обеспечивать прочное соединение с режущей частью после сварки, наварки и напайки, а также быть дешевыми и не содержать дефицитных элементов. Поэтому всем этим требованиям в полной мере отвечают конструкционные углеродистые (марки 40, 45, 50) и качественные стали 40Х, 45Х, 40ХН.

Углеродистые стали применяют 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 качественных сталей (в основном из стали 40Х), которые обладают повышенной прочностью и обеспечивают меньшее коробление в процессе термической обработки.

В качестве образцов были выбраны заготовки имеющие форму куба со стороной 20 мм. Образцы вырезались на электроэрозионном проволочном станке из горячекатаного прута квадратной формы. Было изготовлено 4 образца для каждого типа концевой фрезы.

2.3 Расчет режимов резания

На каждом образце обрабатывалась одна поверхность. Обработка осуществлялась на консольно-фрезерном станке модели 6Н82 попутным методом фрезерования как показано на схеме (рис. 2.5).

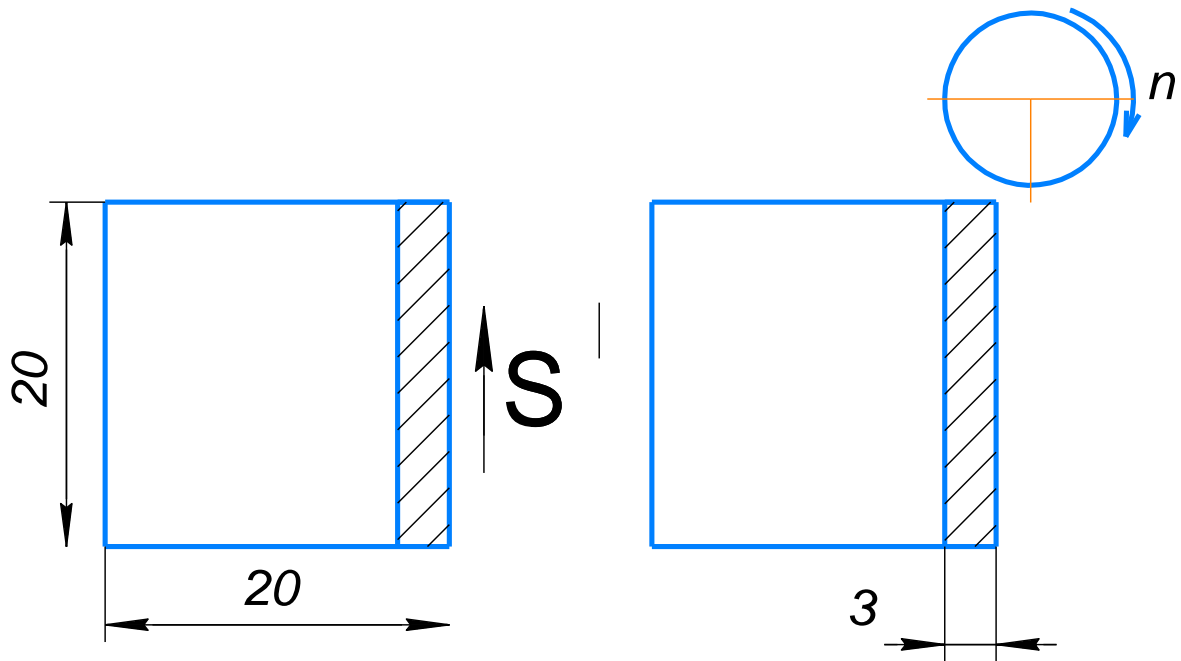


Рис. 2.5. Схема обработки образцов.

Фрезерная операция для концевой фрезы с углом винтовой стружечной канавки в 20°.

Характеристика режущего инструмента:

Концевая фреза $D_{\phi} = 20$ мм, $z = 2$, $L = 22$ мм, $\omega = 20^{\circ}$.

1. Глубина и ширина фрезерования:

$$t = 3 \text{ мм.}$$

$$B = 20 \text{ мм.}$$

2. Определяем подачу на зуб по таблице 76 [19, с.403]:

$$S_z = 0,1 \text{ мм/зуб}$$

3. Скорость резания определим по формуле, м/мин:

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

Период стойкости инструмента принимаем по таблице 82 [19, с.411]

$$T = 80 \text{ мин.}$$

Значения коэффициентов: $C_v = 46,7$; $q = 0,45$; $x = 0,5$; $y = 0,5$; $u = 0,1$; $p = 0,1$; $m = 0,33$;

Коэффициент K_v определяется по формуле:

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{ПV} \cdot K_{ИV}$$

$K_{MV} = 0,9$; $K_{ПV} = 0,9$; $K_{ИV} = 1,2$.

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{ПV} \cdot K_{ИV} = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1,2 = 0,97$$

Скорость резания:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_v = \frac{46,7 \cdot 20^{0,45}}{80^{0,33} \cdot 3^{0,5} \cdot 0,1^{0,5} \cdot 20^{0,1} \cdot 2^{0,1}} \cdot 0,97 = 50 \text{ м/мин.}$$

4. Расчетное число оборотов шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 20} = 796,2 \text{ об/мин.}$$

Принимаем фактическое число оборотов, с учетом типа станка:

$$n_{\text{ст}} = 800 \text{ об/мин.}$$

5. Фактическая скорость резания:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 20 \cdot 800}{1000} = 50,3 \text{ м/мин.}$$

6. Определяем минутную подачу:

$$S_M = S_Z \cdot Z \cdot n_{\text{ст}} = 0,1 \cdot 2 \cdot 800 = 160 \text{ мм/мин.}$$

$$S_{\text{Мст}} = 200 \text{ мм/мин.}$$

$$S_{Z\phi} = \frac{S_{\text{Мст}}}{Z \cdot n_{\text{ст}}} = \frac{200}{2 \cdot 800} = 0,125 \text{ мм/зуб.}$$

7. Главная составляющая силы резания, окружная сила:

$$P_Z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_Z^y \cdot B^u \cdot Z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP}$$

Значения коэффициентов: $C_p = 68,2$; $x = 0,86$; $y = 0,72$; $u = 1$; $q = 0,86$; $w = 0$ – определены по таблице 83 [19, с.412]

По таблице 9 [kz, с. 362]:

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{610}{750} \right)^{0,3} = 0,94$$

Окружная сила, формула:

$$P_Z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_Z^y \cdot B^u \cdot Z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP} = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 3^{0,86} \cdot 0,1^{0,72} \cdot 20^1 \cdot 2}{20^{0,86} \cdot 800^0} \cdot 0,94 = 952 \text{ Н.}$$

8. Крутящий момент:

$$M_{кр} = \frac{P_Z \cdot D}{2 \cdot 100} = \frac{952 \cdot 20}{2 \cdot 100} = 95,2 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

9. Мощность резания:

$$N = \frac{P_Z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{952 \cdot 50,3}{1020 \cdot 60} = 0,78 \text{ кВт}$$

Мощность электродвигателя станка 7 кВт, она достаточна для выполнения операции.

Фрезерная операция для концевой фрезы с углом винтовой стружечной канавки в 30°.

Характеристика режущего инструмента:

Концевая фреза $D_\phi = 20 \text{ мм}$, $z = 6$, $L = 63 \text{ мм}$, $\omega = 30^\circ$.

1. Глубина и ширина фрезерования:

$$t = 3 \text{ мм.}$$

$$B = 20 \text{ мм.}$$

2. Определяем подачу на зуб по таблице 76 [19, с.403]:

$$S_z = 0,1 \text{ мм/зуб}$$

3. Скорость резания определим по формуле, м/мин:

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

Период стойкости инструмента принимаем по таблице 82 [19, с.411]

$$T = 80 \text{ мин.}$$

Значения коэффициентов: $C_v = 46,7$; $q = 0,45$; $x = 0,5$; $y = 0,5$; $u = 0,1$; $p = 0,1$; $m = 0,33$;

Коэффициент K_v определяется по формуле:

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

$$K_{MV} = 0,9; K_{PV} = 0,9; K_{IV} = 1,2.$$

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{PV} \cdot K_{IV} = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1,2 = 0,97$$

Скорость резания:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_v = \frac{46,7 \cdot 20^{0,45}}{80^{0,33} \cdot 3^{0,5} \cdot 0,1^{0,5} \cdot 20^{0,1} \cdot 6^{0,1}} \cdot 0,97 = 45 \text{ м/мин.}$$

4. Расчетное число оборотов шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 45}{3,14 \cdot 20} = 716,2 \text{ об/мин.}$$

Принимаем фактическое число оборотов, с учетом типа станка:

$$n_{\text{ст}} = 700 \text{ об/мин.}$$

5. Фактическая скорость резания:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 20 \cdot 700}{1000} = 44 \text{ м/мин.}$$

6. Определяем минутную подачу:

$$S_M = S_z \cdot Z \cdot n_{\text{ст}} = 0,1 \cdot 6 \cdot 700 = 420 \text{ мм/мин.}$$

$$S_{M\text{ст}} = 400 \text{ мм/мин.}$$

$$S_{Z\phi} = \frac{S_{MCT}}{Z \cdot n_{CT}} = \frac{400}{2 \cdot 700} = 0,286 \text{ мм/зуб.}$$

7. Главная составляющая силы резания, окружная сила:

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

Значения коэффициентов: $C_p = 68,2$; $x = 0,86$; $y = 0,72$; $u = 1$; $q = 0,86$; $w = 0$ – определены по таблице 83 [19, с.412]

По таблице 9 [kz, с. 362]:

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{610}{750} \right)^{0,3} = 0,94$$

Окружная сила, формула:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP} = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 3^{0,86} \cdot 0,1^{0,72} \cdot 20^1 \cdot 6}{20^{0,86} \cdot 700^0} \cdot 0,94 = 2857 \text{ Н.}$$

8. Крутящий момент:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} = \frac{2857 \cdot 20}{2 \cdot 100} = 285,7 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

9. Мощность резания:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{2857 \cdot 44}{1020 \cdot 60} = 2,05 \text{ кВт}$$

Мощность электродвигателя станка 7 кВт, она достаточна для выполнения операции.

Фрезерная операция для концевой фрезы с углом винтовой стружечной канавки в 45°.

Характеристика режущего инструмента:

Концевая фреза $D_\phi = 20$ мм, $z = 3$, $L = 22$ мм, $\omega = 45^\circ$.

1. Глубина и ширина фрезерования:

$$t = 3 \text{ мм.}$$

$$B = 20 \text{ мм.}$$

2. Определяем подачу на зуб по таблице 76 [19, с.403]:

$$S_z = 0,1 \text{ мм/зуб}$$

3. Скорость резания определим по формуле, м/мин:

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

Период стойкости инструмента принимаем по таблице 82 [19, с.411]

$$T = 80 \text{ мин.}$$

Значения коэффициентов: $C_v = 46,7$; $q = 0,45$; $x = 0,5$; $y = 0,5$; $u = 0,1$; $p = 0,1$; $m = 0,33$;

Коэффициент K_v определяется по формуле:

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

$$K_{MV} = 0,9; K_{PV} = 0,9; K_{IV} = 1,2.$$

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{PV} \cdot K_{IV} = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1,2 = 0,97$$

Скорость резания:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_v = \frac{46,7 \cdot 20^{0,45}}{80^{0,33} \cdot 3^{0,5} \cdot 0,1^{0,5} \cdot 20^{0,1} \cdot 3^{0,1}} \cdot 0,97 = 50 \text{ м/мин.}$$

4. Расчетное число оборотов шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 20} = 796,2 \text{ об/мин.}$$

Принимаем фактическое число оборотов, с учетом типа станка:

$$n_{ст} = 800 \text{ об/мин.}$$

5. Фактическая скорость резания:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 20 \cdot 800}{1000} = 50,3 \text{ м/мин.}$$

6. Определяем минутную подачу:

$$S_M = S_z \cdot Z \cdot n_{ст} = 0,1 \cdot 3 \cdot 800 = 240 \text{ мм/мин.}$$

$$S_{Mст} = 200 \text{ мм/мин.}$$

$$S_{Zф} = \frac{S_{Mст}}{Z \cdot n_{ст}} = \frac{200}{3 \cdot 800} = 0,083 \text{ мм/зуб.}$$

7. Главная составляющая силы резания, окружная сила:

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

Значения коэффициентов: $C_p = 68,2$; $x = 0,86$; $y = 0,72$; $u = 1$; $q = 0,86$; $w = 0$ – определены по таблице 83 [19, с.412]

По таблице 9 [kz, с. 362]:

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{610}{750}\right)^{0,3} = 0,94$$

Окружная сила, формула:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP} = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 3^{0,86} \cdot 0,1^{0,72} \cdot 20^1 \cdot 3}{20^{0,86} \cdot 800^0} \cdot 0,94 = 1428 \text{ Н.}$$

8. Крутящий момент:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} = \frac{1428 \cdot 20}{2 \cdot 100} = 142,8 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

9. Мощность резания:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1428 \cdot 50,3}{1020 \cdot 60} = 1,17 \text{ кВт}$$

Мощность электродвигателя станка 7 кВт, она достаточна для выполнения операции.

Фрезерная операция для концевой фрезы с волнообразной режущей кромкой.

Характеристика режущего инструмента:

Концевая фреза $D_\phi = 20 \text{ мм}$, $z = 4$, $L = 30 \text{ мм}$.

1. Глубина и ширина фрезерования:

$$t = 3 \text{ мм.}$$

$$B = 20 \text{ мм.}$$

2. Определяем подачу на зуб по таблице 76 [19, с.403]:

$$S_z = 0,1 \text{ мм/зуб}$$

3. Скорость резания определим по формуле, м/мин:

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

Период стойкости инструмента принимаем по таблице 82 [19, с.411]

$$T = 80 \text{ мин.}$$

Значения коэффициентов: $C_v = 46,7$; $q = 0,45$; $x = 0,5$; $y = 0,5$; $u = 0,1$; $p = 0,1$; $m = 0,33$;

Коэффициент K_v определяется по формуле:

$$K_V = K_{MV} \cdot K_{PV} \cdot K_{IV}$$

$$K_{MV} = 0,9; K_{PV} = 0,9; K_{IV} = 1,2.$$

$$K_V = K_{MV} \cdot K_{PV} \cdot K_{IV} = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1,2 = 0,97$$

Скорость резания:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_v = \frac{46,7 \cdot 20^{0,45}}{80^{0,33} \cdot 3^{0,5} \cdot 0,1^{0,5} \cdot 20^{0,1} \cdot 4^{0,1}} \cdot 0,97 = 48 \text{ м/мин.}$$

4. Расчетное число оборотов шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 48}{3,14 \cdot 20} = 764 \text{ об/мин.}$$

Принимаем фактическое число оборотов, с учетом типа станка:

$$n_{ст} = 800 \text{ об/мин.}$$

5. Фактическая скорость резания:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 20 \cdot 800}{1000} = 50,3 \text{ м/мин.}$$

6. Определяем минутную подачу:

$$S_M = S_z \cdot Z \cdot n_{ст} = 0,1 \cdot 4 \cdot 800 = 320 \text{ мм/мин.}$$

$$S_{Mст} = 300 \text{ мм/мин.}$$

$$S_{Z\phi} = \frac{S_{Mст}}{Z \cdot n_{ст}} = \frac{300}{3 \cdot 800} = 0,125 \text{ мм/зуб.}$$

7. Главная составляющая силы резания, окружная сила:

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

Значения коэффициентов: $C_p = 68,2$; $x = 0,86$; $y = 0,72$; $u = 1$; $q = 0,86$; $w = 0$ – определены по таблице 83 [19, с.412]

По таблице 9 [kz, с. 362]:

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{610}{750}\right)^{0,3} = 0,94$$

Окружная сила, формула:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP} = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 3^{0,86} \cdot 0,1^{0,72} \cdot 20^1 \cdot 4}{20^{0,86} \cdot 800^0} \cdot 0,94 = 1904 \text{ Н.}$$

8. Крутящий момент: $M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} = \frac{1904 \cdot 20}{2 \cdot 100} = 190,4 \text{ Н} \cdot \text{м.}$

9. Мощность резания: $N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1904 \cdot 48}{1020 \cdot 60} = 1,49 \text{ кВт}$

Мощность электродвигателя станка 7 кВт, она достаточна для выполнения операции.

Обработка заготовок



Рис. 2.6. Фреза с углом спирали 20° Рис. 2.7. Фреза с углом спирали 30°



Рис. 2.8. Фреза с углом спирали 45° Рис. 2.9. Фреза с волнообразной режущей кромкой

2.4. Подготовка косо́го шлифа

Каждый обработанный образец разрезался на электроэрозионном проволочном станке, сначала от заготовки отрезалась обработанная грань параллелепипеда толщиной 3 мм, как показано на схеме (рис. 2.10), далее эта обработанная грань резалась еще на 4 части, как показано на схеме (рис. 2.11).

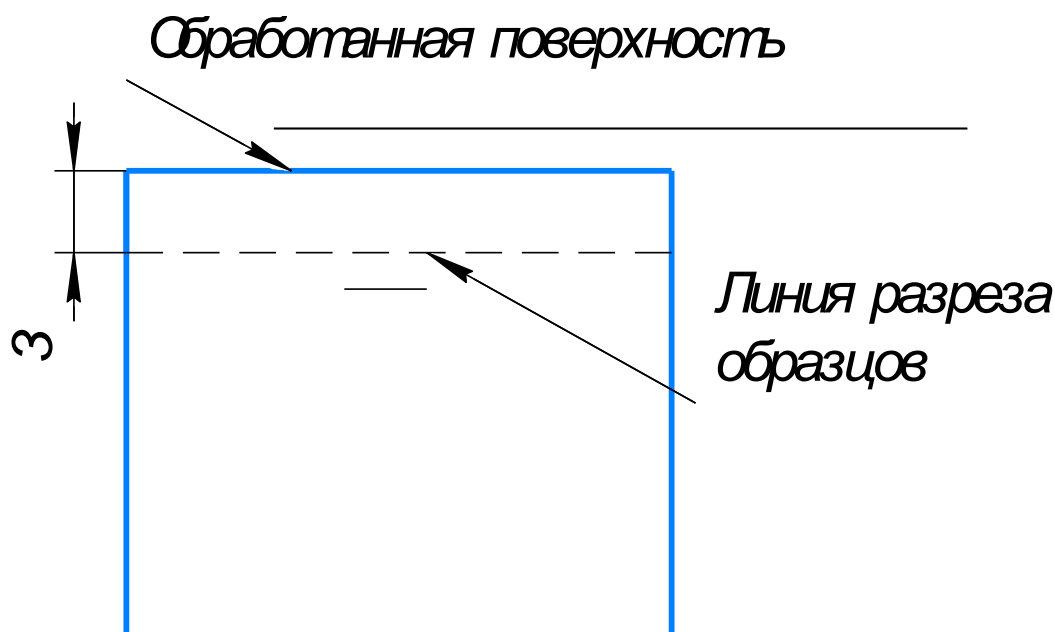


Рис. 2.10. Схема резания заготовки.

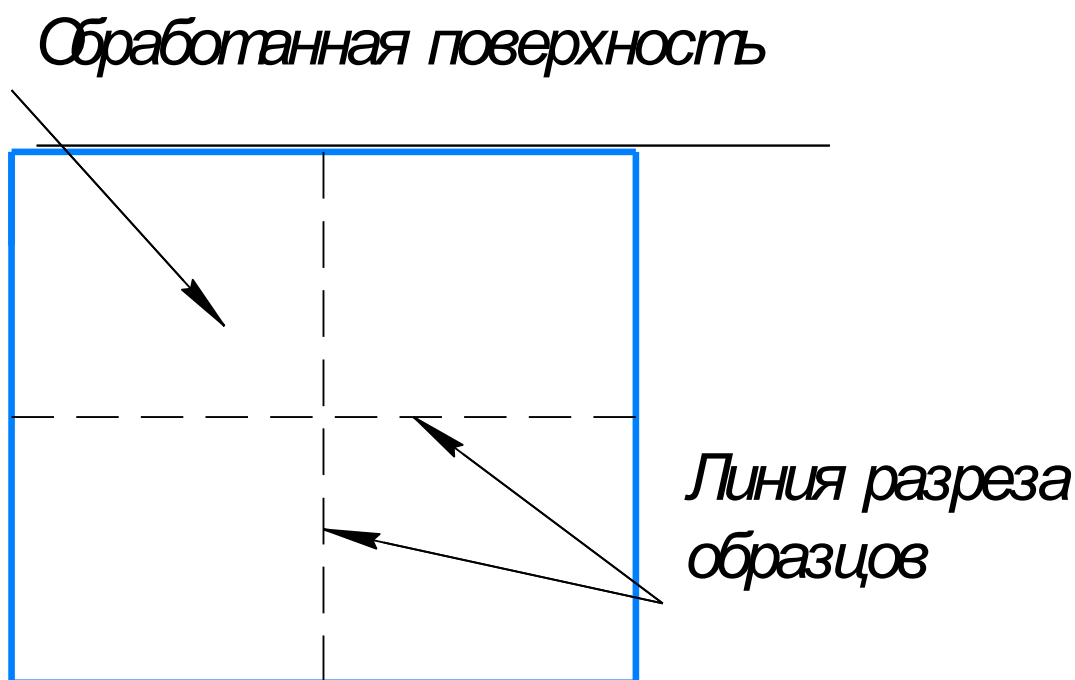


Рис. 2.11. Схема резания заготовки.

Для проведения микроструктурного исследования были подготовлены микрошлифы. Для этого образцы, вырезанные из заготовки, помещались в импровизированные струбины под углом 10° к поверхности (рис. 2.13), и заливались эпоксидной смолой.



Рис. 2.12. Фото образцов в эпоксидной смоле в струбинах.

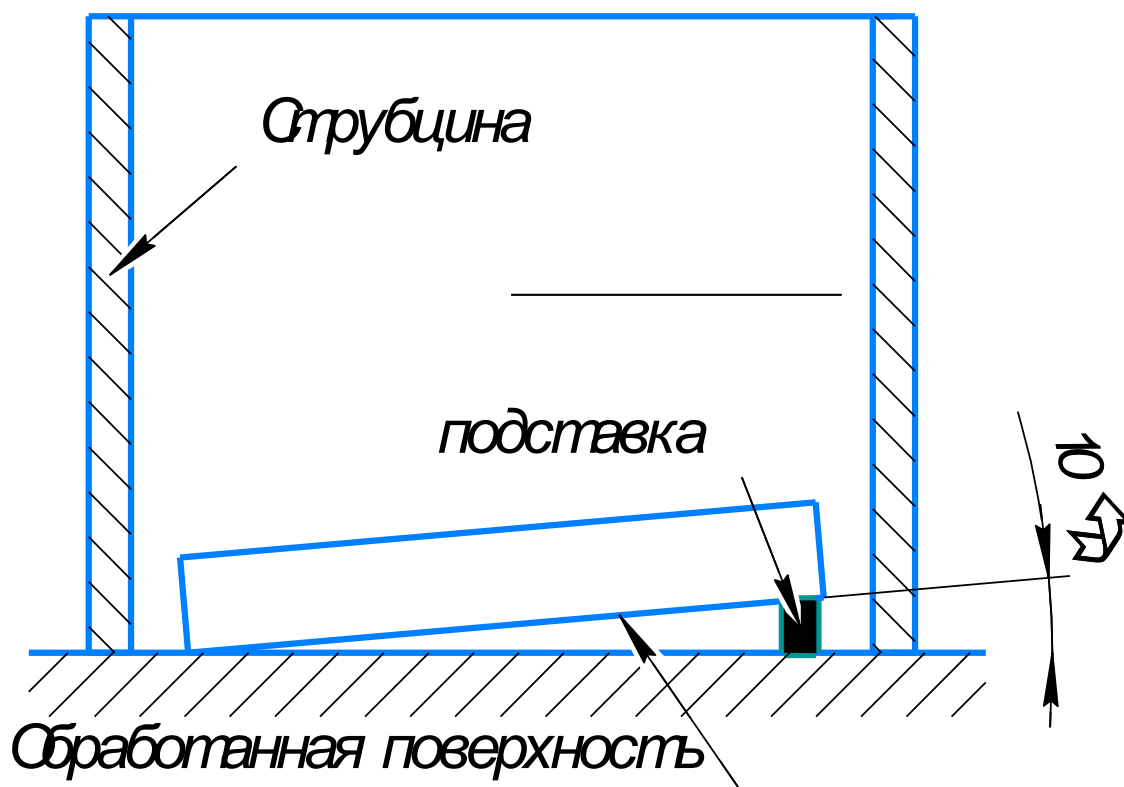


Рис. 2.13. Схема расположения образца в струбцине.

Затем исследуемая поверхность подвергалась шлифовке, полировке и травлению. Состав травителя был следующий: FeCl_3 (10г.), HCl (30мл.), H_2O (120мл.)

2.5. Измерение микротвердости обработанной поверхности

Измерение микротвердости обработанной поверхности проводилось на автоматическом микротвердомере модели Duramin-5 производителя Struers GmbH (Германия).

Микротвердомер является частью оборудования, необходимого для металлографических исследований, контроля качества продукции, научных исследований и при разработке новых материалов, так как при проведении этих работ необходимо иметь возможность измерять микротвердость металлов, поверхностных слоев, покрытий на металлах.

Прибор представляет собой стационарное средство измерений, который состоит из устройства приложения нагрузки и измерительного блока.

Принцип действия основан на статическом вдавливании наконечника – алмазной пирамиды Виккерса, с последующим измерением длины диагоналей отпечатка, пропорциональным значениям чисел твердости.

Есть несколько модификаций у данного производителя. Модификация Duramin-5 комплектуется персональным компьютером и комплексом специализированных программ, которые позволяют производить измерения в автоматическом режиме, с минимальным участием оператора.



Рис.2.14. Автоматический микротвердомер Duramin-5.

Требования к подготовке образцов: образцы для определения микротвердости по Виккерсу должны быть тщательно отшлифованы бумагой с мелким зерном и отполированы. Толщина испытуемого образца

должна быть не меньше чем 1,5 диагонали отпечатка. Исследуемая поверхность должна быть плоской.

Для получения более достоверной статистической информации микротвердость целесообразнее измерять на трех участках, у левого края образца, у правого и в середине. Дорожка измерений каждого участка должна проходить по обработанному фрезерованием месту (Рис.2.15(1)) и по месту подготовленному для измерения наклепанного слоя (Рис.2.15(2)). В данном случае отпечаток измерения ставился через каждые 50 мкм на всех трех дорожках.

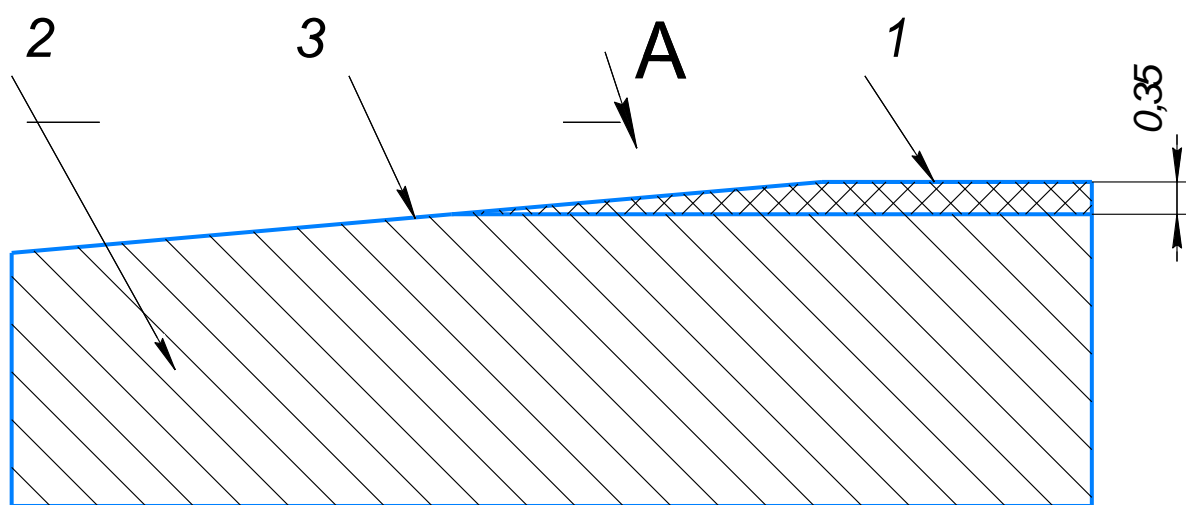


Рис. 2.15. Схема измерения микротвердости по толщине среза: 1 – обработанная фрезерованием поверхность, 2 – основа, 3 – подготовленная поверхность для измерений.

Вид А

Отпечаток

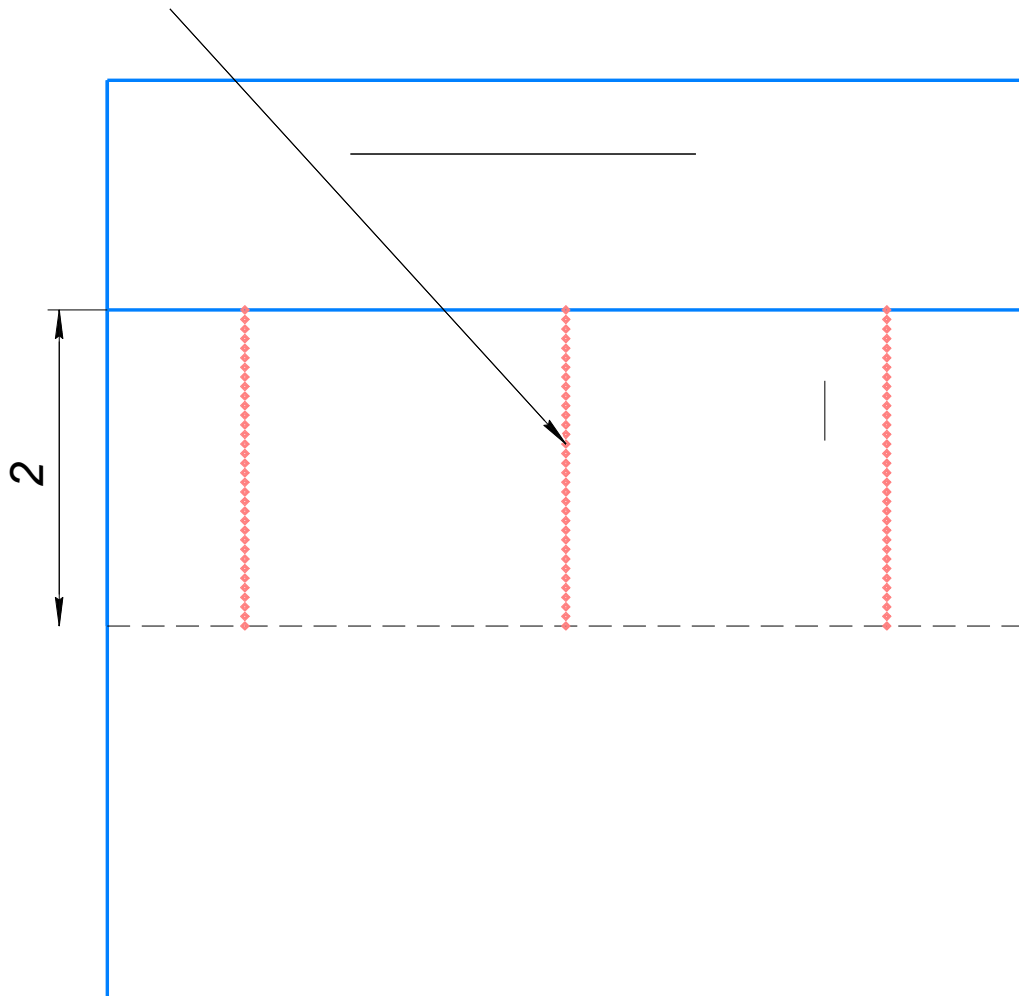


Рис. 2.16. Схема измерения микротвердости.

По измерениям образцов, которые были обработаны фрезами с углами винтовой стружечной канавки в 20° , 30° , 45° и фрезой с волнообразной стружечной канавкой, были составлены таблицы.

Таблица 2.1 Таблица измерений микротвердости для образца обработанного фрезой с винтовой стружечной канавкой в 20°

Расстояние от края, мкм	Глубина (в пересчете), мкм	Центр	Левый край	Правый край
0	0	490	485	488
10	1,73648	485	480	478
50	8,6824	474	475	468
100	17,3648	452	468	452
150	26,0472	436	452	438

200	34,7296	424	439	414
250	43,412	424	430	409
300	52,0944	419	428	390
350	60,7768	404	425	386
400	69,4592	404	422	377
450	78,1416	400	420	373
500	86,824	395	418	373
550	95,5064	395	415	373
600	104,1888	390	405	365
650	112,8712	386	399	365
700	121,5536	386	381	361
750	130,236	362	356	353
800	138,9184	347	338	353
850	147,6008	338	330	345
900	156,2832	325	320	340
950	164,9656	318	322	318
1000	173,648	315	320	320
1100	191,0128	318	320	322
1200	208,3776	310	320	318
1300	225,7424	310	320	315
1400	243,1072	315	310	315
1500	260,472	322	315	310
1600	277,8368	320	318	310
1700	295,2016	320	310	308
1800	312,5664	320	320	315
1900	329,9312	320	310	324
2000	347,296	320	310	324

Таблица 2.2 Таблица измерений микротвердости для образца обработанного фрезой с винтовой стружечной канавкой в 30°

Расстояние от края, мкм	Глубина (в пересчете), мкм	Центр	Левый край	Правый край
0	0	450	452	492
10	1,73648	448	440	440
50	8,6824	440	429	429
100	17,3648	439	428	424
150	26,0472	424	426	424
200	34,7296	404	422	424
250	43,412	395	420	424
300	52,0944	395	415	424
350	60,7768	395	410	390
400	69,4592	391	390	390

450	78,1416	390	386	386
500	86,824	386	384	386
550	95,5064	386	382	382
600	104,1888	377	377	377
650	112,8712	373	373	373
700	121,5536	369	369	369
750	130,236	325	338	369
800	138,9184	318	330	369
850	147,6008	315	332	369
900	156,2832	320	310	360
950	164,9656	318	318	352
1000	173,648	315	305	345
1100	191,0128	310	323	333
1200	208,3776	305	321	321
1300	225,7424	310	315	315
1400	243,1072	315	315	315
1500	260,472	320	322	322
1600	277,8368	320	320	320
1700	295,2016	318	318	318
1800	312,5664	315	310	310
1900	329,9312	315	298	298
2000	347,296	320	298	298

Таблица 2.3 Таблица измерений микротвердости для образца обработанного фрезой с винтовой стружечной канавкой в 45°

Расстояние от края, мкм	Глубина (в пересчете), мкм	Центр	Левый край	Правый край
0	0	418	420	425
10	1,73648	415	420	399
50	8,6824	413	419	399
100	17,3648	405	418	377
150	26,0472	402	415	377
200	34,7296	396	412	377
250	43,412	390	410	373
300	52,0944	382	409	369
350	60,7768	374	405	369
400	69,4592	365	395	365
450	78,1416	353	390	361
500	86,824	341	385	357
550	95,5064	338	372	349
600	104,1888	336	364	345
650	112,8712	335	351	342

700	121,5536	330	346	320
750	130,236	328	331	320
800	138,9184	320	321	325
850	147,6008	326	318	322
900	156,2832	322	320	320
950	164,9656	315	318	321
1000	173,648	317	320	322
1100	191,0128	320	321	323
1200	208,3776	318	320	322
1300	225,7424	315	318	324
1400	243,1072	320	320	321
1500	260,472	325	328	321
1600	277,8368	328	327	311
1700	295,2016	325	324	308
1800	312,5664	320	324	302
1900	329,9312	317	317	301
2000	347,296	317	317	301

Таблица 2.3 Таблица измерений микротвердости для образца обработанного фрезой с волнообразной стружечной канавкой

Расстояние от края, мкм	Глубина (в пересчете), мкм	Центр	Левый край	Правый край
0	0	410	418	420
10	1,73648	405	415	419
50	8,6824	398	408	420
100	17,3648	395	405	420
150	26,0472	390	398	418
200	34,7296	386	392	410
250	43,412	378	385	402
300	52,0944	372	376	395
350	60,7768	367	367	388
400	69,4592	353	355	376
450	78,1416	348	350	368
500	86,824	342	346	351
550	95,5064	338	339	342
600	104,1888	330	338	339
650	112,8712	321	335	336
700	121,5536	320	325	335
750	130,236	318	320	328
800	138,9184	315	318	325
850	147,6008	310	320	320
900	156,2832	318	318	325

950	164,9656	320	310	333
1000	173,648	320	312	325
1100	191,0128	315	315	320
1200	208,3776	315	318	315
1300	225,7424	318	310	310
1400	243,1072	310	312	312
1500	260,472	312	315	318
1600	277,8368	315	318	324
1700	295,2016	317	320	321
1800	312,5664	311	320	321
1900	329,9312	308	320	305
2000	347,296	308	315	305

2.6 Построение графиков

В данном разделе представлены графики построенные на основании измерений микротвердости образцов.

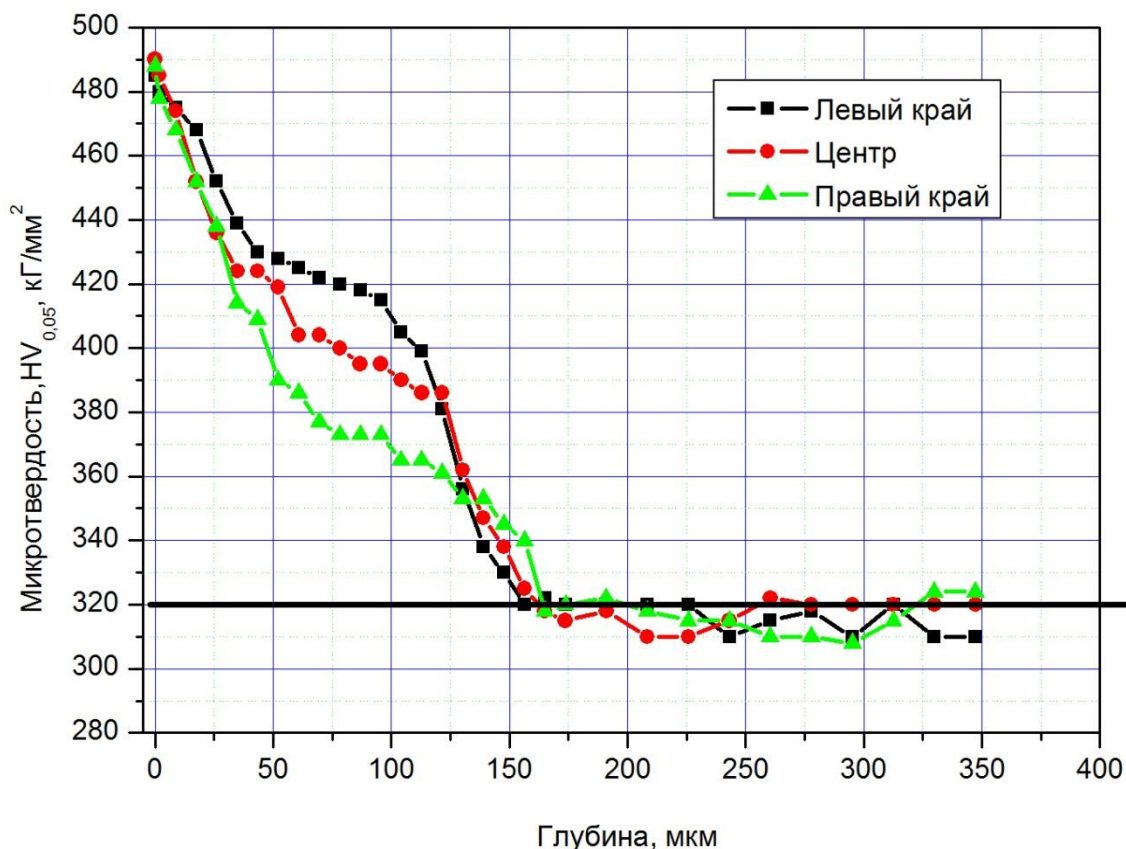


Рис. 2.17. Изменение микротвёрдости в зависимости от глубины от поверхности образца обработанного фрезой с винтовой стружечной канавкой в 20°

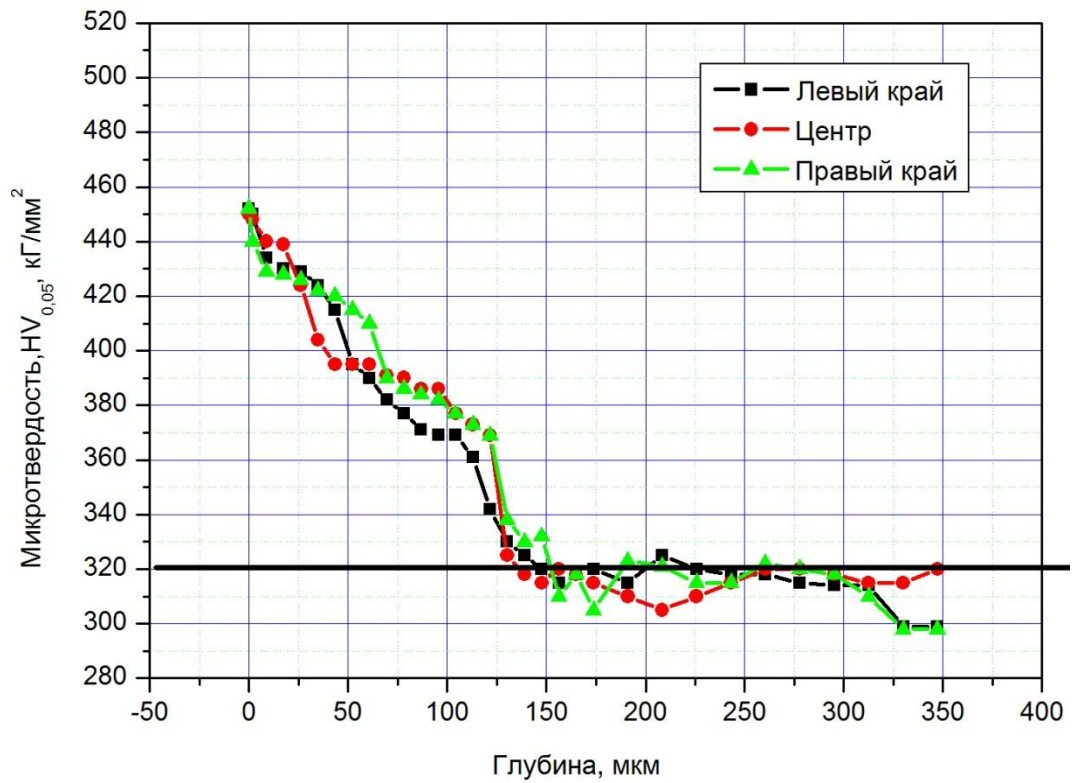


Рис. 2.18. Изменение микротвёрдости в зависимости от глубины от поверхности образца обработанного фрезой с винтовой стружечной канавкой в 30°

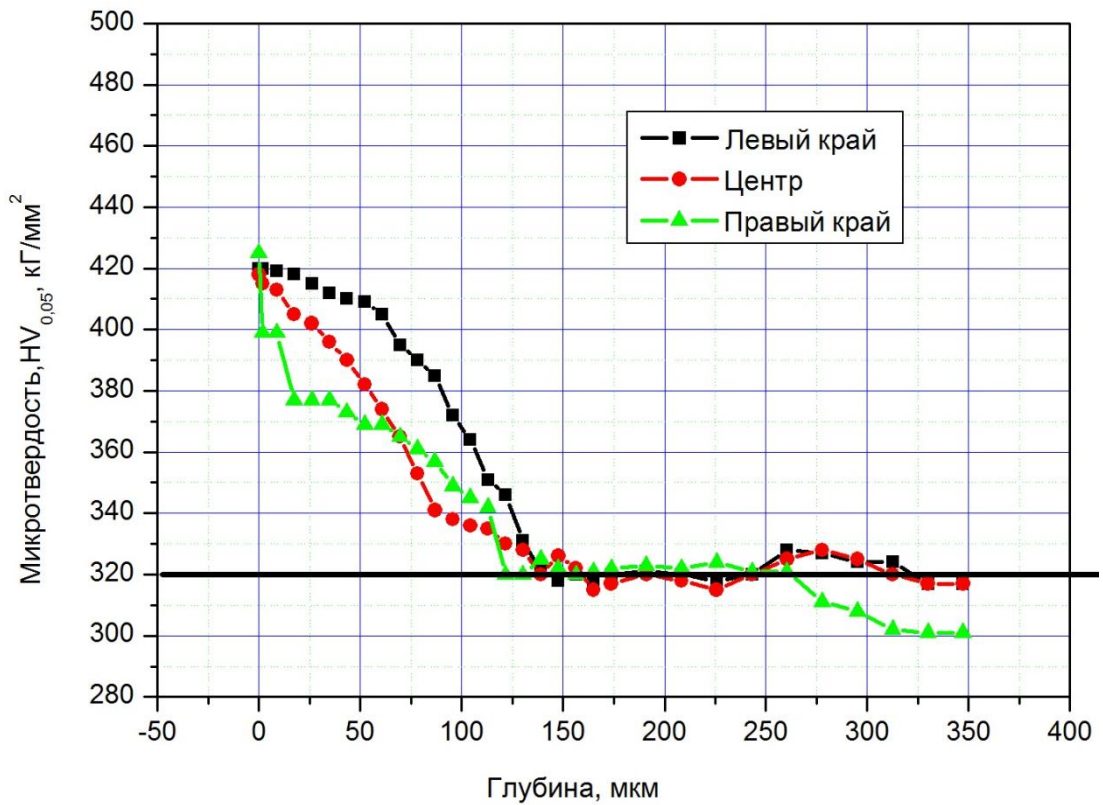


Рис. 2.19. Изменение микротвёрдости в зависимости от глубины от поверхности образца обработанного фрезой с винтовой стружечной канавкой в 45°

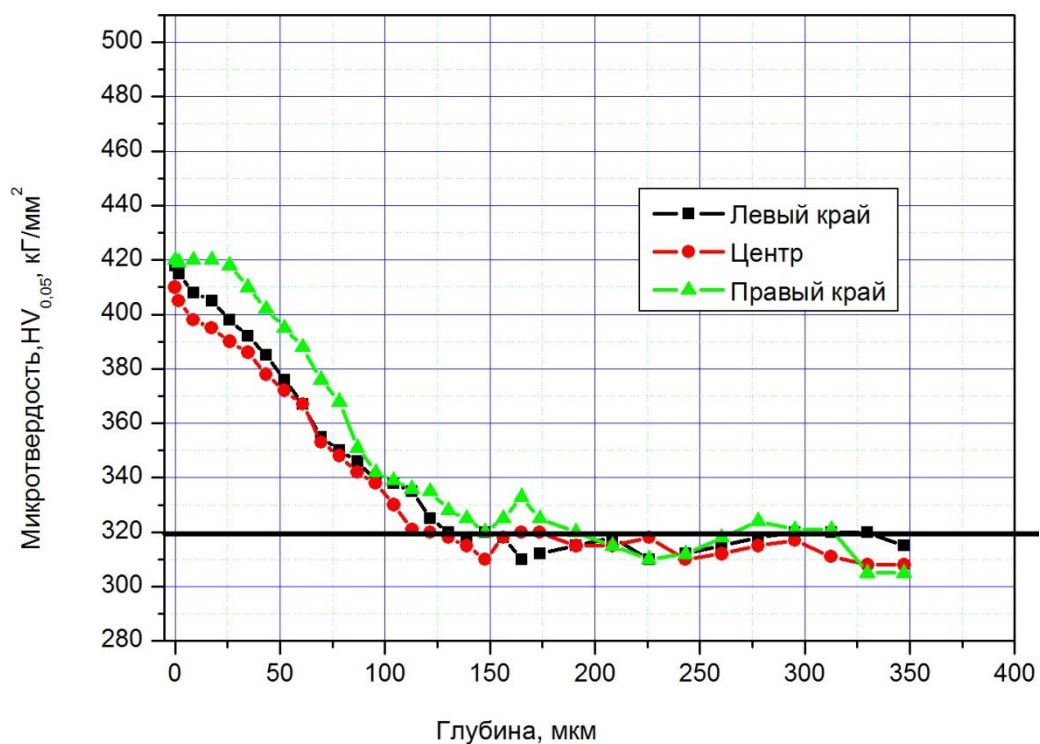


Рис. 2.20. Изменение микротвёрдости в зависимости от глубины от поверхности образца обработанного фрезой с волнообразной стружечной канавкой

Вывод:

На основании графиков можно сделать вывод, что сначала твёрдость изменяется, но незначительно – это соответствует наибольшей величине наклёпа. Затем с удалением от поверхности твёрдость уменьшается, что свидетельствует об уменьшении степени наклёпа. На графиках видно, что примерно на глубине больше 150-160 мкм твёрдость не изменяется и равна твёрдости исходной заготовки до обработки, это и есть глубина наклёпанного слоя, хотя, как это было показано, степень его наклёпа не везде одинакова.

Так же был построен ещё один график, для сравнения измерений в серединах образцов.

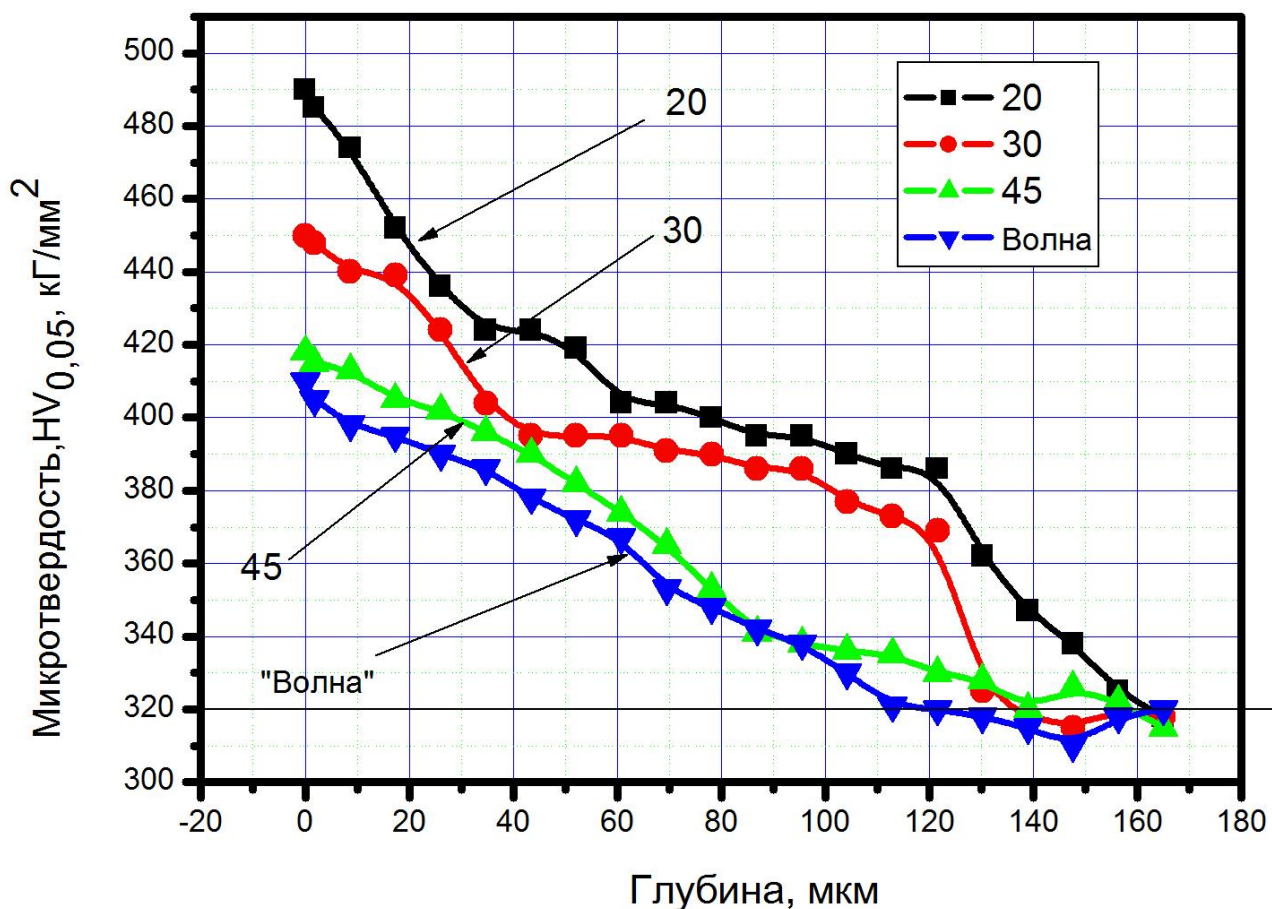


Рис. 2.21. Изменение микротвёрдости в зависимости от глубины от поверхности образцов обработанных фрезами, по средней линии отпечатков

Вывод:

По данному графику можно сказать, что микротвёрдость образца обработанного фрезой с волнообразной стружечной канавкой меньше, чем у остальных образцов, и равна 410 единицам по шкале Виккерса, но в сравнении с образцом обработанным фрезой с винтовой стружечной канавкой в 45° приблизительно равны. Фреза с винтовой стружечной канавкой в 20° показала себя хуже остальных, так как измерения микротвёрдости данного образца оказались гораздо больше чем у образцов обработанными другими фрезами.

3. Финансовый менеджмент, Ресурсоэффективность и Ресурсосбережение.

3.1 Общие сведения о научно-техническом исследовании

В разделе финансового менеджмента рассматривается конкурентоспособность создания концевых фрез, а также показатели ресурсоэффективности и ресурсосбережения данного проекта. В ходе написания магистерской диссертации основные затраты пришлись на обработку металлорежущим инструментом для изготовления концевых фрез.

В разделе будут так же рассмотрены:

- потенциальные потребители результатов исследования ;
- Технология QuaD;
- SWOT – анализ – структура работ в рамках научного исследования;
- график проведения научного исследования;
- бюджет научно-технического исследования (НТИ).

3.2 Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

3.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования.

Чтобы определить потенциальных потребителей данной разработки, необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование, но так, как для данной фрезы концевой, является только один потребитель, то данная разработка не выйдет на целевой рынок. Компания, которая её изготавливает и использует – ООО «ПК МИОН», так называемый инструмент II-го порядка для внутренних нужд.

3.2.2 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, которые описывают качество новой разработки и ее перспективность на рынке, и позволяют принимать решение целесообразности вложения денежных средств в разрабатываемый проект. В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины групп показателей оценки коммерческого потенциала разработки и оценки качества разработки. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений по технологии QuaD представлена в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5×2)
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1.Повышение производительности труда у пользователя	0,25	90	100	0,90	0,225
2.Удобство в эксплуатации	0,12	80	100	0,80	0,096
3.Энергоэкономичность	0,05	60	100	0,60	0,030
4. Надежность	0,15	75	100	0,75	0,113
5.Простота эксплуатации	0,08	75	100	0,75	0,06
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
6. Конкурентоспособность продукта	0,15	95	100	0,95	0,143
7.Уровень проникновения на рынок	0,04	35	100	0,35	0,014
8. Цена	0,06	65	100	0,65	0,039
9.Предполагаемый срок эксплуатации	0,10	90	100	0,90	0,09
Итого	1				0,81

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле :

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot V_i,$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки технологического процесса изготовления концевых фрез и качестве проведенного исследования. Если значение показателя P_{cp} получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая. Таким образом, в результате расчетов получено $P_{cp} = 89 \%$, следовательно, разработка нового технологического процесса перспективна.

3.2.3 SWOT-анализ

Применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта, данный вид анализа позволяет определить сильные и слабые стороны проекта, выявить возможностей и угрозы для его реализации, которые проявились или могут появиться в его внешней и внутренней среде. Результаты SWOT-анализа представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны:</p> <p>С1. Высокая скорость фрезерования;</p> <p>С2. Высокая точность обработанной поверхности;</p> <p>С3. Повышение производительности труда пользователя;</p> <p>С4. Простота и удобство в эксплуатации.</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл1. Возможное появление чрезвычайных ситуаций;</p> <p>Сл2. Притупляются режущие кромки.</p> <p>Сл3. Интенсивный нагрев в зоне резания</p>
--	--	--

<p>Возможности: В1. Использование сотрудниками ПК МИОН; В2. Уменьшение времени обработки изделий; В3. Рост числа изделий, изготовленных с помощью фрез; В4. Обеспечение безопасной дальнейшей эксплуатации.</p>	<p>В1С3. Использование базы ПК МИОН повысит производительность; В2С2С3. Уменьшение времени обработки изделий повысит производительность труда пользователя и точность обработанной поверхности; В4С1. Защитные двери со смотровым окном позволяют следить оператору за процессом фрезерования; В3С1С2. Увеличение числа изделий за счет использования всех функциональных возможностей и технических характеристик фрезы.</p>	<p>В4Сл1. Обеспечение безопасности при эксплуатации снижает риск появления чрезвычайных ситуаций; В3Сл2. Своевременная замена инструмента, или его переточка. В4Сл3. В зону резания под давлением подается смазывающая-охлаждающая жидкость.</p>
<p>Угрозы: У1. Повышение цен на материалы; У2. Ужесточение требований пользователей.</p>	<p>У2С1С2С4. Расширение функциональных возможностей; У1С3. Производительность труда будет компенсировать повышение цен. У2.С4. Возможность перенастройки под соответствующие требования.</p>	<p>У2Сл1. Усиление защит от возникновения ЧС.</p>

Благодаря SWOT матрице можно обозначить основные стратегические направления по улучшению проекта в ближайшем будущем:

- улучшение проекта на предприятии в целях увеличения качества изделий;
- повышение уровня безопасности при работе с данной технологией и обязательное соблюдение необходимых требований по безопасности;
- обеспечение стабильной работы и защита от непреднамеренных поломок со стороны пользователя;

- расширение области использования проекта и обеспечение возможности модернизации;
- анализ стоимости используемых компонентов и поиск аналогов на рынке в целях снижения себестоимости продукта.

3.3 Планирование научно-исследовательских работ

3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научного исследования была создана рабочая группа, в которую вошли научный руководитель и непосредственно студент, выполняющий написание магистерской диссертации.

В данном подразделе был создан перечень работ и отдельных этапов в рамках проведения исследования, а также приведены исполнители по каждому виду работ. Данный перечень представлен в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Перечень работ, этапов и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Описание работы	Должность исполнителя
Постановка целей и задач	1	Постановка целии задач, которые необходимо выполнить для достижения цели	Руководитель
Разработка технического задания	2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	3	Проведение литературного обзора	Студент
Теоретические экспериментальные исследования Разработка технологической документации	4	Составление принципиальной схемы	Студент
	5	Выполнение расчетов	Студент
	6	Изготовление фрез	Студент
	7	Проведение эксперимента	Студент
	8	Исследование величины наклепанного слоя	Студент
Оформление отчета	9	Оформление пояснительной записки по результатам исследования	Студент

Таблица 3.4 - Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
1	2	3

Постановка целей и задач	НР	НР – 100%
Разработка и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 20% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 40%
Поиск и анализ аналогичных устройств	НР, И	НР – 20% И – 100%
Составление принципиальной схемы	НР, И	НР – 20% И – 100%
Изготовление фрез	И	И – 100%
Проведение эксперимента	И	И – 100%
Проведение исследований	НР, И	НР – 20% И – 100%
Оформление пояснительной записки	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

Для выполнения перечисленных в таблице 3.4 работ требуются специалисты: инженер «И» (исполнитель ВКР); научный руководитель «НР».

3.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5},$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемое значение трудоемкости выполнения i -ой работы, чел.- дн.;

$t_{min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость заданной i -ой работы, чел.дн.;

$t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.- дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая

параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб . дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Таблица 3.5 - Ожидаемое время выполнения работы

Основные этапы	№ раб		$t_{ож}$, чел.-дн.
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	3,2
Выбор направления исследований	2	Изучение материалов по теме	9,8
	3	Проведение патентного обзора	3,8
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление принципиальной схемы	3,2
	5	Выполнение расчетов	3,2
	6	Изготовление фрез	7
	7	Проведение эксперимента	9,8
	8	Исследование математической модели в программной среде	9,8
Оформление отчета	9	Заполнение пояснительной записки	4,6
Итого:			54,4

Расчет продолжительности одной работы не является необходимым, т.к. на каждой работе задействован один исполнитель, то есть $T_p = t_{ож}$.

Разработка графика проведения научного исследования строится в форме диаграммы Ганта. Для удобства построения, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней необходимо перевести в календарные дни.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}$$

где T_{pi} – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

T_{ki} – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности в свою очередь рассчитывается по формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Результаты расчетов приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, T_p	Длительность работ в календарных днях, T_k
	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$			
Составление и утверждение ТЗ	2	5	3,2	Руководитель	3,2	5
Изучение материала по теме	7	14	9,8	Студент	9,8	15
Проведение литературного обзора	3	5	3,8	Студент	3,8	6
Составление принципиальной схемы	2	5	3,2	Студент	3,2	5
Выполнение расчетов	2	5	3,2	Студент	3,2	5
Изготовление фрез	5	10	7	Студент	7	10
Проведение экспериментов	7	14	9,8	Студент	9,8	15
Исследование величины наклепанного слоя	7	14	9,8	Студент	9,8	15

Заполнение пояснительной записки	3	7	4,6	Студент	4,6	7
----------------------------------	---	---	-----	---------	-----	---

В соответствии с производственным календарем на 2020 год календарных дней – 366, выходных и праздничных дней при пятидневной рабочей неделе – 118.

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 105 - 14} = 1,49$$

Таким образом, получили значение $k_{\text{кал}} = 1,49$.

На основании таблицы 3.6 был построен календарный план-график, который приведен в таблице 3.7.

Таблица 3.7 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_k	Продолжительность выполнения работ						
				Март	Апрель			Май		
				3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2							
2	Изучение материалов по теме	Студент	2							
3	Проведение патентного обзора	Студент	3							
4	Составление принципиальной схемы	Студент	6							
5	Выполнение расчетов	Студент	6							
6	Построение 3D модели устройства	Студент	7							
7	Создание математической модели согласно ТЗ	Студент	7							

8	Исследование математической модели в программной среде	Студент	7							
11	Заполнение пояснительной записки	Студент	3							

В общей сложности, на выполнение магистерской диссертации понадобилось 83 календарных дня и 54,4 рабочих дня. Из этих дней научный руководитель был занят 5 календарных и 3,2 рабочих дней, а студент 78 календарных и 51,2 рабочих дней.

3.4 Определение бюджета научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования (НТИ) необходимо обеспечить полное и достоверное отражение всех видов расходов, которые связаны с его выполнением. Для определения бюджета НТИ в рамках выполнения ВКР с учетом выбранного направления исследования и исполнителей работ были рассчитаны материальные затраты, основная заработная плата исполнителей темы, дополнительная заработная плата исполнителей темы, отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления), накладные расходы.

3.4.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

В рамках расчета материальных затрат НТИ должны быть учтены:

- приобретаемые сырье и материалы, необходимые для создания концевой фрезы;
- затраты на металлорежущий инструмент;
- сырье, материалы, различные комплектующие изделия, применяемые в качестве объектов исследования;

Материальные затраты на i -й материальный ресурс рассчитывается по формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} ,$$

где – k_T коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы;

m – количество видов материальных ресурсов, используемых для выполнения научного исследования;

C_i – цена на приобретение i -го вида приобретаемого материального ресурса;

$N_{расхi}$ – количество материального ресурса i -го вида, которое планируется для использования при выполнении научного исследования.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих официальных сайтах в интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Основные материальные затраты, необходимые для устройства, заносятся в таб. 3.8.

Таблица 3.8 - Материальные затраты

Наименование	Ед. изм.	Количество		Цена за ед., руб.		Затраты на материалы, руб.	
		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Эльборовый круг 12 R4-25 125*3*2*13*32 CBN30	шт.	1	1	1352	1352	1352	1352
Эльборовый круг 1A1 150*8*32*10 CBN30	шт.	1	1	2979	2979	2979	2979
Пруток круглой формы Сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73 диам. 22мм.	мм.	600	600	60	45	60	45
Итого расходы на материалы						4436	4376

3.4.2 Расчет основной заработной платы исполнителей темы

Заработная плата участников выполнения НТИ учитывает основную заработную плату и дополнительную и рассчитывается по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} ,$$

где $Z_{осн}$ – величина основной заработной платы;

$Z_{доп}$ – величины дополнительной заработной платы (15 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата одного исполнителя от предприятия рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p ,$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых исполнителем, раб . дн.

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot k_p ,$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок, принятый за 20 % от заработной платы по тарифной ставке;

k_p – районный коэффициент (для г. Томска – 1,3).

По результатам расчетов была заполнена таблица 3.9.

Таблица 3.9 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	З _{тс} , руб.	k _р	З _м , тыс. руб.	З _{дн} , тыс. руб.	T _р , раб. дн.	З _{осн} , тыс. руб.
Руководитель	35120	1,3	45656	1826	3,2	5843,2
Студент	12130	1,3	15769	630	51,2	32256
ИТОГО						38099,2

3.4.3 Расчет дополнительной заработной платы исполнителей

темы

Дополнительная заработная плата учитывает величину предусмотренных Трудовым кодексом Российской Федерации доплат за отклонения от нормальных условий труда, а также выплаты, связанные с обеспечением компенсаций и гарантий.

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} + k_{\text{доп}},$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, принятый на стадии проектирования за 0,15.

В результате получили следующие значения: $Z_{\text{доп(НР)}} = 876,48$ руб; $Z_{\text{доп(С)}} = 4838,4$ руб.

3.4.4 Расчет отчислений во внебюджетные фонды

Данная статья расходов отражает обязательные отчисления по нормам, установленным законодательством Российской Федерации, органам пенсионного фонда, государственного социального страхования, медицинского страхования, а также затраты на оплату труда работников.

Отчисления во внебюджетные фонды рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = (Z_{\text{доп}} + Z_{\text{осн}}) \cdot k_{\text{внеб}},$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент уплаты во внебюджетные фонды, принятый равным 30,2 % для учреждений, осуществляющих научную деятельность. Величина отчислений во внебюджетные фонды представлена в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$Z_{\text{доп}}$, руб.	$k_{\text{внеб}}$	$Z_{\text{внеб}}$
НР	5843,2	876,48	0,302	1007,95
С	32256	4838,4	0,302	11202,5
Итого	38099,4	5714,88	-	13231,9

3.4.5 Расчет накладных расходов

В накладные расходы должны быть включены те затраты организации, которые не попали в предыдущие статьи расходов: оплата электроэнергии, услуг связи, размножение материалов, печать и ксерокопирование материалов и т.д. Накладные расходы $Z_{\text{накл}}$ рассчитываются по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{доп}} + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot k_{\text{нр}},$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент накладных расходов, взятый в размере 16 %.

Получили следующие значения: $Z_{\text{накл(НР)}} = 1236,4$ руб; $Z_{\text{накл(С)}} = 7727,5$ руб.

3.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Полученная в результате величина затрат на научно–исследовательскую работу является базой для формирования бюджета затрат на проект. Определение бюджета затрат на НИИ представлено в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Номер пункта
	Исп.1	Исп.2	
1. Материальные затраты НТИ	4436	4376	3.4.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы.	38099,2	38099,2	3.4.2
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы.	5714,88	5714,88	3.4.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды.	13231,9	13231,9	3.4.4
5. Накладные расходы	8963,9	8963,9	3.4.5
Бюджет затрат НТИ	70445,88	70385,88	Сумма ст. 1-5

3.5 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат двух вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета, с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{70385,88}{70445,88} = 0,98$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{70385,88}{70385,88} = 1$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 3.12).

Таблица 3.12 - Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии	Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Производительность		0,3	4	5
2. Долговечность в использовании		0,3	5	5
3. Регулировка		0,1	5	5
4. Переналадка		0,15	5	5
5. Надежность		0,15	5	5
ИТОГО		1	4,7	4,85

$$I_{p\text{-исп1}} = 4 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 = 4,7$$

$$I_{p\text{-исп2}} = 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 = 4,85$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-исп.i}}{I_{финр}};$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,7}{0,98} = 4,76$$

$$I_{исп.2} = \frac{4,85}{1} = 4,85$$

Сравнение интегрального показателя эффективности, вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл.3.13) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}$$

Таблица 3.13 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,98	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	4,85
3	Интегральный показатель эффективности	4,76	4,85
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Исп1/Исп2=0,99	Исп2/Исп1=1,02

Из таблицы 3.13 видно, что наиболее эффективный вариант решения поставленной в магистерской работе технической задачи по многим показателям является исполнение 2.

Вывод:

В процессе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были рассчитаны материальные затраты на изготовление данного режущего инструмента, затраты на основную и дополнительную зарплату, отчисления во

внебюджетные фонды, накладные расходы, на основании которых составлен бюджет затрат на НИИ. Произведена сравнительная характеристика эффективности разработки на основании интегрального показателя эффективности. По результатам таблицы 3.13 можно сделать вывод о наибольшей эффективности второго исполнения инструмента.

4. Социальная ответственность.

Введение

В данном разделе рассмотрены вопросы организации рабочего места оператора станка, в процессе фрезерования заготовок стали 40Х концевыми фрезами из быстрорежущей стали, в соответствии с нормами производственной безопасности и охраны окружающей среды.

Сущность процесса фрезерования основана на сочетании двух одновременно действующих равномерных движений резания - вращательного (главное движение) и поступательного (движение подачи). Вращательное движение выполняется режущим инструментом, в данном случае концевой фрезой, а поступательное движение подачи сообщается заготовке столом станка.

При фрезеровании обработанная поверхность заготовки пластически деформируется, а пластическая деформация поверхностного слоя приводит к наклепу, отличающийся механическими свойствами от необработанного материала.

Вопросы производственной и экологической безопасности рассматриваются с позиции исполнителя (оператор станка с ЧПУ), связанного непосредственно с изготовлением заготовки для изучения.

4.1 Производственная безопасность

Работа по изготовлению заготовки проводилась на металлообрабатывающем оборудовании:

1) Фрезерный станок модели 6Н82;

При работе станка существуют ряд вредных и опасных факторов:

Таблица 4.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо	Изгото	Эксплу	
1. Отклонение показателей микроклимата;	+	+	+	ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (с изменениями и дополнениями).
2. Превышение уровня шума;		+	+	
3. Повышенный уровень вибраций;	+	+	+	
4. Отсутствие или недостаток естественного света;	+	+	+	
5. Недостаточная освещенность рабочей зоны;		+	+	
6. Эмоциональные нагрузки;	+	+	+	
7. Движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся изделия, заготовки и материалы;	+	+	+	
8. Повышенные температуры материалов;	+	+	+	
9. Повышенное значение напряжения в электрической цепи,	+	+	+	

замыкание которой может произойти через тело человека			
---	--	--	--

4.2 Анализ выявленных вредных факторов

Отклонение показателей микроклимата

В ходе работы необходимо соблюдать допустимые значения на следующие производственные метеоусловия – влажность воздуха на рабочем месте, температура воздуха, скорость движения воздуха, а также тепловые излучения. Указанные физические свойства воздуха на рабочем месте оказывают значительное влияние на протекание жизненных процессов в организме человека. Так, при неблагоприятном микроклимате (превышение или же занижение допустимых нормативных показателей указанных в СанПиН 2.2.4.548 – 96) снижается производительность труда и ухудшается здоровье работника.

Неблагоприятные условия вызывают перенапряжение механизма терморегуляции, что приводит к перегреву или переохлаждению.

Нарушениями механизма терморегуляции являются:

- Повышенная утомляемость;
- Снижение его производительности труда;
- Повышенный риск простудных и сердечных заболеваний.

Для профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия. Например, такие как системы местного кондиционирования воздуха, применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), регламент времени работы и т.д.

К числу СИЗ от неблагоприятных климатических условий относят спецодежду, спецобувь, средства защиты рук, головные уборы.

Превышение уровня шума

В рабочем помещении должны соблюдаться нормы уровня шума согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96.

Источником шума в рассматриваемом рабочем пространстве является фрезерный станок, а также пневмопистолет для подачи воздуха под давлением.

Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в ГОСТ 12.1.003–83.

Таблица 4.2

Категория напряженности	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
легкой степени	80	80	75	75	75

Если уровень шума на работе превышает 70-80 дБ необходимо использовать индивидуальные средства защиты (беруши, специальные наушники). Методы и средства коллективной защиты в зависимости от способа реализации подразделяются на:

- акустические (звукоизолирующие кожухи, кабины, акустические экраны, выгородки, звукопоглощающие облицовки, объемные поглотители звука и др.). Физическая сущность звукоизолирующих преград состоит в том, что наибольшая часть звуковой энергии отражается от специально выполненных массивных ограждений из плотных твердых материалов (металла, дерева, пластмасс, бетона и др.) и только незначительная часть проникает через ограждение. Уменьшение шума в звукопоглощающих преградах обусловлено переходом колебательной энергии в тепловую благодаря внутреннему трению в звукопоглощающих материалах. Хорошие звукопоглощающие

свойства имеют легкие и пористые материалы (минеральный войлок, стекловата, поролон и т.п.).

Для уменьшения воздействия неблагоприятных шумовых эффектов, рабочим следует использовать беруши, наушники.

Так же в обеденный перерыв обязательно нужно покидать рабочее место и отправляться в более тихое место, чтобы слух немного отдохнул и адаптировался к нормальному уровню громкости. Не реже 1 раза в год (или в полгода, если уровень шума очень высокий) проверять слух у врач а- оториноларинголога, следует уловить момент ухудшения и принять меры.

Повышенный уровень вибраций

В процессе обработки деталей, если режущий инструмент выставлен неправильно, а также если станок не имеет крепкого фундамента под собой, или не установлен на виброопорах, могут возникать вибрации.

Основная цель нормирования вибрации на рабочих местах — это установление допустимых значений характеристик вибрации, которые при ежедневном систематическом воздействии в течение всего рабочего дня и многих лет не могут вызвать существенных заболеваний организма человека и не мешают его нормальной трудовой деятельности.

Основным документом, регламентирующим уровень вибрации на рабочих местах, является СН 2.2.4/2.1.8.566-96 “Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий”. В этом документе приведены предельно допустимые значения колебательной скорости, колебательного ускорения и их уровней в октавных и третьоктавных полосах частот для локальной и общей вибрации в зависимости от источника возникновения, направления действия.

Коллективные виды средств защиты от вибрации считаются предпочтительными, в то время как средства индивидуальной защиты применяются в качестве вспомогательных. К ним относятся: виброзащитные обувь, перчатки со специальными упруго-демпфирующими элементами, поглощающими вибрацию.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Искусственное освещение должно обеспечивать в помещении освещенность, позволяющую выполнять операции, наладку оборудования без производственных дефектов и травматизма, возникающих по причине недостаточной освещенности. Недостаточная освещенность является вредным фактором при выполнении исследовательских работ, требующих особую точность. При работе в таких условиях сначала происходит перенапряжение глаз, которое впоследствии может вызвать ухудшение зрения. В этом случае требуется привлечение дополнительных источников света, в частности настольных ламп.

В цеху, помимо искусственных источников света, установлены большие окна по всему периметру помещения.

Нормы освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях устанавливаются в зависимости от характеристики зрительной работы.

Таблица 4.3

Разряды работ	Характер работ, выполняемых в помещении		Нормы к.е.о. в %	
	Виды работ, по степени точности	Размер объекта, мм	При верхнем и комбинированном освещении	При боковом освещении
			м	
			и	

1	2	3	4	5
I	Особо точные работы	0,1 и менее	10	3,5
II	Работы высокой точности	Более 0,1 до 0,3	7	2
III	Точные работы	Более 0,3 до 1	5	1,5
IV	Работы малой точности	Более 1 до 10	3	1
V	Грубые работы	Более 10	2	0,5
VI	Работы, требующие общего наблюдения за ходом производственного процесса	-	1	0,25

Для вечернего освещения, помимо потолочных ламп, рабочее место должно быть оборудовано дополнительным источником света. В вечернее время в цехах обязательно общее искусственное рабочее освещение, причем расположение светильников должно быть равномерным. Недостаточная освещенность рабочего места не только уменьшает остроту зрения, но и вызывает утомление организма в целом, что приводит к снижению производительности труда и увеличению опасности заболеваний человека. Поэтому с целью обеспечения требуемых норм освещенности необходимо произвести расчет искусственной освещенности. Для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности основным является метод светового потока (коэффициента использования), учитывающий световой поток, отраженный от потолка и стен. При

работе с персональным компьютером в сочетании с работой с нормативной и технической документацией согласно нормам СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк.

Эмоциональные нагрузки

Эмоциональные нагрузки определяются тремя параметрами:

- степень ответственности за результат собственной деятельности;
- степень риска для собственной жизни;
- ответственностью за безопасность других лиц.

Практика аттестации рабочих мест показывает, что оценка всех трех параметров происходит в соответствии с профессией без каких-либо дополнительных измерений, что в данном случае является наилучшим выбором, чем проведение крайне субъективных оценок непрофильными специалистами. Проблема эмоциональных нагрузок не может исчерпываться тремя показателями и требует профессиональных методик оценки, которые должны разрабатываться специалистами в области социальной психологии, психологии труда, психологии мотивации и эмоций и т.д., а не гигиенистами, как это было сделано при разработке гигиенических критериев.

Степень ответственности за результат собственной деятельности, значимость ошибки указывает, в какой мере работник может влиять на результат собственного труда при различных уровнях сложности осуществляемой деятельности. С возрастанием сложности повышается степень ответственности, поскольку ошибочные действия приводят к дополнительным усилиям со стороны работника или целого коллектива,

что соответственно приводит к увеличению эмоционального напряжения.

Повышенная температура материала

В процессе резания металла, он нагревается до высоких температур (200-600°C), большая часть тепла (50-80%) отводится стружкой, однако, при постоянном воздействии резца на заготовку, она разогревается до температур, которые при кратковременном воздействии могут причинить вред человеку (ожог).

Во избежание получения термических травм, рекомендуется использовать специальные приспособления для транспортировки только что обработанных деталей, а так же применять смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). Основы безопасности и требования при работе с движущимися частями машин приводятся в ГОСТ 7599-82.

Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Производственные цеха относятся к II классу электроопасности - помещению с повышенной опасностью, которая характеризуется наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и

к металлическим корпусам электрооборудования – с другой. Фрезерный станок модели 6Н82 работает в сети с напряжением 380 В.

Средствами индивидуальной защиты от поражения электрическим током являются инструменты с ручками из изолирующего материала, специальные перчатки и обувь, а также дорожки и коврики.

4.3 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через как можно более полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Охрану природы можно представить как комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование ресурсов природы, а также их восстановление и улучшение природных условий. С развитием промышленности вред, который может быть нанесён окружающей среде, увеличивается, поэтому задача по охране окружающей среды должна быть приоритетна для всех, без исключения, компаний.

При написании данной выпускной квалификационной работы не было использовано токсичных и радиоактивных материалов, а также материалов, подлежащих особым условиям утилизации. Однако, с целью рационализации использования природных ресурсов (металл, СОЖ), рекомендуется:

-Пакетировать стружку по маркам, сдавая её в последующем на переработку;

-Очищать СОЖ для повторного использования, с вторичным использованием отфильтрованной взвеси абразивной пыли и мелкой стружки (неответственные конструкции).

При проведении в цеху экспериментов для квалификационной работы вредных выбросов в атмосферу, почву и водные источники не производилось, чрезвычайные ситуации не наблюдались, существенных воздействий на окружающую среду не было.

4.4 Защита в чрезвычайных ситуациях (ЧС)

Природная

Так как г.Томск расположен в Сибири, где температура зимой опускается до опасных для человека морозов, существует риск чрезвычайной ситуации природного характера. Природная чрезвычайная ситуация — обстановка на определенной территории или акватории, сложившаяся в результате источника чрезвычайной ситуации, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей. Для того, чтобы устранить полностью или снизить ущерб от различных возможных чрезвычайных ситуаций, проводятся профилактические мероприятия, поэтому при аварии на:

- Водоканале: следует обеспечить подвоз питьевой и технической воды рабочим, если нет возможности прервать технологический цикл изготовления деталей. Также в цеху рекомендуется иметь запас питьевой воды из расчёта 2 л/чел. в смену.

- Теплотрассе: предусмотреть обогреватели помещения, работающие от электрической сети, а также СИЗ (тёплая одежда, перчатки, шапки).

- Электросетях: следует обеспечить генератором (бензиновым или дизельным), который сможет производить ток требуемой мощности. Также для профилактики рекомендуется:

- 1) Снабжение предприятия, учреждения, населенного пункта с двух направлений, от независимых энергоисточников. Это значительно

повышает надежность, так как одновременный выход из строя двух линий передачи электроэнергии (при закольцованности) менее вероятен;

2) замена воздушных линий на кабельные подземные;

- Transporte: предприятие, зная механизм образования зимней скользкости, обязано не только ликвидировать ее при обнаружении в установленные сроки, но и проводить профилактические мероприятия при наличии прогноза погодных условий, являющихся причиной образования зимней скользкости на дорогах, в том числе применять меры реагирования по ее устранению после окончания выпадения осадков, не дожидаясь сообщений со стороны третьих лиц.

Несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место

От несанкционированного проникновения на территорию предприятия, необходимо чтобы территория оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной службой охраны, постами охраны с пропускной системой, системой связи. Не распространение сведений о системе охраны объектов, расположения оборудования, складов, сигнализаций. Должностные лица должны производить инструктаж и мероприятия по отработке действий при экстренных и чрезвычайных ситуациях.

4.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Для рабочих должны проводиться мероприятия по вопросам обеспечения безопасного труда. В систему таких мероприятий должны входить:

- постоянное совершенствование технологических процессов и оборудования с целью устранить и предотвратить возможность появления производственных вредностей;

- переход от ручной работы к механизированной;
- безусловное соблюдение технологических режимов, строгий контроль за их исполнением;
- знание и соблюдение техники безопасности;
- безусловное соблюдение режимов труда и отдыха, правильная организация рабочего места;
- постоянный контроль за состоянием воздушной среды производственных помещений (соблюдение норм предельно допустимого количества абразива в воздухе и паров химических веществ);
- регулярные медицинские осмотры;
- соблюдение требований безопасности труда к освещенности помещения, отоплению, вентиляции (система вытяжной вентиляции), кондиционированию воздуха;
- соблюдение норм допустимой концентрации вредных веществ в воздухе;
- доступ к системе водоснабжения, сан.узлу;
- регламентированные перерывы в работе на обед и на отдых;
- оборудованное помещение для отдыха работников, оснащенное необходимой мебелью (стулья, кресла, столы, холодильник, микроволновая печь, электрический чайник);
- доступ к питьевой воде.

Схема эвакуации при пожаре

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории Ан, Бн, Вн, Гн и Дн. Согласно НПБ 105-03 производственное помещение относится к категории В 2.

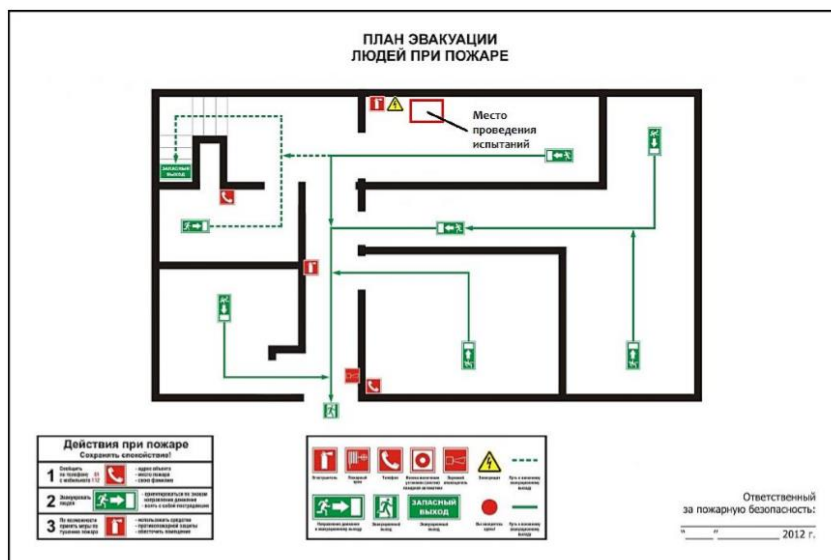


Рисунок 4.1 – План эвакуации производственного помещения

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудно сгораемым материалам). Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера. В данном производственном помещении необходимо иметь 2 огнетушителя марки ОП-5, исходя из размеров помещения, а также силовой щит, который позволяет мгновенно обесточить помещение.

Схема размещения светильников на потолке

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормированных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 9$ м, ширина $B = 7$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м.

Площадь помещения:

$$S = A \times B,$$

где A – длина, м;

B – ширина, м.

$$S = 7 \times 9 = 63 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения покрашенных светло-зеленых стен с окнами, без штор $\rho_c=40\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{п}=70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_z = 1,2$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛТБ-40, световой поток которой равен $\Phi_{лд} = 2200$ Лм. Выбираем светильники с люминесцентными лампами ОДОР – 2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1200 мм, ширина – 260 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda = 1,2$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $\lambda h_c = 0,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p,$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $h_n = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2,0 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{9}{2,4} = 3,75 \approx 4$$

Число светильников в ряду:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{7}{2,4} = 2,92 \approx 3$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 4 \cdot 3 = 12$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,4}{3} = 0,8 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 4.2 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

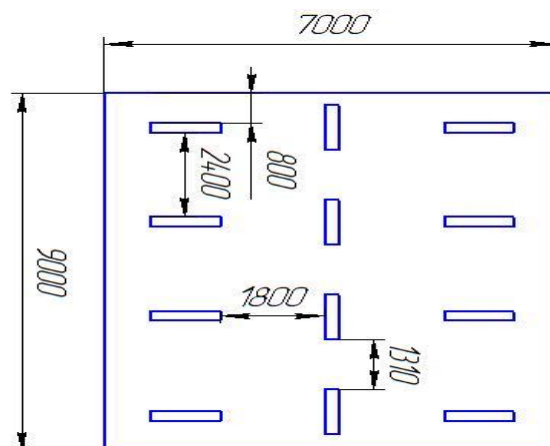


Рисунок 4.2 – План помещения и размещения светильников.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{9 \cdot 7}{2,0 \cdot (9 + 7)} = 1,97$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОД с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{П}} = 70 \%$, $\rho_{\text{С}} = 40\%$ и индексе помещения $i = 1,97$ равен $= 0,6 \cdot \eta$

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{n \cdot N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 9 \cdot 7 \cdot 1,2 \cdot 1,1}{2 \cdot 12 \cdot 0,6} = 1751 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{2200 - 1751}{2200} \cdot 100\% = 19\%.$$

Таким образом: $-10\% \leq 19\% \leq 20\%$, необходимый световой поток

Вывод:

В данном разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены различные виды вредного воздействия на человека и окружающую среду, а так же способы уменьшения их воздействия.

К таким вредным воздействиям на организм человека относятся: вибрации, шум, недостаток освещённости, эмоциональные нагрузки. В разделе приведены способы уменьшения воздействия на организм человека вредных факторов, а так же средства индивидуальной защиты для уменьшения воздействия этих факторов.

Заключение

1. В ходе работы был выполнен анализ конструктивных и геометрических характеристик концевых фрез и влияние этих характеристик на обработанный поверхностный слой стали 40Х.

2. Для обработки образцов был выбран станок, метод фрезерования, рассчитаны режимы резания для обработки образцов фрезами с разными углами винтовой стружечной канавки.

3. Была изучена методика выполнения косо́го шлифа для исследуемой поверхности образца.

4. Проведены измерения микротвердости поверхностного слоя образцов после обработки фрезами с разными углами винтовой стружечной канавки. На основании составленных таблиц измерений были построены графики, из которых видно, что в данном исследовании фреза с волнообразной стружечной канавкой показала себя лучше остальных, но с результатами измерений для образца, обработанного фрезой с углом винтовой стружечной канавки в 45° , приблизительно равны. Из этого можно сделать вывод, что при обработке стали 40Х нужно выбирать фрезу с волнообразной винтовой стружечной канавкой.

Список литературы

1. Овсеенко А.Н., Серебряков В.И., Гаек М.М. Технологическое обеспечение качество изделий машиностроения. Учебное пособие. М. МГТУ «Станкин». Янус/ — К, 2006. — 296 с.
2. Овсеенко Е.С. Качество поверхностного слоя деталей, упрочненных методами поверхностного пластического деформирования./ Овсеенко А.Н., Клауч Д.Н., Кущева М.Е., Овсеенко Е.С.// Упрочняющие технологии и покрытия, №6 (66), Москва, 2010. — С. 13—19.
3. Андреев В.Н., Боровский Г.В., Боровский В.Г., Григорьев С.Н. Инструмент для высокопроизводительного и экологически чистого резания. – М.: Машиностроение, 2010. – 479 с.
4. Бердников, Л. Н. Справочник фрезеровщика [Текст] / Л. Н. Бердников, В. Ф. Безъязычный, В. Н. Крылов. – М.: Машиностроение. – 2010. – 287 с.: ил ..
5. Усачев, П. А. Шероховатость поверхности корпусных деталей, обработанных концевыми фрезами [Текст] / П. А. Усачов, М. А. Даценко // Вестник национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт". – 2012. – №43. – С. 101–105.
6. Петрушин, С. И. Теоретические основы оптимизации режущей части лезвийных инструментов [Текст]: Автореф. дисс. ...док . техн. наук / С. И. Петрушин. – Москва, 1998 – 36 с.
7. Наумов, В. А. Роль радиуса округления режущей кромки в процессе резания [Текст]/ В.А. Наумов.//Вопросы автоматизации контроля и технологии машиностроения. – Омск, 1970. – С. 93–97.
8. Головкин, В. В. Определение остаточных напряжений при механической обработке лезвийным инструментом [Текст] / В. В. Головкин, О. В. Ромашкина // Известия ВолгГТУ. – 2014. – №21(148). – С. 11–14.
9. Кравченко, Б. А. Силы, остаточные напряжения и трение при резании

- металлов [Текст] / Б. А. Кравченко, – Куйбышев. – 1962. – 180 с.: ил ..
10. Логоминов В.А. Формирование шероховатости обработанной поверхности при концевом цилиндрическом фрезеровании тонкостенных элементов деталей: дис. ... канд. техн. наук.: 05.03.01: защищена 21.02.2013: утв. 25.04.2013 / Логоминов Виктор Алексеевич. – Запорожье, 2013. – 226 с.
 11. Гаврилин, Алексей Николаевич. Динамика фрезерования конструкционных сталей концевыми фрезами [Электронный ресурс] / А. Н. Гаврилин, Г. И. Коровин, П. С. Рожков // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ] / Томский политехнический университет (ТПУ) . — 2013 . — Т. 323, № 2 : Математика и механика. Физика . — [С. 56-58] .
 12. Тычинский А.В., Коровин Г.И., Гаврилин А.Н. Определение рациональных режимов торцевого фрезерования на основе снижения ударно-вибрационных воздействий. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019. Т. 23. № 6. С. 1093–1103.
 13. Балла О.М. О выборе углов подъема винтовой линии зубьев концевых фрез // Авиационная промышленность. 2009. № 1. С. 27–30.
 14. Сулима, А. М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин [Текст] / А. М. Сулима, В. А. Шулов, Ю. Д. Ягодкин. – М.: Машиностроение. – 1988. – 208 с.
 15. Тихонова А. А. Геометрическая шероховатость при попутном и встречном фрезеровании [Текст] / А. А. Тихонова, Д. В. Виноградов // «Студенческая научная весна 2011: Машиностроительные технологии». – 2011. – С. 10.
 16. А. П. Гуляев «Металловедение» Москва издательство «Металлургия» 1977.

17. Кожевников, Дмитрий Васильевич. Металлорежущие инструменты : учебник / Д. В. Кожевников, С. В. Кирсанов; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во ТГУ, 2003. — 392 с.: ил. — Библиогр.: с. 388-389..
18. машиностроителя. В 2-х томах. Т. 1/ под А. М. Справочник технолога редакцией Дальского, А. Г. Сулова, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. — 5-е изд., исправл. — М.: Машиностроение. 2003. 912 с., ил.
19. Справочник машиностроителя. В 2-х томах. Т. 2/ под А. М. технолога редакцией Дальского, А. Г. Сулова, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. — 5-е изд., исправл. — М.: Машиностроение. 2003. 944 с., ил.
20. Дриц, М.Е., Москалев, М.А. Технология конструкционных материалов и материаловедение: учебник для вузов/ М.Е. Дриц, М.А. Москалев. — М.: Высш. шк., 1990. — 447 с.: ил.- ISBN 5-06- 000144-X
21. Грозинская З.П. Разрушение поверхностного слоя при наклепывании сталей. В кн.: Качество поверхности деталей машин. М., 196 I, вып. 5, с. 88-93.
22. Куфарев Г. Л. Зона стружкообразования при резании металлов / Г. Л. Куфарев, В. А. Говорухин, М. Г. Гольдшмидт // Известия Томского политехнического института [Известия ТПИ]. — 1976. — Т. 224 : Механика и машиностроение. — [С. 85-89].
23. Козлов В.Н. Резание материалов и режущий инструмент / Методические пособие по дисциплине «Резание материалов и режущий инструмент» для студентов, обучающихся по направлению 150900 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств».- Томск: Изд. ТПУ, 2014.-131 с.

Нормативные ссылки

1. ГОСТ 17025-71 Фрезы концевые с цилиндрическим хвостовиком. Конструкция и размеры;
2. ГОСТ 12.0.001-82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Основные положения;
3. ГОСТ. Сталь качественная и высококачественная. Сортовой и фасонный прокат. Калиброванная сталь. Сборник гостов. Часть 1 .. - М.: Стандартов, 1990. - 408 с.
4. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;
5. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности;
6. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
7. ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
8. ГОСТ 12.1.029-80. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация;
9. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов;
10. ГОСТ Р 51337-99. Безопасность машин. Температуры касаемых поверхностей. Эргономические данные для установления предельных величин горячих поверхностей;
11. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение;
12. СП 51.13330.2011. Защита от шума;
13. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение;
14. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы;

15. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий;
16. СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;
17. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
18. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.

Приложение А

Methods for measuring the residual stress and hardening of the treated surface

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Кокочко Виталий Сергеевич		

Консультант школы отделения материаловедения ИШНПТ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
к.т.н	Гаврилин А.Н.			

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кобзева Н.А.	к.п.н.		

1.3 Methods for measuring the residual stress and hardening of the treated surface

Along with the chips, a certain layer of the workpiece material on the treated surface is also deformed.

First, it is elastic-plastic deformed after passing through the zone of primary plastic deformation, since its frontal border at the cutting edge passes below the cut line (see figure 1.5), and the larger the zone of primary plastic deformation, the greater the degree and depth of plastic deformation occurs from the zone of primary plastic deformation. Additional plastic deformation is obtained by the treated surface as a result of lifting a layer of material with a thickness of h_l under the radius section of the cutting edge, which leads to a significant increase in the degree of plastic deformation, at the depth of its penetration.

Plastic deformation of the surface layer leads to its hardening. Along with an increase in hardness, this causes an increased tendency to form micro - and macro-cracks, especially during subsequent quenching, a significant reduction in fatigue strength and an increase in residual stresses.

All these factors can lead to warping of the workpiece immediately after processing or after some time (heredity may persist even after repeated subsequent treatments of this surface), reducing the reliability of the part during operation.

To assess the depth and degree of plastic deformation, selective control of the surface layer hardness of processed workpieces is applied. The depth of the incline is very small and is one hundredth of a millimeter during semi-finishing and finishing processing, so to increase the length of the studied area, an oblique slot is made at an angle α to the surface of the workpiece (Fig. 2. 13, a). The value of this angle is several degrees: the lower the depth of the layer, the smaller this angle should be.

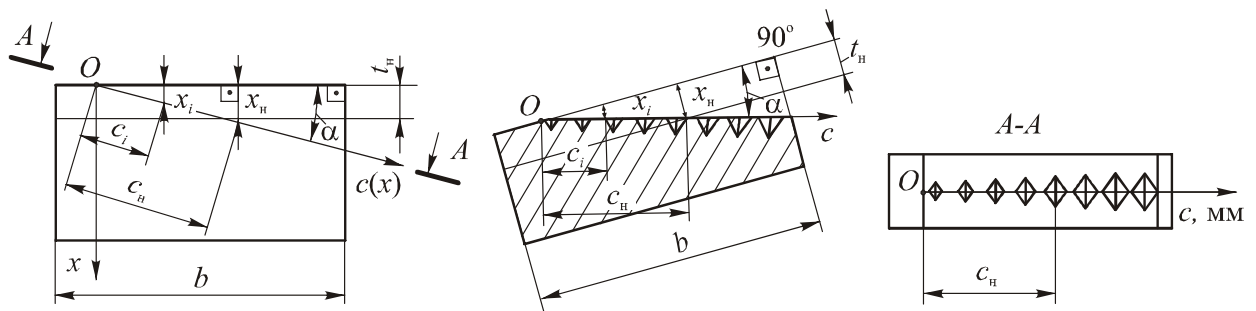


Fig. 1.13. Investigation of the depth and degree of hardening: a - performing an oblique slot at an angle α to the surface of the workpiece; b-the position of the controlled surface when measuring its microhardness; c-the size of the prints when measuring microhardness

After this is measured microhardness Vickers (HV) of the surface formed by the hypotenuse of a triangle (Fig.1.13, b), where the cathetus is the depth of the examined area $x_i = c_i \times \sin\alpha$, [mm],

where x_i is the depth of the examined area, mm; c_i is the distance from the surface (from point O) to the studied area on the surface of the oblique cone, mm.

The greater the degree of hardening, the greater the hardness and the smaller the size of the print after the indenter is inserted (Fig. 1. 13, b, near the point O).

The measurement result is plotted where the abscissa shows the deposited depth of the examined area (cathetus x_i in Fig.1.13, a), y-axis – micro-hardness at this depth (Fig.1.14).

The graph shows that at first, the hardness does not change or changes slightly – this corresponds to the largest amount of hardening. Then the hardness decreases with distance from the surface, which indicates a decrease in the degree of hardening. The value $x_i = x_n$ on the graph, starting from which the hardness does not change and is equal to the hardness of the original workpiece before

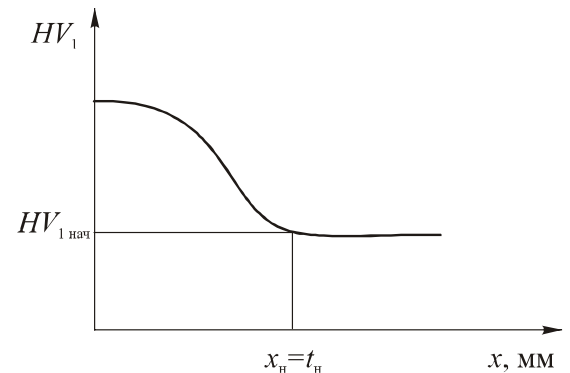
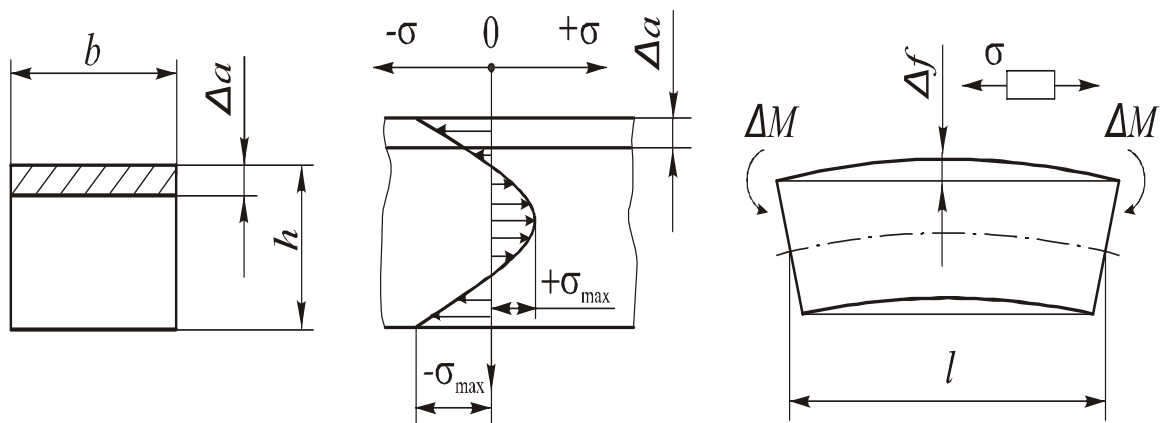


Fig. 1. 14. change in microhardness depending on the depth of the workpiece surface

processing, is the depth of the riveted layer t_n , although, as it was shown, the degree of its riveting is not the same everywhere.

Residual stresses are characterized by:

- 1) sign: stretching-with a sign (+), compressing-with a sign (-) (Fig. 1.15, b);
- 2) the current value for the absolute value $|\sigma_{res\ i}|$ and the maximum value for the absolute value $|\sigma_{res\ max}|$ (Fig. 1.15, b);
- 3) the depth of finding the maximum value σ_{max} .



a b c

Fig. 1. 15. Determination of residual stresses in the workpiece by mechanical means: *a* – removing a layer of metal with a thickness of Δa ; *b* – example of the distribution of residual stresses in the workpiece; *c* – bending of the plate after removing the metal layer with the thickness Δa the redistribution of residual stresses.

Residual stresses can be determined by destructive testing (mechanical) and non-destructive testing (using x-rays, ultrasonic or acoustic vibrations).

The x-ray method is based on measuring the difference between the parameters of the crystal lattice of the treated surface and the non-deformed lattice of the workpiece material. Significant disadvantages of this method are low accuracy and labor intensity.

To measure residual stresses by mechanical means, a sequential step-by-step grinding of the workpiece surface is used with the measurement of the workpiece deformation at each stage (Fig. 1.15, a).

After removing a layer of material with a thickness of Δa from the surface of the plate, the plate bends with a deflection value of Δf (Fig. 1.15, b). This deflection is caused by the appearance of a moment ΔM from the redistribution of internal stresses, which were balanced before the removal of the material layer (Fig. 1.15, b). From strength of materials it is known that this deflection can be calculated by the formula:

$$\Delta f = \Delta M \times \ell^2 / 8EJ, \text{ [mm]},$$

where: ℓ – length of the plate, mm; E - modulus of elasticity (young's modulus), n/mm (MPA); J – moment of bending resistance, mm⁴.

For the simplest case-plate bending - the moment of resistance is determined by the formula:

$$J = b \times h^3 / 12, \text{ [mm}^4\text{]},$$

where: b – width of the plate, mm; h -thickness of the plate, mm.

Bending moment during bending from the redistribution of residual stresses:

$$\Delta M = \sigma_{\text{res}} \times \Delta a \times b \times h/2, \text{ [N}\cdot\text{mm]},$$

where: σ_{res} – residual stresses at the controlled depth, N/mm²; Δa – thickness of the removed layer when determining the residual stress by mechanical means, mm.

The controlled depth h_i is calculated using the formula:

$$h_i = \Delta a_1 + \Delta a_1 + \dots + \Delta a_i, \text{ [mm]},$$

where: Δa_i – the thickness of the removed layer at each preliminary stage of determining the residual stress, mm.

As a result of the transformations a formula is obtained for determining the residual stresses at a controlled depth h_i

$$\sigma_{ocmi} = \frac{4}{3} \cdot \frac{E \cdot h^2}{\ell^2} \cdot \frac{\Delta f_i}{\Delta a}, \text{ [N/mm}^2\text{]}.$$

where: f_i – deflection value at the i -th stage of determining the residual stress, mm; E – lastic modulus (young's modulus), N/mm².

$$E = \sigma / \varepsilon, [\text{N} / \text{mm}^2],$$

where: σ is the stress that occurs in the sample at its relative elastic deformation ε ($\varepsilon = \Delta\ell / \ell$, where $\Delta\ell$ is the elongation of the sample length ℓ under the action of the tensile force P , N); $\sigma = P/S$, Where S is the cross – sectional Area of the sample, mm^2 .

Heat treatment is used to reduce the build-up and residual stresses: annealing and tempering. Annealing is characterized by heating to a high temperature-up to the recrystallization temperature-and slow cooling in a preheating furnace. It is used only when the degree of hardening is very large and you need to almost completely get rid of it.

The tempering is characterized by the heating to a lower temperature and more rapid cooling in air or in a well-insulated chambers . It can be high, medium, or low depending on the heating temperature and cooling speed.

Natural or artificial aging can be used to reduce residual stresses, but they are practically not used in the intermediate stages of part manufacturing.

To reduce the build-up and residual stress, it is necessary to use a rigid fixing of the workpiece during processing, sharpened tools with optimal geometry and prevent their significant wear, apply small feed and cutting depth, use a plentiful watering of coolant to prevent heating of the workpiece, etc. All this has a positive effect on the accuracy of manufacturing and increasing the reliability of operation.