

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Кибернетики  
Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»  
Кафедра «Технология автоматизированного машиностроительного производства»

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Исследование процесса чистового фрезерования закаленных сталей</b>

УДК 621

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ41	Леонтьев Владислав Анатольевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. каф. ТАМП	Арляпов А.Ю.	к.т.н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. МЕН	Шулинина Ю. И.	-		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Пустовойтова М. И.	к.х.н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТАМП	Арляпов А.Ю.	к.т.н., доцент		

Томск – 2016 г.

## Планируемые результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	
<b>Профессиональные компетенции</b>		
P1	Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении	
P2	Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения	
P3	Способность изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы, систематизировать их и обобщать	
P5	Способность получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, уметь применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения, в том числе в режиме удаленного доступа	
<b>Общекультурные компетенции</b>		
P6	Способность выбирать оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты производства	
P7	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, для приобретения новых знаний и умений.	

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Кибернетики  
Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»  
Кафедра «Технология автоматизированного машиностроительного производства»

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой  
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
8ЛМ41	Леонтьев Владислав Анатольевич

Тема работы:

<b>Исследование процесса чистового фрезерования закаленных сталей</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	
<b>Перечень графического материала</b>	Демонстрационный материал (презентация в MS Power Point);
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	

Раздел	Консультант
Исследовательский	Арляпов А. Ю.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Шулинина Ю. И.
Социальная ответственность	Пустовойтова М. И.
Исследовательский (на англ. яз.)	Степура С. Н.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Исследовательский раздел	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Арляпов А.Ю.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ41	Леонтьев Владислав Анатольевич		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа выполнена на 108 страницах, содержит 15 рисунков, включает в себя 44 таблицы, а список литературы состоит из 19 источников, так же в работе имеется 2 приложения.

Ключевые слова: чистовое фрезерование, концевые фрезы, ВСО, фасонные поверхности, закаленная сталь, режимы резания, шероховатость поверхности.

В данной работе рассматривается процесс чистового фрезерования закаленных деталей.

Целью работы выбор оптимальных параметров точного фрезерования фасонных поверхностей на закаленных деталях.

В процессе исследования проводились сравнительные испытания обработки фасонных поверхностей двумя методами: традиционный метод обработки и метод твердого фрезерования. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях на кафедре ТАМП.

Областью применения является изготовление деталей пространственно-сложной формы.

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1. ОБРАБОТКА ПРОСТРАНСТВЕННО-СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗ ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ (СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА).....	8
1.1. Анализ видов ПСП.....	9
1.2. Этапы типового технологического процесса обработки деталей пространственно-сложной формы.....	11
1.3. Высокоскоростная обработка.....	13
1.3.1. Принцип ВСО .....	14
1.3.2. Станки для ВСО.....	15
1.3.3. Система ЧПУ для ВСО.....	16
1.3.4. Режущий инструмент для ВСО.....	19
1.3.5. Вспомогательный инструмент для ВСО.....	21
1.3.6. Режимы резания при ВСО.....	22
1.3.7. Охлаждение при ВСО.....	24
1.3.8. Рекомендации для разработки УП для ВСО.....	25
1.3.9. Преимущества ВСО.....	28
1.4. Выводы 32.....	29
1.5. Цели и задачи исследования.....	29
2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	31
2.1. Описание экспериментальных исследований.....	31
2.2. Исследование наклонных поверхностей.....	34
2.2.1. Матрица 1.....	34
2.2.2. Матрица 2.....	39
2.3. Исследование вогнутых поверхностей.....	41
2.4. Исследование выпуклых поверхностей.....	44
3. ПРОВЕРКА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	47
3.1 Результаты экспериментальных исследований.....	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	50
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	51
5. Социальная ответственность.....	78
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	92
Приложение А	
Приложение Б	

## ВВЕДЕНИЕ

В современном машиностроении широко распространены детали из закаленной стали, имеющие сложную пространственную форму. Большинство деталей этого класса являются формообразующая оснастка. Характерной особенностью таких деталей являются твердость выше 45 HRC, высокие технические требования по точности (IT6...IT8) и шероховатости ( $Ra \leq 0,63$ ).

Типовой техпроцесс обработки закаленных сложнопрофильных деталей обрабатываемые на фрезерных станков с ЧПУ состоит из операций черного фрезерования, чистового фрезерования, термообработки и доводочной (слесарной) операции. При этом трудоемкость доводочных операций может превышать трудоемкость черного и чистового фрезерования. Задача подбора оптимальных параметров чистового фрезерования при обработке закаленных пространственно-сложных поверхностей (ПСП) является важной и актуальной, так как для повышения производительности обработки сложнопрофильных деталей необходимо уменьшить объем доводочных операций за счет повышения качества фрезерования.

Для автоматизации фрезерной обработки деталей с ПСП используют станки с ЧПУ. Точность формы, формирование шероховатости, а также производительность обработки деталей на станках с ЧПУ зависят от качества управляющей программы (УП), в которой задаются режущий инструмент, его траектория движения, режимы резания и др.

Предметом данного исследования является определение оптимальных параметров чистового фрезерования закаленных ПСП концевыми радиусными фрезами. Конечная цель состоит в повышении качества фрезерования закаленных сложнопрофильных деталей и снижении трудоемкости доводочной операции.

# **1 ОБРАБОТКА ПРОСТРАНСТВЕННО-СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗ ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛИ (СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА)**

Проведен анализ работ В.И. Гузеева [8], [9], [10], В.А. Батуева [1], В.В. Батуева [2], А.В. Выбойщика [6], Л.А. Белоуса [3] и др. где рассматривался вопрос фрезерной обработки сложнопрофильных деталей. Рассмотрены существующие зависимости по расчету составляющих силы резания при фрезеровании сложнопрофильных деталей и методы управления точностью обработки. В.И. Гузеевым и В.В. Батуевым разработаны зависимости для деталей с ПСП имеющие равные припуска, который встречается менее чем на 25% обрабатываемых деталей, а управлять точностью предлагается через регулирование подачи [10]. В.В. Батуевым рассмотрено фрезерование ПСП со ступенчатым припуском после черновой обработки [2]. В.А. Выбойщик рассматривал силовую неустойчивость отдельного случая чистового фрезерования сложнопрофильных деталей при работе по схеме "поперек", т е под углом  $90^\circ$  относительно выступов полученных после чернового фрезерования. А регулировать точность предлагал изменением количества уточняющих переходов[6]. Л.А. Белоусом проведена работа по определению оптимальных параметров чистового фрезерования алюминиевых сплавов имеющие наклонные поверхности[3].

Проведением анализа получения качества поверхностного слоя при высокоскоростной обработке (ВСО) закаленных сталей занимались отечественные авторы: А.А. Локтев [13], А.В. Степанов [16], [17], [18], И.Е. Кирюшин [11], [12] и др. Исследование данных работ показал, что все авторы рассматривают высокоскоростную обработку закаленных сталей как одно из быстроразвивающихся направлений резания металлов. А.А. Локтев разработал методику выбора режимов резания для фрезерования закаленных сталей на основании расчета температуры резания, характеристик оборудования и технологических условий [13]. А.В. Степановым проведены

испытания концевых фрез фирм HANITA, FRAISA и SECO, также разработаны рекомендации по выбору оптимальных режимов резания при ВСО [16], [17], [18]. И.Е. Кирюшиным разработана методика экспериментального исследования остаточных напряжений, шероховатости, микротвердости поверхностного слоя после ВСО при чистовой обработке закаленных штамповых сталей [11].

### **1.1 Анализ видов ПСП**

Для современного уровня развития техники характерна большая номенклатура деталей пространственно-сложной формы. Одни из наиболее массовых представителей являются рабочие детали формообразующей оснастки (прессформы, штампы, модели для точного литья и т.д.).

В диссертации [6], на основе анализа нормативных материалов, справочных данных и рабочих чертежей деталей (таблица 1.1) проведена систематизация ПСП для ряда производств (литейное, штамповочное). Из этого следует, что отличительной особенностью большинства деталей имеющие ПСП являются высокие технические требования по точности (IT6...IT8) и шероховатости ( $Ra \leq 0,63$ ). Также в работе представлены характерные детали типа пуансона и матрицы, имеющие ПСП (рисунок 1.1), которые формируются из участков трех типов: плоских (а), выпуклых (б), вогнутых (в).

Обработка деталей пространственно-сложной формы называется объемным фрезерованием.

Таблица 1.1 – Технические требования к рабочим поверхностям деталей штампов, прессформ и металлических моделей для литья

Группа оборудования	Вид оборудования	Точность рабочих поверхностей, IT	Шероховатость рабочих поверхностей Ra, мкм
Штампы для холодной листовой штамповки	Гибочные и формовочные штампы		
	Пуансон	IT8	Ra 0,32...Ra 0,63
	Матрица	IT8	Ra 0,32...Ra 0,63
	Вытяжные штампы		
	Пуансон	IT6 ... IT8	Ra 0,32...Ra 0,63
	Матрица	IT6 ... IT8	Ra 0,32...Ra 0,63
	Чеканочные штампы		
	Пуансон	IT8	Ra 0,16...Ra 2,5
	Матрица	IT8	Ra 0,16...Ra 2,5
Штампы для холодной объемной штамповки	Штампы для холодного выдавливания		
	Пуансон	IT8	Ra 0,08...Ra 0,16
	Матрица	IT8	Ra 0,08...Ra 0,16
	Штампы для горячего выдавливания		
	Пуансон	IT8	Ra 0,08...Ra 0,16
	Матрица	IT8	Ra 0,08...Ra 0,16
Штампы для горячей объемной штамповки	Штампы для КГШП	IT9 ... IT14	Ra 0,16...Ra 2,5
	Молотовые штампы	IT9 ... IT14	Ra 0,16...Ra 2,5
	Штампы для ГКМ	IT9 ... IT14	Ra 0,16...Ra 2,5
Прессформы	Пуансон	IT8	Ra 0,08...Ra 0,16
	Матрица	IT8	Ra 0,16...Ra 2,5
Металлические модели для литья	Пуансон	IT8	Ra 0,08...Ra 0,16
	Матрица	IT8	Ra 0,16...Ra 2,5

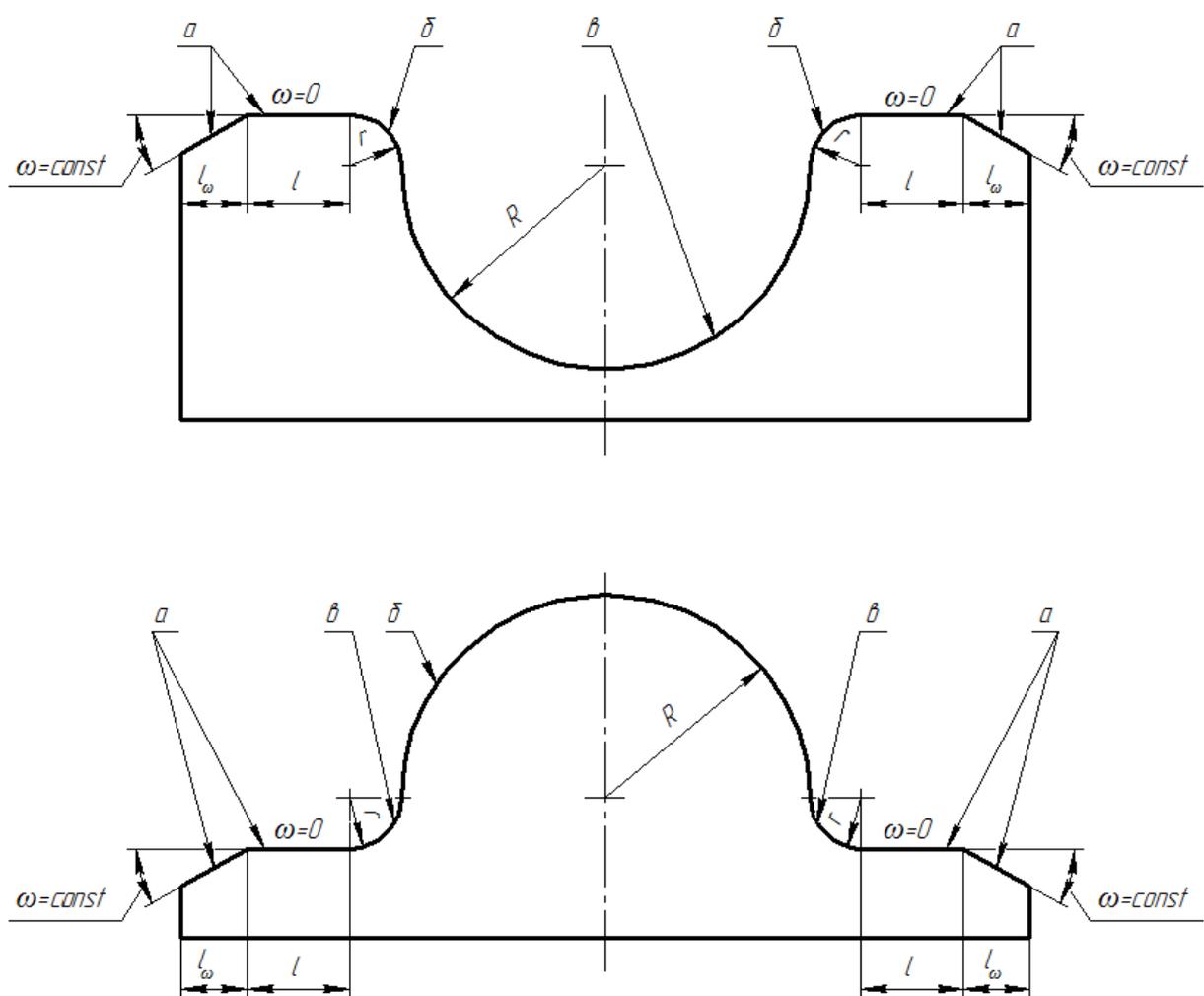


Рисунок 1.1. Типовые участки пространственно-сложных поверхностей

## 1.2 Этапы типового технологического процесса обработки деталей пространственно-сложной формы.

Традиционно техпроцесс обработки деталей пространственно-сложной формы из закаленной стали состоит из следующих этапов:

1. Черновая обработка (фрезерование);
2. Чистовая обработка (фрезерование);
3. Закалка (термообработка);
4. Доводочная обработка (слесарные работы).

На черновом этапе происходит снятие напуска и подведение формы исходной заготовки к форме готовой детали. На этом этапе происходит послойное снятие напуска концевой фрезой с постоянной шириной

фрезерования. В итоге под чистовое фрезерование остается ступенчатый припуск, высота ступенек которого равна ширине фрезерования  $B$  (рисунок 1.2).

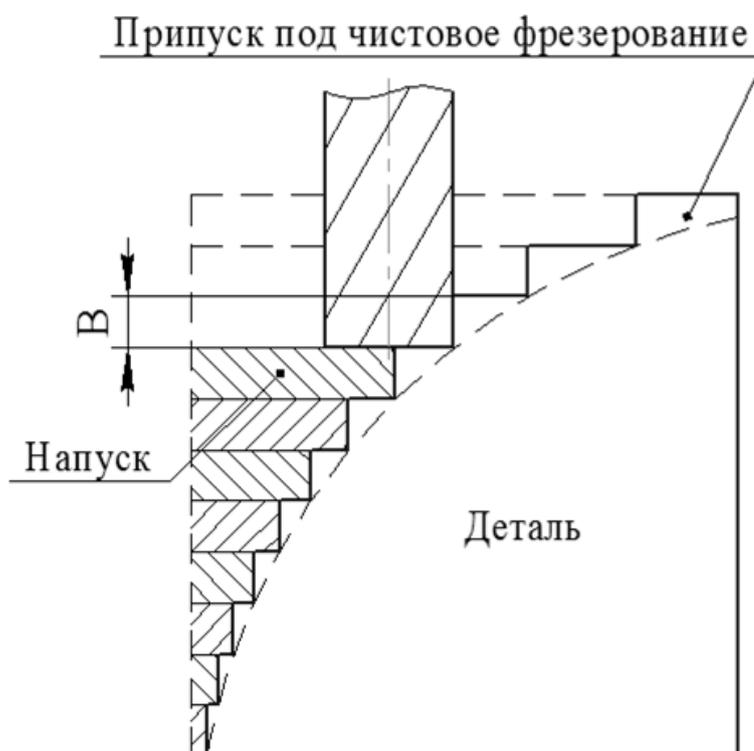


Рисунок 1.2. Снятие припуска при черновом фрезеровании

Этап чистового фрезерования считается последним переходом, непосредственно выполняемым на станке, на котором снимается ступенчатый припуск, получают точность размеров и формы конечной детали (рисунок 1.3).

Для обеспечения требуемых физико-механических свойств используется термообработка.

Доводочная операция заключается в окончательной доработке детали и достижения требований по точности и шероховатости.

Сравнение трудоемкости различных стадий обработки сложнопрофильных деталей, представленное в [], показывает, что время, затраченное на доводочную обработку составляет (20...50)% от трудоемкости всей обработки и ее продолжительность превышает по длительности операции чистового фрезерования на станках с ЧПУ в 7...10 раз.

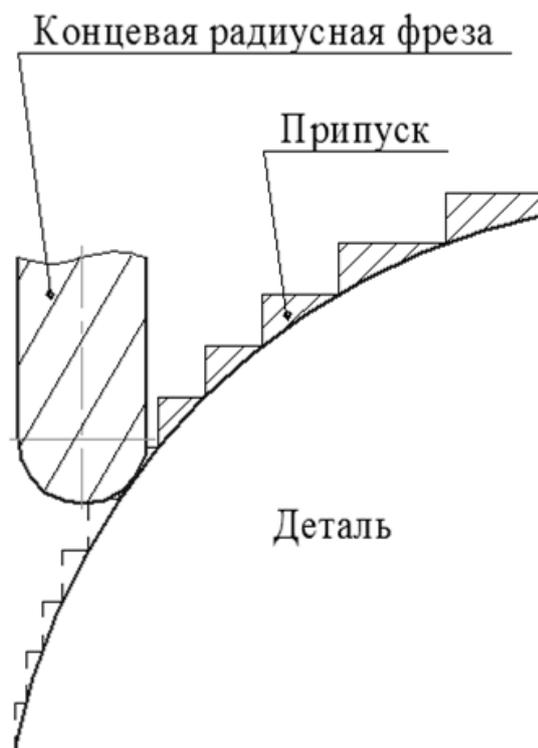


Рисунок 1.3. Снятие припуска при чистовом фрезеровании

Высокая трудоемкость доводочной операции обусловлена неравномерным остаточным припуском, который по данным [6] составляет 0,05...1 мм.

Снижение трудоемкости обработки детали с ПСП должно осуществляться уменьшением требуемого времени на доводочную операцию, путем повышения точности чистового фрезерования и создания минимального равномерного припуска под слесарную обработку, так как детали подвергаются закалке, то чистовое фрезерование необходимо. Поэтому повышение точности и производительности чистового фрезерования необходимо связать с определением схемы обработки ПСП и определением рациональных режимов резания.

### 1.3 Высокоскоростная обработка

Высокоскоростная обработка (ВСО) – одно из современных направлений в машиностроении, которое, по сравнению с традиционным резанием, позволяет увеличить эффективность, точность и качество механообработки,

закаленной стали. Ее основная особенность — высокая скорость резания, при которой большая часть тепла уходит в стружку, обрабатываемый материал детали становится мягче, и силы резания уменьшаются, благодаря чему инструмент может двигаться с большой рабочей подачей.

Эффект высокоскоростной обработки обуславливается структурными изменениями материала (из-за пластических деформаций, осуществляемых с большой скоростью) в месте удаления стружки. При увеличении скорости деформаций силы резания сначала растут, а потом, с достижением определенного температурного порога в зоне образования стружки, начинают значительно снижаться. Примечательно, что время взаимодействия режущей кромки с заготовкой и стружкой очень мало, а скорость удаления материала очень высока, что большая часть тепла, образующегося в зоне обработки, отводится вместе со стружкой, при этом заготовка и инструмент не успевают нагреваться.

### **1.3.1 Принцип ВСО**

Основным правилом ВСО является: малый объем стружки, снимаемый с высокой скоростью резания и высокой минутной подачей. Скорость резания и подача в 5-10 раз выше, чем при традиционном фрезеровании. Рекомендуемая глубина резания не должна превышать 10% диаметра фрезы.

При ВСО, кроме снижения величины крутящего момента в зоне высоких скоростей, главным фактором является распределение тепла в зоне обработки. В данной обработке скорость подачи превышает скорость теплопроводности обрабатываемого материала, поэтому большая часть тепла сосредоточена в стружке, не успевая переходить в заготовку и инструмент. Таким образом, с помощью ВСО можно фрезеровать закаленные стали, не опасаясь отпуска поверхностного слоя. Исследования показали, что 75% тепла уходит в стружку, 20% в инструмент и 5% в обрабатываемую деталь. На рисунке 1.4 показано распределение температуры в зоне резания. Ввиду этого ВСО

базируется на сокращении тепла, которое обычно и является причиной износа инструмента.

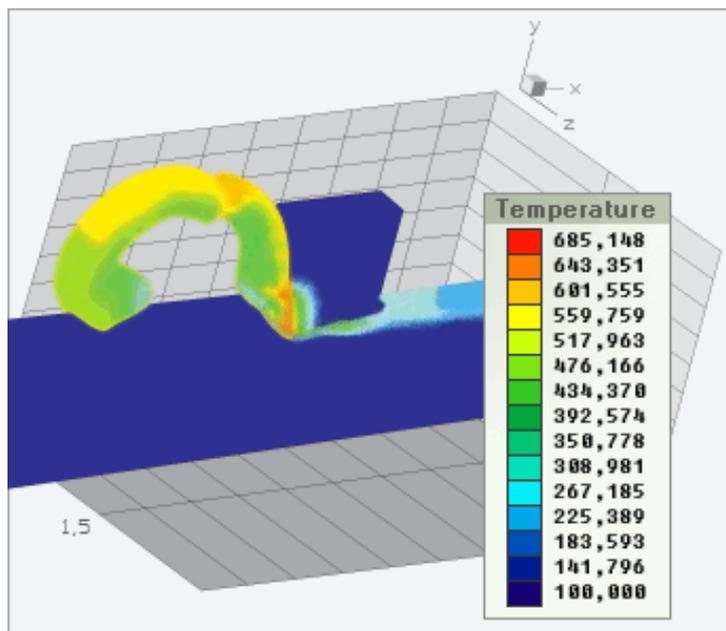


Рисунок 1.4. Распределение температуры в зоне резания при ВСО

ВСО не всегда уменьшает машинное время за счет высоких режимов резания, это не основное ее предназначение. Основной эффект ВСО заключается в следующем:

- Повышение качества обработки;
- Возможность обработки материалов, чувствительных к перегреву;
- Эффективное использование станков с ЧПУ;
- Сокращение и упрощение технологических процессов, в которых исключается эрозионная обработка и ручная доводка.

### 1.3.2 Станки для ВСО

Современное станкостроение поддерживает данную обработку придавая станкам особые характеристики: высокая геометрическая точность, высокая статическая жесткость, высокая динамическая жесткость, обеспечение свободного отвода стружки. Станки должны иметь хорошие виброгасящие характеристики, безлюфтовые движения перемещающихся частей.

Для ВСО используются станки, оснащенные высокоскоростным инструментальным шпинделем, частота вращения шпинделя находится в пределах 12000-40000 об/мин.

Современные шпиндели для ВСО оснащены различными датчиками, для отслеживания положения шпиндельного вала, температуры и вибрации. С помощью полученных данных от датчиков устройство ЧПУ рассчитывает компенсации смещения вала и произведет данную компенсацию. Датчики температуры на подшипниках предостерегут от перегрева и повреждения шпинделя. Датчики температуры показывают три сигнала «все в порядке», «состояние критическое» и «ошибка». При критическом состоянии обработка будет прервана на некоторое время для снижения температуры. Датчик вибрации при критических значениях также предупредит о чрезмерной вибрации. Она может быть вызвана неправильной балансировкой патронов и другими причинами. Такие «умные» шпиндели обеспечивают долгую службу станков, снижают их простои, реализовывают безлюдную технологию, а также обладают рядом других преимуществ. Данные шпиндели имеют опции для различного охлаждения инструмента и заготовки, а также много других полезных опций.

Существует и комбинированный шпиндель («дуплекс»), в корпусе которого размещены два электродвигателя и соответственно два вала, вращающиеся совместно или раздельно.

Скорость подач для ВСО должна составлять порядка 40-60 м/мин, скорость быстрого перемещения до 90 м/мин, проходя при этом малые перемещения - от 1 до 20 мкм.

### **1.3.3 Система ЧПУ для ВСО**

Правильно выбранная система ЧПУ позволит станку работать быстрее. Ведь при выполнении УП система управления анализирует данные и

регулирует рабочую подачу в соответствии с той скоростью, с которой работает самый медленный компонент системы.

Система ЧПУ состоит из следующих компонентов:

- панель управления (НСI)
- ядро ЧПУ (NCU)
- программируемая система управления (PLC)
- модули приводов для осей и шпинделя станка
- двигатели

Одной из важнейшей функций ЧПУ для ВСО является корректное управление приводами подач и приводом главного движения (шпинделем). Многочисленные структуры управления, служащие для сокращения ошибок вычисления траектории и учета жесткости станка, повышают производительность и точность обработки.

Основные функции ЧПУ для ВСО:

- предварительный просмотр кадров УП (функция Look-Ahead);
- регулирование подачи для высокой точности траектории;
- регулирование ускорения;
- коррекция инструмента (длина, радиус, износ);
- автоматизированные функции сглаживания траектории (интерполяция NURBS);
- высокоскоростная передача данных (файлов УП);
- исправление ошибок, обусловленных механикой;
- обеспечение безопасной эксплуатации станка.

Функция предварительного просмотра (Look-Ahead)

Сегменты траектории движения инструмента могут быть настолько малыми, что приводы подач не сумеют ускориться или замедлиться достаточно быстро, чтобы точно выполнять перемещения с изменением направления. Функция предварительного просмотра (Look-Ahead) позволяет системе ЧПУ заранее читать некоторое количество еще не отработанных кадров УП,

анализировать резкие изменения направления движения и соответственно регулировать рабочую подачу. Точное количество предварительно просматриваемых кадров определяется характеристиками системы ЧПУ, при этом большее число не обязательно означает лучшее выполнение УП. Более жесткий станок, имеющий более динамические приводы подач, может обрабатывать траекторию движения инструмента достаточно точно даже с довольно скромной системой ЧПУ.

### Интерполяция NURBS

Системы CAD/CAM для описания кривых и плоскостей используют математику сплайнов, с помощью которой можно описать кривые и сечения любой формы.

Идеальные геометрические данные детали в форме точного математического описания доступны только в пределах CAD/CAM системы. При стандартном методе подготовки данных к моделированию механообработки электронная модель преобразовывается в представлении формы. Данное преобразование обычно производится с определенным пределом точности, что является причиной появления ошибки той же величины. Полученная траектория движения инструмента представляет собой последовательность коротких линейных перемещений. Хотя современные САМ-системы и способны преобразовывать такие данные и сплайны, но эти сплайны будут отличаться от идеальных геометрических данных математической модели.

Некоторые системы с ЧПУ могут самостоятельно интерполировать движения по осям с помощью математических кривых. При этом один кадр УП, описывающий сплайн, может заменить до 10 кадров, описывающих отрезки при сохранении точности. Интерполяция по кривым позволяет менять направление постепенно, и система управления поддерживает более высокую среднюю рабочую подачу, чем при перемещении по полигональной траектории. Таким образом, задание УП посредством полигонов заменяется

либо на передачу записей сплайнов непосредственно из САМ-системы, либо на геометрическое преобразование внутри системы ЧПУ.

#### Поддержание высокой скорости рабочей подачи

Система ЧПУ с помощью функции предварительного просмотра защищает инструмент и станок от эффекта резкой смены направления движения при высоких рабочих подачах за счет уменьшения скорости подачи перед поворотом. Однако это замедление может воздействовать на качество поверхности детали. Чтобы по возможности сохранить высокую рабочую подачу на всем пути движения инструмента, изменение направления должно быть плавным. Существует много способов сделать это средствами САМ-системы: сопряжение дугами острых углов траектории инструмента, врезание по спирали и т.д.

Другой подход к сохранению высокой скорости рабочей подачи и по возможности постоянной нагрузки на инструмент состоит в том, чтобы изменять подачу обратно пропорционально объему удаляемого материала. Некоторые САМ-системы могут выполнять эту функцию автоматически.

### **1.3.4 Режущий инструмент для ВСО**

#### Характеристики режущего инструмента

В техпроцессе, оптимизированном для ВСО, именно режущий инструмент очень часто служит ограничением для скорости резания и производительности. Достижения в области технологий создания режущего инструмента сделали высокоскоростную обработку возможной. Постоянные исследования и регулярные открытия в этой области дают надежду, что сдерживающий фактор, обусловленный ограниченными возможностями инструмента, будет преодолен.

Стойкость инструмента при обработке зависит от его материала, качества поверхностного покрытия, точности и особенности геометрии.

Особенность режущего инструмента для ВСО можно описать следующим образом:

- способность испытывать высокие механические и тепловые перепады. Мелкозернистый карбид с покрытием на основе карбида титана – это наилучшая комбинация, обеспечивающая износостойкость, выдерживающая высокую температуру и низкий коэффициент трения;
- более точная геометрия, чем у обычного инструмента. Так, у инструмента для ВСО допуск на диаметр не превышает 0.02мм, а предельное отклонение радиуса режущей кромки – 0.01мм, что вдвое выше обычного инструмента;
- фрезы, используемые для ВСО закаленных сталей, имеют больший диаметр центрально стержня и более мелкие зубья, чем у фрез для обработки незакаленных сталей. Поэтому инструмент имеет большую жесткость, а значит, меньше подвержен деформации и вибрации. Угол наклона спирали зуба должен быть наибольшим из возможных.

#### Жесткость инструмента

Высокая скорость вращения шпинделя повышает влияние вибрации инструмента на фрезерование детали. Чтобы стойкость инструмента и качество поверхности были приемлемыми, требуется обрабатывать используя жесткий инструмент. Инструмент с малым вылетом имеет наименьшую деформацию и меньше подвержен вибрации.

#### Мелкозернистые твердые сплавы

При ВСО используются инструменты в основном из твердого сплава. Выбирая марку сплава смотрят не только его твердость, но и значение сопротивления изгибу, так как обрабатывается деталь с высокой частотой ударов режущей кромки о поверхность обработки. Влияние вибрации и температурных колебаний на высоких скоростях еще более ухудшает общую картину.

Хорошим сочетанием достаточного значения твердости и сопротивлению изгибу обладают твердые сплавы с зерном малого размера (менее 0.5 мкм).

## Покрытия инструмента

Правильно выбранное покрытие значительно продлевает жизнь инструмента, защищая твердый сплав от трения и высокой температуры. В основном используются три типа покрытия:

1. Алумонитрид титана (TiAlN) имеет очень хорошее теплоизолирующее свойство при обработке с высокими температурами, в том числе без применения СОЖ. Отличительные особенности покрытия:

- сопротивление высокотемпературному износу (температура плавления TiAlN приблизительно на 35% больше, чем у нитрида титана);
- скользящий эффект, вызванный тем, что слой покрытия является одновременно твердым и скользящим. Предотвращая износ, оксид алюминия смазывает горячую стружку, чтобы она не скользила по поверхности фрезы без теплопередачи и прилипания. За счет низкого коэффициента трения инструмент с этим покрытием хорошо обрабатывает графит, чугун и другие абразивные материалы.

2. Нитрид карбида титана (TiCN) – многослойное покрытие, используемое в основном для обработки стали. Основной его недостаток состоит в том, что его нельзя наносить повторно. Инструменты, покрытые однажды TiCN, в дальнейшем обычно покрывают нитридом титана.

Покрытие TiCN – недорогое, применяется там, где твердость обрабатываемой поверхности меньше 42 HRC и скорость резания не превышает 240 м/мин.

3. Нитрид титана (TiN) стоит очень дешево. Хотя такое покрытие нельзя использовать в тех условиях, в которых работают предыдущие, оно является самым универсальным.

### **1.3.5 Вспомогательный инструмент для ВСО**

Вспомогательный инструмент для крепления инструментов должен иметь конус HSK (возможно VBT конус), обладающего высокой статической и динамической стабильностью, высокой точностью, возможностью

самобалансировки на высоких скоростях, а также меньшей массой по сравнению с другими конусами.

Как известно биение инструмента имеет особое влияние на его стойкость. Так при ВСО снижение биения инструмента до нескольких микрон увеличивает срок службы режущего инструмента в несколько раз. Поэтому при ВСО первый выбор отдается термозажиму инструмента, т.е. термопатронам, термоусадочным цанговым зажимным патронам, также используются различные гидравлические патроны, балансируемые патроны, позволяющие работать на оборотах до 100000 об/мин. Полное радиальное биение (TIR) должно составлять максимум 10 мкм на режущей кромке. Каждые 10 мкм биения уменьшают стойкость инструмента на 50%. Главное качество вспомогательного инструмента - это выбрать все зазоры между инструментом и шпинделем.

### 1.3.6 Режимы резания при ВСО

ВСО ведется в надкритическом для колебаний диапазоне, потому что везде при таких высоких скоростях вращения, значительно превышаются частоты резонанса детали, инструмента и компонентов станка.

Назначение режимов резания вызывает некоторые трудности. Хотя они указаны в каталогах применяемого инструмента, тем не менее, имеют предварительный характер, окончательное же назначение режимов резания ведется исходя из опыта и экспериментов для конкретного обрабатываемого материала (см. табл. 1.2 – 1.5).

Таблица 1.2 – Скорость резания при обработке различных материалов

Материал	Скорость резания, м/мин	Охлаждение
Алюминий	1000 - 5000	СОЖ или масляный туман
Латунь	1000 - 2500	СОЖ или масляный туман
Медь	600 - 1500	СОЖ или масляный туман

Титановый сплав	50 - 150	СОЖ или масляный туман
Графит	1000 - 4000	Сжатый воздух
Углеродистые волокна	250 - 500	Сжатый воздух
Пластмассы	300 - 1000	Сжатый воздух
Стали	300 - 700	СОЖ или масляный туман
Чугун	500 - 750	СОЖ или масляный туман
Жаропрочная сталь	75 - 100	СОЖ или масляный туман

Таблица 1.3 – Скорость резания различных материалов в зависимости от вида обработки

Материал (классификация СМС)	Скорость резания, м/мин			
	Твердость	Традиционная обработка	ВСО - черновая	ВСО - чистовая
Сталь 01.2	150 НВ	< 300	> 400	< 900
Сталь 02. 1/2	330 НВ	< 200	> 250	< 600
Сталь 03. 11	300 НВ	< 100	> 200	< 400
Сталь 03. 11	39 – 48 HRC	< 80	> 150	< 350
Сталь 04	48 – 58 HRC	< 40	> 100	< 250
GCI 08.1	180 НВ	< 300	> 500	< 3000
Алюминий	60 – 75 НВ	< 1000	> 2000	< 5000
Цветные сплавы	100 НВ	< 300	> 1000	< 2000

Таблица 1.4 – Параметры резания при ВСО

Параметры при ВСО	Материал заготовки	
	Алюминиевые заготовки	Закаленная сталь
Скорость резания, м/мин	до 5000	до 250
Глубина резания, мм	> 50% от диаметра фрезы	0.05 – 0.5
Рабочая подача, м/мин	до 15	до 3
Мощность шпинделя, кВт	10	30

Угол наклона спирали зуба фрезы	пологий	крутой
Число зубьев фрезы	2 - 3	4 - 16

Таблица 1.5 – Типичные параметры резания закаленной стали

Вид обработки	Скорость резания $v$ , м/мин	Глубина резания $a_p$ , %	Ширина резания $a_e$ , %	Подача на зуб $f_z$ , мм/зуб
Черновая	50 - 100	30 – 150	10 – 40	0.01 – 0.1
Получистовая	150 - 250	5 – 20	5 – 30	0.015 – 0.15
Финишная	200 - 250	1 - 3	1 – 2	0.01 – 0.2

Для самых труднообрабатываемых материалов величину подачи на зуб можно вычислить по формуле  $f_z=0,01xD$ , при этом рекомендуется, чтобы  $f_z$  удовлетворяло следующему условию  $0,005xD \leq f_z \leq 0.02xD$ , где  $D$ - номинальный диаметр фрезы.

Необходимо иметь ввиду что в некоторых случаях приходится занижать режимы резания при обработке отдельных участков. Например, при фрезеровании полостей, когда опускание происходит по спирали или зигзагу. Здесь возможно опускание и в предварительно засверленное отверстие, но это не всегда бывает удобным. Иногда при обработке сложных участков выгодно фрезеровать с большими съемами, но меньшей скоростью, это увеличивает время обработки, однако исключает различные поломки.

### 1.3.7 Охлаждение при ВСО

Наибольшая стойкость отслеживается при обдувании сжатым воздухом. Так как тепло сосредотачивается в стружке, и ее надо быстро отвести из зоны обработки, а не охлаждать заготовку и инструмент как прежде. В случае применения СОЖ инструмент подвергается циклическим температурным

нагрузкам на кромке, что приводит к быстрому выкрашиванию. Как известно для инструмента постоянная тепловая нагрузка лучше, чем меняющаяся циклическая нагрузка.

Применение охлаждающей эмульсии иногда имеет место при ВСО, но не с целью охлаждения, а для использования ее смазывающих свойств. Охлаждающая эмульсия помогает скольжению стружки по режущей кромке без теплообмена.

Наиболее эффективным является применение масляного тумана с обдувом воздушной струей под большим давлением. При этом масло должно иметь растительное происхождение и быть безвредным для здоровья.

### **1.3.8 Рекомендации для разработки УП для ВСО**

На основе испытаний [16], [17] разработаны следующие рекомендации по программированию ВСО-траекторий:

- При обработке всегда должна образовываться стружка. Тепло из зоны обработки в основном отводится вместе со стружкой. Вырабатываемое в процессе трения тепло будет отдаваться в инструмент и обрабатываемую деталь, что способствует перегреву и скорому износу инструмента.
- Если условия обработки не могут быть постоянными из-за сложной геометрии детали, то уменьшают значение шага для улучшения резания. При уменьшении шага уменьшаются и случаи внезапного увеличения объема удаляемого материала при обработке углов, за счет чего происходят вибрации и ухудшение отвода стружки.
- Рекомендуется применять попутное фрезерование для черновой и чистовой обработки. Во-первых, это приводит к равномерной эвакуации стружки и получается поверхность с лучшей шероховатостью. Во-вторых, существенно возрастает стойкость фрезы. При встречном фрезеровании при врезании толщина стружки равна нулю, на выходе – максимальна, из-за чего

выделяется большое количество теплоты, поскольку режущая кромка движется с большим трением.

- Резание в одном направлении. При резании в одном направлении фреза всегда будет находиться с одной стороны от обрабатываемой поверхности, поэтому условия резания будут более равномерными. Недостаток – большое время, используемое на холостые перебеги.

- Минимум врезаний инструмента. При врезании фрезы количество удаляемого материала резко увеличивается, и в ней возникает большое напряжение. Многие САМ-системы решают эту проблему за счет встроенных функций.

- Окончательная глубина фрезерования должна достигаться переменными шагами, чтобы для окончательной обработки оставался равномерный припуск. Если используемая САМ-система не гарантирует контроль величины припуска, требуется добавить дополнительную обработку между предварительной и окончательной.

- Желательно осуществлять предварительную обработку фрезами большого диаметра и оставлять припуск в углах для последующей доработки. Углы с малыми диаметрами обрабатываются инструментом малого диаметра, которые не имеют достаточной жесткости для удаления большого количества материала, особенно для фрез с большой длиной вылета. САМ-системы позволяют удалять материал, оставленный в углах, с помощью фрез меньшего диаметра. Это особенно полезно, когда твердость материала высока.

- Рекомендуется использовать функцию САМ-системы “аппроксимация дугами”. С помощью нее можно объединить нескольких линейных сегментов траектории в одну дугу, благодаря чему уменьшается размер УП и позволяет использовать постоянную рабочую подачу. Эта функция особенно полезна при интерполяции одновременно по трем осям.

- Предварительная обработка глубокого кармана с наклонными стенками более предпочтительна, так как ее, возможно, осуществить используя большую

подачу, и при этом уменьшается износ инструмента. При обработке вертикальных стенок концевая фреза режет всей образующей, и обработка производится с большими усилиями. Желательно наклонить вертикальные поверхности. Этот метод создает дополнительные трудности при программировании обработки для 3-осевого станка.

- При окончательной обработке сферической фрезой желательно обеспечить некоторый угол между осью фрезы и нормалью к обрабатываемой поверхности. Это достаточно легко выполняется при 4- и 5-осевой обработке.

- Отход и подход траектории инструмента должны осуществляться по дуге. Условия резания в таком случае изменяются плавно и износ инструмента уменьшается.

- Для предварительной обработки рекомендуется использовать концевые фрезами с небольшим радиусом (до 1 мм) на торце. Они могут сохранять свою целостность намного дольше, нежели фрезы без радиуса на торце или сферические фрезы.

- Желательно, чтобы радиус инструмента для окончательной обработки был меньше радиуса угла – траектория инструмента будет плавной.

- Необходимо контролировать процесс эвакуации стружки. Так как со стружкой удаляется тепло из зоны обработки, важно контролировать процесс стружкообразованию и распределение удаляемого материала.

- Желательно применять обильное охлаждение или вовсе работать без охлаждения. Полезность применение СОЖ повышается с уменьшением скорости резания. Отвод тепла в большой степени зависит от эвакуации стружки, и для этого целесообразно использовать обдув сжатым воздухом вместо СОЖ на водной основе. Поскольку в зоне обработки возникает высокая температура и любая жидкость на водной основе вблизи от режущей кромки моментально превращается в пар, и какой-либо охлаждающий эффект будет отсутствовать. При этом жидкость будет на мгновение охлаждать режущую

кромку, находящуюся в тот момент вне процесса резания. Эти циклические температурные перепады приведут к преждевременному износу инструмента.

Требуется заметить, что масляно-воздушная охлаждающая эмульсия в виде тумана используется для смазки и уменьшения трения.

### **1.3.9 Преимущества ВСО**

1. Сокращение времени производственного цикла на 30% и более.
2. Увеличение производительности.
3. Более эффективная обработка.
4. Упрощение технологических процессов
5. Высокое качество обработки (получаемые поверхности как после шлифования).
6. Экономия (уменьшение времени обработки обуславливает экономический эффект).
7. Увеличение ресурса инструментов.
8. Уменьшение износа станка.
9. Оптимальное использование времени.
10. Эффективное использование станков с ЧПУ.
11. Обработка закаленных и труднообрабатываемых деталей твердостью 50 HRC и выше
12. Обработка деталей малых размеров.

Не смотря на то, что стоимость станков и инструментов для ВСО в несколько раз дороже стандартных их аналогов, следует учитывать все преимущества ВСО перед силовой (традиционной) обработкой. При грамотной настройке и большой загрузке станков (порядка 120 ч в неделю) стратегия ВСО способна довольно быстро окупить все затраты.

## **1.4 Выводы**

Таким образом, анализ литературных источников показывает, что в настоящее время:

- в современном машиностроении существует значительная доля изделий, имеющих пространственно-сложную форму – матрицы и пуансоны штампов, прессформ, металлические изделия для точного литья и т.п., к которым предъявляются высокие технические требования по точности (IT6...IT8) и шероховатости ( $Ra \leq 0,63$ );
- при изготовлении деталей пространственно-сложной формы трудоемкость доводочной операции достаточно велика и составляет (10...35)% от трудоемкости всей обработки; время на слесарную операцию может быть снижено за счет повышения точности фрезерования;
- при чистовом фрезеровании ПСП закаленных деталей наиболее эффективным является метод ВСО, который увеличивает производительность операции;
- отсутствуют данные по режимам резания при обработке закаленных сталей имеющие ПСП.

## **1.5 Цели и задачи исследования**

Целью настоящего исследования является выбор оптимальных параметров точного фрезерования фасонных поверхностей на закаленных деталях.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать технологический процесс обработки фасонных поверхностей матрицы 1 по традиционной технологии без применения термообработки, а так же с применением твердого фрезерования без применения высокоскоростной обработки для определения производительности.

2. Разработать технологический процесс обработки фасонных поверхностей матрицы 2 по типовым заводским технологиям, без применения твердого фрезерования для определения производительности.
3. На моделях фасонных поверхностей провести сравнение исследования производительности обработки:
  - получаемые без использования термообработки:
  - получаемые методом твердого фрезерования.
4. Анализ обеспечения отклонения формы и шероховатости поверхностей.
5. На основе экспериментальных и теоретических исследований сформулировать рекомендации, позволяющие оптимизировать процесс объемного фрезерования закаленных сталей.

## 2 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Экспериментальные исследования проводились с целью нахождения оптимальных параметров режимов резания на уменьшение шероховатости и увеличении точности обработки закаленных сложнопрофильных деталей.

### 2.1 Описание экспериментальных исследований

Для проведения исследования процесса чистового фрезерования закаленных сталей были выбраны следующие инструменты:

- 1) Фреза концевая радиусная компании Sandvik Coromant (Швеция), 10x25x75 мм, 4-зубая с покрытием TiAlN (алюмонитрид титана).
- 2) Фреза концевая коническая компании Sandvik Coromant (Швеция), 2x6x39 мм, 2-зубая с покрытием TiAlN (алюмонитрид титана)..
- 3) Фреза концевая цилиндрическая компании Sandvik Coromant (Швеция), 4x9x55 мм, 5-зубая с покрытием TiAlN (алюмонитрид титана).
- 4) Фреза концевая радиусная компании Sandvik Coromant (Швеция), 14x30x89 мм, 4-зубая с покрытием TiAlN (алюмонитрид титана).

В качестве материалов для испытаний были выбраны широко распространенные и доступные стали повышенной прочности: стали 40X и 40X13. Физико-механические характеристики испытуемых материалов приведены ниже в таблице 2.1.

Таблица. 2.1 - Физико-механические характеристики сталей

Материал	Массовая доля элементов, %				Механические свойства	
	C	Si	Mn	Cr	HB, МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа
Сталь 40X	0,4	0,2	0,5	1	174 - 217	350
Сталь 40X13	0,4	0,5	0,5	13	143 - 229	500

Эксперименты проводились на пяти координатном станке с ЧПУ “DMU 50” с системой управления Heidenhain iTNC 530 (рисунок 2.1). Характеристики станка представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2. - Характеристики станка DMU 50

<b>Модель станка</b>		<b>DMU50</b>
Перемещение по оси X/Y/Z	мм	500/450/400
<b>Главный привод</b>		
Диапазон скорости	об/мин	20 – 10000
Мощность привода (100/40% цикла нагрузки)	кВт	9/13
<b>Подача</b>		
Быстрый ход по осям X/Y/Z	м/мин	24
Максимальная мощность подачи (X/Y/Z)	кН	4,8
<b>Вращающийся стол с ЧПУ</b>		
Максимальная нагрузка	кг	300
Диапазон наклона	градусов	-5/+110
<b>Устройство смены инструментов</b>		
Места	Количество	16
Максимальная длина/диаметр инструмента	мм	300/130
<b>Вес станка/подключенная нагрузка</b>		
Масса	кг	4480
Выходная мощность	кВт	21



Рисунок 2.1. Станок с ЧПУ “DMU – 50”

Измерение обработанных заготовок производилось на контактном профилографе-профилометре Taylor Hobson. Он состоит из двух различных измерительных приборов – профилографа и профилометра.

Профилографом называется устройство для фиксирования величин неровностей поверхности в нормальном к ней сечении в виде профилограммы, где можно определить шероховатость и волнистость поверхности.

Профилометром называют устройство для измерения поверхностных неровностей в нормальном к ней сечении и представлении результатов измерения на шкале прибора в виде значения одного из параметров, используемых для оценки этих неровностей (шероховатостей).

При измерении обработанных поверхностей прибор использовался в режиме профилографа, запись осуществлялась на электротермической бумаге в прямоугольных координатах, в диапазоне 50 мм. Масштаб записи: вертикальный – 1000:1, горизонтальный – 20:1.

Для измерения отклонения от формы использовалась координатно-измерительная машина EOS Coord 3. Координатно-измерительная машина (КИМ) — устройство для измерения физических, геометрических характеристик объекта. Машина управляется вручную оператором или автоматизировано компьютером. Измерения проводятся посредством зонда, прикрепленного к подвижной оси машины.

В КИМ используется координатный метод измерения, сводящийся к последовательному нахождению координат ряда точек изделия и последующему расчету размеров, отклонений размера, формы и расположения в соответствующих системах координат. Точность измерения - 2 мкм.

## **2.2 Исследование наклонных поверхностей**

### **2.2.1 Матрица 1.**

Исследовалось изготовление образцов матрицы из стали 40Х13 с наклонными поверхностями, получаемые по традиционной технологии, а также с применением твердого фрезерования без применения высокоскоростной обработки для определения производительности. Данная матрица используется для производства кабеля на предприятии ООО “Томсккабель”(рисунок 2.2).

В качестве инструмента для чистового фрезерования использовались фрезы с покрытием TiAlN:

- Фреза концевая радиусная диаметр 10 мм;
- Фреза концевая коническая диаметр 2 мм;
- Фреза концевая цилиндрическая диаметр 4 мм.

Разработан технологический процесс изготовления матрицы (приложение), параметры фрезерования указаны в таблице 2.3.

Используя программу SprutCAM построена УП (рисунок 2.3) для обработки на станке с ЧПУ “DMU 50”.

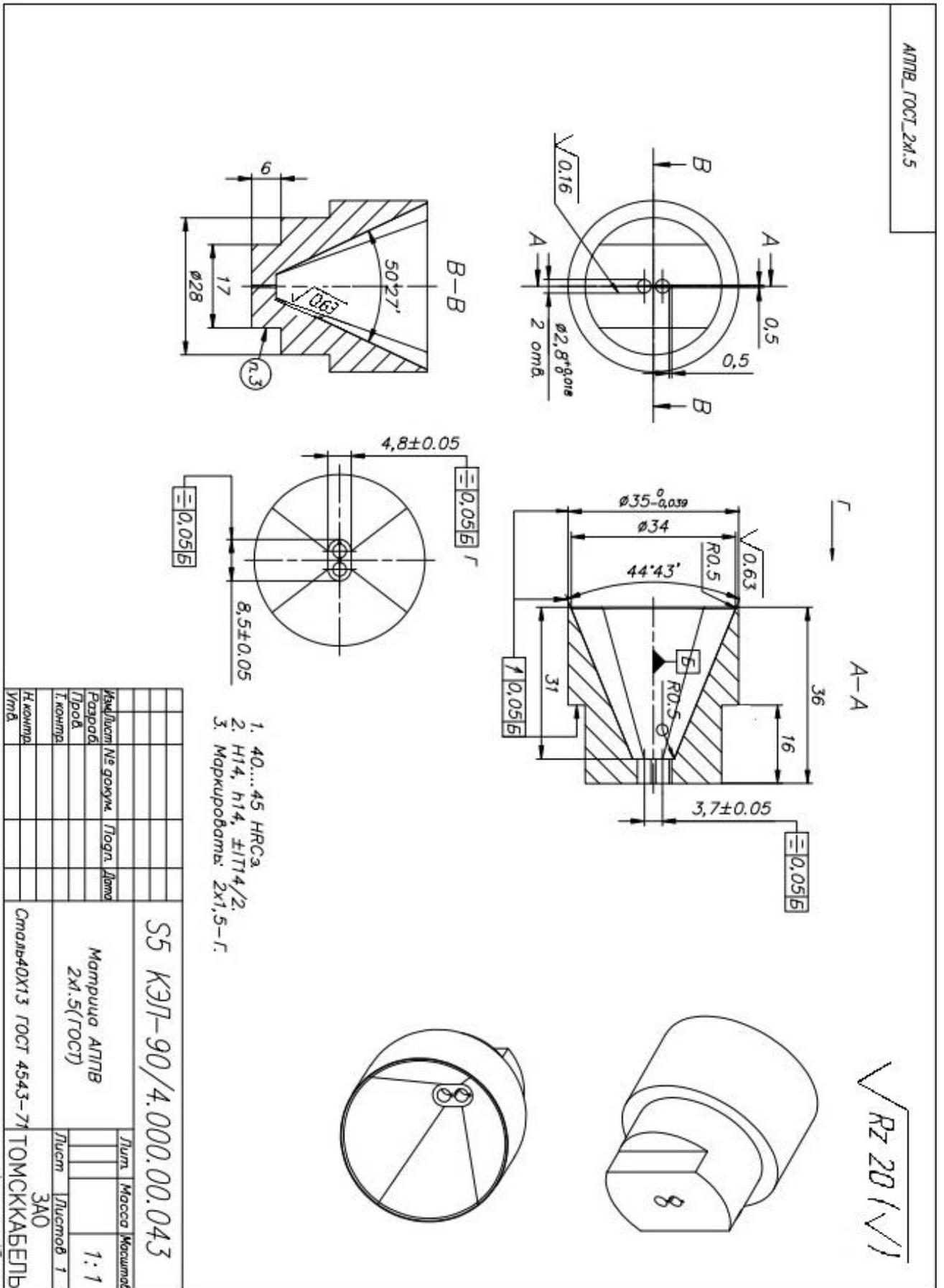


Рисунок 2.2. Чертеж матрицы изготавливаемой для ЗАО “Томсккабель”

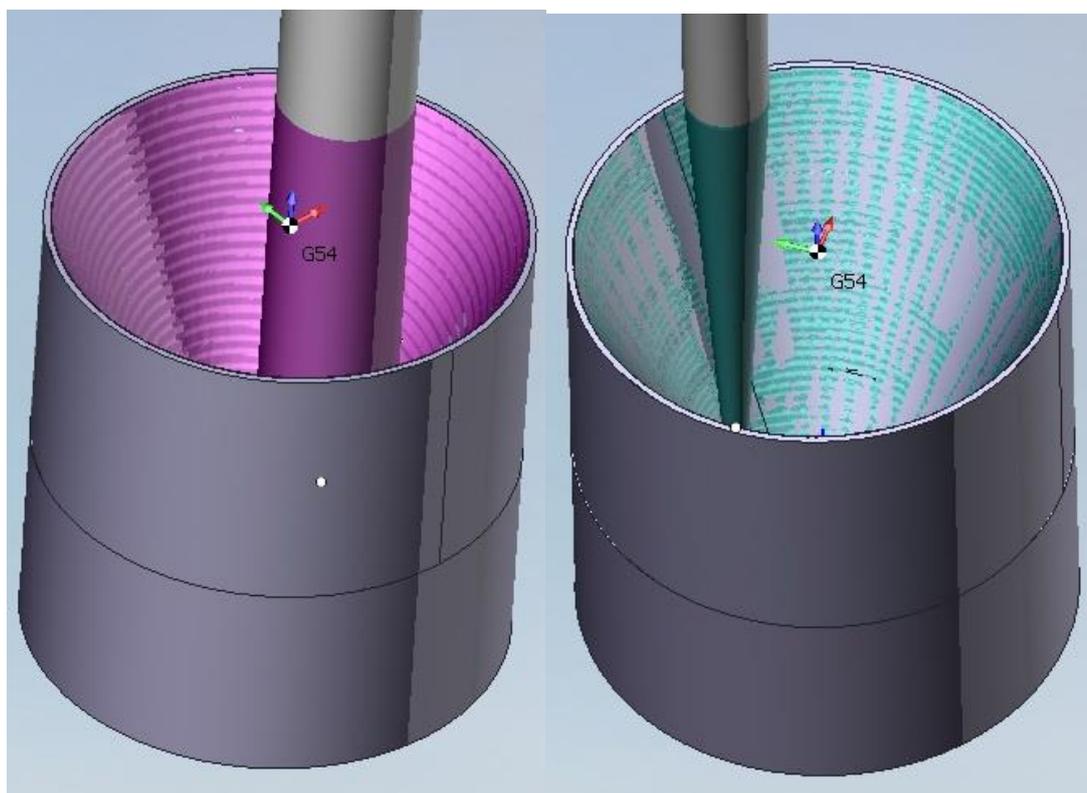


Рисунок 2.3. Чистовое фрезерование радиусной (слева) и конической (справа) фрезами в программе SprutCAM

Таблица 2.3 – Параметры черного и чистового фрезерования

Параметры фрезерования	черновое	чистовое		
		радиусная	коническая	цилиндрическая
Тип концевой фрезы	цилиндрическая	радиусная	коническая	цилиндрическая
Материал режущей части	TiAlN	TiAlN	TiAlN	TiAlN
Диаметр фрезы, мм	6	10	2	4
Вылет фрезы, мм	55	73	39	58
Частота вращения шпинделя n, об/мин	1600	3200	8000	4000
Скорость резания V, м/мин	30	100	50	50
Подача на зуб, мм/зуб	0.04	0.02	0.01	0.01

Далее обработка проводилась в несколько этапов:

1. Первоначально рассверлено отверстие сверлами следующих диаметров: 4, 8, 14, 20 и 25 мм
2. На этапе чернового фрезерования получена предварительно наклонная поверхность со ступенчатым припуском и припуском 0.2 мм под термообработку, при помощи цилиндрической концевой фрезы диаметром 6 мм, высота которого равна ширине фрезерования (рисунок 2.4).
3. Затем половина заготовок было подвержено термообработке до твердости 44-46 HRC (рисунок 2.4).

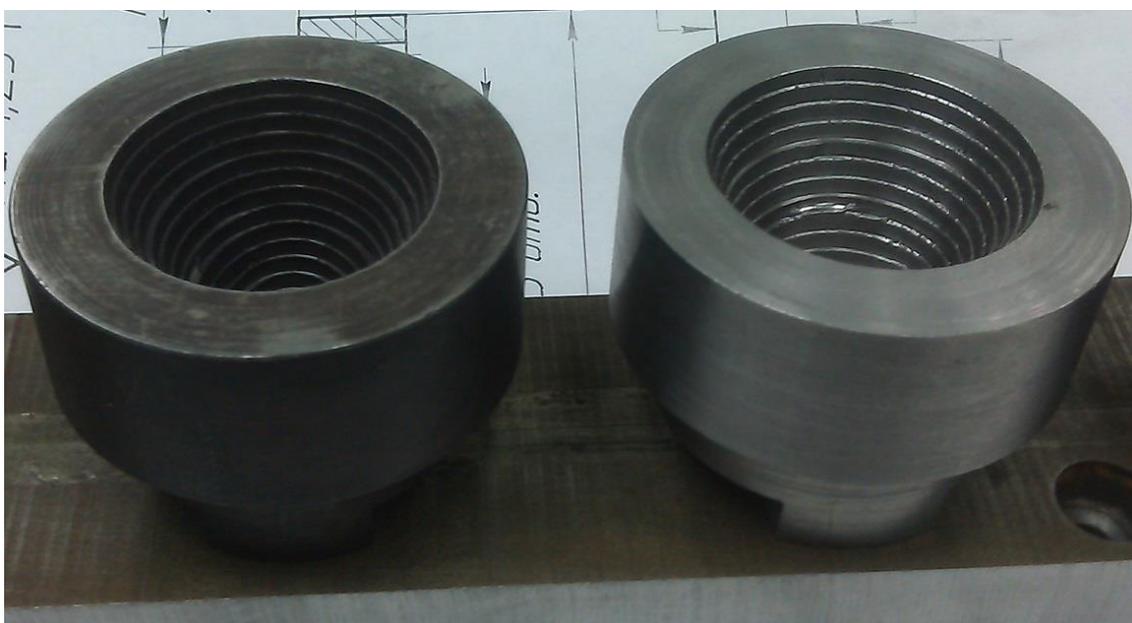


Рисунок 2.4. Заготовки закаленные (слева) и не закаленные (справа) после чернового фрезерования

4. На этапе чистового фрезерования происходит снятие ступенчатого припуска при помощи радиусной фрезы диаметром 10 мм и конической фрезой диаметром 2 мм (рисунок 2.5), а также подчистка дна цилиндрической фрезой диаметром 4 мм.



Рисунок 2.5. Чистовое фрезерование заготовки радиусной фрезой (слева) и конической фрезой (справа).

5. На последней доводочной операции происходит уменьшение шероховатости и увеличении точности детали при помощи наждачной бумаги (рисунок 2.6):

- 14A12HM419 ГОСТ 6456-82,
- M4014АСФЖУ1С ГОСТ 13344-79
- шлифовальный диск silicon carbide 1200/4000..

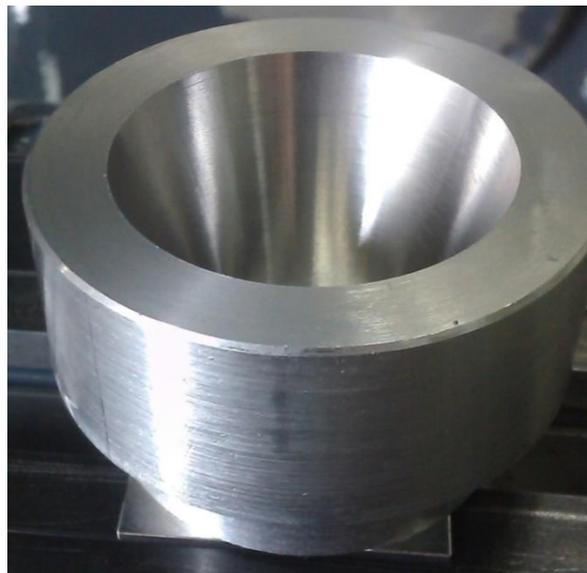


Рисунок 2.6 – Деталь после доводочной операции

Время, затраченное на чистовое фрезерование незакаленной детали на станке с ЧПУ, составило 1 час 30 минут. Время, затраченное на чистовое фрезерование закаленной детали на станке с ЧПУ, составило 1 час 30 минут.

Время, затраченное на доводочную операцию незакаленной детали, составило 3 часа 40 минут. Время, затраченное на доводочную операцию закаленной детали, составило 3 часа 20 минут.

### 2.2.2 Матрица 2.

Исследовалось изготовление матрицы из стали 40X13 с наклонными поверхностями по традиционной технологии для определения производительности. Данная матрица используется для производства кабеля на предприятии ООО “Сибкабель”.

В качестве инструмента для чистового фрезерования использовалась фреза концевая радиусная диаметром 10 мм с покрытием TiAlN. Выбранные параметры фрезерования указаны в таблице 2.3.

В программе PowerMILL построена УП обработки на станке с ЧПУ “DMU 50”.

Таблица 2.3 – Параметры черного и чистового фрезерования

Параметры фрезерования	черновое			чистовое
	цилиндрическая	цилиндрическая	радиусная	коническая
Тип концевой фрезы	цилиндрическая	цилиндрическая	радиусная	коническая
Материал режущей части	TiAlN	TiAlN	TiAlN	TiAlN
Диаметр фрезы, мм	20	16	10	2
Вылет фрезы, мм	100	90	73	39
Частота вращения шпинделя n, об/мин	1000	1500	3000	8000

Скорость резания $V$ , м/мин	63	75	95	50
Подача на зуб $S_m$ , мм/зуб	0.1	0.06	0.05	0.02

Ниже представлены этапы обработки:

- операция чернового фрезерования (рисунок 2.7);
- операция чистового фрезерования (рисунок 2.7);
- доводочная операция (рисунок 2.8).



Рисунок 2.7. Заготовка после чернового (слева) и чистового фрезерования (справа)



Рисунок 2.8. Деталь после доводочной операции

Время, затраченное на чистовое фрезерование детали на станке с ЧПУ, составило около 2,5 часов. Время, затраченное на доводочную операцию детали, составило около 6 часов.

### **2.3 Исследование вогнутых поверхностей**

Сравнивалась производительность изготовления образцов, имеющие вогнутые поверхности (рисунок 2.9), получаемые методом без использования термообработки (твердость 178-217 НВ) с припуском под доводку, и получаемые методом твердого фрезерования (твердость 44-46 HRC).

Образцы, изготавливаемые без термообработки, поделены на 2 группы:

- образцы, получаемые обычной обработкой.
- образцы, получаемые с использованием ВСО.

Образцы, изготавливаемые методом твердого фрезерования, так же поделены на 2 группы:

- образцы, получаемые обычной обработкой.
- образцы, получаемые с использованием ВСО.

Разработан технологический процесс изготовления образцов (приложение), параметры фрезерования указаны в таблице 2.4.

В программе SprutCAM построена УП обработки на станке с ЧПУ “DMU 50”. Траектория обработки была проверена в программе SIMCO на точность построения и отсутствия зазоров.

В качестве инструмента для чистового фрезерования использовалась фреза концевая радиусная диаметром 14 мм с покрытием AlTiN.

На доводочной операции использовали наждачные бумаги:

- 14A12HM419 ГОСТ 6456-82,
- M4014АСФЖУ1С ГОСТ 13344-79,

шлифовальный диск silicon carbide 1200/4000.

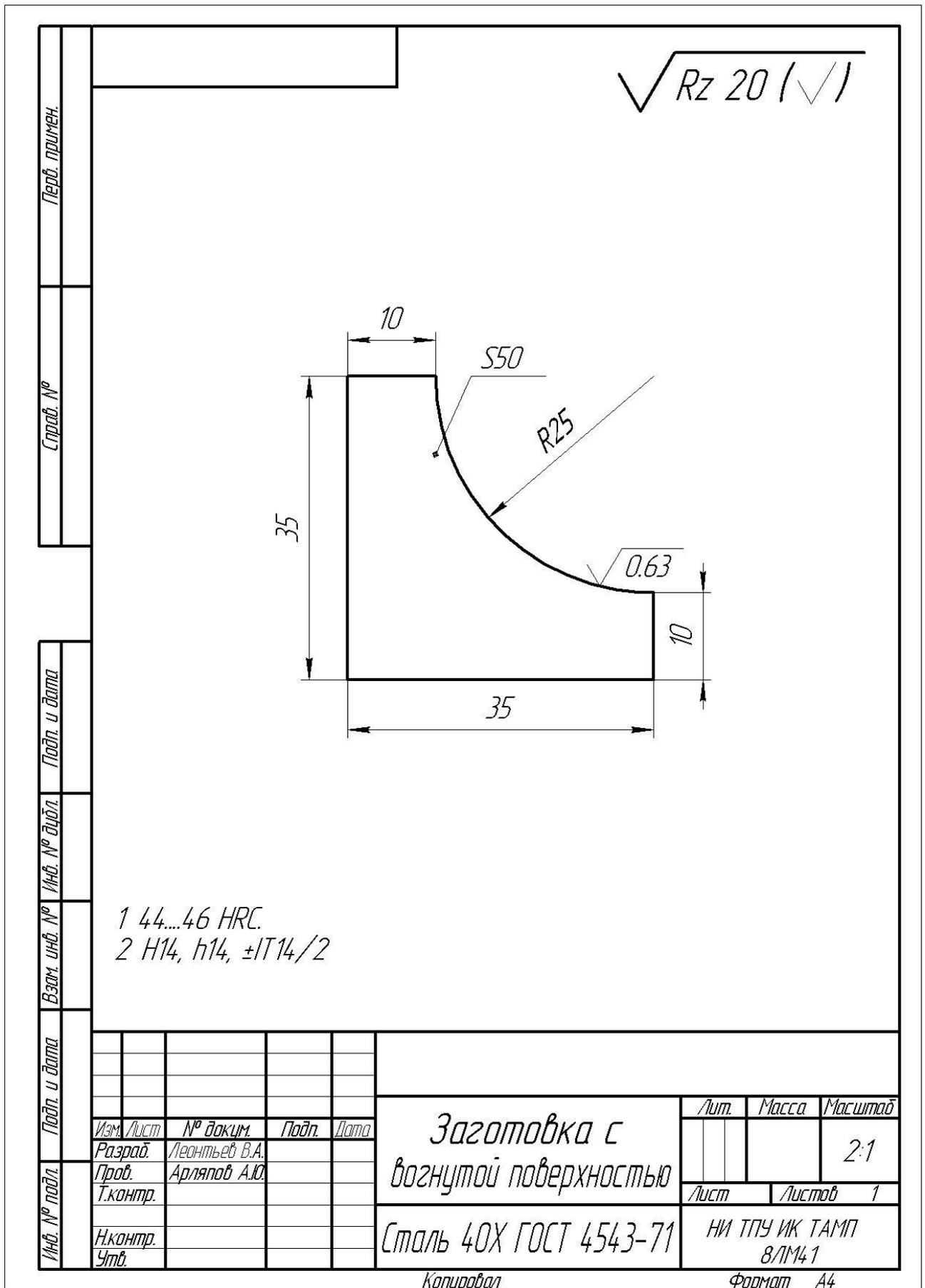


Рисунок 2.9. Чертеж заготовки с вогнутой поверхностью

Таблица 2.4 – Параметры чистового фрезерования

№ образца	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	3-7	3-8
Термообработка	нет	нет	нет	нет	есть	есть	есть	есть
Глубина резания $t$ , мм	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Подача на зуб $S_m$ , мм/зуб	0,05	0,05	0,01	0,01	0,05	0,05	0,01	0,01
Шаг фрезы $P$ , мм	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25
Скорость резания $V$ , м/мин	50	70	200	250	50	70	200	250
Частота вращения шпинделя $n$ , об/мин	1150	1600	4550	5700	1150	1600	4550	5700

## 2.4 Исследование выпуклых поверхностей

Сравнивалась производительность изготовления образцов, имеющие выпуклые поверхности (рисунок 2.10), получаемые методом без использования термообработки (твердость 178-217 НВ) с припуском под доводку, и получаемые методом твердого фрезерования (твердость 44-46 HRC).

Образцы, изготавливаемые без термообработки, поделены на 2 группы:

- получаемые обычной обработкой.
- получаемые с использованием ВСО.

Образцы, изготавливаемые методом твердого фрезерования, так же поделены на 2 группы:

- получаемые обычной обработкой.
- получаемые с использованием ВСО.

Разработан технологический процесс изготовления образцов (приложение), режимы резания для чистового фрезерования выбраны из рекомендации и указаны в таблице 2.5.

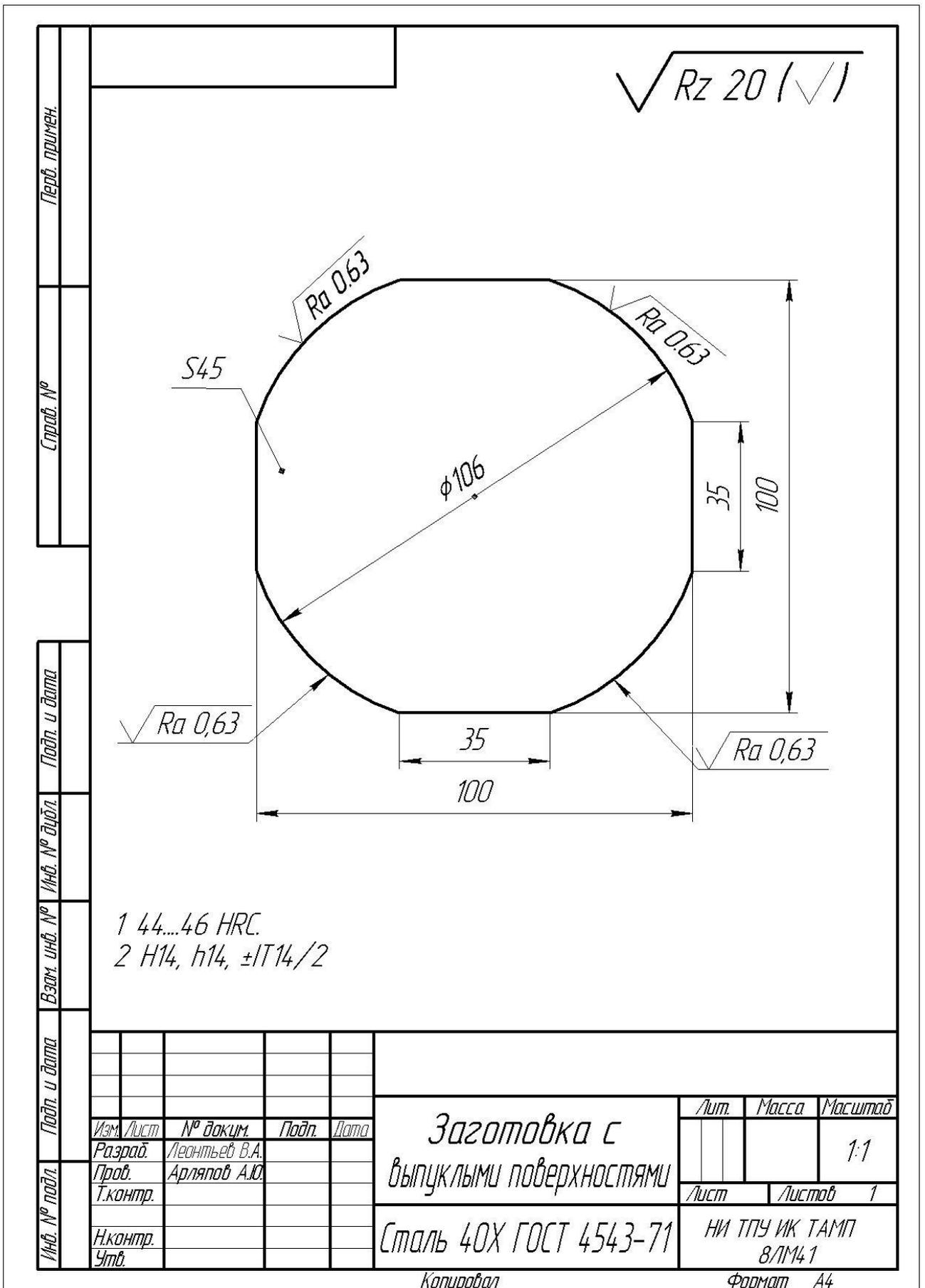


Рисунок 2.10. Чертеж заготовки с вогнутой поверхностью

В программе SprutCAM построена УП обработки на станке с ЧПУ “DMU 50”. Траектория обработки была проверена в программе SIMCO на точность построения и отсутствия зарезов.

В качестве инструмента для чистового фрезерования использовалась фреза концевая радиусная диаметром 14 мм с покрытием AlTiN.

На доводочной операции использовали наждачные бумаги:

- 14A12NM419 ГОСТ 6456-82,
- M4014ACФЖУ1С ГОСТ 13344-79,
- шлифовальный диск silicon carbide 1200/4000.

Таблица 2.5 – Параметры чистового фрезерования

№ образца	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6	4-7	4-8
Термообработка	нет	нет	нет	нет	есть	есть	есть	есть
Глубина резания $t$ , мм	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Подача на зуб $S_m$ , мм/зуб	0,05	0,05	0,01	0,01	0,05	0,05	0,01	0,01
Шаг фрезы $P$ , мм	0,3	0,3	0,3	0,3	0,15	0,15	0,15	0,15
Скорость резания $V$ , м/мин	50	70	200	250	50	70	200	250
Частота вращения шпинделя $n$ , об/мин	1150	1600	4550	5700	1150	1600	4550	5700

### 3 ПРОВЕРКА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

#### 3.1 Результаты экспериментальных исследований

Для сравнения, полученные результаты обработки были внесены в таблицы 3.1 – 3.6 представленные ниже.

Таблица 3.1 - Результаты обработки матриц 1 с наклонными поверхностями.

№	Время обработки t, мин		Шероховатость Ra, мкм		Отклонение от формы, мм	
	чист.фрез.	доводка	чист.фрез.	доводка	(макс. / мин.)	(макс. / мин.)
1-1	100	160	1.8	0.63	0,128 / -0,116	0,008 / -0,123
1-2	100	160	1.8	0.63	0,097 / -0,103	-0,003 / -0,111
1-3	100	170	1.4	0.63	0,055 / -0,064	0,012 / -0,062
1-4	100	170	1.4	0.63	0,061 / -0,057	0,019 / -0,059

Из таблицы 3.1 видно, что выбранные режимы резания не обеспечивают требуемую шероховатость и образцы имеют большое отклонение от формы. При этом образцы, полученные при помощи твердого фрезерования, имеют меньшую шероховатость и отклонение от формы, нежели полученные образцы без термообработки. Время, затраченное на доводку в 1,5 раза больше чем затраченное на чистовое фрезерование.

Таблица 3.2 - Результаты обработки матрицы 2 с наклонными поверхностями

№	Время обработки t, мин		Шероховатость Ra, мкм		Отклонение от формы, мм	
	чист.фрез.	доводка	чист.фрез.	доводка	макс.	мин.
2-1	160	370	2.0	0.32	-	-

Из таблицы 3.2 видно, что выбранные режимы резания не обеспечивают требуемую шероховатость. Время на доводку в 2,3 раза больше времени на чистовое фрезерование.

Таблица 3.3 - Результаты обработки образцов с вогнутыми поверхностями без применения термообработки.

№	Время обработки t, мин		Шероховатость Ra, мкм		Отклонение от формы, мм	
	чист.фрез.	доводка	чист.фрез.	доводка	чист.фрез. (макс. / мин.)	доводка (макс. / мин.)
3-1	28	242	4	0,5	0,211 / 0,042	0,027 / 0,003
3-2	24	236	4	0,6	0,205 / 0,023	0,024 / 0,002
3-3	36	163	2,1	0,6	0,102 / 0,017	0,017 / 0,001
3-4	27	170	2	0,6	0,077 / -0,011	0,009 / -0,019

Из таблицы 3.3 видно, что время обработки образцов при традиционных режимах резания в 1,3 раза больше времени затраченного при ВСО. При этом большое количество времени затрачено на доводку что крайне не продуктивно.

Таблица 3.4 - Результаты обработки образцов с вогнутыми поверхностями методом твердого фрезерования.

№	Время обработки t, мин		Шероховатость Ra, мкм		Отклонение от формы, мм	
	чист.фрез.	доводка	чист.фрез.	доводка	чист.фрез. (макс. / мин.)	доводка (макс. / мин.)
3-5	54	35	0,8	0,6	0,060 / -0,010	0,006 / -0,013
3-6	47	-	0,6	-	0,027 / -0,002	-
3-7	65	-	0,5	-	0,013 / 0,001	-
3-8	53	-	0,6	-	0,010 / -0,006	-

Из таблицы 3.4 можно сделать вывод, что при использовании твердого фрезерования в большинстве случаев, удается исключить доводочную операцию, что позволило сократить время обработки. При этом время обработки образцов при традиционных режимах резания в среднем в 1,2 раза больше времени затраченного при ВСО.

Сравнив значения из таблиц 3.3 и 3.4 видно, что используя твердое фрезерование, время обработки в 3 – 6 раз меньше чем при обработке без использования термообработки.

Таблица 3.5 - Результаты обработки образцов с выпуклыми поверхностями без применения термообработки.

№	Время обработки t, мин		Шероховатость Ra, мкм		Отклонение от формы, мм	
	чист.фрез.	доводка	чист.фрез.	доводка	чист.фрез. (макс. / мин.)	доводка (макс. / мин.)
4-1	51	184	2,9	0,6	0,090 / 0,034	0,012 / 0,005
4-2	39	197	3,2	0,6	0,093 / 0,028	0,007 / -0,002
4-3	61	122	2	0,6	0,091 / 0,052	0,013 / 0,001
4-4	48	125	2	0,6	0,087 / 0,050	0,009 / -0,002

Из таблицы 3.5 видно, что время обработки образцов при традиционных режимах резания в 1,3 раза больше времени затраченного при ВСО. При этом большое количество времени затрачено на доводку что крайне не продуктивно.

Таблица 3.6 - Результаты обработки образцов с выпуклыми поверхностями.

№	Время обработки t, мин		Шероховатость Ra, мкм		Отклонение от формы, мм	
	чист.фрез.	доводка	чист.фрез.	доводка	чист.фрез. (макс. / мин.)	доводка (макс. / мин.)
4-5	84	73	1,4	0,6	0,068 / 0,025	0,015 / 0,001
4-6	64	62	1,2	0,5	0,067 / 0,029	0,008 / -0,001
4-7	96	33	0,7	0,5	0,027 / 0,003	0,011 / 0,001
4-8	79	36	0,8	0,6	0,030 / -0,001	0,012 / -0,004

Из таблицы 3.6 видно, что при обработке выпуклых поверхностей твердым фрезерованием, не удалось исключить доводочную операцию. Что требует дополнительного исследования. При этом время обработки образцов при традиционных режимах резания в среднем в 1,2 раза больше времени затраченного при ВСО.

Сравнив значения из таблиц 3.5 и 3.6 видно, что используя твердое фрезерование, время обработки в среднем в 1,5 раза меньше чем при обработке без использования термообработки.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В проделанной работе были проведены сравнительные испытания обработки фасонных поверхностей двумя методами: традиционный метод обработки и метод твердого фрезерования. Основные результаты работы могут быть сформулированы следующим образом.

- Выполнен литературный анализ обработки сложнопрофильных деталей, также рассмотрены вопросы обрабатываемости закаленных сталей при фрезеровании концевыми фрезами.
- Проведены исследования по оценке традиционной обработке, результаты которых показали большие трудозатраты на доводочную операцию.
- Использование ВСО, обеспечило высокую точность и качество поверхностного слоя.
- Исследование твердого фрезерования вогнутых поверхностей подтвердило теоретические расчеты возможности исключения доводочной операции, что существенно позволило сократить время обработки.
- Исследование обработки выпуклых поверхностей твердым фрезерованием не подтвердило теоретических расчетов получения требуемой шероховатости, с целью исключения доводочной операции.

Исходя из вышеизложенного, следует, что предлагаемая технология по сравнению с традиционной дает возможность исключить доводочную операцию при обработке вогнутых поверхностей, уменьшив время обработки, обеспечив высокую точность и качество поверхностного слоя. При этом обработка выпуклых поверхностей требует дополнительного исследования.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ЛМ41	Леонтьев Владислав Анатольевич

<b>Институт</b>	<b>ИК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ТАМП</b>
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 ресурсов научного исследования (НИ) включает в себя: 1. Расчет оплаты труда работников; 2. Определение стоимости специального оборудования; 3. Расчет затрат на электроэнергию; 4. Расчет амортизационных расходов; 5. Расчет отчислений на страховые выплаты; 6. Расчет затрат на материалы.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Определение затрат на исследование.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	При расчете заработной платы труда учитывались отчисления во внебюджетные страховые фонды, которые составляют 30 %.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	1. Предпроектный анализ проекта; 2. Анализ конкурентоспособности; 3. SWOT-анализ проекта.
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	1. Определение целей и результата проекта; 2. Организация структуры проекта; 3. Определение ограничений и допущений.
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	1. Организация и планирование работ; 2. Определение продолжительности этапов работ; 3. Расчет бюджета.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	1. Оценка научно-технического уровня НИР; 2. Оценка сравнительной эффективности проекта.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ; 2. Сегментирование рынка; 3. Оценка конкурентоспособности технических решений; 4. График проведения и бюджет НТИ; 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ.	
--	--

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент каф. МЕН	Шулинина Ю. И.			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8ЛМ41	Леонтьев Владислав Анатольевич		

#### **4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Машиностроение – это материалоемкое производство, где более 60% расходов на производство изделий составляют материалы и комплектующие к ним, и около 30% расходов составляет заработная плата. Машиностроение является также энергоемким производством и потребляет большое количество электроэнергии, газа, мазута и других энергоносителей. Персонал машиностроительных предприятий должен иметь высокую профессиональную подготовку от рабочего до управляющего, так как применяется сложная техника, создается сложнейшая качественная продукция и разрабатываются техпроцессы ее изготовления. Эти особенности производства требуют от каждого работника знаний экономических законов, используемых на предприятии, способности использования их для достижения главных целей предприятия.

Таким образом, целью данного раздела является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- Выполнение предпроектного анализа;
- Разработка общей экономической идеи проекта;
- Организация работ по проекту;
- Планирование работ по проекту;
- Определение экономической эффективности проекта.

С учетом решения данных задач была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

#### **4.1 Предпроектный анализ**

На стадии предпроектного анализа будут определены основные показатели заинтересованности инвесторов и участников проекта. Данная часть не является обязательной, с точки зрения законодательства, однако позволяет выполнить предварительный анализ рисков. Для осуществления предпроектного анализа, воспользуемся упрощенной схемой, рассмотрев только потенциальных потребителей результатов исследования, проанализировав конкурентные технические решения с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, а также произведем оценку готовности проекта к коммерциализации и выберем методы коммерциализации результатов.

Конечными потребителями данного проекта являются машиностроительные предприятия, осуществляющие обработку деталей со сложными поверхностями.

#### **4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.**

При помощи анализа конкурентных технических решений есть возможность оценить эффективность научной разработки и выделить направления для ее дальнейшего внедрения.

Критерии для сравнения и оценки приведенные в табл. 4.1.

Позиция разработки и конкурентов сравнивается по всем показателям по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей в сумме должны составлять 1.

Конкурент 1 – ООО “Томсккабель”.

Конкурент 2 – ООО “Феррум”.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B \cdot B,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя

Таблица 4.1 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто-		
		$B_{\phi}$	$B_{k1}$	$B_{k2}$	$K_{\phi}$	$K_{k1}$	$K_{k2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Технологичность	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
2. Точность изделия	0,09	4	4	4	0,36	0,36	0,36
3. Энергопотребление	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
4. Экономичность	0,09	5	4	3	0,45	0,36	0,27
5. Качество изделия	0,09	4	4	4	0,36	0,36	0,36
6. Производительность	0,09	5	4	4	0,45	0,36	0,36
7. Простота эксплуатации	0,07	4	4	3	0,28	0,28	0,21
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,09	5	5	4	0,45	0,45	0,36
2. Уровень проникновения на рынок	0,08	5	5	4	0,4	0,4	0,32
3. Цена	0,09	4	4	5	0,36	0,36	0,45
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
7. Срок выхода на рынок	0,08	3	3	3	0,24	0,24	0,24
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>58</b>	<b>51</b>	<b>47</b>	<b>4,5</b>	<b>4,25</b>	<b>3,94</b>

Из таблицы 4.1 видно, что преимущество разработки дает возможность использование чистовое фрезерование на станке с ЧПУ, а это ведет к повышению производительности и технологичности. Так же данная технология является простой, экономичной и имеет долгий срок работы.

### 4.3 SWOT-анализ проекта

Для проведения комплексного анализа проекта воспользуемся SWOT-анализом. Он проводится в несколько этапов. На первом этапе определяются сильные и слабые стороны проекта, а также выявляются возможности и угрозы для реализации проекта. Первый этап проведения SWOT-анализа представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT

<p><b>Strengths (сильные стороны)</b></p> <p>С1. Высокая технологичность и производительность обработки чистовой обработки закаленных сталей.</p> <p>С2. Повышение точности наружных поверхностей по сравнению с известным способом.</p> <p>С3. Низкая стоимость производства по сравнению с известным способом обработки.</p>	<p><b>Weaknesses (слабые стороны)</b></p> <p>Сл1.Для осуществления высокоскоростной обработки требуются станки с высокой жесткостью и большими скоростями обработки.</p> <p>Сл2.Ограниченная область применения.</p>
<p><b>Opportunities (возможности)</b></p> <p>В1.Возможности обработки сложных поверхностей.</p> <p>В2.Возможность внедрения результатов проведенного исследования на производство.</p>	<p><b>Threats (угрозы)</b></p> <p>У1.Появление новых более технологичных способов обработки.</p> <p>У2.Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p>

После того как сформированы четыре области, переходим ко второму этапу, на котором необходимо выявить соотношение сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого в рамках данного этапа строится интерактивная матрица, при этом каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон

возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивные матрицы представлены в таблице 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 и 4.2.4.

Таблица 4.2.1 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		C1	C2	C3
	B1	+	+	-
	B2	-	-	+

Таблица 4.2.2 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта			
Возможности проекта		Сл1	Сл2
	B1	-	+
	B2	+	-

Таблица 4.2.3 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта				
Угрозы		C1	C2	C3
	У1	+	-	-
	У2	-	+	+

Таблица 4.2.4 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта			
Угрозы		Сл1	Сл2
	У1	+	-
	У2	-	+

На третьем этапе составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 4.2.5.

Таблица 4.2.5 – Итоговая матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Высокая технологичность и производительность обработки чистовой обработки закаленных сталей. С2. Повышение точности наружных поверхностей по сравнению с известным способом. С3. Низкая стоимость производства по сравнению с известным способом обработки.	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1.Для осуществления высокоскоростной обработки требуются станки с высокой жесткостью и большими скоростями обработки. Сл2.Ограниченная область применения.
<b>Возможности:</b> В1.Заинтересованность исследователей, в том числе зарубежными, данным способом дорнования. В2.Возможность внедрения результатов проведенного исследования на производство.	В1С1С2 В2С3	В1Сл2 В2Сл1
<b>Угрозы:</b> У1.Появление новых более технологичных приспособлений для дорнования. У2.Отсутствие спроса на новые технологии производства	У1С1 У2 С2 С3	У1Сл1 У2Сл2

#### 4.4 Инициация проекта

Группа процессов инициации определяет начальные цели и содержание и определяются начальные финансовые ресурсы. Определяются заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать, влияя на результат научного проекта.

#### 4.4.1 Цели и результат проекта

Реализация любого проекта преследует какую-либо определенную цель. Неправильно определенные цели и задачи, или цели без задач, приводят к тому, что в процессе реализации проекта возникают перерасход средств, конфликты между членами проектной команды, несоблюдение контрольных промежуточных пунктов и, как следствие, недовольство доноров проекта. Цель в большей степени представляет собой декларацию о намерениях, из которой должно быть ясно, в чем состоит важность проекта для общества.

Таблица 4.3 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
ООО «Томсккабель»	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Разработка нового способа обработки сложных поверхностей деталей из закаленных сталей.</li><li>2. Исследование технологического процесса чистового фрезерования деталей со сложными поверхностями из закаленных сталей.</li></ol>

Таблица 4.4 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Исследовать точность полученных поверхностей</li><li>2. Исследовать шероховатость полученных поверхностей</li></ol>
Ожидаемые результаты проекта:	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Данные о точности и форме поверхностей деталей полученных при чистовом фрезеровании.</li><li>2. Данные о шероховатости поверхностей деталей полученных при чистовом фрезеровании.</li></ol>
Требования к результату проекта:	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Стоимость проекта должна быть сопоставима по сравнению с аналогами, а в лучшем случае быть меньшей</li></ol>

#### 4.4.2 Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу (таблица 4.5) данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте.

Таблица 4.5 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1.	Арляпов А.Ю., НИ ТПУ, доцент, зав. каф. ТАМП	Руководитель проекта	Консультирование по методике проведения экспериментов и измерениям	100
2.	Леонтьев В.А., НИ ТПУ, магистрант 2 курса	Исполнитель по проекту	1. Проведение экспериментов 2. Измерение обработанных деталей	250
ИТОГО:				350

#### 4.4.3 Ограничения и допущения

Таблица 4.6 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Бюджет проекта	331215,7 руб.
Источник финансирования	ОАО «Промышленная механика»
Сроки проекта	01 декабря 2014 г. – 30 апреля 2016 г.
Дата утверждения плана управления проектом	01 декабря 2014 г.
Дата завершения проекта	30 апреля 2016 г.
Прочие ограничения и допущения	-

#### 4.5 Организация и планирование работ

На начальном этапе составляется полный перечень проводимых работ, и определяются их исполнители и оптимальная продолжительность. Наиболее удобным, простым и наглядным способом для этих целей применяют линейный график. Для его построения составляется список требуемых работ и соответствие работ своим исполнителям, длительность выполнения этих работ и сведем их в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, выдача исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 80% И – 20%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 20% И – 80%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 90% И – 10%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 50% И – 50%
Разработка нового способа дорнования	НР, И	НР – 60% ИП – 40%
Изготовление образцов	И	И – 100%
Анализ результатов исследования	НР, И	НР – 30% И – 70%
Оформление пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 40%

### 4.5.1 Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ осуществляется двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

В данном случае воспользуемся опытно-статистическим методом, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- вероятностный.

Для вычисления ожидаемого значения продолжительности работ  $t_{ож}$  используется вероятностный метод – метод двух оценок  $t_{min}$  и  $t_{max}$ .

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (4.1)$$

где  $t_{min}$  – минимальная трудоемкость работ, чел/дн.;

$t_{max}$  – максимальная трудоемкость работ, чел/дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 4.1 работ требуются специалисты:

- инженер;
- научный руководитель.

Для создания линейного графика рассчитывается продолжительность этапов в рабочих днях, а затем переводится в календарные дни. Расчет времени выполнения каждого этапа в рабочих днях ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (4.2)$$

где  $t_{ож}$  – трудоемкость работы, чел/дн.;

$K_{ВН}$  – коэффициент выполнения работ ( $K_{ВН} = 1$ );

$K_{Д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ( $K_{Д} = 1.2$ ).

Расчет длительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{РД}} \cdot T_{\text{К}}, \quad (4.3)$$

где  $T_{\text{РД}}$  – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

$T_{\text{КД}}$  – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{\text{К}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{К}} = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}}, \quad (4.4)$$

где  $T_{\text{КАЛ}}$  – календарные дни ( $T_{\text{КАЛ}} = 366$ );

$T_{\text{ВД}}$  – выходные дни ( $T_{\text{ВД}} = 52$ );

$T_{\text{ПД}}$  – праздничные дни ( $T_{\text{ПД}} = 14$ ).

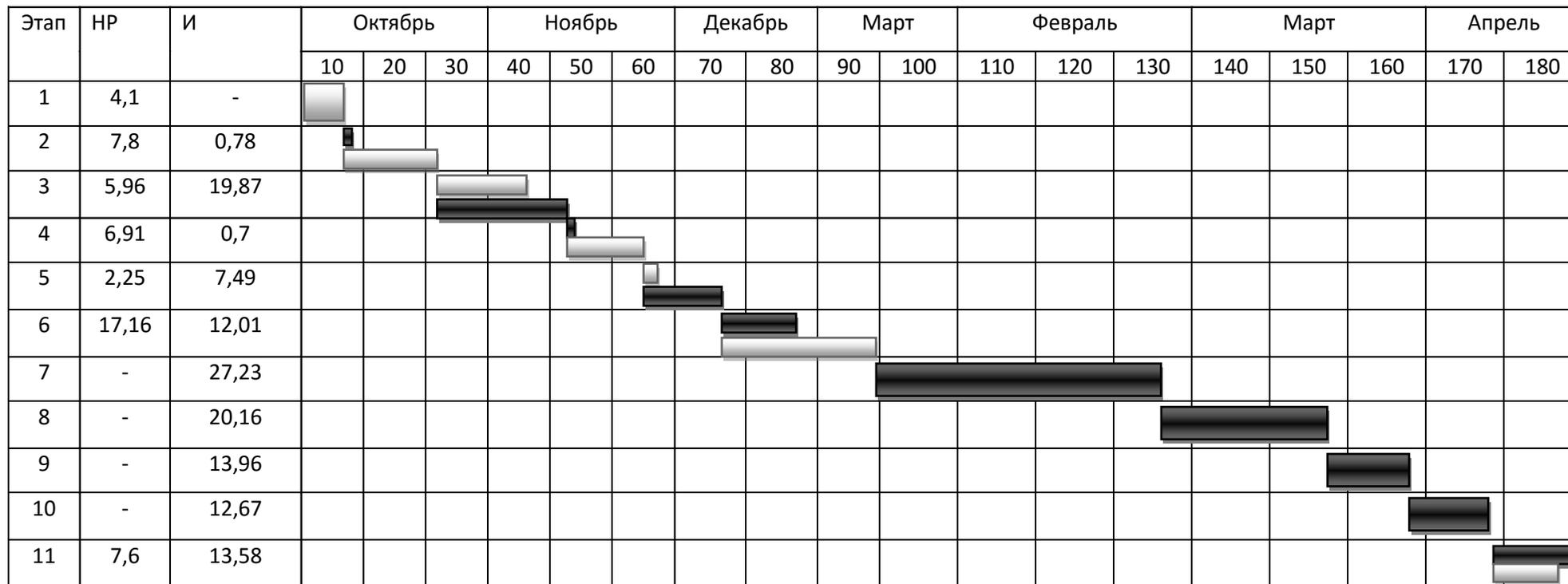
$$T_{\text{К}} = \frac{366}{366 - 52 - 14} = 1,22$$

В таблице 4.8. приведены длительности этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 4.8 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн.			
					Т <sub>РД</sub>		Т <sub>КД</sub>	
		$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
Постановка задачи	НР	2	4	2,8	3,36	–	4,1	–
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	5	6	5,4	6,5	0,65	7,8	0,78
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	13	15	13,8	4,97	16,56	5,96	19,87
Разработка календарного плана	НР, И	4	6	4,8	5,76	0,58	6,91	0,7
Обсуждение литературы	НР, И	4	7	5,2	1,87	6,24	2,25	7,49
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	9	15	11,8	14,16	9,91	17,16	12,01
Изготовление образцов	И	15	24	18,6	–	22,32	–	27,23
Анализ результатов исследования	И	12	17	14	–	16,8	–	20,16
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	8	12	9,6	–	11,52	–	13,96
Оформление графического материала	И	8	10	8,8	–	10,56	–	12,67
Подведение итогов	НР, И	8	13	10,1	6,3	11,29	7,6	13,58
Итого:				104,9	42,92	106,43	51,78	128,45

Таблица 4.9 – Линейный график работ на основе рассчитанного для инженера и научного руководителя времени  $T_{КД}$ .



НР -   
 И - 

#### 4.5.2 Расчет накопления готовности проекта

Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего (*i*-го) этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом.

Введем обозначения:

$TP_{общ.}$  – общая трудоемкость проекта;

$TP_i$  ( $TP_k$ ) – трудоемкость *i*-го (*k*-го) этапа проекта,  $i = \overline{1, I}$ ;

$TP_i^H$  – накопленная трудоемкость *i*-го этапа проекта по его завершении;

$TP_{ij}$  ( $TP_{kj}$ ) – трудоемкость работ, выполняемых *j*-м участником на *i*-м этапе, здесь  $j = \overline{1, m}$  – индекс исполнителя, в нашем примере  $m = 2$ .

Степень готовности определяется формулой:

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{общ.}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{общ.}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}}$$

Результаты вычислений  $H_i$  и  $Y_i$  отражены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес его этапов

Этап	$TP_i, \%$	$CG_i, \%$
Постановка задачи	3,41	3,41
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	8,27	4,85
Подбор и изучение материалов по тематике	20,66	12,4
Разработка календарного плана	24,98	4,31
Обсуждение литературы	29,65	4,67
Разработка нового способа обработки	40,25	10,6
Изготовление образцов	61,81	21,56
Анализ результатов исследования	74,39	12,58
Оформление расчетно-пояснительной записки	83,02	8,63
Оформление графического материала	90,93	7,91
Подведение итогов	100	9,07

#### 4.6 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

Затраты на формирование проекта включает в себя стоимость всех расходов, требуемые для выполнения комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметы на исполнение данной разработки вырабатывается по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- оплата труда;
- отчисления на страховые взносы;
- расходы на электроэнергию.

##### 4.6.1 Расчет затрат на материалы

В эту статью расходов входит стоимость материалов и инструмента которые расходуются при выполнении работ. Цена материальных ресурсов определяется по средним ценникам в интернете и приведена в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Расходные материалы

Наименование материалов	Цена за единицу, руб.	Количество	Сумма, руб.
Сталь 40X13	50 руб./кг	3 кг	150 руб.
Сталь 40X	32 руб./кг	15 кг	480 руб.
Резец подрезной 16*12, T15K6	180 руб.	1 шт.	180 руб.
Фреза торцово-насадная скоростная D 125. со сменными ножами. T5K10	900 руб.	1 шт.	900 руб.
Сверло центровочное P6M5 D 2.0 тип А	100 руб.	1 шт.	100 руб.
Сверло D 10 P6M5K5	100 руб.	1 шт.	100 руб.
Сверло D 20 P6M5K5	140 руб.	1 шт.	140 руб.

Сверло D 48 P6M5K5	260 руб.	1 шт.	260 руб.
Фреза концевая цилиндрическая D6 TiAlN	240 руб.	1 шт.	240 руб.
Фреза концевая коническая D2 TiAlN	270 руб.	2 шт.	540 руб.
Фреза концевая радиусная D10 TiAlN	300 руб.	2 шт.	600 руб.
Итого:			3690 руб.

Расходы на материалы составили:

$$C_{\text{мат}} = 3690 \text{ руб.}$$

Транспортно-заготовительные расходы составляют примерно минимум 5% от затрат на материалы.

$$\text{Таким образом, } C_{\text{тр}} = 3690 \cdot 0,05 = 184,5 \text{ руб.}$$

#### 4.6.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера. Основную заработную плату рассчитывают при помощи трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$\text{Дневная з/плата} = \frac{\text{Месячный оклад}}{21 \text{ день}} \quad (4.5)$$

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 4.12. При расчете учитывалось, что в году 300 рабочих дней и, следовательно, в месяце 21 рабочих дня. Затраты времени на выполнение работы по каждому исполнителю брались из таблицы 4.8. Также был принят во внимание премиальный коэффициент  $k_{\text{пр}} = 0,3$ , коэффициент доплат и надбавок, а также  $k_{\text{д}} = 0,2$  районный коэффициент  $k_{\text{р}} = 1,3$ .

Таблица 4.12 – Затраты на основную заработную плату

Исполнители	З <sub>б</sub> , руб.	k <sub>пр</sub>	k <sub>д</sub>	k <sub>р</sub>	З <sub>м</sub> , руб	З <sub>дн</sub> , руб.	Т <sub>р</sub> , раб. дн.	З <sub>осн</sub> , руб.
НР (доцент со степенью)	23264,86	0,3	0,2	1,3	45366,48	2160,31	44	95053,64
И (ассистент)	14584,32	0,3	0,2	1,3	21876,48	1041,74	113	111716,62

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили:

$$C_{зн} = 95053,64 + 111716,62 = 206770,26 \text{ руб.}$$

#### 4.6.3 Расчет затрат на страховые выплаты

Затраты по этой статье составляют отчисления на страховые взносы.

Отчисления по заработной плате определяются по следующей формуле:

$$C_{соц} = K_{соц} \cdot C_{осн}, \quad (4.6)$$

где  $K_{соц}$  – коэффициент, учитывающий размер отчислений из заработной платы. Данный коэффициент составляет 30% от затрат на заработную плату и включает в себя:

- 1) отчисления в пенсионный фонд;
- 2) на социальное страхование;
- 3) на медицинское страхование.

Итак, отчисления из заработной платы составили:

$$C_{соц} = 0,3 * 206770,26 = 62031,08 \text{ руб.}$$

#### 4.6.4 Расчет прочих расходов

В этой статье учитываются расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{проч} = (2910 + 206770,26 + 62031,08) \cdot 0,1 = 27171,13 \text{ руб.}$$

#### 4.6.5 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет сметы затрат на разработку, можно определить общую стоимость разработки проекта.

Таблица 4.13 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{МАТ}$	3690
Основная заработная плата	$C_{ОСН}$	206770,26
Отчисления в социальные фонды	$C_{СОЦ}$	62031,08
Прочие расходы	$C_{проч}$	27171,13
Итого:		270061,9

Таким образом, расходы на разработку составили  $C = 270061,9$ . При расчете цены принята нулевая рентабельность разработки.

#### 4.7 Оценка экономической эффективности

Выполнение научно-исследовательских работ оценивается уровнями достижения экономического, научного, научно-технического и социального эффектов.

Экономический эффект отличается отраженный в стоимостных показателях экономией живого общественного труда.

Для итоговой оценки результатов проекта в зависимости от поставленных целей в качестве критерия эффективности принимается один из видов эффекта.

Произвести оценку экономической эффективности невозможно, потому что данная работа имеет исследовательский характер и определить научно-технический прогресс предмета исследования затруднительно.

##### 4.7.1 Оценка научно-технического уровня НИР

Научно-технический уровень характеризует влияние проекта на уровень и динамику обеспечения научно-технического прогресса в данной

области. Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод балльных оценок.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется интегральный показатель (индекс) ее научно-технического уровня по формуле:

$$K_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i, \quad (4.7)$$

где  $K_{НТУ}$  – коэффициент научно-технического уровня;

$R_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го признака научно-технического эффекта;

$n_i$  – количественная оценка  $i$ -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

Таблица 4.14 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признак НТУ	Примерное значение весового коэф-та $n_i$
Уровень новизны	0,4
Теоретический уровень	0,2
Возможность реализации	0,4

Таблица 4.15 – Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ	8 – 10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты	5 – 7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2 – 4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 4.16 – Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
1 Установка закона, разработка новой теории	10
2 Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
3 Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
4 Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
5 Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Таблица 4.17 – Возможность реализации научных, теоретических результатов по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2

Таблица 4.18 – Сводная таблица оценки научно-технического уровня НИР

Фактор НТУ	Значимость	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
Уровень новизны	0,4	Относительно новая	5	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты.
Теоретический уровень	0,2	Разработка способа	2	Элементарный анализ связей между фактами

Возможность реализации	0,4	В течение первых лет	10	В случае необходимости получения обработки сложных поверхностей.
------------------------	-----	----------------------	----	--

Таблица 4.19 – Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень НТЭ	Показатель НТЭ
Низкий	1-4
Средний	4-7
Высокий	8-10

Исходя из оценки признаков НИОКР, показатель научно-технического уровня для данного проекта составил:

$$K_{\text{НТУ}} = 0,4*5 + 0,1*2 + 0,5*10 = 2 + 0,2 + 5 = 7,2$$

В затраты на создание проекта входит стоимость всех расходов, требуемых для выполнения комплекса работ, составляющих содержание данной разработки.

#### 4.7.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Эффективность рассчитывают на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования.

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

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}, \quad (4.8)$$

где  $I_{\phi}^p$  - интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость разработанного варианта исполнения – 270061,9 рублей;

$\Phi_a$  – стоимость аналога варианта исполнения – 265000 рублей;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги) - 245514,1рублей.

$$I_{\Phi}^p = \frac{270061,9}{245514,1} = 1,1$$

$$I_{\Phi}^a = \frac{265000}{245514,1} = 1,08$$

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (4.9)$$

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i^a$ ,  $b_i^p$  – балльная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы:

Таблица 4.20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	3
2. Удобство в эксплуатации	0,15	3	4

(соответствует требованиям потребителей)			
3. Помехоустойчивость	0,1	3	3
4. Энергосбережение	0,2	4	4
5. Надежность	0,2	4	4
6. Материалоемкость	0,25	5	4
Итого:	1		

Интегральный показатель ресурсоэффективности для аналога и разработанного способа:

$$I_m^a = 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 = 3,8$$

$$I_m^p = 4 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 = 4$$

Интегральный показатель эффективности разработки  $I_{финр}^p$  и аналога  $I_{финр}^a$  определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{ф}^p}, I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{ф}^a} \quad (4.10)$$

$$I_{финр}^p = \frac{4}{1,1} = 3,6$$

$$I_{финр}^a = \frac{3,8}{1,08} = 3,5$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} \quad (4.11)$$

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{3,6}{3,5} = 1,03$$

Таблица 4.21 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель	1,08	1,1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	3,8	4
3	Интегральный показатель эффективности	3,5	3,6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,03	

Экономически оба способа обработки сложных поверхностей практически не отличаются, за исключением времени обработки. При предложенном способе время обработки несколько больше известного метода, что ведет к снижению производительности. Однако последующая обработка заготовки занимает меньше времени из-за того, что предложенный способ обработки оказывает меньшее влияние на изменение формы, точности и шероховатости наружных поверхностей заготовки, соответственно уменьшаются и припуски на последующую обработку, что ведет к незначительному увеличению эффективности способа чистового фрезерования.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ЛМ41	Леонтьев Владислав Анатольевич

<b>Институт</b>	<b>ИК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ТАМП</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	15.04.01 «Машиностроение»

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. *Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:*

- *вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)*
- *опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)*
- *негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)*

2. *Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме*

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. *Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:*

- *физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;*
- *действие фактора на организм человека;*
- *приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);*
- *предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)*

2. *Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности*

- *механические опасности (источники, средства защиты);*
- *термические опасности (источники, средства защиты);*
- *электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);*
- *пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)*

3. *Охрана окружающей среды:*

- *защита селитебной зоны*
- *анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);*

<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>	
<b>Перечень графического материала:</b>	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пустовойтова М. И.	к.х.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ41	Леонтьев Владислав Анатольевич		

## **5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

В данном разделе научной работы освещены требования к рабочему месту технолога - программиста. Составленные требования должны обеспечивать комфортную работу. По данной проблеме, был проведен анализ опасных и вредных факторов, проведен выбор системы и расчет оптимизированного освещения производственного помещения, а также расчет уровня шума и запыления на рабочем месте. Выполнение условий, определяющих наилучшую организацию рабочего места технолога - программиста, позволит сохранить хорошую работоспособность в течение всего рабочего дня.

Вопросы производственной и экологической безопасности рассматриваются на основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований чистового фрезерования закаленных сталей. Все исследования, связанные с данной работой, а также изготовление приспособлений производились на базе кафедры ТАМП ТПУ. Основная часть работы заключалась в изготовлении образцов с их последующей обработкой чистовым фрезерованием и измерением шероховатости и точности формы после обработки.

### **5.1 Анализ опасных и вредных факторов**

Большинство работ производилось на различных видах металлорежущих станков, при работе на каждом из которых существует свой ряд вредных и опасных производственных факторов. В работе были задействованы следующие типы станков:

- 1) Токарно-винторезный станок 1К62;
- 2) Фрезерный станок 67К25ПР
- 3) Станок с ЧПУ DMU 50;

Для работы на станках каждой группы существуют свои типовые инструкции по охране труда:

- РД 153-34.0-03.289-00 «Типовая инструкция по охране труда при работе на токарно-винторезных станках»
- РД 153-34.0-03.290-00 «Типовая инструкция по охране труда при работе на фрезерных станках»
- РД 153-34.0-03.299-2001 «Сборник типовых инструкций по охране труда при выполнении слесарных и сборочных работ»

Также существуют нормы выдачи спецодежды и средств индивидуальной защиты:

Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 1 октября 2008 г. N 541н: "Об утверждении Типовых норм бесплатной выдачи сертифицированных специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам сквозных профессий и должностей всех отраслей экономики, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением".

Обработка металлов может сопровождаться наличием ряда вредных и опасных производственных факторов, в том числе:

- электрический ток;
- мелкая стружка и аэрозоли смазочно-охлаждающей жидкости;
- отлетающие кусочки металла;
- высокая температура поверхности обрабатываемых деталей и инструмента;
- повышенный уровень вибрации;
- движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся изделия, заготовки и материалы;
- недостаточная освещенность рабочей зоны, наличие прямой и отраженной блескости, повышенная пульсация светового потока.

Кроме того, в ходе выполнения данного проекта большое количество времени работе велась с использованием ПЭВМ и станков с ЧПУ, в которые так же встроены ЭВМ. Для работы с данным оборудованием существует

следующая типовая инструкция: ТОО Р 01-00-01-96 «Типовая инструкция по охране труда для операторов и пользователей персональных электронно-вычислительных машин (ПЭВМ) и работников, занятых эксплуатацией ПЭВМ и видеодисплейных терминалов (ВДТ)». Работа оператора ПЭВМ относится к категории работ, связанных с опасными и вредными условиями труда

Таким образом, в ходе выполнения данного проекта имело место большое количество опасных и вредных производственных факторов. Разберем некоторые, наиболее значимые из них.

## **5.2 Производственная санитария**

Производственная санитария - это система санитарно-технических гигиенических и организационных мероприятий, противостоящее воздействию на работающих вредных производственных факторов.

В производственную санитарию входит нормализация параметров микроклимата в рабочей зоне, защита рабочих от шума, вибрации, и снабжение нормативов освещения, а также поддержание в соответствии с санитарными требованиями территории предприятия.

### **5.2.1 Повышенная запыленность и загазованность рабочей зоны**

В процессе обработки деталей резанием допускается применять различные смазывающие охлаждающие жидкости (СОЖ). СОЖ должны подаваться в зону резания методом распыления в соответствии с гигиеническими требованиями, для снижения количества аэрозоля в воздухе рабочей зоны.

При проведении опытов применялись СОЖ, в состав которых входят: 2%-ный раствор кальцинированной соды; 2%-ный водный раствор мыльного порошка и 3-:-10%-ный эмульсола; 1%-ный раствор триэтаноламина и 0,3%-ный нитрита натрия;

Концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должна превышать предельно допустимых значений, приведенных ниже в табл. 5.1.

Данные требования установлены ГН 2.2.5.686-98 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы».

Табл. 5.1 Концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Вредные вещества	ДК, <i>мг/м<sup>3</sup></i>
Кальцинированная сода CaCO <sub>3</sub>	0,3
Триэтиламин (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> O) <sub>3</sub> N	0,3
Нитрат натрия NaNO <sub>3</sub>	0,2

Согласно ГОСТ 12.4.011-89 «Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация» существуют следующие средства защиты:

- поддержка нормируемой величины барометрического давления;
- вентиляции и очистки воздуха;
- кондиционирование воздуха;
- локализация вредных факторов;
- отопление;
- автоматического контроля сигнализации;
- дезодорации воздуха.

### 5.2.2 Повышенный уровень шума на рабочем месте

При воздействии шума на человека происходит нарушение работы систем и органов:

- влияние на центральную нервную систему: появляется рассеянность, раздражительность, потеря памяти, апатия, увеличение времени реакции на внешние раздражители, повышение потливости;
- влияние на сердечно – сосудистую систему: повышение кровяного давления, увеличение ритма сердечных сокращений;

- влияние на пищеварение: повышение кислотности, увеличение выделения слюны, желудочного сока, числа сокращений желудка, что приводит к гастриту и язвенной болезни;
- влияние на слух: глухота и снижение возможности адаптироваться;
- влияние на вестибулярный аппарат: головокружения.

Уровень шума на рабочем месте нормируется СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». Вид трудовой деятельности и помещение, в котором выполнялся проект согласно данному стандарту можно классифицировать как «Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории; рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, в лабораториях». В помещении, где происходило выполнение данного проекта, уровень звукового давления находился в пределах 70...80 дБ, что позволяет классифицировать данное помещение как опасное.

Согласно ГОСТ 12.4.011-89 «Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация» существуют следующие средства защиты:

- оградительные;
- звукоизолирующие и звукопоглощающие;
- глушители шума;
- автоматического контроля сигнализации;
- дистанционное управление.

### **5.2.3 Расчёт достаточной площади и объёма помещения**

Помещение, где производится работа, должно соответствовать количеству работающих и размещенному в них комплексу технических средств. Рабочие комнаты должны иметь естественное освещение, в сочетании

с искусственным освещением в темное время суток. Рациональное световое оформление помещений направлено на улучшение санитарно-гигиенических условий труда, повышение его производительности.

При планировании помещений необходимо, соблюдать нормы полезной площади и объем помещения для работающих. Размер помещения, где проводятся работы по составлению документации, имеет следующие параметры:

- длина комнаты  $A = 6$  м;
- ширина комнаты  $B = 4$  м;
- высота комнаты  $H = 3,5$  м.

Площадь комнаты находится по формуле (1):

$$S = A \cdot B = 6 \cdot 4 = 24 \text{ м}^2 \quad (1)$$

Объем комнаты рассчитывается по формуле (1.2):

$$V = A \cdot B \cdot H = 6 \cdot 4 \cdot 3,5 = 84 \text{ м}^3 \quad (2)$$

Согласно санитарным нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340 площадь помещения из расчета генерирования требований к персональному компьютеру и организационной работы на одно рабочее место для взрослых пользователей, следует предусматривать величиной не менее  $4,5 \text{ м}^2$ , объем - не менее  $15 \text{ м}^3$  с учетом максимального числа одновременно работающих. Так как в кабинете оборудовано четыре рабочих места, то на одного человека приходится  $6 \text{ м}^2$  по площади и  $21 \text{ м}^3$  объема потребляемого воздуха. Следовательно, данное помещение имеет необходимый объем воздуха и площадь для работы каждого человека.

#### **5.2.4 Микроклимат в помещении**

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, определяемый влиянием на организм сочетаниями температуры, влажности воздуха, а также температуры в помещении.

Нормы оптимальных и допустимых метеорологических условий устанавливает СанПиН 2.2.2/2.4.1340. Все категории работ разграничиваются

на основе интенсивности энергозатрат организма в ккал/ч (Вт). Работа инженера-технолога относится к категории 1а - работа с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимая сидя и сопровождающаяся незначительным физическим напряжением.

Для помещения без избытка выделения тепла для работ категории тяжести 1а оптимальные параметры микроклимата должны соответствовать требованиям таблицы 5.2.

Табл. 5.2 Параметры микроклимата

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, С <sup>0</sup>		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/сек	
		Фактич. значение	Допустим. значение	Фактич. значение	Допустим. значение	Фактич. значение	Допустим. значение
Холодный	1а	(21÷23)	(20÷25)	55	(15÷75)	0,1	0,1
Теплый	1а	(22÷24)	(21÷28)	55	(15÷75)	0,1	0,1

Из таблицы 5.4 видно, что в анализируемой комнате параметры микроклимата соответствуют нормам.

Микроклимат комнаты поддерживается на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления, естественной вентиляцией, а также искусственным кондиционированием и дополнительным прогревом в холодное время года.

### 5.2.5 Исследование освещенности рабочей зоны

Освещение рабочего места – важнейший фактор работы для нормальных условий труда. Согласно санитарно-гигиеническим требованиям рабочее место инженера-технолога должно освещаться как естественным, так искусственным освещением. Естественное освещение проникает в помещение через одно большое окно в светлое время суток. Естественное освещение по

своему спектральному составу является наиболее приемлемым. Искусственное же отличается относительной сложностью восприятия его зрительным органом человека.

Для вычисления равномерного освещения применяется 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 регламентируется максимальная искусственная освещенность рабочих мест в 400 лк при общем освещении. Разряд зрительной работы 1г.

Световой поток создаваемый каждой из ламп рассчитывается по формуле (2)

$$F = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{n \cdot \eta}, (2)$$

где  $F$  – световой поток одной лампы, лк;

$E$  – минимальная освещенность, лк,  $E = 400$  лк;

$S$  – площадь помещения,  $m^2$ ,  $S = 24 m^2$ ;

$z$  – поправочный коэффициент,  $z = 0,9$ ;

$k$  – коэффициент запаса,  $k = 1,5$ ;

$\eta$  – коэффициент использования осветителей, %;

$n$  – число светильников в помещении.

Коэффициент  $k$  для помещений, освещаемых люминесцентными лампами, при условии чистки светильников не реже двух раз в год, берется равным от 1,4 до 1,5.

Коэффициент использования может быть определен по известному индексу помещения ( $i$ ), рассчитанный по выражению (3)

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, (3)$$

где  $A$  – длина помещения, м,  $A = 6$  м;

$B$  – ширина помещения, м,  $B = 4$  м.

Для соответствующих размеров аудитории со светлым потолком и стенами, оклеенными светлыми обоями, согласно методическим указаниям, примем коэффициенты отражения от стен  $\rho_c = 30\%$  и потолка  $\rho_{\Pi} = 70\%$ .

По формуле (4) определим расчетную высоту подвеса светильников над рабочей поверхностью ( $h$ ).

$$h = H - h_p - h_c, (4)$$

где  $h_p$  – расстояние от пола до рабочей поверхности стола, м,  $h_p = 0,8$  м;

$h_c$  – расстояние от потолка до светильника, м,  $h_c = 0,1$  м;

$H$  – высота потолка в помещении, м,  $H = 3,5$  м.

Из расчетов следует, что  $h = 2,6$  м, тогда согласно выражению (3)

$$i = \frac{6 \cdot 4}{2,6 \cdot (6 + 4)} = 0,92 \quad (5)$$

По таблице коэффициентов использования светового потока для соответствующих значений  $i$ ,  $\rho_c$  и  $\rho_{\Pi}$  примем  $\eta = 46\%$ .

Для осуществления проверочного расчета с целью определения того, создает ли существующая система освещенности требуемую освещенность по СНиП 23-05, рассчитаем количество лампочек в помещении, выразив отношение из формулы (2).

$$n = \frac{400 \cdot 24 \cdot 0,9 \cdot 1,5}{1380 \cdot 0,46} = 21 (6)$$

Таким образом, люминесцентные лампочки дневного света (ЛД) в количестве 21 штук, мощностью 30 Вт, потребляемые ток 0,34 А при питании от сети 220 В, достаточны для обеспечения минимальной требуемой освещенности в анализируемом помещении.

### 5.2.6 Движущиеся машины и механизмы

При работе металлорежущих станков предусмотрено перемещение режущего инструмента и заготовки в больших диапазонах скоростей и

нагрузок, что может привести к серьезным травмам оператора (переломам конечностей, ушибам, порезам). Кроме того, различного рода передачи, внутренние механизмы и узлы станков могут нанести травму в процессе наладки, смазки и ремонта оборудования. Опасность представляет и недостаточно надежное крепление заготовки, что может привести к поломке инструмента и повреждению рабочего осколками инструмента.

Согласно ГОСТ 12.4.011-89 «Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация» существуют следующие средства защиты:

- оградительные;
- автоматического контроля и сигнализации;
- предохранительные;
- дистанционное управление;
- тормозные;
- знаки безопасности.

### **5.3 Пожарная безопасность**

Пожарная безопасность – совокупность организационных и технических мероприятий, используемых для предотвращения пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожара.

К противопожарным мероприятиям в помещении относят следующие мероприятия:

- 1) Помещение должно быть оборудовано: средствами тушения пожара (огнетушителями, ящиком с песком, стендом с противопожарным инвентарем); средствами связи; должна быть исправна электрическая проводка осветительных приборов и электрооборудования.
- 2) Каждый сотрудник должен знать место нахождения средств пожаротушения и средств связи; помнить номера телефонов для сообщения о пожаре; уметь пользоваться средствами пожаротушения.

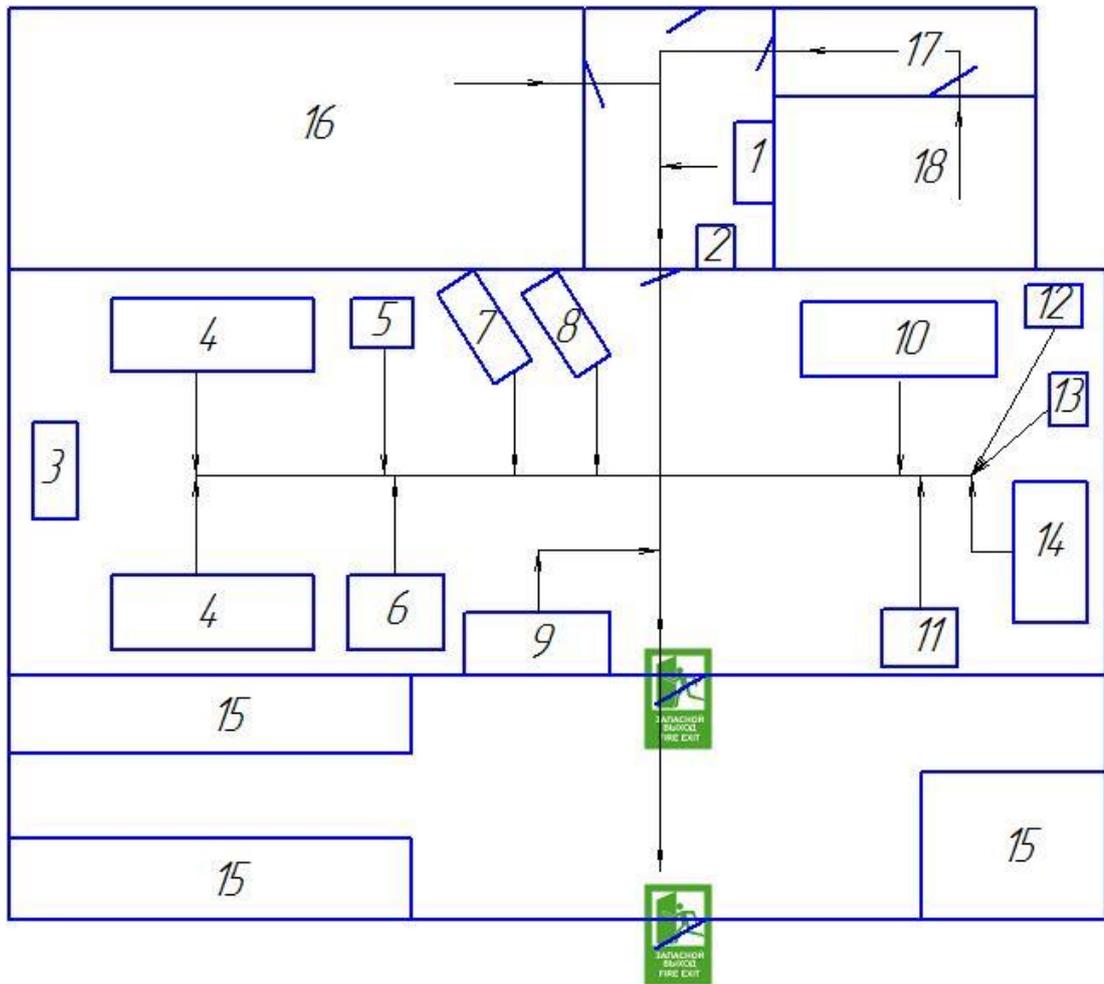
Помещение обеспечено средствами пожаротушения в соответствии с нормами:

- 1) Огнетушитель порошковый ОП-5(З) – 1 шт;
- 2) системой оповещения о пожаре;
- 3) оборудовано датчиками задымленности помещения с выводом на пульт пожарной охраны.

При невозможности самостоятельно потушить пожар необходимо вызвать пожарную команду и приступить к эвакуации людей.

Скорость вынужденной эвакуации достигается устройством эвакуационных путей и выходов, число, размеры и конструктивно-планировочные решения которых регламентированы строительными нормами СНиП 2.01.02-85.

На рисунке 5.1 представлен план эвакуации аудитории 110, где проводились экспериментальные исследования.



- 1 – станок токарно-винторезный;
- 2, 3 – шкаф с инструментами;
- 4 – станок токарно-винторезный;
- 5 – станок сверлильный;
- 6 – станок фрезерный;
- 7 – станок строгальный;
- 8 – механическая пила;
- 9 – верстак;
- 10 – станок кругло-шлифовальный;
- 11 – станок долбежный;
- 12 – станок сверлильный;
- 13 – нождак;
- 14 – станок плоско-шлифовальный;
- 15 – стелаж;
- 16 – учебная аудитория;
- 17, 18 – подсобное помещение.

Рисунок 5.1 План эвакуации

## 5.4 Охрана окружающей среды

Охрана окружающей среды – это совокупная проблема и наиболее активная форма её решения – это уменьшение вредных выбросов промышленных предприятий применяя полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Охрану природы можно представить как комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование природы и охрану природных ресурсов. Технический прогресс постоянно увеличивает возможности воздействия на окружающую среду и создает предпосылки для возникновения экологических кризисов. Поэтому в настоящее время вопросы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов имеют первостепенное значение.

### **5.7 Заключение о безопасности на рабочем месте**

В результате анализа безопасности при работе на станках выявлен ряд наиболее опасных и вредных производственных факторов, а именно: наличие повышенной концентрации вредных веществ в рабочей зоне из-за испарения СОЖ; повышенный уровень шума на рабочем месте; движущиеся органы станков; повышенное значение напряжения в электрической цепи.

Для защиты от загазованности рабочей зоны используется вентиляция и очистка воздуха, а также средства индивидуальной защиты (СИЗ) – респираторы. Для защиты от шума так же применяются СИЗ: противозумные наушники и противозумные шлемы. Для защиты от подвижных частей станка используются: оградительные устройства, тормозные устройства, а так же знаки безопасности. Для защиты от поражения электрическим током на станках установлены следующие устройства: изолирующие устройства, устройства заземления, устройства защитного отключения, предохранительные устройства.

За счёт перечисленных мер, вредные производственные факторы сведены до минимального уровня. В результате этого:

- обеспечена сохранность жизни и здоровья работников;
- снижен уровень травматизма, общей и профильной заболеваемости;

- созданы благоприятные условия труда работающих;
- увеличена производительность труда.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Батуев В.А. Повышение производительности и точности фрезерования пространственно-сложных поверхностей на станках с ЧПУ путем стабилизации сил резания: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Челябинск: ЧПИ, 1986. 248 с.

2. Батуев, В.В. Расчет толщины срезаемого слоя при фрезеровании пространственно-сложных поверхностей, имеющих ступенчатый припуск / В.В. Батуев // Известия Челябинского научного центра. Челябинск: ЮУрГУ, 2006.

3. Белоус Л.А. Определение оптимальных параметров фрезерования пространственно-сложных поверхностей концевыми радиусными фрезами: Диссертация на соискание ученой степени магистра. – Томск: ТПУ, 2014. 103 с.

4. Бобров В.Ф., Сидельников А.И. Особенности образования суставчатой и элементной стружек при высокой скорости-резания // Вестник машиностроения, 1976, №7. С. 61-66.

5. Виттингтон К., Власов В. Высокоскоростная механообработка // САПР и графика. 2002. №11.

6. Выбойщик А.В. Повышение точности и производительности фрезерования пространственно-сложных поверхностей на станках с ЧПУ: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Челябинск: ЮУрГУ, 2000. – 181 с.

7. Гавриленко М.В. Совершенствование технологии проектирования и изготовления сложных штампов на основе моделирования процесса их эксплуатации: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Самара: СГТУ, 2006. – 181 с.

8. Гузеев В.И. Методика расчетного определения количества стадий обработки поверхностей деталей // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки. - Челябинск : ЧГТУ, 1993

9. Гузеев, В.И. Теория и методика производительности контурной обработки деталей разной точности на токарных и фрезерных станках с ЧПУ: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. — Челябинск: ЧГТУ, 1994. - 517 с.

10. Гузеев, В.И. Учет влияния следов предшествующей обработки на точность фрезерования пространственно-сложных поверхностей / В.И. Гузеев, В.В. Батуев // Прогрессивные технологии в машиностроении: сб.науч.тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. — 112-117.

11. Кирюшин И.Е. Обеспечение качества поверхностного слоя деталей при высокоскоростном торцевом фрезеровании закаленных сталей. / И.Е. Кирюшин, Д.Е. Кирюшин, Насад Т.Г. // СТИН 2008. №9 С. 28-33.

12. Кирюшин И.Е. Повышение производительности торцевого фрезерования титановых сплавов за счёт применения высокоскоростного резания. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Саратов: СГТУ, 2007. – 148 с.

13. Локтев А.А. Исследование процесса фрезерования закаленной стали: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Москва: ЭНИМС, 2006. – 138 с.

14. Маркелов П.А., Скоростное фрезерование закаленной стали торцевыми фрезами, //ОБОРОНГИЗ, 1953.

15. Саблин П.А., Повышение эффективности высокоскоростной механической обработки при фрезеровании. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Комсомольск-на-Амуре: КНАГТУ, 2008. – 141 с.

16. Степанов А. Высокоскоростное фрезерование в современном производстве // CAD/CAM/CAE Observer. 2003. - №4. - С. 2-8.

17. Степанов А. Высокоскоростное фрезерование в современном производстве // CAD/CAM/CAE Observer. 2004. - №1. - С. 71-78.

18. Степанов А. Высокоскоростное фрезерование в современном производстве // CAD/CAM/CAE Observer. 2004. - №2. - С. 53-57.

19. Sandvik Coromant, Основной каталог, 2006 г.

## Приложение А

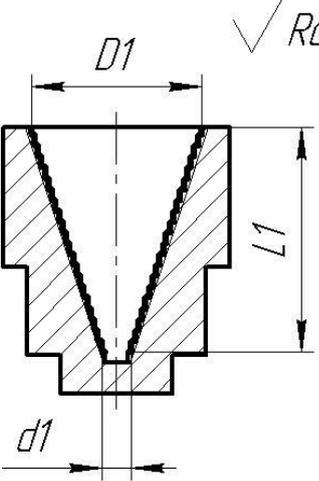
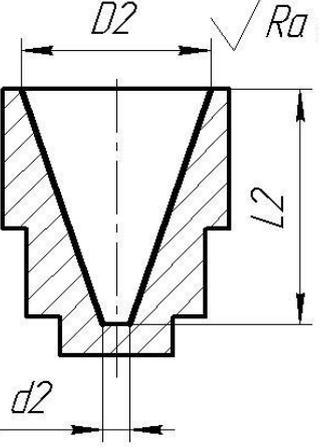
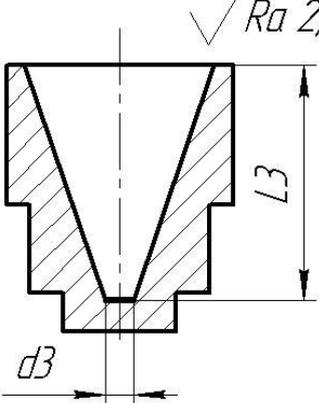
Наименование операции	Эскиз	Оборудование	Режущий инструмент
<p style="text-align: center;"><b>Фрезерная</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Фрезеровать по контуру, выдерживая размеры.</i></p>		<p>Фрезерный станок с ЧПУ DMG DMU 50</p>	<p>Цилиндрическая концевая фреза <math>\phi 6</math></p>
<p style="text-align: center;"><b>Термическая</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Вакуумная закалка до 44...46 HRC</i></p>			
<p style="text-align: center;"><b>Фрезерная</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Фрезеровать по контуру, выдерживая размеры.</i></p>		<p>Фрезерный станок с ЧПУ DMG DMU 50</p>	<p>Радиусная концевая фреза <math>\phi 10</math></p> <p>Коническая концевая фреза <math>\phi 2</math></p>
<p style="text-align: center;"><b>Фрезерная</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Фрезеровать паз, выдерживая размеры.</i></p>		<p>Фрезерный станок с ЧПУ DMG DMU 50</p>	<p>Цилиндрическая концевая фреза <math>\phi 4</math></p>

Рис. 1. Техпроцесс изготовления матрицы 1

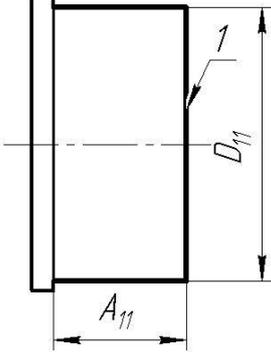
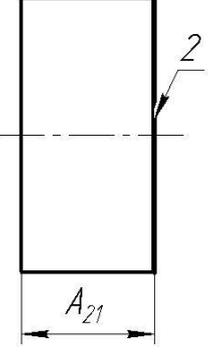
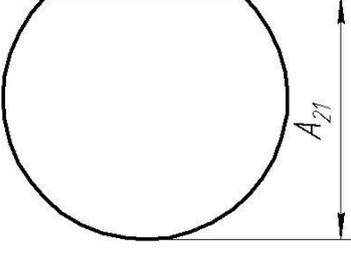
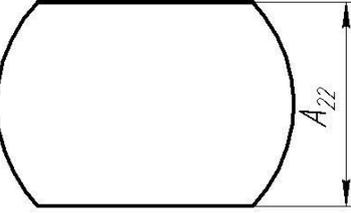
Операция	Наименование операции	Эскиз	Оборудование	Режущий инструмент
010	<p><i>Токарная</i></p> <p>А. 1 установ.  1) Подрезать торец 1  2) Точить наружную поверхность выдерживая размер <math>D_{11}</math> на длину <math>A_{11}</math></p>		Токарно-винторезный станок 1К62	Резец подрезной
	<p><i>Токарная</i></p> <p>Б. 2 установ.  1) Подрезать торец 2 выдерживая размер <math>A_{12}</math></p>			
015	<p><i>Фрезерная</i></p> <p>А. 1 установ.  1) Фрезеровать выдерживая размер <math>A_{21}</math></p>		Фрезерный станок 67К25ПР	Фреза торцевая со вставными ножами
	<p><i>Фрезерная</i></p> <p>Б. 2 установ.  1) Фрезеровать выдерживая размер <math>A_{22}</math></p>			

Рис. 2. Техпроцесс изготовления заготовки с выпуклыми поверхностями

Операция	Наименование операции	Эскиз	Оборудование	Режущий инструмент
015	<p><b>Фрезерная</b></p> <p>В. 3 установ. 2) Фрезеровать наружную поверхность выдерживая размер <math>A_{23}</math></p>		Фрезерный станок 67K25ПР	Фреза торцевая со вставными ножами
	<p><b>Фрезерная</b></p> <p>Г. 4 установ. 2) Фрезеровать наружную поверхность выдерживая размер <math>A_{24}</math></p>			
020	<p><b>Термическая</b></p> <p>Закалка до 44...46 HRC</p>			
0.25	<p><b>Фрезерная</b></p> <p>А. 1 установ. 2) Фрезеровать наружную поверхность по контуру</p>		Фрезерный станок с ЧПУ DMG DMU 50	Радиусная канцевая фреза $\phi 10$
	<p><b>Фрезерная</b></p> <p>Б. 2 установ. 2) Фрезеровать наружную поверхность по контуру</p>			

Рис. 3. Техпроцесс изготовления заготовки с выпуклыми поверхностями

(продолжение)

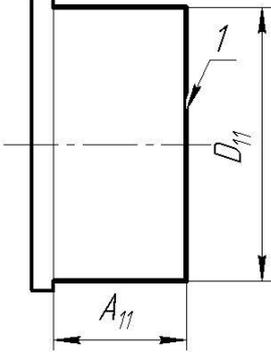
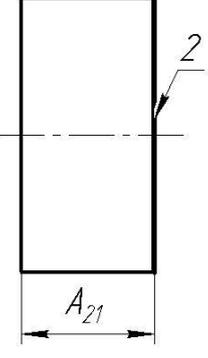
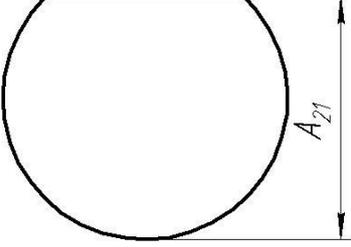
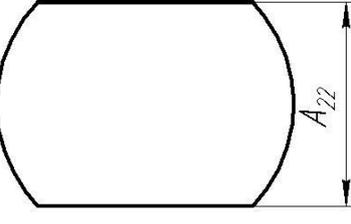
Операция	Наименование операции	Эскиз	Оборудование	Режущий инструмент
010	<p><i>Токарная</i></p> <p>А. 1 установ.  1) Подрезать торец 1  2) Точить наружную поверхность выдерживая размер <math>D_{11}</math> на длину <math>A_{11}</math></p>		Токарно-винторезный станок 1К62	Резец подрезной
	<p><i>Токарная</i></p> <p>Б. 2 установ.  1) Подрезать торец 2 выдерживая размер <math>A_{12}</math></p>			
015	<p><i>Фрезерная</i></p> <p>А. 1 установ.  1) Фрезеровать выдерживая размер <math>A_{21}</math></p>		Фрезерный станок 67К25ПР	Фреза торцевая со вставными ножами
	<p><i>Фрезерная</i></p> <p>Б. 2 установ.  1) Фрезеровать выдерживая размер <math>A_{22}</math></p>			

Рис. 4. Техпроцесс изготовления заготовки с вогнутыми поверхностями

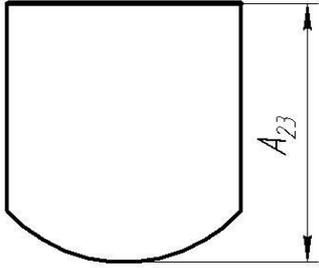
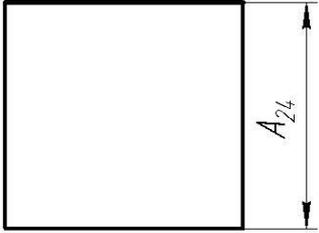
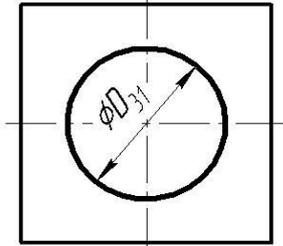
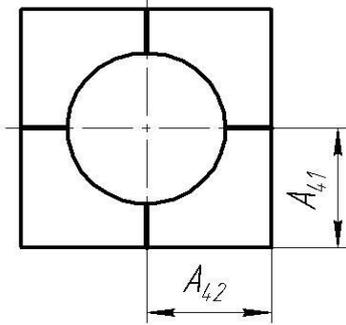
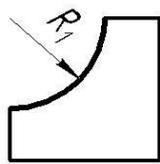
Операция	Наименование операции	Эскиз	Оборудование	Режущий инструмент
	<p><i>Фрезерная</i></p> <p><i>В. 3 установ.</i> 1) Фрезеровать выдерживая размер <math>A_{23}</math></p>		Фрезерный станок 67K25ПР	Фреза торцевая со вставными ножами
	<p><i>Фрезерная</i></p> <p><i>Г. 4 установ.</i> 1) Фрезеровать выдерживая размер <math>A_{24}</math></p>			
	<p><i>Сверлильная</i></p> <p>1) Сверлить отверстие диаметром <math>D_{31}</math> насквозь</p>		Токарно-винтарезный станок KNUITH V-Turn 4.10	Сверло $\phi 48$
	<p><i>Электроэрозионная</i></p> <p>1) Отрезать заготовки выдерживая размеры <math>A_{41}</math> и <math>A_{42}</math></p>		Электроэрозионный станок DK 7725	Проволока $\phi 0,2$
	<p><i>Термическая</i></p> <p>Закалить до 44...46 HRC</p>			
	<p><i>Фрезерная</i></p> <p>1) Фрезеровать по контуру выдерживая размер <math>R_1</math></p>		Фрезерный станок с ЧПУ DMG DMU 50	Радиусная концевая фреза $\phi 10$

Рис. 3. Техпроцесс изготовления заготовки с выпуклыми поверхностями  
(продолжение)

## Приложение Б

### Исследовательский раздел

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ41	Леонтьев В.А.		

Консультант кафедры ТАМП \_\_\_\_\_:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заф. Кафедры	Арляпов А.Ю.	к.т.н., доцент		

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК \_\_\_\_\_:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф.ИЯИК	Степура С.Н.	к.ф.н., доцент		

## **1. TREATMENT OF CROOKED SPATIAL SURFACE MADE OF HARDENED STEEL (STATE OF THE ISSUE)**

The analysis of V.I. Guseev, V.A. Batuev, V.V. Batuev, A.V. Viboishik, L.A. Belousov's works on the study of the 3-D milling process was conducted. The existing semianalytic and analytic correlations on cutting force component calculation during the 3-D milling, and methods of accuracy control were observed. V.I. Guseev and V.A. Batuev developed the correlations for 3-D milling process under the conditions of even allowance, which occurs amidst not more than 25% of processed parts, and suggested to control the accuracy through the feed regulation. Crooked spatial surface milling with stepped allowance after the roughing machining has been observed by V.V. Batuev. V.A. Viboishik was studying the force instability of the particular case of the 3-D milling process performed "crosswise", i.e. at an angle  $90^\circ$  to the steps, and suggested to control the accuracy by the number of precise junctions. The study on optimal parameter determination of the final milling of aluminum alloys with angled surfaces was carried out by L.A. Belousov.

Native authors, such as A.A. Loktev [], A.V. Stepanov, I.E. Kirushin and etc., dedicated their researches to the study of case quality assurance during the hsc-machining of hardened steels. The analysis of these works has shown that all the authors consider the hsc-machining of hardened steels as one of the upcoming trends of metal cutting. A.A. Loktev exploited the method of cutting mode selection for hardened steel milling based on cutting temperature calculation, equipment characteristic and operating conditions. A.V. Stepanov conducted tests on the endmills of HANITA, FRAISA and SECO brands, he also developed the experimental investigation method of retained stress, roughness, and case microhardness after hsc-machining during the final machining of hardened die steels.

### **1.1 Crooked spatial surface type analysis**

The great nomenclature of crooked spatial formed parts is peculiar to the modern technology level. The large-scale is represented by working parts of form-building equipment (pressing tools, dies, models for precise casting, etc.).

The systematization of CSS (crooked spatial surface) for the range of productions (casthouse, die forging) has been performed on the basis of specification, reference data, and detailed engineering drawing analysis (Table 1.1) in the paper []. It follows that characteristic features for the majority of crooked spatial formed parts are high performance requirements for the accuracy (IT6...IT8) and roughness ( $Ra \leq 0,63$ ). The paper also represents some specific parts like punch and die with crooked spatial surfaces (Fig.1.1), which are formed from the areas of three types: flat (a), convex (b), concave (c).

## **1.2 The stages of typical curved surface treatment process**

Typically, the treatment process of the crooked spatial surface made of hardened steel includes the following stages:

1. Roughing machining (milling);
2. Final machining (milling);
3. Hardening (heat treatment);
4. Lapping treatment (fitter's work).

The roughing machining presumes overlap weld removal and approaching the part blank shape to the shape of the completed part. At this stage, layer-by-layer overlap weld removal with endmill at the constant milling width is being performed. As a result, the final milling assures the stepped allowance with the height of steps equal to the milling width.

The stage of final milling regarded as the last stage performed directly on-machine, involves the removal of the stepped allowance, obtaining the dimensional accuracy and shape of the finished part (Fig.3).

To meet the requirements of mechanical-and-physical properties the heat treatment is used.

Lapping treatment provides the final part correction and achievement of set requirements for accuracy and roughness.

Comparison between labor intensity of different stages of crooked partial surface treatment, presented in [], shows that bench working times amount 20...50% of labor intensity of the overall work, and its duration is 7...10 times larger than the duration of final milling at CNC machines.

High labor intensity of the lapping treatment is caused by uneven retained allowance, which equals to 0,05...1 mm referring to the data [].

The treatment intensity of the crooked partial formed part should be reduced through decreasing time for lapping operation, increasing final milling accuracy, and forming minimum even allowance for the bench working. As the parts are exposed to the hardening, the final milling is obligatory. So that increase of the final milling accuracy and performance must be associated with the determination of CSS treatment scheme and rational cutting regime.

### **1.3 High-speed machining (hsc-machining)**

High-speed machining (hsc-machining) is one of the modern technologies which, in comparison with usual cutting, allows to enhance efficiency, accuracy and quality of the hardened steel mechanical processing. Its distinctive feature assumes high cutting speed, at which the temperature in swarf formation zone increases, treated part material becomes softer, and cutting forces reduce, which allows the tool to operate with a heavier cutting feed.

The hsc-machining effect is specified by structural material changes (i.e. plastic deformations performed with a high speed) in a zone of swarf detachment. At rising deformation rate the cutting forces increase initially, then, with achievement of the specific temperature in the swarf formation zone, start to decrease significantly. It should be noticed that the residence time of the cutting edge with the swarf is very little, and the rate of swarf detachment is so high that a great mass of heat generated in a cutting zone is being removed with the swarf, and the part blank and the tool cannot become warm in time.

### **1.3.1 Hsc-machining principle**

The main hsc-machining principle is the small cross-section of cut skimmed off with a high cutting speed and high minute feed. The cutting speed and feed are 5-10 times larger than at usual treatment. The recommended depth of cut must not exceed 10% of the cutter diameter.

During the hsc-machining, except for the decreasing rolling torque value in a high-speed zone, the most important factor is the heat rearrangement in the cutting zone. In case of this type of treatment the feed rate exceeds the rate of thermal conductivity of the treated material. Therefore, the bulk of heat accumulates in the swarf without any time to pass into the part blank and the tool. Thus, it is possible to securely mill the hardened steels without allowance of the case. The research has shown that 75% of heat is eliminated with the swarf, 20% - through the tool, and 5% - through the treated part. This is the reason why hsc-machining is based on the elimination of the heat, which commonly regarded as the cause of tool wear.

Decreasing of the operating time by the means of high cutting regimes is not the main purpose of the hsc-machining. The primary effect of the hsc-machining involves:

- Treatment quality improvement;
- The possibility to treat the overheat-sensitive materials;
- Efficient usage of CNC machines;
- Simplifying and reduction of the number of technological processes, which exclude the erosion machining and hand lapping.

### **1.3.2 Machines for hsc-machining**

The modern machine-tool industry encourages this type of treatment providing the machines with special characteristics: high geometric accuracy, high static stiffness, high dynamic stiffness, thermal stability, assurance of the free fall of the swarf. The machines should have nice vibration damping properties, free from play movements of the shifting details.

The machines with a high-speed tool-holding spindle are applied for hsc-machining. The frequency of spindle revolution ranges within 12000-40000 rev/min.

The present-day spindles for hsc-machining are equipped with various measuring elements, aimed to track the location of the spindle shaft, the temperature and vibration. Using the data obtained from the measuring elements, CNC assembly shall calculate the shaft-motion compensation and perform this compensation. Temperature elements on the bearings shall prevent overheat and fault of the spindle. Temperature elements show 3 types of signal: “Correct”, “Critical situation”, “Error”. In case of critical situation the treatment shall be stopped for a little time to reduce the temperature. Vibration element should also warn of a critical vibration in case of critical values. The vibration may be caused by incorrect chuck balancing or other reasons. Such “clever” spindles ensure the long machine performance, decline the fault times, realize unmanned technology, and have some other advantages. This type of spindles has the options for different kinds of the tool and part blank cooling, and other useful options.

There is also a multiple-spindle (“duplex”) with two electric motors located in its body, and two shafts rotating solidary or separately.

The rate of feed for hsc-machining should be equal to about 40-60 m/min, the speed of rapid-tool motion up to 90 m/min with the fine movements ranged within 1-20  $\mu$ .

### **1.3.3 CNC system for hsc-machining**

Correctly selected CNC system shall provide the faster machine performance. During the NC data running, control system processes the data and regulates the working feed corresponding to the speed of the slowest component of the system.

One of the most important functions for CNC in hsc-machining is the accurate control over the feed drive system and the main motion drive (using spindle). Numerous control architectures for reducing the calculation errors of the contour and

registering the machine stiffness enhance the performance and accuracy of treatment.

The basic functions of CNC for hsc-maching;

- The preview of NC data blocks (Look-Ahead Function);
- Feed control for high contour accuracy;
- Acceleration control;
- Tool offset correction (length, radius, wear);
- Contour automated smoothing functions (NURBS interpolation);
- High speed data (NC files) transmission with a speed up to 10 megabod;
- Mechanic error compensation;
- Machine safe operation management.

#### Preview function (Look-Ahead)

Toolpath contour segments may be so small that the feed drive systems shall not be able to accelerate or deaccelerate fast enough to perform movements with different directions accurately. The preview function (Look-Ahead) allows CNC system to preliminary read some number of yet not wasted NC blocks, process the sudden changes in direction and, relatively, to control the working feed. The precise number of previewed blocks is defined by CNC system characteristics, in addition, the bigger number does not presume the better NC performance. The stiffer machine with more dynamic feed drive systems can work out the toolpath contour strictly enough, even with a decent CNC system.

#### NURBS interpolation

CAD/CAM systems for curve and plane description apply the spline math, which can help to describe curves and cross-sections of any form.

Perfect geometric data of the part in a form of accurate mathematical description is available only within CAD/CAM system. In case of using a standard method of preparation of the data for the mechanical treatment modelling, the

electronic model transforms as a form. This transformation is usually performed with a definite accuracy limit, what results in error of the same value. The obtained toolpath contour represents a sequence of short linear movements. These splines shall be distinct from perfect geometric data of the mathematical model, though modern CAM-systems are capable of transforming such types of data and splines.

Some CNC systems can independently interpolate the axial movements with the help of mathematical curves. NURBS interpolation – is one of the methods of B-type plane curve interpolation. Thereby, one block of NC data that describes a spline, may replace up to 10 blocks describing offcuts at the current accuracy. Curve interpolation allows to change the direction gradually, and control system maintains a higher average working feed than in case of the polygonal contour. Therefore, NC data setting via polygons is being replaced either to spline record transmission immediately from the CAM-system, or to the geometric transformation within the CNC system.

#### Maintaining high rate of a working feed

Applying the preview function, CNC system protects the tool and machine from the effect of sudden direction changes at high working feed, through decreased feed rate before the swing. But this retarding effect may have influence on the case quality. Direction change should be smoothed in order to keep the high working feed along the entire toolpath. There are many ways to achieve it by the means of CAM-system: conjunction of the acute angle arcs of the toolpath contour, spiral penetration, etc.

Another approach to maintaining the high feed rate and possibly constant pressure on the tool assures changing the feed in inverse proportion to the bulk. Some CAM-systems are capable of performing these functions automatically.

### **1.3.4 Cutting tool for hsc-machining**

#### Characteristics of the cutting tool

For the most part the cutting tool is a reason of limited cutting speed and productivity for the technological process optimized for hsc-machining. The advances in the sphere of technologies for cutting tool creation made the hsc-machining available. Regular studies and discoveries in this sphere bring hope to pull through the deterrent to limited prospects of the tool.

The tool life time during the milling is specified by its material, case quality, accuracy and geometric aspects. The distinctive features of the cutting tool may be described as follows:

- The ability to resist high mechanical and thermal effects. Fine-grained carbide with a titanium carbide coating is the best combination that provides wearing quality, high temperature resistance, and low friction coefficient;
- More exact geometry than the common tool has. Thus, the hsc-machining tool has a diameter tolerance not more than 0.02 mm, and the extreme deviation of the tool tip radius is 0.01 mm, that is twice as much higher than for common tool;
- The mills of hardened steel hsc-machining have larger diameter of the core rod and smaller teeth than common mills. Due to this fact, the tool has higher rigidity, and, consequently, more resistant to the deformation and vibration. The slope angle of the teeth spiral (cutting edge length) must be the greatest one out of all possible angles.

#### Fine-grained hard alloy metals

During hsc-machining the tools made of hard alloy metals are primarily used. When choose the alloy brand, it is necessary to pay attention not only to its hardness, but also to its flexural strength value, because the treatment is being performed with high impact frequency of cutting edge with a metal. The effect of vibration and temperature oscillations at high speeds makes the situation worse. The tool made of hard alloy metals with a larger flexural strength value is less subject to damages and cracks appearing as a result of the impact against metal or swarf.

The hard alloy metals with the fine-sized grains (less than 0.5  $\mu\text{m}$ ) have a good combination of sufficient hardness and flexural strength.

### Tool coating

The right coating significantly prolongs the tool life time providing the additional protection of hard alloy metal from the friction and high temperature. Commonly three types of coating are used:

1. Titanium aluminium nitride (TiAlN) is served as a great heat-insulating material during the treatment operations, which have high temperatures, including the operations without CTL (cutting tool lubricant). The distinctive features of this coating are:

- Resistance to the high temperature wear (fusing temperature of TiAlN is approximately 35% more than titanium nitride's);
- The effect of sliding, induced by the fact that the finishing coat is presented as aluminium oxide, which is solid and sliding at the same time. Aluminium oxide lubricates the hot swarf to prevent its sliding along the mill surface without heat transport and sticking, and protects the instrument from wear process. The low friction coefficient makes this coating effective for the treatment of graphite, pig iron and other abrasive materials.

2. Titanium carbo-nitride (TiCN) is a thick, multilayer coating which is used mainly for steel processing. There is a disadvantage of this type of coating – one cannot apply it repetitively. The tools once coated with TiCN, are further being protected with titanium nitride.

TiCN coating is inexpensive one, and applied for the part blanks with the hardness of less than 42 HRC, and cutting speed does not exceed 240 m/min. At these conditions of cutting, it is recommended to use the cutting-tool lubricant.

3. Titanium nitride (TiN) is a very cheap coating. Though it is impossible to apply it under the appropriate conditions for previous types of coating, it is the most multiple-purposed.