

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ) Отделение машиностроения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование обрабатываемости образцов полученных лазерным спеканием
УДК 621.914.1:[621.762.5:621.373.826]

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ01	Мухаммаджонов Ойбек Улугбек угли		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Арляпов А.Ю.	К.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.А.	Д.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О.А.	К.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении	Мартюшев Н.В.	К.т.н.		

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»
Отделение машиностроения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Мартюшев Н.В.
«__» _____ 2022 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ01	Мухаммаджонов Ойбек Улугбек угли

Тема работы:

Исследование обрабатываемости образцов полученных лазерным спеканием	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	105-12/с от 15.04.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2022
------------------------------------------	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Задачи:
1. Образец, нержавеющей стали 316L, полученный методом лазерного спекания. 2. Химический состав и физико-механические свойства композита.	1. Выполнить проверку обрабатываемости фрезерованием образцов из стали 316L, полученных методом SLM технологий: а) Выявить влияние скорости резания на износостойкость концевых фрез и силы фрезерования. б) Выявить влияние подачи на зуб фрезы, на износостойкость и силы фрезерования. 2. Сравнить силы резания, полученные расчетом по методике, приведенной в справочнике с измеренными силами резания, полученными в результате проведения экспериментов. 3. Сравнить режимы резания, рекомендуемые с оптимальными, полученными режимами из эксперимента.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор научно-технической литературы. 2. Выбор концевой фрезы с наиболее оптимальными геометрическими параметрами. 3. Определение оптимальных скорости резания; 4. Определение оптимального значения подачи на зуб; 5. Определение износа фрезы в зависимости от режимов резания; 6. Определение радиальной силы при фрезеровании; 7. Изучение обрабатываемости образца, полученного методом лазерного спекания;
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Демонстрационный материал (презентация в MS Power Point);
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Исследовательский	Арляпов Алексей Юрьевич
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов Магеррам Али оглы
Социальная ответственность	Антоневич Ольга Алексеевна
Обязательное приложение на английском языке	Сыскина Анна Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Введение 2. Литературный обзор 	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	25.12.2020
-------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Арляпов А.Ю.	к.т.н.		25.12.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ01	Мухаммаджонов Ойбек Улугбек угли		25.12.2020

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 103 с., 19 рис., 38 табл., 28 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: нержавеющая сталь 316L, фрезерование, селективное лазерное спекание, прямое лазерное спекание, обрабатываемость, режимы резания, ширина фрезерования, глубина фрезерования, износ, силы резания, стойкость инструмента.

Объект исследования – заготовка из нержавеющей стали 316L, полученная из порошка спеканием на 3d принтере.

Цель работы - исследование обрабатываемости фрезерованием образца из нержавеющей стали, полученного спеканием порошка на 3d принтере.

Степень внедрения: получен образец из нержавеющей стали, методом лазерного спекания, на котором проведены исследования по обрабатываемости фрезерованием.

Область применения: машиностроение, аддитивные технологии.

Экономическая эффективность может быть проанализирована после внедрения данного исследования в соответствующее производство.

Оглавление

Актуальность	7
1. Литературный обзор.....	8
1.1 Описание технологий SLM и DMLS получения изделий лазерным спеканием	8
1.1.1 Селективное лазерное спекание (SLM).....	8
1.1.2 Прямое лазерное спекание (DMLS).....	9
1.1.3 Сравнение технологий селективного и прямого спекания	11
1.2 Описание получения изделий методом проката.....	12
1.3 Анализ технологических возможностей получения изделий методом SLM и DMLS технологий	14
1.4 Результаты лазерного спекания образцов из нержавеющей стали технологией (SLM).....	20
1.4.1 Оборудование для исследования.....	20
1.4.2 Результаты лазерного спекания образцов из нержавеющей стали	24
1.5 Вывод об известных результатах исследований образцов из нержавеющей стали при использовании технологии (SLM)	27
1.6 Выводы по главе.....	28
2.Исследовательская часть	30
2.1 Методика проведения экспериментов.....	30
2.1.1 Получение образцов методом лазерного спекания	30
2.1.2 Исследования обрабатываемости образцов	32
2.2 Результаты и их обоснование	35
3 «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	44

3.1 Введение	45
3.2 Анализ конкурентных технических решений.....	46
3.3 SWOT-анализ.....	47
3.4 Планирование научно-исследовательских работ	49
3.5 Определение трудоемкости выполнения работ	50
3.6 Разработка графика проведения проектирования	51
3.7 Цели и результат исследования	54
3.8 Организационная структура проекта	55
3.9 Бюджет исследовательской работы.....	56
3.10 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности.....	61
3.11 Оценка сравнительной эффективности исследования	66
4 «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	70
4.1 Введение	72
4.2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	73
4.3 Производственная безопасность	75
4.4 Анализ выявленных вредных и опасных факторов	76
4.5. Экологическая безопасность.....	82
4.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	84
Заключение	85
Список литературы	87
ПРИЛОЖЕНИЕ А	91

Актуальность

Получение различных сплавов металлов, а также композитов с применением аддитивных технологий наиболее важная задача на сегодняшний день. Актуальность получения таких материалов заключается в том, что они имеют повышенные механические свойства: прочность, твердость, износостойкость и др. В настоящее время примерно 30 сплавов металлов производятся в порошковом виде, такие как инструментальные или нержавеющие стали, жаропрочные стали, а также алюминиевые сплавы.

Получение различных материалов приводит к появлению новых механических свойств сплавов, за счет того, что происходит изменение структуры материала [1].

При этом применяются методы аддитивных технологий, которые позволяют получать изделия из порошковых материалов.

Аддитивные технологии, а именно методы селективного и прямого лазерного спекания, являются эффективными с точки зрения технологических возможностей и коэффициента использования, есть возможность изготавливать детали сложной формы, представленные в [2]. Однако часть поверхностей деталей, полученных при помощи аддитивных технологий, не соответствует предъявляемым требованиям к поверхности. В связи с этим, необходима механическая обработка таких поверхностей. Чтобы выполнять эффективную механическую обработку поверхностей, полученных при помощи аддитивных технологий, необходимо задавать корректные режимы обработки, СОЖ, выбирать соответствующий инструмент. В настоящий момент сведения и рекомендации по выбору корректных режимов обработки, СОЖ, а также инструмента в литературе отсутствуют [2].

В связи с этим, проведение работы по исследованию обрабатываемости образцов из нержавеющей стали, полученных методом лазерного спекания и прокатом является актуальным.

1. Литературный обзор

1.1 Описание технологий SLM и DMLS получения изделий лазерным спеканием

Существуют различные технологии получения изделий лазерным спеканием, такие как селективное лазерное спекание и прямое лазерное спекание. Рассмотрим каждую из технологий более подробно.

1.1.1 Селективное лазерное спекание (SLM).

Метод селективного лазерного спекания (SLM), представленный на рисунке (Рис.1.1.1.1), осуществляется в специальной камере, которая наполнена инертным газом. Тонкий слой металлического порошка наносится на платформу затем происходит спекание лазером частиц порошка между собой по предварительно заданной на компьютере траектории, далее платформа перемещается на определенную заданную высоту и происходит последующее нанесение нового слоя металлического порошка, этот цикл повторяется до получения полного изделия.

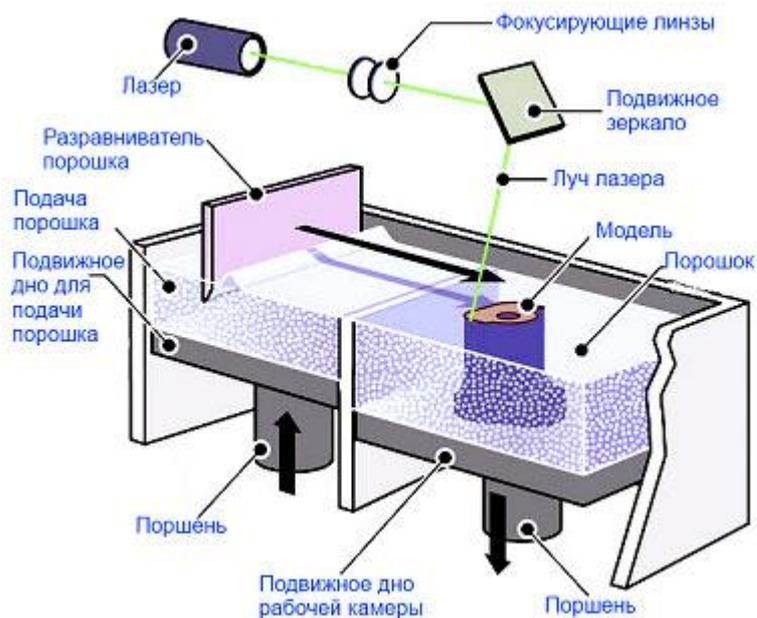


Рисунок 1.1.1.1. Метод селективного лазерного спекания (SLM).

При сканировании методом селективного лазерного спекания можно выбирать различные виды металлических порошков.

Металлические порошки, используемые в методе селективного лазерного спекания, имеют вид сыпучих материалов, с размерами не превосходящих диаметра в 1 мм, таким образом их можно классифицировать по диаметральному размеру [3]:

- низкодисперсные – $d < 0,002$ мкм;
- среднедисперсные – $d = 0,02-0,3$ мкм;
- высокодисперсные – $d = 0,4-11$ мкм;
- маленькие – $d = 5-35$ мкм;
- средние – $d = 35-300$ мкм;
- большие – $d = 350 - 1200$ мкм.

Метод селективного лазерного спекания эффективно применяется для изготовления различных изделий из металла, а также позволяет получать детали с более высокими механическими характеристиками, малыми остаточными напряжениями и деформациями, по отношению с уже известными методами получения деталей.

Основные преимущества метода селективного лазерного спекания (SLM) заключаются в уменьшении времени изготовления изделия, снижении затрат средств на изготовление и технологическую подготовку, повышение производительности за счет изготовления сразу нескольких изделий.

Метод селективного лазерного спекания имеет существенный недостаток, который заключается в том, что изделия, полученные этим методом, зачастую имеют высокую пористость, что не позволяет использовать такие изделия для решения любых конструктивных задач.

1.1.2 Прямое лазерное спекание (DMLS)

В методе прямого лазерного спекания (DMLS), представленного на рисунке (Рис.1.1.2.1) используется энергия лазера, которой достаточно для осуществления плавления различных мелкодисперсных частиц, а также частей плавления поверхностей гораздо более крупных частиц. Отсюда следует, что мелкодисперсная фракция является связующим элементом при

создании изделия, в свою очередь гораздо более крупные частицы фракции являются основой для структуры материала.

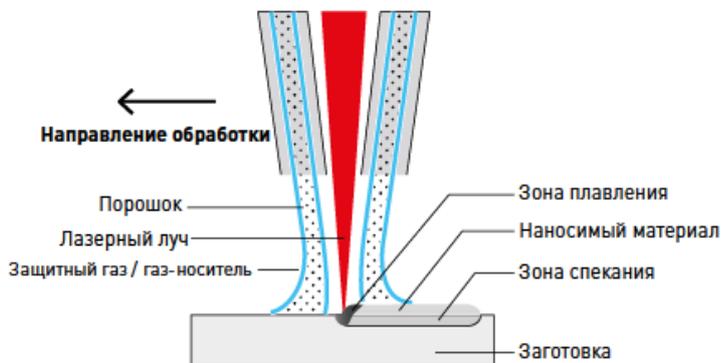


Рисунок 1.1.2.1 Метод прямого лазерного спекания (DMLS)

Можно сделать вывод, что при применении прямого лазерного спекания будут происходить два основных процесса твердофазное и жидкофазное спекание. Однако существует значительное отличие от классического жидкого спекания в механизме DMLS, при этом спекание частиц будет происходить локально, при быстрой кристаллизации жидкой фазы.

Существуют особенности, характеризующие метод прямого лазерного спекания:

- повышенный коэффициент применяемого металлического порошка;
- Изготавливаемая деталь должна иметь определенные ограниченные размеры, которые определяются возможностью фокусировки лазера.
- в процессе прямого лазерного спекания материал металлического порошка можно заменить, (например, такими как алюминий, нержавеющая сталь, титан, различные медные сплавы и другие) при этом формируются соответствующие градиентные свойства, получаемого изделия.
- производительность процесса при применении метода прямого лазерного спекания может достигать до 2-6 кг/час.

– размеры изготавливаемой детали также могут быть ограничены размерами камеры построения и достигают до 2,5 – 4 м [4, 5].

1.1.3 Сравнение технологий селективного и прямого спекания

В основном методы селективного и прямого лазерного спекания имеют схожие процессы реализации, однако метод (SLM) селективного лазерного спекания происходит посредством полного плавления частиц металлического порошка.

В процессе селективного (Рис.1.1.1.1) и прямого лазерного спекания (Рис.1.1.2.1) происходят различные физические явления, такие как рассеяние и поглощение лазерного излучения, выделение и передача теплоты, переход состояния фаз материала, смешивание жидкой фазы внутри расплавленной ванны, конденсирование материала и различные химические реакции. Процесс селективного лазерного спекания можно описать множеством параметров, например, параметрами обработки: мощность лазера, скорость сканирования, толщина сканированного слоя, интервал времени между нанесением линий сканирования, рабочая среда для сканирования, технологический процесс сканирования, температура в зоне нанесения металлического порошка. Все перечисленные параметры однозначно оказывают влияние на процесс изготовления изделия.

Принципиальная разница в реализации методов селективного и прямого лазерного спекания (Рис.1.1.1.1, 1.1.2.1) заключается в том, что при селективном лазерном спекании порошок, еще до процесса спекания, равномерно распределен выравнивающим роликом на подложке для спекания. В процессе спекания это позволяет исключить процесс сфероидизации расплавленной жидкой фазы и минимизировать пористость в изделиях.

В отличие от селективного лазерного спекания, реализация метода прямого лазерного спекания осуществляется путем подачи порошка в зону плавления (Рис. 1.1.2.1).

Также при метод селективного лазерного спекания осуществляется в специальной защитной камере заполненной инертным газом, а метод прямого лазерного спекания осуществляется на подложке, без специальной камеры, при этом инертный газ подается в зону плавления из сопла лазерной головки.

В этой связи использование метода селективного лазерного спекания (SLM) в промышленных целях на данный момент более актуально, так как при методе селективного лазерного спекания (SLM) вероятность образования сфероидизации расплавленной жидкой фазы и появления пористости – минимальна.

1.2 Описание получения изделий методом проката

Процесс непрерывного формообразования, путем передвижения обрабатываемой детали между вращающихся валков, которые имеют на поверхности по винтовой линии специальные ручьи называют прокатом (рис.1.2.1) [6].

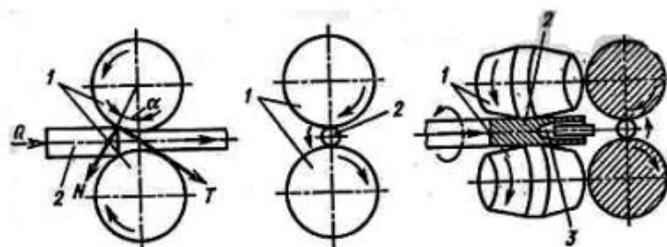


Рис. 1.2.1 Схема поперечно-винтовой прокатки

Существуют стандартные виды проката, которые могут быть классифицированы, как круглый прокат и листовой прокат [6].

Прокат круглый — это черный сортовой металлопрокат круглого сечения (в сокращенном варианте г/к), для изготовления которого используются легированные, конструкционные или углеродистые сплавы. Такой состав определяет высокую прочность, износостойкость и эластичность конечного изделия.

Листовой прокат — это продукт прокатки через станок различного вида и марок стального материала, в результате которой стальной заготовке придают нужную толщину, а конечное изделие выходит в виде листов. По типу производства прокат бывает холоднокатаный и горячекатаный.

Заготовки круглого и листового проката зачастую имеют большой припуск на механическую обработку, что снижает коэффициент использования таких материалов.

Сравнивая заготовки, полученные методом проката и заготовки, полученные методом лазерного спекания, можно сделать выводы:

- При получении заготовки методом лазерного спекания только определенный ряд поверхностей подвергается механической обработке, при этом поверхности, к которым не предъявляются особые требования, не нуждаются в механической обработке, так как уже получены в результате спекания.

- При использовании метода получения заготовки лазерным спеканием величина припуска на механическую обработку значительно меньше, чем величина припуска, снимаемого с заготовки, полученной методом проката.

- При использовании метода лазерного спекания можно получать сложные изделия, тонкостенные профили, которые сложно получить методом проката. При этом коэффициент использования материала, полученного методом лазерного спекания выше чем у материала, полученного прокатом. Коэффициент использования материала, полученного методом проката, рассчитываемый, как соотношение массы детали к массе заготовки, составляет 0,3.

1.3 Анализ технологических возможностей получения изделий методом SLM и DMLS технологий

В работе [7] представлены различные виды порошков для лазерного спекания, их основные свойства, показано большое разнообразие импортных порошков.

Также в работе [7] представлены механические характеристики образцов из материала EOS MaragingSteel MS1. Рассматриваемый материал, представляет собой стальной порошок с мелкими частицами, получаемый методом селективного лазерного спекания, а также характеризуется достаточно высокими механическими свойствами. В результате термической обработки данного материала твердость изделия может достигать 55 HRC. Остальные механические свойства представлены в таблице (табл.1.3.1).

Таблица 1.3.1 Механические свойства деталей, изготовленных методом лазерного спекания из материала EOS MaragingSteel MS1.

Механические свойства	Значения
Максимальная прочность, МПа	
- после спекания	1200 ± 50
- после обработки	1750 ± 50
Предел текучести, МПа	
- после спекания	900 ± 50
- после обработки	1800 ± 50
Относительное удлинение при разрыве, %	
- после спекания	7 ± 2
- после обработки	3 ± 1
Модуль упругости Юнга, ГПа	160 ± 30
Твердость, HRCЭ	
- после спекания	34-38
- после обработки	53-57
Пластичность, Дж	
- после спекания	48 ± 5
- после обработки	
Коэффициент теплопроводности, Вт /м °С	10 ± 5
- после спекания	14 ± 0.5
- после обработки	

В работе [7] сделаны выводы, что на данный момент доступен широкий выбор различных импортных металлических материалов, для

использования в целях изготовления изделий методом селективного лазерного спекания.

Основным недостатком для отечественных потребителей 3Д принтеров для селективного лазерного спекания является то, что такое оборудование имеет высокую стоимость, а также ограниченный список зарубежных металлических порошков, применяемых для конкретного оборудования. Для того, чтобы изменить материал необходима покупка нового оборудования, это влечет за собой большие финансовые затраты. Чтобы устранить данный недостаток необходимо обеспечить применение отечественных металлических порошковых материалов, однако также существует необходимость в проведении исследований в области обработки деталей, которые будут получены лазерным спеканием.

В рассматриваемой работе [7] отсутствует информация об обрабатываемости образцов материалов, полученных методом лазерного спекания. В связи с этим фактом, проведение исследований по обработке изделий, полученных методом лазерного спекания, является актуальным.

Рассмотрим работу [8], в которой исследуется шероховатость поверхности образцов из материала сплав ВТ20, полученных методом лазерного спекания, после обработки фрезерованием.

Проведение исследования в работе [8] можно описать так: при проведении каждого нового номера опыта, после того, как был выставлен и закреплен на рабочем столе динамометра исследуемый образец, был совершен калибровочный проход, который выполнялся на заданных режимах резания, всегда постоянных для всех рассматриваемых опытов. Режимы резания задавались следующие: $F = 0,1$ мм/зуб, $t = 0,1$ мм, $V = 80$ м/мин. Калибровочный проход выполнялся специально для того, чтобы выполнить одинаковые условия в процессе проведения опытов. Одинаковые условия, которых необходимо было достичь - шероховатость исходной поверхности ($Ra 0,3$ мкм), при вылете заготовки 4,0 мм.

В результате измерения составляющих силы резания F_x , F_y , F_z при помощи динамометра были построены графики зависимости сил резания от времени при обработке сплава ВТ20. Затем подбираются только зависимости составляющих силы резания, которые получаются отрицательными. Это обусловлено направлением расположения динамометра. В данной работе при расчетах учитывались лишь полученные значения сил резание, знак при расчетах не учитывался. При помощи специального программного обеспечения динамометрического стола было определено результирующее значение силы резания. В программном обеспечении динамометрического стола, при помощи масштабирования, был выбран участок зависимости, представленный для одного зуба фрезы, (т.е. такая часть времени, при которой в контакте с образцом находился лишь один зуб). Далее определялась площадь контакта, находящаяся под направлением результирующей силы резания для одного зуба фрезы. Затем определялось действительное значение силы резания, воздействовавшее на конкретный зуб фрезы. Таким образом представленный порядок действий повторялся для каждого заданного режима обработки резанием.

Рассматриваемое исследование было проведено в соответствии с планом проведения эксперимента, в котором были указаны режимы резания (фрезерования), шероховатость получаемой поверхности и производительность, в соответствии с таблицей (табл.1.3.2).

Таблица 1.3.2. План проведения эксперимента, режимы фрезерования, шероховатость и производительность.

№ опыта	t, мм	F, мм/зуб	V, м/мин	Ra, мкм	MRR, мм ³ /мин
1	0,2	0,05	60	0,15	400
2	0,3			0,17	1000
3	0,5			0,13	1600
4	1,0			0,15	2800
5	0,1	0,1		0,22	400
6	0,3			0,23	1900
7	0,5			0,18	3500
8	1,0			0,21	7000
9	0,1	0,2		0,28	1400
10	0,3			0,33	3800
11	0,5			0,26	7000
12	1,0			0,28	14000
13	0,1	0,05	80	0,21	500
14	0,3			0,12	1300
15	0,5			0,19	2500
16	1,0			0,18	5000
17	0,1	0,1		0,22	700
18	0,3			0,21	2200
19	0,5			0,26	4500
20	1,0			0,23	9000
21	0,1	0,2		0,22	1500
22	0,3			0,30	4400
23	0,5			0,22	9000
24	1,0			0,24	17000

В процессе проведения исследования влияния обработки резанием (фрезерованием) на шероховатость поверхности образцов, выполненных из титанового сплава BT20, которые были получены методом селективного лазерного спекания, в работе [8] были сделаны следующие выводы:

– в результате проведенного анализа действительного значения силы резания, для каждого опыта, можно сделать вывод, что при повышении интенсивности процесса обработки и увеличении роста температуры в зоне резания прочность материала снижается до 5%, при представленных режимах обработки (табл.1.3.2)

– полученная микроструктура сплава BT20 имеет вид мелкозернистой структуры, при этом в ней наблюдаются мартенситные образования;

– наилучшее качество поверхности (шероховатость) обработанного образца было при режимах фрезерования $V = 80$ м/мин, $t = 0,3$ мм, и $F = 0,05$ мм/зуб.

– в результате обработки фрезерованием микротвердость образца стала ниже, чем значение микротвердости до обработки.

На основании результатов работы [8], можно сказать, что обработка образцов, полученных методом лазерного спекания, проводилась в различных диапазонах режимов резания, однако нет информации о режущем инструменте, используемом при обработке, СОЖ и оборудовании.

Известны результаты лазерного спекания порошков NiTi-TiB₂. После лазерного спекания образцы имели следующие механические свойства табл.1.3.3.

Таблица 1.3.3 Физико-механические свойства образцов порошков NiTi-TiB₂, после лазерного спекания.

Физико-механические свойства	Значение
Плотность, МПа	8,3
Предел прочности при сжатии, МПа	1830
Предел прочности при растяжении, МПа	860
Предел прочности при изгибе, МПа	1320
Предел текучести при сжатии, МПа	990 - 1090
Предел текучести при растяжении, МПа	110 - 160
Модуль упругости, ГПа	290 - 330
Коэффициент Пуассона	0,29
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	12,5 - 13,6
Коэффициент линейного температурного расширения, К ⁻¹	11,3 - 12,4·10 ⁻⁶
Относительная деформация образца при сжатии	0,32
Относительная деформация образца при растяжении	0,11
Твердость (H _v), HRC	44 - 46

Известны результаты обрабатываемости фрезерованием композита NiTi-TiB₂, полученного спеканием порошка на 3d принтере представленные в

работе [2]. В статье исследовалось влияние соотношения глубины и ширины фрезерования.

Основываясь на результатах обрабатываемости композита NiTi-TiB₂ в работе [2], сделаны следующие выводы:

1. Для фрезерования представленного композита могут эффективно использоваться твердосплавные фрезы для обработки жаропрочных сталей и титановых сплавов. С геометрией $\gamma = 4^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\omega = 38^\circ$, $z = 4$.

2. Оптимальной для фрезерования скоростью резания является $V = 25$ м/мин.

3. Оптимальная подача на зуб равна $S_z = 0,04$ мм/зуб.

4. Оптимальной для работы является схема фрезерования, при которой значение глубины фрезерования во много раз больше ширины. Стойкость фрезы, работающей при отношении 1:16 при прочих равных режимах почти в 3 раза выше, чем при отношении 1:1 и в 2 раза выше, чем при отношении 1:4.

5. Основной износ идет по задней поверхности зуба фрезы.

6. До наступления критического износа силы резания при разных соотношениях глубины и ширины имеют одинаковые значения.

7. Выбор группы обрабатываемости исследуемого материала можно считать верным. Материал может обрабатываться фрезерованием при корректно выбранных режимах резания.

Авторы статьи [2], использовали справочник [4], где содержится информация, что при обработке нержавеющей сталей фрезерованием рекомендуется использовать инструмент из твердого сплава, производить обработку на малых скоростях резания около 12-20 м/мин с подачей на зуб 0,015 мм/зуб. При этом в литературе нет сведений о режимах обработки изделий, полученных аддитивным методом.

В литературе нет рекомендаций по выбору оптимального соотношения значений глубины и ширины фрезерования для обработки изделий, полученных аддитивными методами. Однако существует метод

высокоэффективной обработки фрезерованием, такой как High Efficiency Milling, НЕМ. Рассматриваемый метод применяется для черновой обработки поверхностей изделий из металлов с настроенной малой глубиной фрезерования (t) и большим значением ширины фрезерования (B).

В традиционном фрезеровании обычно настраивают минимальную ширину фрезерования (B) и высокое значение глубины фрезерования t . При этом происходит большое выделение тепла, что повышает скорость износа инструмента.

Оптимальные режимы обработки, представленные в работе [2], можно рассматривать в качестве вариантов экспериментальных режимов для проводимого исследования. Также в работе [2] образцы получают методом прямого лазерного спекания, что могло привести к образованию пористости получаемого образца и сфероидизации жидкой фазы. Авторы статьи [2] не исследовали обрабатываемость образца, полученного методом селективного лазерного спекания (SLM).

1.4 Результаты лазерного спекания образцов из нержавеющей стали технологией (SLM)

Известны исследования поверхностей образцов полученных селективным спеканием из нержавеющей стали 316L [9]. Рассмотрим исследования и результаты исследования использования технологии (SLM) более подробно.

1.4.1 Оборудование для исследования

Лазерное плавление порошка в работе [9] было выполнено при помощи 3D принтера по металлу DMG MORI Lasertec 12/30 SLM (рис.1.4.1.1; рис.1.4.1.2). В таблицах [табл. 1.4.1.1-1.4.1.3] представлены технические характеристики (DMG MORI Lasertec 12/30 SLM), химический состав материала и механические свойства материала, заявленные производителем DMG MORI.

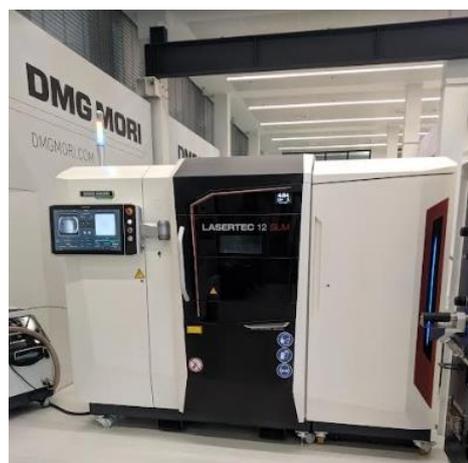


Рисунок 1.4.1.1 - Общий вид 3D принтера по металлу DMG MORI Lasertec 12/30 SLM

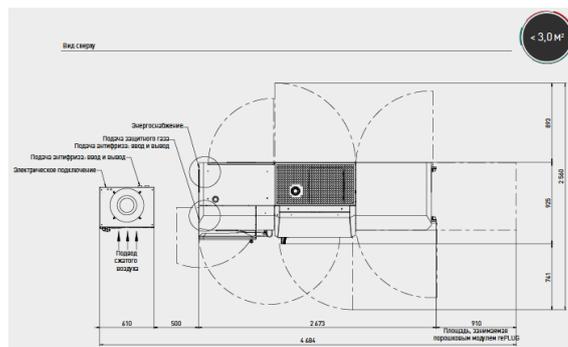
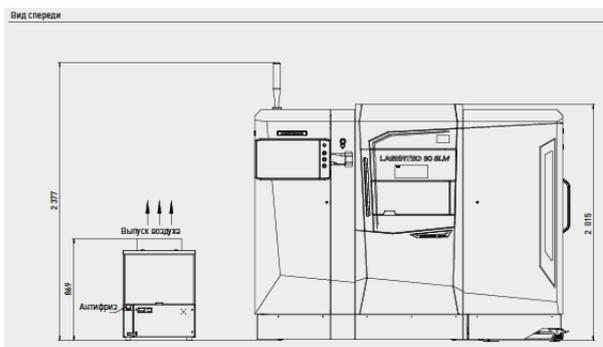


Рис. 1.4.1.2 - Схема 3D принтера по металлу DMG MORI Lasertec 12/30 SLM.

3D принтер по металлу DMG MORI Lasertec 12/30 SLM использует принцип метода послойного нанесения материала, представленный на рисунке (Рис. 1.1.3.1, А).

Технические характеристики 3D принтера по металлу DMG MORI Lasertec 12/30 SLM представлена в таблице (табл. 1.4.1.1). Химический состав материала порошка, который может использоваться при плавлении лазером представлен в таблице (табл. 1.4.1.2). Получаемые механические свойства после спекания (табл. 1.4.1.3).

Таблица 1.4.1.1 Технические характеристики

		LASERTEC 30 SLM 2-го поколения	LASERTEC 12 SLM
Соединения			
Электрическое подключение			
Сеть		(3 N / PE)	(3N / PE)
Номинальное напряжение	В	400 В / 230 В ± 10 %	400 В / 230 В ± 10 %
Частота	Гц	50 - 60	50 - 60
Потребляемая мощность	кВА	17,3	17,3
Требуемый сетевой предохранитель	А	32	32
Требуемая мощность короткого замыкания	кВА	250	250
Подключение защитного газа			
Защитный газ		Аргон	Аргон
Степень чистоты		4,6 или выше	4,6 или выше
Минимальный расход на один объект (поток и большая деталь)	л	1 000	1 000
Средний расход	л/ч	72	72
Мин. Давление	бар	6	6
Подключение газа		Штекерный разъем D 10 мм	Штекерный разъем D 10 мм
Сетевое подключение			
Тип соединения		RJ-45	RJ-45
Данные конструкции			
Объем детали (X x Y x Z)	мм	300 x 300 x 300	125 x 125 x 200
Толщина слоя	мкм	20 - 100	20 - 100
Фокусный диаметр	мкм	мин. 70	мин. 35
Тип лазера		Волоконный лазер	Волоконный лазер
Мощность лазера (в зависимости от исполнения)	Вт	600 - 1 000	200 - 400

Продолжение таблицы 1.4.1.1

Материал	Инструментальная сталь, нержавеющая	Инструментальная сталь, нержавеющая	
	сталь, сплавы с кобальтом и хромом,	сталь, сплавы с кобальтом и хромом,	
	титан, алюминий	титан, алюминий	
Программное обеспечение	CELOS / RDesigner	CELOS / RDesigner	
Встроенная вытяжка порошка	Да (в порошковом модуле <i>rePLUG</i>)	Да (в порошковом модуле <i>rePLUG</i>)	
Встроенная фильтрация порошка	Да (в порошковом модуле <i>rePLUG</i>)	Да (в порошковом модуле <i>rePLUG</i>)	
Вес станка			
Станок	кг	1 200	1 200
Порошковый модуль <i>rePLUG</i> (без порошка)	кг	540	540

Таблица 1.4.1.2 Химический состав материала

Элемент	Содержание, %
Cr	16,5 - 18,5
Ni	10,0 - 13,0
Mo	2,0 - 2,5
Mn	0 - 2,0
Si	0 - 1,0
P	0 - 0,045
C	0 - 0,030
S	0 - 0,030
Fe	Остаток

Таблица 1.4.1.3 Механические свойства

Размер	Единица измерения	316L
Предел текучести [Rp0,2]	МПа	390
Прочность на растяжение [Rm]	МПа	563
Удлинение при разрушении [A]	%	36,6
Ударная вязкость образца с надрезом [Дж]	Дж	105

Фазово-структурное состояние стали после лазерной плавки исследовалось методами рентгendifракционного анализа, а также растровой электронной микроскопии.

1.4.2 Результаты лазерного спекания образцов из нержавеющей стали

Микроструктура образца показана на рисунке (рис. 1.4.2.1). При сплавлении гранул порошкового материала лазерный луч движется относительно плоскости слоя и сплавляет предварительно распределенный по подложке дозатора порошковый материал [9]. В результате образуются дорожки. Сечения дорожек, сплавленных лазером, хорошо видны на рисунке (рис. 1.4.2.1 а, б).

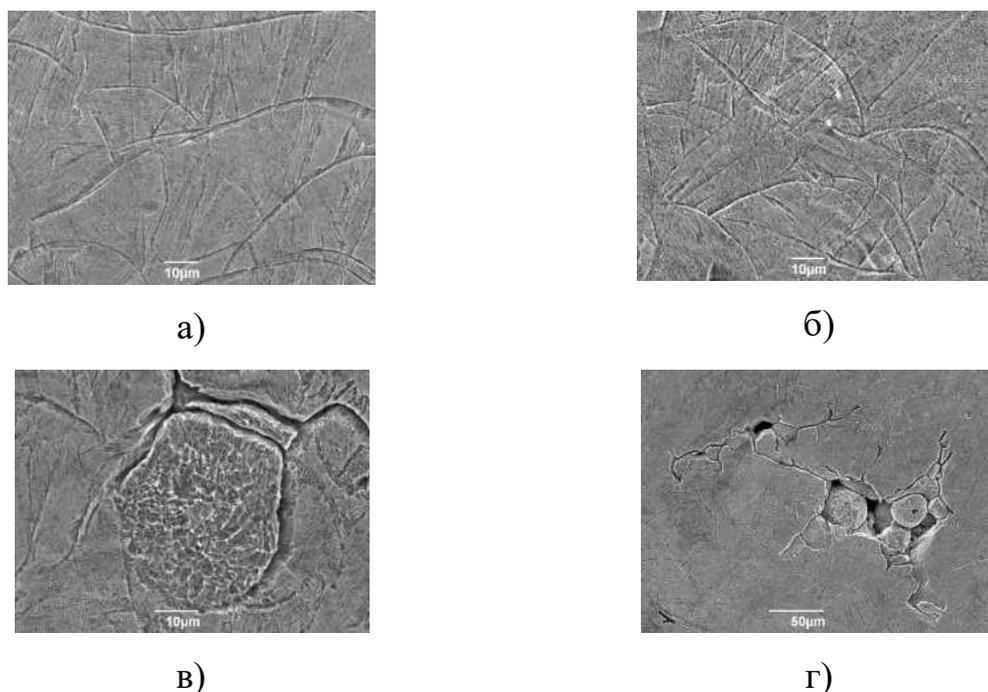


Рис. 1.4.2.1 - Микроструктура полученных образцов

На рисунке (рис. 1.4.2.1 в, г) видно, что зерна обладают очень тонкой клеточно-дендритной субструктурой. Эта субструктура образована за счет быстрого охлаждения расплава и характерна для обработанных лазером аустенитных сталей. Рост зерна является направленным, но вместо дендритов наблюдаются ячеистые структуры. Направленность роста зерен приводит к анизотропии свойств материала, используемого при печати. Анизотропные свойства достигаются за счет изменения направления печати.

Изменение характерного размера микроструктуры, связанное с условиями охлаждения изучено в работе [9].

Результаты фазового рентгеновского анализа показаны на рисунке (рис. 1.4.2.2). Пики на дифрактограмме соответствуют гранцентрированной кубической фазе, т.е. после лазерного плавления сталь находится в аустенитном состоянии.

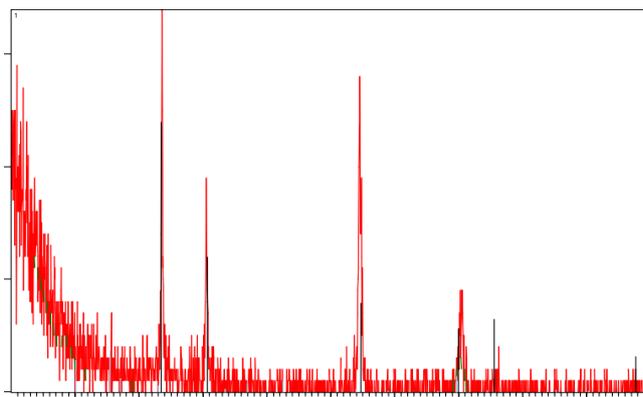


Рисунок 1.4.2.2 - Дифрактограмма стали 316L, полученной методом селективного лазерного плавления

На рисунке (рис. 1.4.2.3) показана структура, характерная для объектов, полученных методом лазерной плавки порошковых материалов. А именно, в структуре имеются ямы, внутри которых наблюдаются капли диаметром порядка 0,5 мкм.

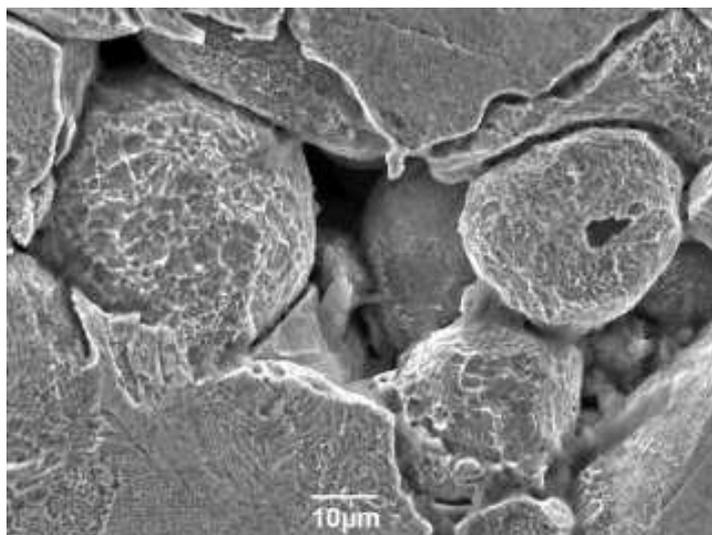


Рисунок 1.4.2.3 - Сфероидизация стали 316L при лазерном плавлении

Сфероидизация (Рис.1.4.2.3) происходит из-за температурных градиентов и капиллярной неустойчивости материала при производстве. Причиной этого является поверхностное натяжение, при котором расплав стремится уменьшить энергию свободной поверхности путем формирования формы с минимальной площадью поверхности, т.е. сферы. В этом случае эффект Марангони наблюдается в зоне плавления, что приводит к конвекционным токам из-за градиента поверхностного натяжения в зависимости от температуры, и, если конвективные потоки достаточно сильны, расплавленная полоса делится на капли. Кроме того, капля расплава под действием поверхностного натяжения притягивает к себе соседние частицы порошка, что приводит к образованию ямы вокруг капли и, в конечном счете, к увеличению пористости [9].

1.5 Вывод об известных результатах исследований образцов из нержавеющей стали при использовании технологии (SLM)

По результатам рассмотренного исследования [9], можно сделать вывод, что селективное лазерное плавление является эффективным методом формирования из порошковых материалов качественных изделий, характеризующихся довольно высокой степенью однородности структуры.

Однако, следует отметить, что формирование качественной полосы расплава связано с поиском оптимальной зоны параметров процесса (мощность лазерного излучения и скорость сканирования). Когда лазерное излучение применяется к частицам, трудно управлять быстрыми процессами нагрева, плавления и объединения частиц порошка в месте расположения лазерного луча. Лазерное плавление порошка часто сопровождается сфероидизацией, когда в зоне пучка частицы порошка могут плавиться и объединяться в твердую жидкую массу.

Вязкость и поверхностное натяжение являются ключевыми факторами в процессе сфероидизации. Увеличение мощности лазера и скорости сканирования могут снизить тенденцию к сфероидизации, но чрезмерная мощность лазера и скорость сканирования будут влиять на точность размеров продукта, так как из-за чрезмерного нагрева порошка будет плавиться область за пределами лазерного пятна.

1.6 Выводы по главе

В результате проведения литературного обзора, можно сделать вывод, что метод лазерного спекания позволяет [1-8]:

- Повысить механические свойства материала;
- Получить материал детали с анизотропными свойствами;
- Возможность получения поверхности детали заданной шероховатостью;
- Сократить технологический цикл изготовления формообразующего инструмента и других деталей;
- Получить плотную, однородную структуру.

На основании рассмотренной [1-8] литературы можно сделать вывод, что исследования по обрабатываемости образцов нержавеющей стали полученных методом лазерного спекания и прокатом не проводились. Проводились исследования обрабатываемости различных сплавов, в результате которых, были получены режимы резания, однако информация про обрабатываемость образцов из нержавеющей стали, полученных методом лазерного спекания все еще отсутствует. В связи с этим отсутствуют: значения оптимальных режимов резания, для обработки деталей из нержавеющей стали, полученных методом лазерного спекания; информация об инструменте, для обработки таких образцов; СОЖ.

Свойство металлов подвергаться механической обработке называют – обрабатываемостью. В соответствии с [3] для оценки такого свойства применяются параметры, такие как силы резания, шероховатость поверхностного слоя изделия, степень износа инструмента, выделяющаяся теплота в процессе резания, размеры, вид и форма стружки, при обработке, а также степень склонности к наростообразованию.

По сравнительной обрабатываемости резанием, материал «нержавеющая сталь» следует отнести к IV группе обрабатываемости – ниже средней обрабатываемости. Согласно [3], к этой группе относятся высоколегированные нержавеющие конструкционные стали мартенситного,

мартенситно-ферритного, аустенитно-мартенситного классов, твердые чугуны. Указанная группа, в сравнении со сталью 45, обладает значительно низкой обрабатываемостью с коэффициентом от 0,25-0,50 (для стали 45 этот коэффициент равен 1).

Особенность проводимых исследований с образцами из нержавеющей стали полученных методом лазерного спекания заключается в том, что механические свойства этих образцов достаточно высокие. В литературе нет сведений по обработке образцов из нержавеющей стали полученных методом лазерного спекания.

Из анализа литературы следует, что исследование обрабатываемости образцов из нержавеющей стали, полученных аддитивными методами, не проводилось, в связи с этим актуально проведение данной работы.

Цель работы:

Целью данной работы является исследование обрабатываемости образцов нержавеющей стали полученных методом лазерного спекания. В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить проверку обрабатываемости фрезерованием образцов из стали 316L, полученных методом SLM технологий:

а) Выявить влияние скорости резания на износостойкость концевых фрез и силы фрезерования.

б) Выявить влияние подачи на зуб фрезы, на износостойкость и силы фрезерования.

2. Сравнить силы резания, полученные расчетом по методике, приведенной в справочнике [14] с измеренными силами резания, полученными в результате проведения экспериментов.

3. Сравнить режимы резания, рекомендуемые из [11,12,13], с оптимальными, полученными режимами из эксперимента.

2. Исследовательская часть

2.1 Методика проведения экспериментов

Методика проведения экспериментов осуществляется в два этапа: получение образцов методом лазерного спекания и проведение исследования обрабатываемости образцов полученных лазерным спеканием.

2.1.1 Получение образцов методом лазерного спекания

Образцы из нержавеющей стали марки 316L, с которыми проводилось исследование обрабатываемости, были получены методом селективного лазерного спекания (SLM) на специальном оборудовании – 3D принтер по металлу DMG MORI Lasertec 12/30 SLM (рис. 1.4.1.1; рис. 1.4.1.2), такой же применялся для получения образцов методом селективного лазерного спекания в работе [9].

3D принтер по металлу DMG MORI Lasertec 12/30 SLM использует принцип метода послойного нанесения материала, представленный на рисунке (Рис. 1.1.3.1).

Сканирование образца происходило следующим образом: в соответствии с заданным контуром заготовки происходит перемещение лазера 3D принтера и спекание лазером металлического порошка, расположенного в зоне спекания (Рис. 2.1.1.3).

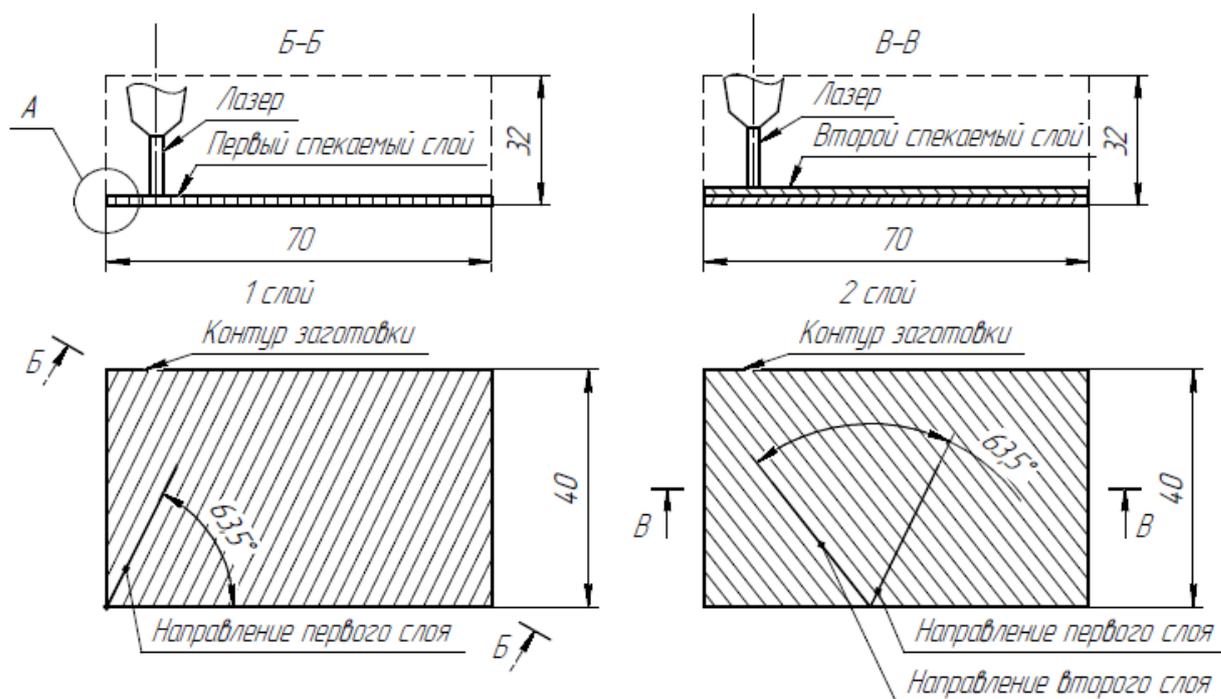


Рис.2.1.1.3 Процесс лазерного спекания

Перемещение лазера 3Д принтера происходило под углом $63,5^\circ$, при этом после каждого сканированного слоя направление лазера изменялось, осуществлялся поворот на $63,5^\circ$, относительно предыдущего направления, и процесс сканирования повторялся до получения заданных размеров заготовки, как это показано на рисунке (рис. 2.1.1.3).

Толщина сканированного слоя вдоль направления движения лазера подробно рассмотрена на рисунке (рис. 2.1.1.4). Толщина одного сканированного слоя составляла внутри контура образца $0,025$ мм, а контур толщиной $0,06$ до $0,1$ мм, измеренный в перпендикулярном направлении имел другую структуру из-за других режимов спекания (скорость сканирования и мощность лазера).

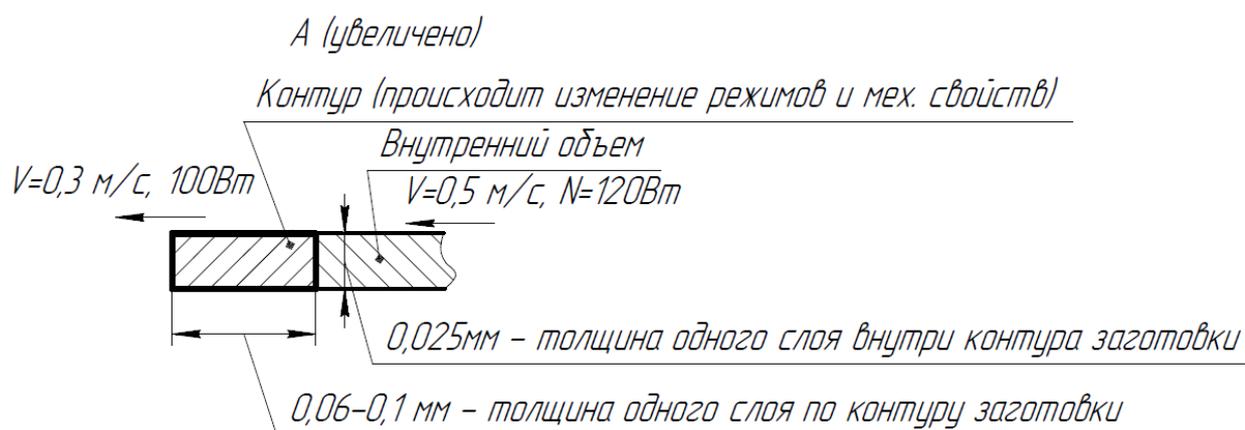


Рис.2.1.1.4 Толщина сканированного слоя.

В процессе сканирования (Рис. 2.1.1.3) были заданы определенные режимы сканирования, причем внутри контура заготовки (обозначено штриховкой) режимы были следующие: мощность лазера 120 Вт, скорость сканирования 0,5 м/с. При приближении к контуру происходит уменьшение режимов сканирования лазером, в среднем мощность лазера становится 100 Вт, скорость сканирования 0,3 м/с, затем режимы уменьшаются до нуля. Это позволяет обеспечить изменение направления сканирования лазера на следующие $63,5^\circ$, а также происходит изменение условий спекания и механических свойств контурного слоя.

2.1.2 Исследования обрабатываемости образцов

Все работы выполнялись на вертикально-фрезерном обрабатывающем центре с ЧПУ модели VF1 фирмы «Haas» (США). Обработку производили по схеме попутного фрезерования. В качестве инструмента использовали цельно- твердосплавные концевые фрезы $\varnothing 6$ мм модели У609-15-58 производства компании «ПК МИОН» (Россия), предназначенные для обработки различных сталей (нержавеющей стали марки 316L). Основные геометрические параметры этой фрезы имеют следующие значения: передний угол $\gamma = 8^\circ$, задний угол $\alpha = 10^\circ$, угол наклона винтовой линии зуба $\omega = 38^\circ$, число зубьев $z = 4$.

Таблица 2.1.2.1 Режимы резания для обработки нержавеющей стали из каталогов [11,12,13]

Каталог	Режимы выбранные из каталога для обработки нержавеющей стали	
	Подача, S_z мм/зуб	Скорость резания, V , мм/с
“Iscar” [11], ECO60A16-4CO6	0,05	60
Garant [12], Master INOX M SlotMachine 20 5448	0,03	60
“Sandvik Coromant” [13], 2F340-0400-050-SC 1745	0,052	82

Исходя из рекомендаций по режимам обработки нержавеющей стали марки 316L для фрезы У609-15-58 и анализа литературы (Табл.2.1.2.1) [11,12,13] для экспериментов по сравнению подачи на зуб S_z были выбраны, равные $S_z = 0,02$ мм/зуб, $S_z = 0,04$ мм/зуб, $S_z = 0,06$ мм/зуб. Фрезы закреплялись в цанговом патроне с одинаковым вылетом, величина которого составляла $20 \pm 0,5$ мм. При этом для качественной и количественной оценки результатов экспериментов измеряли износ фрез и силы резания.

Износ инструмента оценивали по фаске износа на задней поверхности. Фаску износа измеряли на микроскопе УИМ 21 на каждом зубе фрезы. Силы резания определяли с помощью динамометра *Kistler 9257B* (Швейцария). Измерения проводились в трех взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 2.1.1). Для оценки результатов использовалась суммарная

сила $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$, действующая в плоскости перпендикулярной оси фрезы. Динамометр, установленный на специальную плиту, закреплялся в станочных тисках. Перед началом экспериментов заготовка, с помощью двух

болтов крепилась к переходной плите, которая была закреплена при помощи четырех болтовых соединений к динамометру *Kistler 9257B* (рис. 2.1.2.1).



Рис. 2.1.2.1. Заготовка, установленная на динамометре *Kistler 9257B* (Швейцария).

Для решения задачи по выбору скорости резания выполняли обработку на трех скоростях резания: $V_1 = 60$ м/мин; $V_2 = 100$ м/мин, $V_3 = 120$ м/мин. При этом подача на зуб, глубина и ширина фрезерования оставались постоянными: $S_z = 0,04$; $B = 6,5$; $t = 0,4$. Через одинаковые промежутки времени измерялся износ фрез.

Схема резания представлена для всех проводимых экспериментов в данной работе на рис. 2.1.2.2.

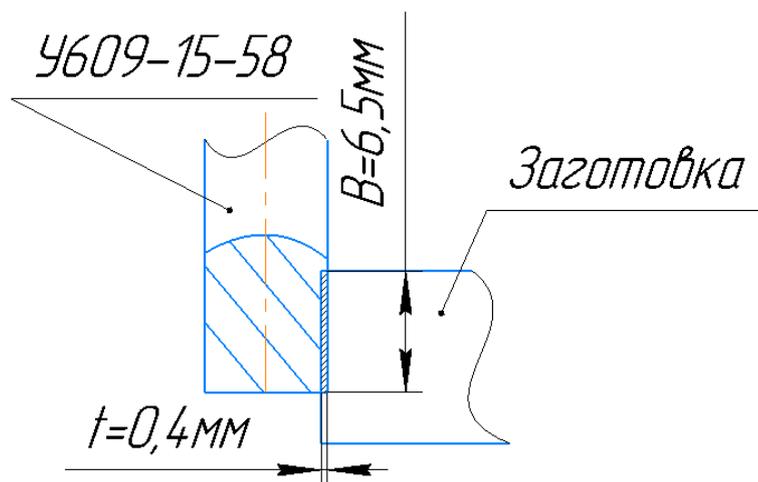


Рис 2.1.2.2. Схема фрезерования

Для сравнения влияния скоростей резания при заданном режиме $S_z = 0,04$ мм/зуб были заданы скорости резания $V_1 = 60$ м/мин; $V_2 = 100$ м/мин; $V_3 = 120$ м/мин.

Для сравнения влияния режима резания – подачи на зуб, были выбраны три варианта $S_z = 0,02$ мм/зуб, $S_z = 0,04$ мм/зуб, $S_z = 0,06$ мм/зуб при одинаковой скорости 120 м/мин и отношении t/V , как $1/16$, а именно $0,4$ мм/ $6,5$ мм (Рис 2.1.2.2.).

Для сбора и анализа данных использовалось программное обеспечение DynoWare (Kistler, Швейцария). Обработка всех полученных данных выполнялась в программе Microsoft Excel.

2.2 Результаты и их обоснование

На рис. 2.2.3 показаны зависимости величины износа по фаске на задней поверхности зуба от времени работы фрезы для скоростей резания 60, 100 и 120 м/мин. Из графика видно, что фреза, работающая на скоростях резания 60 м/мин и 100 м/мин, испытала наименьший износ на исследуемом промежутке времени. Так, на 8-й минуте работы фаска износа по задней поверхности достигла значения $0,042$ мм при $V_1 = 60$ м/мин; и $0,062$ мм при $V_2 = 100$ м/мин. Фреза, работающая при скорости $V = 120$ м/мин, имеет

наибольший износ, так как величина фаски становится равной 0,071 мм к 8 минуте.

Исходя из графика (рис. 2.2.4), видно, что высокий рост сил в исследуемом промежутке времени вызван износом фрез. Фреза, работающая на скорости $V = 120$ м/мин демонстрирует наиболее интенсивный рост сил во всем исследуемом диапазоне. Для фрезы, работающей на скоростях 60 м/мин и 100 м/мин, рост сил резания с течением времени также коррелирует с величиной износа, но является менее интенсивным, чем при резании со скоростью 120 м/мин. Таким образом, исходя из рисунка (рис. 2.2.4), становится видно, что на всех скоростях со временем увеличивается сила, но в целом, между скоростями износ не значительный, поэтому влияние скорости на силу не наблюдается.

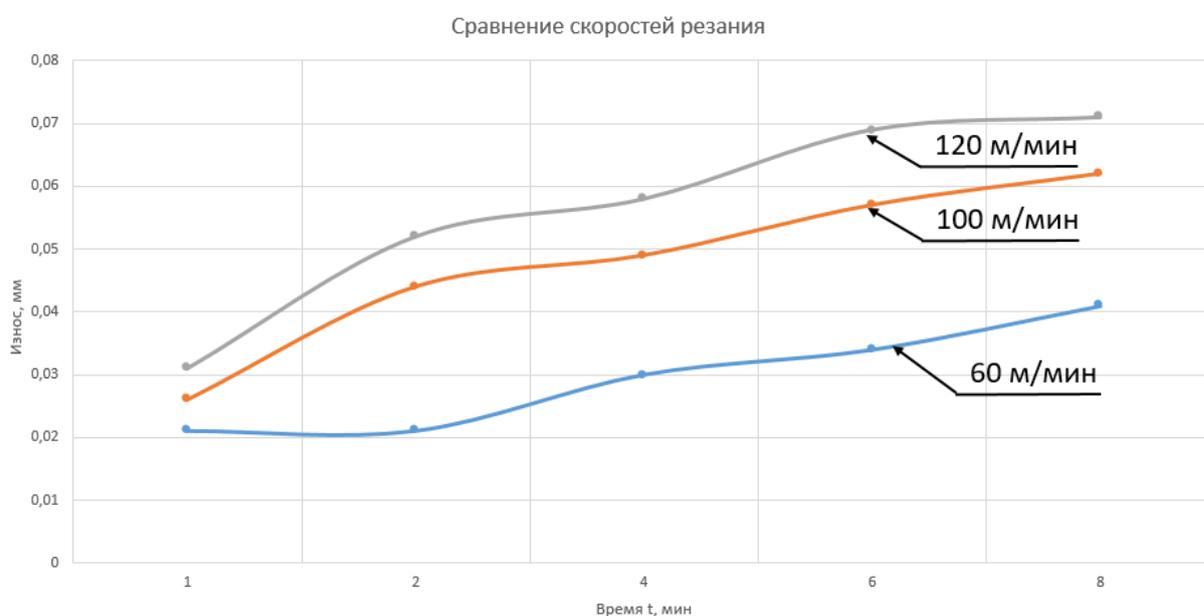


Рис. 2.2.3. График сравнения скоростей резания по износу фрезы при заданных $t=0,4$ мм, $B=6,5$ мм, $S=0,04$ мм/зуб.

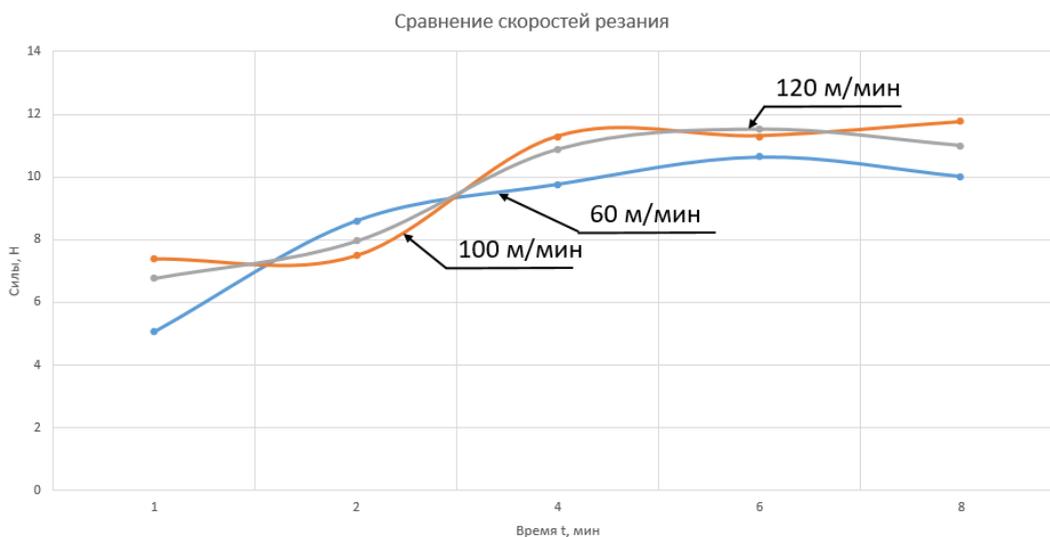


Рис. 2.2.4. График сравнения скоростей резания фрезы по силам при заданных $t=0,4$ мм, $B=6,5$ мм, $S=0,04$ мм/зуб.

На рисунках 2.2.5 и 2.2.6 продемонстрированы графики значения подач по износу и силам. При этом режим резания – скорость резания был 120 м/мин, отношение глубины резания к ширине резания t/B , как 1/16, а именно 0,4 мм/6,5 мм. Чтобы выявить влияние подачи на износ, была выбрана наибольшая скорость резания, так как большого значения износа при более низких скоростях не наблюдается.

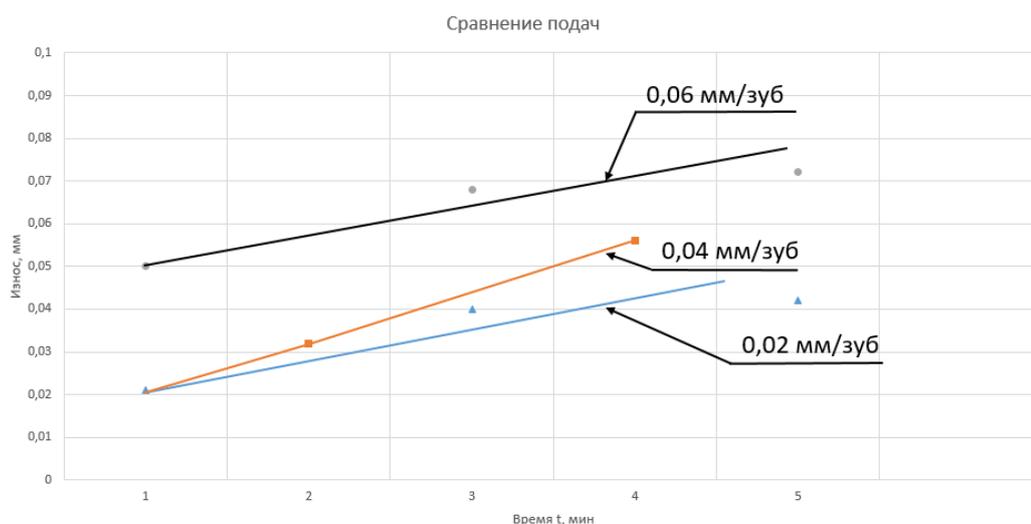


Рис.2.2.5. График сравнения подач по износу при $V=120$ м/мин, $t=0,4$ мм, $B=6,5$ мм

Из графика (Рис.2.2.5) видно, что в момент времени 4 минуты при разных подачах наблюдается увеличение износа. При подаче 0,02 мм/зуб значение износа составило 0,043 мм; при подаче 0,04 мм/зуб значение износа составило 0,057 мм; при подаче 0,06 мм/зуб значение износа составило 0,071 мм/зуб. Отсюда следует, что при увеличении подачи в 2 раза, значение износа увеличивается в 1,3 раза. Отсюда можно сделать вывод, что подача не существенно влияет на значение износа.

При этом угол наклона линии тренда для всех подач одинаковый, однако для подачи 0,04 мм/зуб угол линии тренда отличается, это обусловлено тем, что необходимо увеличить количество точек для значения подачи 0,04 мм/зуб, в таком случае угол наклона линии тренда будет совпадать с уже рассмотренными.

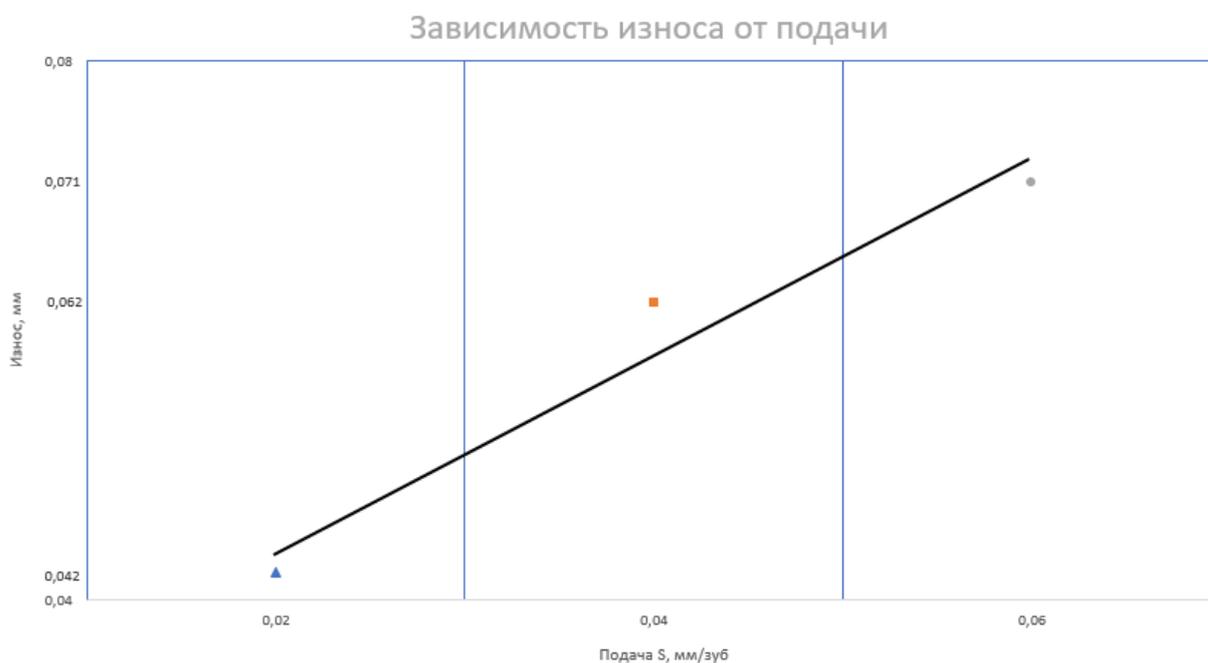


Рис. 2.2.6 Зависимость износа от подачи.

Для построения графика (Рис. 2.2.6) были использованы максимальные значения износа, полученные в результате экспериментов из графика (Рис. 2.2.3), а именно при подачах:

- $S_z = 0,02$ мм/зуб, значение износа составило 0,042 мм;
- $S_z = 0,04$ мм/зуб, значение износа составило 0,062 мм;
- $S_z = 0,06$ мм/зуб значение износа составило 0,071 мм;

На основании полученной зависимости максимального значения износа от подачи, становится видно, что при увеличении подачи в 3 раза, максимальный износ увеличился на 40%.

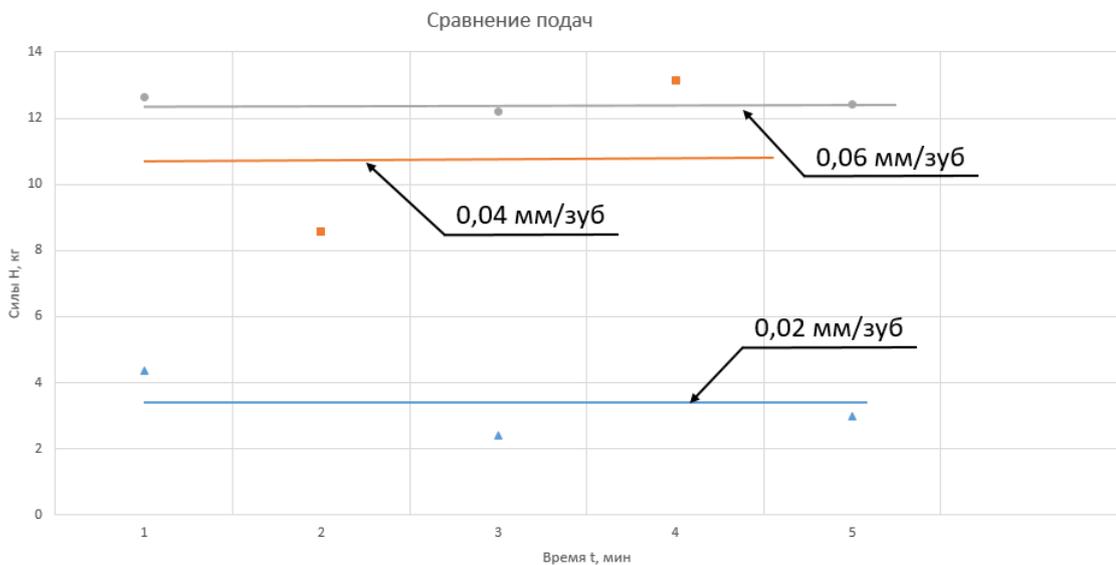


Рис.2.2.7. График сравнения подач по силам при $V=120$ м/мин, $t=0,4$ мм, $B=6,5$ мм

Из графика (Рис.2.2.7) видно, что при увеличении значения подачи радиальная сила увеличивается. Это обусловлено тем, что с увеличением подачи на зуб растет объем удаляемого материала, то есть увеличивается нагрузка.

Для определения среднего значения силы в программе Excel при каждом значении подачи была выбрана горизонтальная линия среднего значения, при этом среднее значение силы составило:

- 32,5 Н при подаче 0,02 мм/зуб
- 108,2 Н при подаче 0,04 мм/зуб

- 125,6 Н при подаче 0,06 мм/зуб

Также, видно, что с начала и до конца проведения эксперимента начальное значение силы с течением времени не изменялось. Такой вывод сделан на основании значений силы, полученных для подач со значением 0,02 мм/зуб и 0,06 мм/зуб. При заданной подаче 0,04 мм/зуб видно, что между точками имеется большое вертикальное расстояние, это обусловлено тем, что необходимо построить больше точек для подачи 0,04 мм/зуб, с целью удостовериться в том, что значение силы на протяжении всего времени проведения эксперимента не меняется.

Сравним полученные из эксперимента значения сил со значениями сил, полученными из расчета, приведенными в справочнике [14].

Главная составляющая силы резания при фрезеровании зависимость (1) — окружная сила, Н:

$$P_Z = \frac{10 * C_p * t^x * S_z^y * B^u * z}{D^q * n^w} * K_{mp} \quad (1) \quad [14]$$

Для фрезы из твердого сплава:

$$P_Z = \frac{10 * 282 * 0,4^{0,92} * 0,04^{0,78} * 6,5^{1,0} * 4}{6^{1,15} * 6369^0} * 0,9 = 293,8 \text{ Н}$$

z — число зубьев фрезы; n — частота вращения фрезы, об/мин.

Значения коэффициента C_p и показателей степени приведены в табл.2.2.1; [14]

Поскольку в справочнике [14] значения коэффициентов приведены только для стали марки 12Х18Н9Т, обладающей свойствами близкими со свойствами стали марки 316L, то при расчете будем использовать значения для этого материала.

Таблица 2.2.1. Значения коэффициента C_p и показателей степени в формуле окружной силы P_z при фрезеровании

Фрезы	Материал режущей части инструмента	Коэффициент и показатели степени					
		C_p	x	y	u	q	w
<i>Обработка жаропрочной стали 12X18H9T в состоянии поставки, HB 141</i>							
Торцовые	Твердый сплав	218	0,92	0,78	1,0	1,15	0
Концевые	Быстрорежущая сталь	82	0,75	0,6	1,0	0,86	0

Поправочный коэффициент K_{tr} для стали и чугуна, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые зависимости — в табл. 2.2.2, [14]

Таблица 2.2.2. Значения коэффициента K_{tr}

Обрабатываемый материал	Расчетная формула	Показатель степени n при определении		
		составляющей P_z силы резания при обработке резцами	крутящего момента M и осевой силы P_o при сверлении, рассверлении и зенкерование	окружной силы резания P_z при фрезеровании
Конструкционная углеродистая и легированная сталь σ_b , МПа	$K_{tr} = \left(\frac{\sigma}{750}\right)^n$			
≤ 600		0,75/0,35	0,75/0,75	0,3/0,3
> 600		0,75/0,75	0,75/0,75	0,3/0,3

$$K_{tr} = \left(\frac{\sigma}{750}\right)^n = \left(\frac{550}{750}\right)^{0,3} = (0,73)^{0,3} = 0,9$$

Значения режимов резания, приведенные в таблице (Табл. 2.2.3), использовались при проведении экспериментов.

Таблица 2.2.3 Режимы, заданные при исследовании

Sz, мм/зуб	B, мм	t, мм	z	v, м/мин	D мм
0.04	6,5	0,4	4	120	6

Представлять расчеты при других скоростях нецелесообразно, поскольку в зависимости (1) [14], значение скорости имеет степень $w=0$, при этом получается одно и то же значение, равное 1. Соответственно значение силы при расчете по справочнику [14] при любой скорости будет одинаковым.

$$v = \frac{\pi * D * n}{1000} [14]$$

$$n = \frac{1000 * v}{\pi * D} = \frac{1000 * 120}{3.14 * 6} = 6369 \left(\frac{\text{об}}{\text{мин}}\right)$$

На основании проведенных расчетов зависимости (1), значение силы составило $Pz = 293,8$ Н. При подаче $Sz=0,04$ мм/зуб. В результате проведения экспериментов, значение силы Pz , при той же подаче составило 108,2 Н. Таким образом расчетное значение силы Pz в 3 раза превосходит полученное экспериментальное значение силы Pz . Отсюда можно сделать вывод, что применение методики, описанной в справочнике [14] в данном случае нецелесообразно.

Выводы по разделу:

1. Исследуемый материал возможно эффективно обрабатывать концевыми фрезами, предназначенными для обработки нержавеющей сталей (в данном случае 316L) с геометрией $\gamma = 8^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\omega = 38^\circ$, $z = 4$, со скоростью резания 60 м/мин, 100 м/мин и 120 м/мин и подачей на зуб 0,02 мм/зуб, 0,04 мм/зуб и 0,06 мм/зуб.

2. Износ фрезы, при заданной скорости резания 60 м/мин, 100 м/мин и 120 м/мин увеличивается равномерно и зависит от времени проведения эксперимента. В данном случае в течении 4 минут значение износа с начала проведения эксперимента до конца, увеличилось на 40%.

3. Для фрезы, работающей на скоростях 60 м/мин и 100 м/мин, рост сил резания с течением времени коррелирует с величиной износа, но является менее интенсивным, чем при резании со скоростью 120 м/мин.

4. Влияние подач на силу отжима, исходя из проведенных экспериментов возникает так, что значение силы увеличивается. При этом начальное значение силы в течении времени проведения эксперимента не изменялось. Таким образом время проведения эксперимента на радиальную силу не влияет.

5. Из эксперимента видно, что вполне эффективно могут применяться подачи от 0,02 до 0,06 мм/зуб, при работе фрезы на этих подачах не было ни поломок фрезы, ни экстремального износа, при этом работа проходила на скоростях больших, по значению, чем значения, приведенные в [11,12,13]. Рекомендуемые в справочниках режимы, могут использоваться для обработки данного материала 316L, так как эксперимент показал, что отсутствуют: выкрашивание кромки зубьев и интенсивный износ фрезы.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ01	Мухаммаджонов Ойбек Улугбек угли

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Отделение Машиностроения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет проекта – не более 10.000.000 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 500000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 0,5 баллов из 1.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 % (НК РФ)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ. Оценка готовности проекта к коммерциализации
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение структуры выполнения НИ. Определение трудоемкости работ. Разработка графика проведения исследования.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение финансового и научно -технического эффекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
------------------------------------------------------	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов Магеррам Али оглы	Д.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ01	Мухаммаджонов Ойбек Улугбек угли		

3.1 Введение

Основной задачей данного раздела является оценка перспективности разработки и планирование коммерческой ценности конечного продукта, производимых в рамках НИ. Коммерческая ценность проекта определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными проектами, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на такие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, какой бюджет исследовательской работы, какое время будет необходимо для продвижения проекта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала внедрения данной методики;
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной эффективности исследования.

Цель работы – исследование обрабатываемости образцов из нержавеющей стали, полученных методом лазерного спекания. Данное исследование достаточно актуально в наше время, поскольку результаты исследования обрабатываемости образцов из нержавеющей стали, полученных методом лазерного спекания и прокатом помогут расширить применение различных материалов в отрасли машиностроения. В работе проводится механическая обработка образцов из нержавеющей стали, полученных методом лазерного спекания. Сравнивается обрабатываемость образцов из нержавеющей стали, полученных методом лазерного спекания. В качестве аналогов таких исследований выступают: исследование обрабатываемости композита Inconel 625 с добавлением NiTi-TiB₂ и исследование обрабатываемости титанового сплава VT22.

3.2 Анализ конкурентных технических решений

В процессе работы рассматриваются три варианта подобных исследований:

Вариант 1 – Исследование обрабатываемости образцов из нержавеющей стали, полученных методом лазерного спекания;

Вариант 2 – Исследование обрабатываемости композита Inconel 625 с добавлением NiTi-TiB₂;

Вариант 3 – Исследование обрабатываемости титанового сплава VT22;

Детальный анализ проведения исследований необходим, т.к. каждый вариант имеет свои достоинства и недостатки. Данный анализ производится с применением оценочной карты, приведенной в таблице 3.2.1. Экспертная оценка производится по техническим характеристикам и экономическим показателям по 5 бальной шкале, где 1 – наиболее низкая оценка, а 5 – наиболее сильная. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1.

Таблица 3.2.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Возможность внедрения результатов	0,12	5	3	1	0,6	0,36	0,12
Трудозатратность	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
Стабильность получаемых результатов	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
Важность исследования	0,14	5	1	3	0,7	0,14	0,42
Простота проведения исследования	0,1	3	4	5	0,3	0,4	0,5
Точность проведения исследования	0,14	4	5	5	0,56	0,7	0,7
Безопасность	0,09	5	5	4	0,45	0,45	0,36
Экономические критерии оценки эффективности							
Цена	0,13	3	4	5	0,39	0,52	0,65

Продолжение таблицы 3.2.1

Предполагаемый срок использования актуальных результатов	0,07	5	5	4	0,35	0,35	0,28
Затраты на ремонт	0,06	3	4	5	0,18	0,24	0,3
Итого	1	43	39	38	4,28	3,76	3,78

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что вариант исследования №1 является наиболее предпочтительным и является наиболее выгодным и эффективным исследованием.

3.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 3.3.1 – SWOT-анализ

	Strengths (сильные стороны)	Weaknesses (слабые стороны)
	S1. Простота проведения исследования; S2. Возможность высоко точно измерять результаты; S3. Возможность регулирования параметров оборудования; S4. Повышение безопасности производства; S5. Широкая применимость результатов; S6. Высокая точность исследования; S7. Возможность внедрения материалов в производство.	W1. Большое количество комплектующих. W2. Отсутствие бизнес-плана коммерциализации W3. Не проработаны вопросы выхода на рынок W4. Нельзя применять в пожароопасных условиях.

Продолжение таблицы 3.3.1

<p>Opportunities (возможности)</p> <p>O1. Применение результатов исследований в машиностроении</p> <p>O2. Внедрение полученных результатов в промышленность</p> <p>O3. Требования к повышению качества работы инструмента.</p> <p>O4. Увеличение производительности .</p>	<p>Получение актуальных результатов исследования с целью решения последующих производственных задач.</p>	<p>Трудозатратное, дорогостоящее исследование.</p>
<p>Threats (угрозы)</p> <p>T1. Незаинтересованность покупателей.</p> <p>T2. Отсутствие заинтересованных спонсоров проекта.</p> <p>T3. Узкоспециализированное направление.</p>	<p>Высокая конкуренция компенсируется техническими возможностями реализации метода.</p>	<p>Ввиду отсутствия популярности и трудозатратности проекта, а также его обслуживания может наблюдаться низкий спрос.</p>

Таблица 3.3.2 – Связь сильных сторон с возможностями

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
O1	+	+	+	+	+	+	+
O2	-	-	-	+	-	-	+
O3	+	+	+	+	+	+	+
O4	+	+	+	+	+	+	-

Таблица 3.3.3 – Связь слабых сторон с возможностями

	W1	W2	W 3	W4
O1	+	-	-	-
O2	+	-	-	-
O3	+	-	-	-
O4	-	+	+	+

Таблица 3.3.4 – Связь сильных сторон с угрозами

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
T1	-	-	-	-	-	-	+
T2	-	-	-	-	+	-	+
T3	+	+	+	+	-	+	+

Таблица 3.3.5 – Связь слабых сторон с угрозами

	W1	W2	W 3	W4
T1	+	+	-	+
T2	+	+	+	+
T3	+	+	+	+

На основании проведенного исследования конкурентоспособности и SWOT – анализа можно сделать вывод, что вариант исследования №1 является более предпочтительным, выгодным и эффективным методом исследования относительно вариантов №2 и №3. Среди сильных сторон наибольший вес имеет широкая применимость результатов. Среди слабых сторон - Большое количество комплектующих для обеспечения условий.

3.4 Планирование научно-исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования

В данном проекте участвует Инженер и Руководитель. Каждый из них выполняет заданную работу, в соответствии со своими обязанностями.

Список производимых работ, а также их количество, в данном исследовательском проекте, представлены в виде таблицы 3.4.1.

Таблица 3.4.1 – Список производимых задач и работ и их исполнители

№ раб	Наименование работы	Должность исполнителя
1	Создание технического задания	Руководитель
2	Выбор направления исследований	Руководитель
		Инженер
3	Изучение материала по теме	Инженер
4	Планирование работ по проекту	Руководитель
5	Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	Инженер
6	Разработка макета	

7	Проведение исследования	Руководитель
		Инженер
8	Проверка качества выполнения исследования	Руководитель
9	Разработка принципиальной схемы	Инженер
10	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер
11	Проверка пояснительной записки и документации	Руководитель
		Инженер

3.5 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость является важнейшим экономическим показателем, позволяющим оценить эффективность использования рабочего времени в процессе производства или выполнения работ. Формула трудоемкости показывает, какое количество труда необходимо применить при изготовлении одной единицы продукции.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ожи}$ определяется по формуле:

$$t_{ожи} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5},$$

где t_{mini} – минимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является оптимистичной оценкой: при удачном стечении обстоятельств), чел.-дн.; t_{maxi} – максимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является пессимистичной оценкой: при неудачном стечении обстоятельств, чел.-дн.

На основании расчетов ожидаемой трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

Где $Ч_i$ – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

По всем работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице 8.

3.6 Разработка графика проведения проектирования

Диаграмма Ганта представляет собой отрезки, размещенные на горизонтальной шкале времени. Отрезки – время затраченной исполнителем на определенный вид работ.

Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{ki.рук} = T_{pi} \cdot k_{кап},$$

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кап},$$

где $k_{кап}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кап.рук} = \frac{T_{кап}}{T_{кап} - T_{вых} - T_{пр}},$$

$$k_{кап.инж} = \frac{T_{кап}}{T_{кап} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где $T_{кап}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году.

Все полученные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 3.6.1.

Таблица 3.6.1 – Временные показатели проектирования

Номер выполняемой работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
1	10	-	12	-	10,8	-	10,8	-	11	-
2	4	3	6	5	4,8	4,2	2,4	2,1	3	3
3	-	2	-	3	-	2,4	-	2,4	-	4
4	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	6	-
5	-	20	-	22	-	21,6	-	21,6	-	22
6	-	3	-	7	-	4,6	-	4,6	-	5
7	5	3	7	5	5,8	4,2	5,8	2,1	6	3
8	10	-	14	-	11,6	-	11,6	-	12	-
9	-	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-	6
10	-	15	-	20	-	17	-	17	-	17
11	2	-	6	-	3,2	-	3,2	-	4	-

После расчета и сведения в таблицу временных показателей проектирования, на основе полученной таблицы строится диаграмма Ганта для руководителя и инженера.

Таблица 3.6.2. Диаграмма Ганта для руководителя и инженера.

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кi} кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	11	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2	Выбор направления исследований	Руководитель Инженер	6		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	4			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4	Планирование работ по проекту	Руководитель	6					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5	Анализ возможных вариантов проведения исследования	Инженер	22					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6	Разработка плана исследования	Инженер	5									■	■	■	■	■	■
7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Инженер	9									■	■	■	■	■	■
8	Проверка качества выполнения исследования	Руководитель	12														■
9	Разработка методики проведения	Инженер	6														■
10	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер	17														■
11	Проверка пояснительной записки и документов	Руководитель	4														■

■ - Инженер; ■ - Руководитель;

Таблица 3.6.3 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	102
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	60
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	42

В результате выполнения подраздела был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий

оценить и спланировать рабочее время исполнителей, а также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей.

3.7 Цели и результат исследования

Определим заинтересованные стороны и их ожидания, результат сведем в таблицу 3.7.1.

Таблица 3.7.1 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Руководитель проекта	Реализация проекта, получение гранта
Исполнитель проекта	Получение степени бакалавра
НИ ТПУ	Привлечение средств хозяйственных договоров, рост средней оплаты труда, рост рейтинга НИ ТПУ
Предприятия	Рост эффективности производства, качественное техническое обслуживание оборудования

Определим цели и результаты проекта, сведя их в таблицу 3.7.2.

Таблица 3.7.2 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Исследование обрабатываемости образцов из нержавеющей стали, полученных методом лазерного спекания и прокатом
Ожидаемые результаты проекта:	Получение актуальных результатов по обрабатываемости образцов из нержавеющей стали, полученных методом лазерного спекания и прокатом
Критерии приемки результата проекта:	Полноценное осуществление исследования обрабатываемости образцов из нержавеющей стали, полученных методом лазерного спекания и прокатом
Требования к результату проекта:	Выявление действительных свойств исследуемого материала

3.8 Организационная структура проекта

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры. Проектная организационная структура проекта представлена на рисунке 3.8.1.

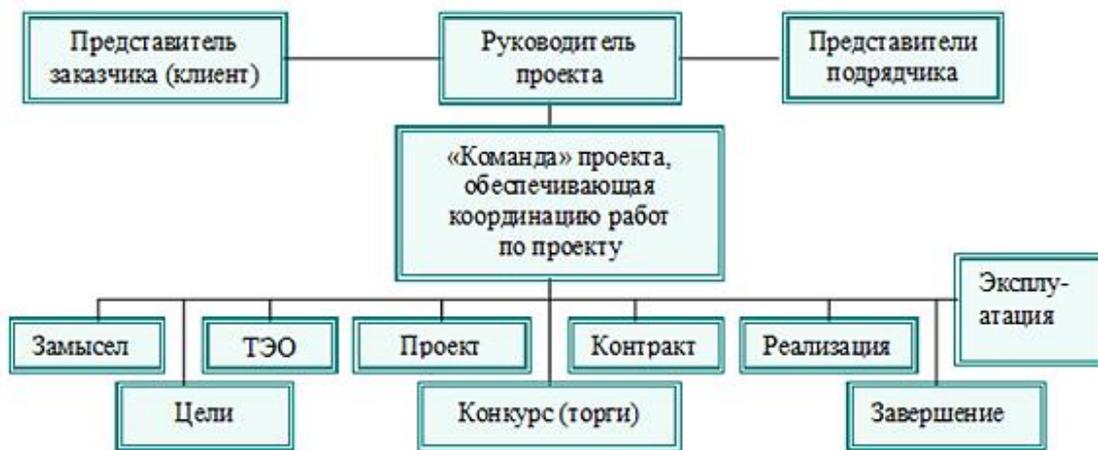


Рисунок 3.8.1 – Проектная структура проекта

План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 3.8.1).

Таблица 3.8.1 – План управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно (понедельник)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель	Руководителю	Ежемесячно (конец месяца)
3.	Документы и информация по проекту	Исполнитель	Руководителю	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель	Руководителю	Не позже дня контрольного события по плану управления

Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Информация по возможным рискам сведена в таблицу 3.8.2.

Таблица 3.8.2 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Неточность метода анализа	2	5	Низкий	Внешний и внутренние анализы	Низкая точность метода анализа
2	Погрешность расчетов	3	5	Средний	Пересчет, проверка	Невнимательность
3	Отсутствие интереса к результатам исследования	2	5	Низкий	Привлечение предприятий, публикация результатов	Отсутствие результатов исследования

3.9 Бюджет исследовательской работы

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты сгруппированы по статьям. В данном исследовании выделены следующие статьи:

1. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты;
2. Специальное оборудование для научных работ;
3. Заработная плата (основная и дополнительная);
4. Отчисления на социальные нужды;
5. Накладные расходы.

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме (таблица 3.9.1).

Таблица 3.9.1 – Расчет затрат по статье «Сырье и материалы»

Наименование	Количество, шт	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Тетрадь	2	50,0	100,0
Ручка гелиевая	2	31,0	62,0
Ластик	1	20	20,0
Печать	100	3	300,0
Бумага	40	8	320,0
Бутылка пластиковая	30	10	300
Сталь нержавеющая	11 кг	140	1443
Карандаш	1	80	80
Всего за материалы	1102		
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			55,1
Итого по статье			1157,1

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме НИР (таблица 3.9.2).

Таблица 3.9.2 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Компьютер (НР)	1	30000,0	30000,0
2	Программное обеспечение MicrosoftOffice	1	5990,0	5990,0
3	Обрабатывающий центр с ЧПУ Haas	1	3965139,7	3965139,7
4	Микроскоп УИМ 21	1	800000	800000
Итого, руб.:				4801129,7

Основная заработная плата

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (табл. 3.9.3).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

При отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{42900 \cdot 11,2}{265} = 1813 \text{ руб.}$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{31200 \cdot 11,2}{289} = 1209 \text{ руб.}$$

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_m \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p = 22000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 42900 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_m = Z_m \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p = 16000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 31200 \text{ руб.}$$

где Z_m – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 3.9.3 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	52/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/10	24/5
Действительный годовой фонд рабочего времени	265	289

Таблица 3.9.4 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители	$Z_{мс}, руб$	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}, руб$	$Z_{дн}, руб$	$T_{р}, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	22000	0,3	0,2	1,3	42900	1813	42	76146
Инженер	16000	0,3	0,2	1,3	31200	1209	60	71540
Итого:								147686

Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 76146 = 11421 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 71540 = 10671 \text{ руб.}$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (76146 + 11421) = 26270 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (71540 + 10671) = 24663 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$Z_{\text{накл}} = \left(\frac{\text{сумма статей}}{5} \right) \cdot k_{\text{нр}} =$$

$$= \frac{(1157,1 + 4801129,7 + 147686 + 22092 + 50933)}{5} \cdot 0,2 =$$

$$= 80571,72 \text{ руб}$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

Таблица 3.9.5 – Группировка затрат по статьям

Вид исследования	Статьи						
	Сырье, материалы	Специальное оборудование	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
Данное исследование	1157,1	4801129,7	147686	22092	50933	80571,72	5103569
Аналог	1550	5214128,8	158292	24378	74289	95585,8	5424210,6

3.10 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности

Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0$$

где: $ЧДП_{опt}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t= 0, 1, 2 \dots n$)

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если $NPV > 0$, то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 20. При расчете рентабельность проекта составляла **25 %**, норма амортизации - 10 %.

Таблица 3.10.1 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	6 124 282,8	6 124 282,8	6 124 282,8	6 124 282,8
2	Итого приток, руб.	0	6 124 282,8	6 124 282,8	6 124 282,8	6 124 282,8
3	Инвестиционные издержки, руб.	-5103569	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб. (35% от бюджета)	0	1 786 249	1 786 249	1 786 249	1 786 249
5	Налогооблагаемая прибыль	0	4 338 033	4 338 033	4 338 033	4 338 033
6	Налоги 20 %, руб.	0	867 606	867 606	867 606	867 606
7	Чистая прибыль, руб.	0	3 470 427	3 470 427	3 470 427	3 470 427
8	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.	-5103569	3 980 783	3 980 783,9	3 980 783,9	3 980 783,9
9	Коэффициент дисконтирования при $i=20\%$ (КД)	1	<u>0,833</u>	<u>0,694</u>	<u>0,578</u>	<u>0,482</u>
10	Чистый дисконтированный денежный поток	-5103569	4 251 272	3 541 876	2 949 862	2 459 920
11	Σ ЧДД		13 202 930 руб.			
12	Итого NPV, руб.		8 099 361 руб.			

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

где: i – ставка дисконтирования, 20 %;

t – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 297 157,19 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить

инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0 > 1$$

где: ЧДД - чистый денежный поток, руб.;

I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{13\,202\,930}{8\,099\,361} = 1,63$$

Так как $PI > 1$, то проект является эффективным.

Внутренняя ставка доходности (IRR). Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или равно 0. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 3.10.2 и на рисунке 3.10.1.

Таблица 3.10.2 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	-5103569	3 980 783	3 980 783	3 980 783	3 980 783	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, руб.						
	0,1	-5103569	3618532	3288127	2989568	2718875	7511532
	0,2	-5103569	3315992	2762663	2300893	1918737	5194717
	0,3	-5103569	3061222	2356624	1811256	1393274	3518807
	0,4	-5103569	2842279	2030199	1449005	1035004	2252918
	0,5	-5103569	2655182	1767468	1174331	788195	1281607
	0,6	-5103569	2487989	1552505	971311,1	609059,8	517296,6
	0,7	-5103569	2340700	1333562	808098,9	445847,7	-175360
	0,8	-5103569	2213315	1230062	680713,9	378174,4	-601303
	0,9	-5103569	2093892	1102677	581194,3	306520,3	-1019286
	1,0	-5103569	1990392	995195,8	497597,9	246808,5	-1373575

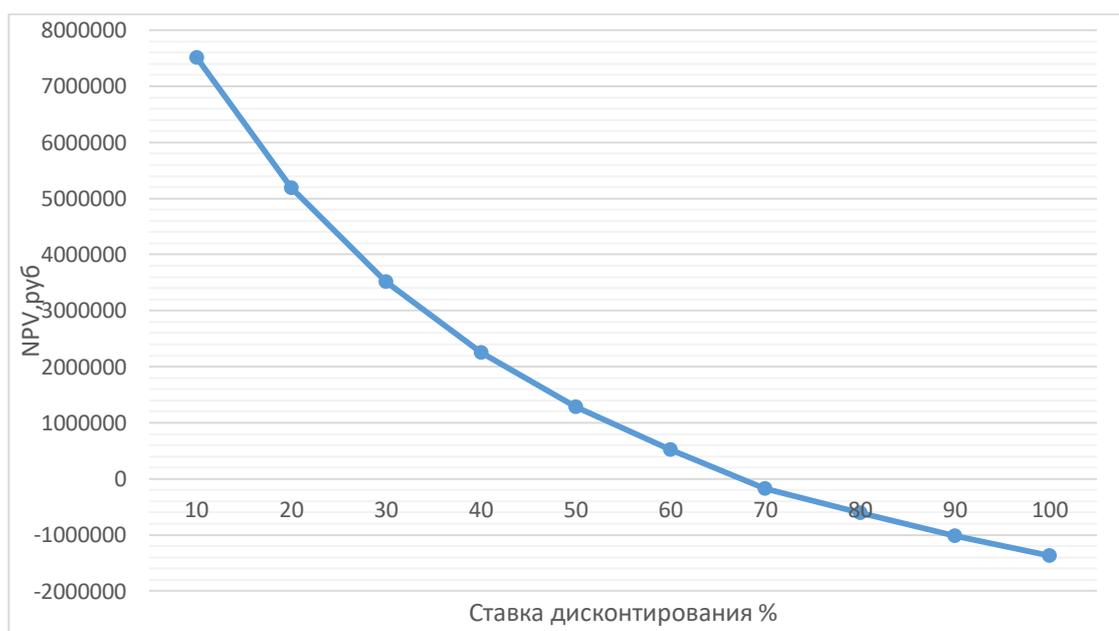


Рисунок 3.10.1 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,67.

$IRR > i$, проект эффективен.

Запас экономической прочности проекта: $67\% - 20\% = 47\%$

Дисконтированный срок окупаемости. Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 3.10.3).

Таблица 3.10.3 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ($i = 0,20$), руб.	-5103569	4251272	3541876	2949862	2459920
2	То же нарастающим итогом, руб.	-5103569	-175360	517296,6	1281607	2252918
3	Дисконтированный срок окупаемости	$DP_{дск} = 1 + (175360/3541876) = 1,05$ года				

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние»

результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты (таблица 3.10.4).

Таблица 3.10.4 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Отсутствие информации о результатах исследований обрабатываемости нержавеющей стали, полученной методом лазерного спекания.	Получены результаты исследований обрабатываемости нержавеющей стали, полученной методом лазерного спекания.
Отсутствие полной информации о методах исследования обрабатываемости нержавеющей стали, полученной методом лазерного спекания.	Проведены исследования обрабатываемости нержавеющей стали, полученной методом лазерного спекания.

3.11 Оценка сравнительной эффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности исследовательской работы получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве вариантов исполнения были выбраны ближайшие аналоги:

- Исследование обрабатываемости композита Inconel 625 с добавлением NiTi-TiB2;
- Исследование обрабатываемости титанового сплава BT22;

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения исследовательской работы (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{5103569}{6000000} = 0,85$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{5424211}{6000000} = 0,90$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{5829390}{6000000} = 0,97$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности

Определение ресурсоэффективности происходит на основе интегрального показателя ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффетивности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – бальная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 3.11.1.

Таблица 3.11.1 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки	Бальная оценка Лопастной привод	Бальная оценка два двухпоршневой привод
1. Безопасность при использовании установки	0,2	5	4	3
2. Стабильность работы	0,1	3	4	2
3. Технические характеристики	0,2	4	3	4
4. Ремонтопригодность	0,3	4	3	3
5. Простота эксплуатации	0,2	5	4	4
Итого:	1	4,5	3,9	4,1

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 = 4,3$$

$$I_{p2} = 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 = 3,5$$

$$I_{p3} = 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 2 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 = 3,3$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{\text{р-исп.1}}}{I_{\text{финр}}} = \frac{4,3}{0,85} = 5,05$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (табл. 3.11.2). Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\bar{\varepsilon} = \frac{I_{\text{исп2}}}{I_{\text{исп1}}} = \frac{3,7}{5,31} = 0,7$$

Таблица 3.11.2 – Сводная таблица показателей оценки ресурсоэффективности

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,85	0,90	0,97
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,3	3,5	3,3
3	Интегральный показатель эффективности	5,05	3,9	3,4
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,77	0,67

Выводы по главе:

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 8099361 руб.; индекс доходности PI=1,63, внутренняя ставка доходности IRR=47%, срок окупаемости РРдск=1,05 года.

Таким образом мы имеем ресурсоэффективный проект с высоким запасом финансовой прочности и коротким сроком окупаемости.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
4АМ01		Мухаммаджонов Ойбек Улугбек угли	
Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Отделение машиностроения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение 15.04.01

Тема ВКР:

Исследование обрабатываемости образцов полученных лазерным спеканием	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><u>Объект исследования:</u> образцы нержавеющей стали, полученные лазерным спеканием</p> <p><u>Область применения:</u> механическая обработка, машиностроение.</p> <p><u>Рабочая зона:</u> производственное помещение.</p> <p><u>Размеры помещения:</u> 7м*9м*3,5м*.</p> <p>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: персональный компьютер, фрезерный станок.</p> <p><u>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</u> фрезерование образцов из нержавеющей стали, полученных лазерным спеканием.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> - ТК РФ Статья 214. Обязанности работодателя в области охраны труда. - ТК РФ Статья 108. Перерывы для отдыха и питания. - ГОСТ 12.2.033-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ стоя. - ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное.
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации именно так</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенный уровень шума 2. Повышенный уровень вибрации 3. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды в местонахождении работающего; 4. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; <p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Подвижные части производственного оборудования

	<p>средства коллективной защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использование различных устройств для виброизоляции станков и оборудования, такие как виброгасители, виброизоляторы, виброопоры и др. - использование дополнительного освещения: светильников, ламп и т.д. - установка кондиционеров в помещении. <p>средства индивидуальной защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использование противошумных вкладышей <p>Расчет: Системы искусственного освещения.</p>
3. Экологическая безопасность <u>при эксплуатации</u>	<p>Воздействие на селитебную зону: шум и вибрация в процессе обработки образцов</p> <p>Воздействие на литосферу: возможно превышение допустимого уровня вибрации</p> <p>Воздействие на гидросферу: попадание СОЖ в гидросферу</p> <p>Воздействие на атмосферу: выделение вредных химических веществ при обработке образцов</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при эксплуатации</u>	<p><u>Возможные ЧС:</u></p> <p>Природные катастрофы: заморозки</p> <p>Техногенные аварии: пожар</p> <p><u>Наиболее типичная ЧС:</u> пожар</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	К.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ01	Мухаммаджонов Ойбек Улугбек угли		

4.1 Введение

В современном мире наиболее важно получение сплавов металлов и композитов путем применения аддитивных технологий. Именно эти материалы могут иметь повышенные механические параметры, такие как прочность, твердость, износостойкость по сравнению с материалами, которые могут быть получены в результате классического сплавления. На данный момент около 29 металлов и сплавов производятся в виде порошков, включая нержавеющие и инструментальные стали, алюминиевые сплавы, а также жаропрочные стали.

В работе проводилось исследование обрабатываемости образцов из нержавеющей стали, полученных методом лазерного спекания. Обработка образцов после спекания проводилась путем фрезерования их поверхности. После получения результатов обработки результаты обработаны, на основании полученных результатов, в соответствии с поставленными задачами, сделаны выводы.

Проведение данной работы осуществлялось в производственном помещении на территории компании ООО «Промышленная механика» за фрезерным станком с ЧПУ, затем осуществлялась обработка результатов исследования.

В разделе «Социальной ответственности» магистерской диссертации рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, безопасности и охраны окружающей среды. Организация рабочего места должна соответствовать общепринятым и специальным требованиям техники безопасности, нормам санитарии, экологической и пожарной безопасности.

Цель раздела: выявление возможных вредных и опасных факторов процесса исследования, а также разработка мероприятий по предотвращению негативного воздействия на здоровье, создание условий труда, перечисление организационных и технических мер, предусмотренных для ЧС, а также изучение вопроса охраны окружающей среды.

4.2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовые нормы трудового законодательства

В соответствии с ТК РФ Статья 214. Обязанности работодателя в области охраны труда. Работодатель обязан создать безопасные условия труда исходя из комплексной оценки технического и организационного уровня рабочего места, а также исходя из оценки факторов производственной среды и трудового процесса, которые могут привести к нанесению вреда здоровью работников.

Работодатель обязан обеспечить:

- безопасность работников при эксплуатации оборудования, осуществлении технологических процессов, а также эксплуатации применяемых в производстве инструментов, сырья и материалов;
- соответствие каждого рабочего места государственным нормативным требованиям охраны труда;
- разработку мер, направленных на обеспечение безопасных условий и охраны труда, оценку уровня профессиональных рисков перед вводом в эксплуатацию оборудования, вновь организованных рабочих мест;
- оснащение средствами коллективной защиты.

На предприятии ООО «Промышленная механика» были выполнены все правила безопасности в области охраны труда. Опасные зоны (зона обработки резанием на станке) оснащены специальными автоматическими дверьми с окнами для защиты от попадания на тело рабочего стружки и СОЖ.

В соответствии с ТК РФ Статья 108. Перерывы для отдыха и питания в течение рабочего дня (смены) работнику должен быть предоставлен перерыв для отдыха и питания продолжительностью не более двух часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается. Правилами внутреннего трудового распорядка или трудовым договором может быть предусмотрено, что указанный перерыв может не предоставляться

работнику, если установленная для него продолжительность ежедневной работы (смены) не превышает четырех часов.

Продолжительность ежедневной работы не превышало 4 часов, поэтому перерыв не предоставлялся.

Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны

Большая часть исследования была проведена стоя за панелью фрезерного станка с ЧПУ, поэтому в соответствии с ГОСТ 12.2.033-78 при работе стоя, органы управления станком должны соответствовать следующим требованиям:

- При работе двумя руками органы управления размещают с таким расчетом, чтобы не было перекрещивания рук.
- часто используемые и менее важные органы управления не допускается располагать за пределами зоны 2, а при тяжелой работе - выше 1000 мм от площадки, на которой стоит рабочий;
- Органы управления, используемые до 5 раз в смену, допускается располагать за пределами зоны досягаемости моторного поля.
- Аварийные органы управления следует располагать в пределах зоны досягаемости моторного поля, при этом следует предусмотреть специальные средства опознавания и предотвращения их непроизвольного и самопроизвольного включения в соответствии с ГОСТ 12.2.003-91.
- При необходимости освобождения рук операции, не требующие точности и быстроты выполнения, могут быть переданы ножным органам управления.
- наиболее важные и часто используемые органы управления должны быть расположены в зоне легкой досягаемости моторного поля;
- органы управления, связанные с определенной последовательностью действий оператора, должны группироваться таким образом, чтобы действия оператора осуществлялись слева направо и сверху

вниз;

- расположение функционально идентичных органов управления должно быть единообразным на всех панелях рабочего места;

4.3 Производственная безопасность

Чтобы оценить возникновение вредных и опасных факторов, необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представить в виде таблицы.

Таблица 4.3.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Повышенный уровень шума	- СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с изменением № 1)»
Повышенный уровень вибрации	- ГОСТ 12.1.012-2004. Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования.
Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды в местонахождении работающего;	- Требования к микроклимату по ГОСТ 12.1.005-88; - Требования к освещению СП 52.13330.2016; Естественное и искусственное освещение СНиП 23-05-95*;
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;	- ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное.
Подвижные части производственного оборудования	

4.4 Анализ выявленных вредных и опасных факторов

Повышенный уровень шума

При работе за фрезерным станком с ЧПУ источником шума является сам станок. При этом шум от станка является постоянным, и повышенный уровень шума влияет на организм человека, понижает производительность труда. Утомление работников по причине сильного шума ухудшает качество работы, повышает уровень травматизма, т.к. на фоне этого шума не слышно сигналов транспорта, автопогрузчиков и других механизмов. При длительной продолжительности действия сильного шума вызывает общее утомление, впоследствии может привести к ухудшению слуха, а иногда и к глухоте. Таким образом, высокий уровень постоянного шума отрицательно воздействует на организм.

В соответствии с СП 51.13330.2011, значение шума в рабочем помещении не должно превышать показателей, приведенных в таблице 4.4.1.

Таблица 4.4.1 - Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука СП 51.13330.2011

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Мероприятия по борьбе с шумом в соответствии с ГОСТ 12.1.003-2014:

- уменьшение уровня шума в источнике его возникновения, за счет повышения качества балансировки вращающихся деталей;
- звукопоглощение и звукоизоляция;

Повышенный уровень вибрации

При исследовании обрабатываемости образцов из нержавеющей стали, полученных методом лазерного спекания, вибрация возникает при работе фрезерного станка. Соответственно источником вибрации является фрезерный станок. Работа фрезерного станка проводилась при различных заданных режимах резания, при этом увеличивался уровень вибрации. При этом на станке установлены датчики вибрации, которые зафиксировали значение максимального полного среднеквадратичного скорректированного виброускорения равное 0,05 м/с.

В соответствии с требованиями по ГОСТ 12.1.012-2004 станок не относят к виброопасным, если в любых режимах работы и любых условиях ее нормального применения максимальное полное среднеквадратичное значение скорректированного виброускорения не превышает 0,5 м/с для локальной и 0,1 м/с для общей вибрации. Вибрационные характеристики таких машин допускается не заявлять и не подтверждать.

Для уменьшения уровня вибрации и защиты от повышенного уровня вибрации под станок были установлены различные виброгасящие и вибропоглощающие опоры в соответствии с ГОСТ 12.4.011-89.

Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды в местонахождении работающего

В помещении, где осуществляется работа за фрезерным станком с ЧПУ необходимо обеспечить комфортную температуру для проведения исследования.

Источником вредного фактора в данном случае является температура помещения.

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» в кабинах, на пультах и постах управления технологическими процессами и других производственных

помещениях при выполнении работ операторского типа, связанных с нервно-эмоциональным напряжением, должны соблюдаться оптимальные величины температуры воздуха 22-24°C, его относительной влажности 60-40% и скорости движения (не более 0,1 м/с).

Значения показателей микроклимата в помещении, в котором проводилось исследование находились в диапазоне значений параметров микроклимата, приведенных в таблице (табл. 4.4.2) Категория тяжести выполняемых работ для операторов станков с ЧПУ – Легкая Ia.

Таблица 4.4.2 - Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ

Сезон	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, С ⁰	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/сек
		Оптимальн. Значение	Оптимальн. Значение	Оптимальн. Значение
1	2	3	4	5
холодный	Легкая Ia	22,0-24,0	40-60	0,1
теплый	Легкая Ia	23,0-25,0	40-60	0,1

Если фактические значения микроклимата в производственном помещении все же будут превышать оптимальные, то следует обеспечить защиту работающих от возможного перегревания и охлаждения: путем установки системы местного кондиционирования воздуха, воздушное душирование, помещения для отдыха и обогрева, спецодежда и другие средства индивидуальной защиты, регламентация времени работы и отдыха и т.п. В целях профилактики тепловых травм температура наружных поверхностей технологического оборудования или ограждающих его устройств не должна превышать 45°C в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88.

Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

Не всегда необходимое освещение рабочей зоны обеспечивается только естественным освещением, в связи с этим для работы за фрезерным станком с ЧПУ необходимо обеспечить оптимальное искусственное освещение. Расчет оптимального искусственного освещения проведен ниже:

Длина $A=7$ м; ширина $B=9$ м; высота $H=3,5$ м; рабочая плоскость находится на уровне $h_p=1$ м;

Площадь помещения:

$$S = A \cdot B,$$
$$S = 7 \cdot 9 = 63 \text{ м}^2$$

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

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

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина, которая для люминесцентных светильников с защитной решеткой лежит в диапазон 1,1-1,3. Принимаем равным $\lambda = 1,2$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,5$.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса.

h_p - высота рабочей поверхности над полом.

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

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

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

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

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

Число рядов светильников в помещении:

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

Число светильников в ряду:

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

Общее число светильников $N = Na \cdot Nb = 4 \cdot 3 = 12$.

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

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

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 4.4.1 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

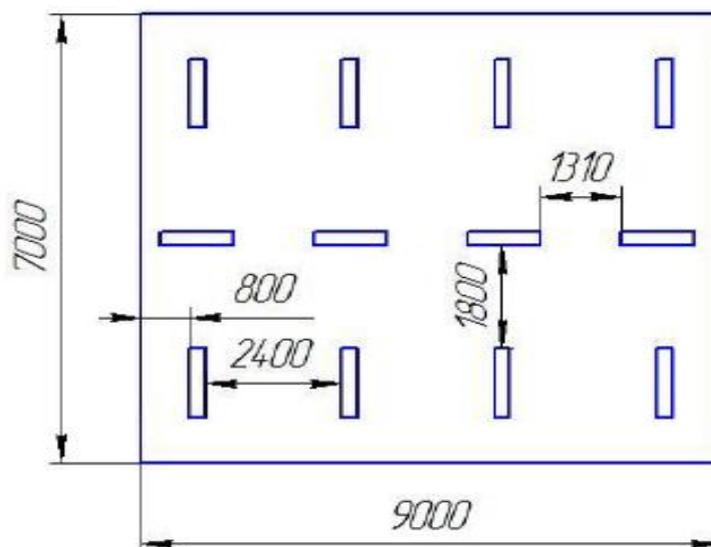


Рисунок 4.4.1 – План помещения и размещения светильников.

Индекс помещения определяется по формуле:

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

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

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

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

Подвижные части производственного оборудования

Источником данного фактора является фрезерный станок с ЧПУ. Подвижный шпиндель станка, в процессе работы может стать угрозой здоровью или жизни оператора. Рабочая зона фрезерного станка с ЧПУ, который использовался при исследовании имела размеры: 1м x 1м x 1м. Если оператор окажется в рабочей зоне в процессе работы станка, то возможно получит удар или повреждение тела шпинделем станка.

Поэтому в соответствии с ГОСТ 12.2.003-91:

Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего или использованы другие средства (например, двуручное управление), предотвращающие травмирование.

При проведении исследования рабочая зона фрезерного станка с ЧПУ была ограждена специальным защитным стеклом.

4.5. Экологическая безопасность

Влияние на селитебную зону

При проведении исследования источником, влияющим на селитебную зону, является фрезерный станок с ЧПУ. В соответствии с санитарными нормами проектирования промышленные производства можно разделить на 5 классов СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.

Фрезерный станок с ЧПУ находится на предприятии ООО «Промышленная механика». Данное предприятие относится к машиностроительным заводам. Это объект, относящийся к объектам V класса, то есть в пределах селитебной зоны.

Поэтому, фрезерный станок с ЧПУ нельзя располагать менее чем на 50 метров от жилых домов. В таком случае вредного воздействия на селитебную зону будет в оптимальном диапазоне.

Влияние на литосферу

В процессе проведения исследования обрабатываемости образцов, полученных лазерным спеканием, был выявлен источник влияния на литосферу – фрезерный станок с ЧПУ. Влияние на литосферу происходит из-за того, что при обработке образцов возникает вибрационное воздействие. При этом из-за повышенной вибрации происходит смещение почвы, образуются обвалы и оползни.

По ГОСТ 31191.1-2004 Допустимый уровень частоты вибрации при постоянном вибрационном воздействии на литосферу не должен превышать

80 Гц.

В соответствии с ГОСТ 26568-85, в случае превышения частоты вибрации оптимального значения необходимо установить под фрезерный станок с ЧПУ различные виброизолирующие прокладки, виброопоры и др.

Влияние на гидросферу

При исследовании обрабатываемости образцов, полученных лазерным спеканием, было выявлено воздействие на гидросферу. Источник воздействия является фрезерный станок с ЧПУ. При обработке образцов в зону резания подается СОЖ. В своем составе СОЖ содержит такое вещество нитрометан. Есть вероятность попадания СОЖ в канализацию, а значит превышение значения нитрометана в гидросфере.

В соответствии с РД 52.18.833-2015 предельно-допустимая концентрация нитрометана в гидросфере не должна превышать 0,005 мг/л.

В случае превышения данного норматива, необходимо выполнить очистку пораженного участка гидросферы химическим методом в соответствии с ГОСТ 25150-82.

Влияние на атмосферу

При проведении исследования обрабатываемости образцов из нержавеющей стали, полученных путем лазерного спекания наблюдалось влияние работы фрезерного станка с ЧПУ на атмосферу. В процессе эксплуатации фрезерного станка с ЧПУ наблюдалось выделение пыли оксида ванадия (III) в атмосферу.

В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 концентрация пыли оксида ванадия (III) не должна быть выше 0,5 мг/м³.

Защита от данного фактора осуществляется в соответствии с ГОСТ 12.4.034-2017, в случае превышения указанного уровня концентрация пыли оксида ванадия (III) необходимо использовать при работе фильтрующие респираторы - СИЗОД, предназначенные для защиты органов дыхания персонала промышленных предприятий в условиях загрязненной окружающей воздушной среды.

4.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При исследовании обрабатываемости образцов, полученных лазерным спеканием наиболее вероятной типичной ЧС, является пожар. Соответственно, защита от ЧС в данном случае может быть рассмотрена как защита от пожара. Основы пожарной безопасности определены по ГОСТ 12.1.004-91 и ГОСТ 12.1.010-76. Профилактика пожарной безопасности заключается в том, чтобы исключить условия горения, и использования принципов обеспечения безопасности. Для устранения возможности пожара в помещении необходимо соблюдать противопожарные меры:

- применение средств пожаротушения;
- использование пожарной сигнализации;
- наличие в помещении средств пожаротушения (огнетушители типа ОУ-3, пожарный инструмент, песок) и содержание их в исправном состоянии;

Выводы по разделу

В результате выполнения раздела диссертационной работы «Социальная ответственность» выявлено, что фактические значения потенциально возможных факторов соответствуют нормативным значениям.

С точки зрения ПУЭ помещение для исследования относится к категории: помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

В представленной работе выбраны: Группа персонала по электробезопасности согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок определена: Группа I. Категория тяжести труда по СанПиН 1.2.3685-21 категория I – легкие физические работы. Категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности согласно СП 12.13130.2009 для проведения исследования: Г умеренная пожароопасность. Категория объекта, оказывающего значительное негативное воздействие на окружающую среду: объект относится к объектам III категории.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы, в технологической части работы, были сформулированы следующие выводы.

1. Исследуемый материал возможно эффективно обрабатывать концевыми фрезами, предназначенными для обработки нержавеющей стали (в данном случае 316L) с геометрией $\gamma = 8^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\omega = 38^\circ$, $z = 4$, со скоростью резания 60 м/мин, 100 м/мин и 120 м/мин и подачей на зуб 0,02 мм/зуб, 0,04 мм/зуб и 0,06 мм/зуб.

2. Износ фрезы, при заданной скорости резания 60 м/мин, 100 м/мин и 120 м/мин увеличивается равномерно и зависит от времени проведения эксперимента. В данном случае в течении 4 минут значение износа с начала проведения эксперимента до конца, увеличилось на 40%.

3. Для фрезы, работающей на скоростях 60 м/мин и 100 м/мин, рост сил резания с течением времени коррелирует с величиной износа, но является менее интенсивным, чем при резании со скоростью 120 м/мин.

4. Влияние подач на силу отжима, исходя из проведенных экспериментов возникает так, что значение силы увеличивается. При этом начальное значение силы в течении времени проведения эксперимента не изменялось. Таким образом время проведения эксперимента на радиальную силу не влияет.

5. Из эксперимента видно, что вполне эффективно могут применяться подачи от 0,02 до 0,06 мм/зуб, при работе фрезы на этих подачах не было ни поломок фрезы, ни экстремального износа, при этом работа проходила на скоростях больших, по значению, чем значения, приведенные в [11,12,13]. Рекомендуемые в справочниках режимы, могут использоваться для обработки данного материала 316L, так как эксперимент показал, что отсутствуют: выкрашивание кромки зубьев и интенсивный износ фрезы.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 8099361 руб.; индекс доходности

$PI=1,63$, внутренняя ставка доходности $IRR=47\%$, срок окупаемости $PP_{дск}=1,05$ года.

Таким образом мы имеем ресурсоэффективный проект с высоким запасом финансовой прочности и коротким сроком окупаемости.

В результате выполнения раздела диссертационной работы «Социальная ответственность» выявлено, что фактические значения потенциально возможных факторов соответствуют нормативным значениям.

Список литературы

1. Baranchikov, V.I., Tarapanov, A.S., Kharlamov, A.A. Processing of special materials in mechanical engineering: A Handbook. Library of a technologist. - M.: Mechanical engineering, 2002. 264 p.
2. Исследование обрабатываемости фрезерованием композита Inconel 625 с добавлением NiTi-TiB₂, полученного лазерным спеканием / А.Ю. Арляпов, С.Ю. Волков, В.В. Промахов, А.С. Жуков // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2021. – Т. 23, № 1. – С. 21–32. – DOI: 10.17212/1994-6309-2021-23.1-21-32.
3. Granovskii G.I., Granovskii V.G. Rezanie metallov [Metal cutting]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1985. 304 p.
4. Глухов В.В. Экономическая эффективность технологии прямого лазерного выращивания в промышленности / В.В. Глухов, Г.А. Туричин // Теоретические основы формирования промышленной политики. – СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2015. – С. 176–190.
5. Быковский Д.П. Применение технологии прямого лазерного выращивания для изготовления образцов из нержавеющей стали и исследование их механических свойств / Д.П. Быковский, В.Н. Петровский, А.В. Осинцев [и др.] // Аддитивные технологии: настоящее и будущее: сборник докладов II Международной конференции. – М., 2016. – С. 30.
6. Гриднев В. Н., Гаврилюк В. Г., Мешков Ю. Я. Прочность и пластичность холоднодеформируемой стали. – Киев: Наукова думка, 1974. 231 с.
7. Chawla N., Shen Y. L. Mechanical behavior of particle reinforced metal matrix composites //Advanced engineering materials. – 2001. – Т. 3. – №. 6. – С. 357-370.
8. Zhang B. et al. Microhardness and microstructure evolution of TiB₂ reinforced Inconel 625/TiB₂ composite produced by selective laser melting//Optics & Laser Technology. – 2016. – Т. 80. – С. 186-195.

9. Гирш А.В. Исследование микроструктуры нержавеющей стали, сформированной методом селективного лазерного плавления // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. №13. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-mikrostruktury-nerzhaveyuschey-stali-sformirovannoy-metodom-selektivnogo-lazernogo-plavleniya> (дата обращения: 20.04.2022).

10. Камашев, А. В. Использование лазерного источника для синтеза интерметаллидов в системе Ni-Al / А. В. Камашев, А. С. Панин, А. Л. Петров, И. В. Шишковский // Письма в журнал технической физики. – 2001. – Т.27. – вып. 12. – С. 28-33.

11. Каталог “Iscar” [Электронный ресурс] / Iscar // металлорежущий инструмент. – 2020 - 2022. - С.463-Режим доступа: <https://www.iscar.com/Catalogs/flipview/flipview2022/..>, свободный. - Загл. с экрана (дата обращения:18.04.2022).

12. Каталог Garant [Электронный ресурс]/Hoffmann Group// металлорежущий инструмент. - 2020 - 2022. - С.463 - Режим доступа: https://ecatalog.hoffmann-group.com/index_ru.html?cou.., свободный. - Загл. с экрана (дата обращения:18.04.2022).

13. Каталог “Sandvik Coromant” [Электронный ресурс]/Sandvik Coromant// металлорежущий инструмент.-2020-2022.-С.463- Режим доступа: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/pages..>, свободный. - Загл. с экрана (дата обращения:18.04.2022).

14. Справочник технолога – машиностроителя. В 2-х т. /Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение.1985. 496 с.

15. Сысоев С.К. Технология машиностроения. Проектирования технологических процессов : учеб. пособие / С.К. Сысоев, А.С. Сысоева, В.А. Левко. – СПб.: Лань. 2011.

16. Схиртладзе А.Г. Резание материалов. Режущий инструмент : учебник для академического бакалавриата / А.Г. Схиртладзе [и др.]; под общ. Ред. Н.А. Чемборисова., 2016.

17. Маталин А.А. Технология машиностроения : учебник для вузов / А.А. Маталин – 3-е изд., стер. – СПб : Лань. 2010.
18. Виханский, Олег Самуилович. Менеджмент: учебник / О.С. Виханский, А. И. Наумов. – 5-е изд., стер., - Москва: Магистр Инфра – М, 2012. – 576 с.
19. Герчицова, Ирина Никоновна. Менеджмент: учебник для вузов / И.Н. Герчицова. – 4-е изд., перераб. и доп.. – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2014. – 511 с.
20. Мескон, Майкл. Основы менеджмента: пер. с англ.: учебное пособие / М.Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури. – 3-е изд. – Москва: Вильямс, 2008. – 666 с.
21. Друкер, Питер Ф.. Практика менеджмента: пер с англ. / П.Ф.Друкер. – Москва: Вильямс 2002. – 398 с.
22. СанПиН 2.2.2/2.2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901865498>
23. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200136071>
24. ГОСТ 12.1.012 – 90 ССБТ Вибрационная болезнь. Общие требования. [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200059881>
25. ГОСТ 12.1.003-2014 «Шум. Общие требования безопасности.» [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200118606>
26. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054197>

27. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200161238>

28. ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности. [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901702428>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Investigation of the machinability of samples obtained by laser sintering

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM01	Мухаммаджонов Ойбек Улугбек угли		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Арляпов Алексей Юрьевич	к.т.н.		

Консультант школы отделения (НОЦ) _____ (ШБИП ОИЯ) _____ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Сыскина Анна Александровна	к.ф.н.		

Introduction

Obtaining various metal alloys, as well as composites using additive technologies, is the most important task today. The relevance of obtaining such materials lies in the fact that they have increased mechanical properties: strength, hardness, wear resistance, etc. Currently, about 30 metal alloys are produced in powder form, such as tool or stainless steels, heat-resistant steels, and aluminum alloys.

Obtaining various materials leads to the emergence of new mechanical properties of alloys, due to the fact that there is a change in the structure of the material [1].

At the same time, methods of additive technologies are used, which make it possible to obtain products from powder materials.

Relevance:

Additive technologies, namely the methods of selective and direct laser sintering, are effective in terms of technological capabilities and utilization rate; it is possible to manufacture complex-shaped parts presented in [2]. However, part of the surfaces of parts obtained using additive technologies, in most cases, does not meet the requirements for the surface. In this regard, mechanical processing of such surfaces is necessary. To perform effective machining of surfaces obtained using additive technologies, it is necessary to set the correct processing modes, coolant, and select the appropriate tool. At the moment, information and recommendations on the choice of the correct processing modes, coolant, and tools are not available in the literature [2]. In this regard, the study of the machinability of stainless steel samples obtained by laser sintering and rolling is relevant.

The property of metals to be machined is called machinability. In accordance with [3], to evaluate this property, parameters are used, such as cutting forces, the roughness of the surface layer of the product, the degree of tool wear, the heat released during cutting, the size, type and shape of chips during processing, as well as the degree of tendency to build-up.

Objective:

The purpose of this work is to study the machinability of stainless steel samples obtained by laser sintering and rolling. In accordance with the goal, it is necessary to solve the following tasks:

- Determine the mechanical properties of stainless steel samples obtained by laser sintering and rolling.
- Compare the mechanical properties of stainless steel samples obtained by laser sintering and rolled.
- Compare the machinability of stainless steel samples obtained by laser sintering and rolled.

1. Literature review

1.1 Description of SLM and DMLS technologies for obtaining products by laser sintering

There are various technologies for obtaining products by laser sintering, such as selective laser sintering and direct laser sintering. Let's consider each of the technologies in more detail.

1.1.1 Selective laser sintering (SLM)

Consider the technology of selective laser sintering (SLM).

Selective laser sintering takes place in a special chamber filled with an inert gas. A thin layer of metal powder is applied to the platform, then the powder particles are sintered by a laser along a trajectory predetermined on the computer, then the platform moves to a certain predetermined height and a new layer of metal powder is subsequently applied, this cycle is repeated until a complete product is obtained.

During selective laser sintering, various physical phenomena occur, such as scattering and absorption of laser radiation, generation and transfer of heat, phase transition of the material, mixing of the liquid phase inside the molten bath, condensation of the material, and various chemical reactions. The selective laser sintering process can be described by many parameters, such as processing parameters: laser feed power, scanning speed, scanned layer thickness, time interval between applying scan lines, scanning working environment, scanning process, temperature in the metal powder deposition zone. All of these parameters clearly affect the manufacturing process of the product.

When scanning with selective laser sintering, various types of metal powders can be selected.

Metal powders used in the method of selective laser sintering are in the form of bulk materials, with dimensions not exceeding a diameter of 1 mm, so they can be classified according to diametrical dimensions [3]:

- low dispersion – $d < 0.002 \mu\text{m}$;
- medium dispersion – $d = 0.02\text{-}0.3 \text{ microns}$;

- highly dispersed - $d=0.4-11$ microns;
- small - $d = 5-35$ microns;
- average – $d= 35-300$ microns;
- large – $d= 350 - 1200$ microns.

The method of selective laser sintering is effectively used for the manufacture of various metal products, and also makes it possible to obtain parts with higher mechanical characteristics, low residual stresses and deformations, in relation to already known methods for producing parts.

The main advantages of the selective laser sintering (SLM) method are to reduce the time of product manufacturing, reduce the cost of manufacturing and technological preparation, and increase productivity due to the manufacture of several products at once.

The method of selective laser sintering has a significant drawback, which is that the products obtained by this method often have a high porosity, which does not allow the use of such products for solving any design problems.

1.1.2 Direct Laser Sintering (DMLS)

Consider the method of direct laser sintering (DMLS). The direct laser sintering (DMLS) method uses laser energy that is sufficient to effect the melting of various fine particles, as well as parts of the melting of the surfaces of much larger particles. It follows that the finely dispersed fraction is the connecting element in the creation of the product, in turn, much larger particles of the fraction are the basis for the structure of the material.

It can be concluded that when using direct laser sintering, two main processes will occur - solid-phase and liquid-phase sintering. However, there is a significant difference from classical liquid sintering in the DMLS mechanism, while the sintering of particles will occur locally during rapid crystallization of the liquid phase.

There are features that characterize the method of direct laser sintering:

- increased coefficient of the applied metal powder ($\approx 95\%$);

– The manufactured part must have certain limited dimensions, which are determined by the possibility of focusing the laser.

– in the process of direct laser sintering, the metal powder material can be replaced (for example, such as aluminum, stainless steel, titanium, various copper alloys, and others), while the corresponding gradient properties of the resulting product are formed.

– the productivity of the process when using the method of direct laser sintering can reach up to 2-6 kg/hour.

- the dimensions of the manufactured part can also be limited by the dimensions of the construction chamber and reach up to 2.5 - 4 m [4, 5].

1.1.3 Comparison of selective and direct sintering technologies

Basically, the selective and direct laser sintering methods have similar implementation processes, however, the selective laser sintering (SLM) method occurs through the complete melting of metal powder particles. When manufacturing parts from a new material, it is necessary to select the appropriate melting modes experimentally in order to exclude the process of spheroidization of the molten liquid phase and minimize porosity in products. In this regard, the use of the selective laser sintering (SLM) method for industrial purposes is currently more relevant.

Thus, it is most relevant to use the method of selective laser sintering of samples in this study.

1.2 Description of the receipt of products by rolling

The process of continuous shaping, by moving the workpiece between rotating rolls, which have special streams on the surface along a helical line, is called rolling.

In this case, a cylindrical workpiece with a certain length continuously moves through a small section having a given geometric shape and is deformed in accordance with this shape [6].

Various bodies of revolution can be obtained by the rolling method, such as shafts, spindles, bearing needles, balls, bushings, axle shafts, and others. The

rolling method is widely used to obtain parts instead of machining parts by cutting; this reduces metal consumption by up to 30%. The figure (Fig.1.2.1) shows the scheme of helical rolling [6].

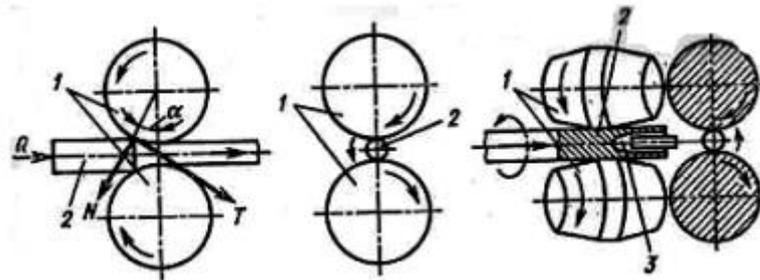


Fig. 1.2.1 Scheme of cross-helical rolling

The advantages of obtaining products of the rolling method are as follows:

- the implementation of full mechanization and automation of the manufacture of blanks, from the moment the blank is loaded into the working part of the heating device until the required shape of the blank is obtained.

- the implementation of the transition from the initial profile of the workpiece to a given profile, while not replacing the rolls, but changing the copier or the program on the equipment, which makes it possible to obtain rolled products of various shapes with a significantly small assortment of tools.

- it is relatively easy to prepare the mill for obtaining a new size of rolled products, which makes it possible to apply the rolling method also for small-scale production.

- rolling, shown in the figure (Fig. 1.2.1), allows to reduce the cost of tool manufacturing, relative to stamping, due to low tool wear [6].

The method of obtaining blanks of a certain shape by rolling also has a significant drawback. The disadvantage is that the quality of the surfaces of products obtained by the method of rolling does not generally meet the requirements. This requires additional mechanical processing of such surfaces. The optimal modes for machining parts from rolled stainless steel are known and are available in various literature, including catalogs of cutting tools.

1.3 Analysis of existing literature

Let us consider various results of studies that were carried out with samples obtained by laser sintering.

The work [7] presents various types of powders for laser sintering, their main properties, and shows a wide variety of imported powders.

The paper [7] also presents the mechanical characteristics of samples made of the EOS MaragingSteel MS1 material. The material under consideration is a steel powder with fine particles obtained by selective laser sintering, and is also characterized by sufficiently high mechanical properties. As a result of heat treatment of this material, the hardness of the product can reach 55 HRC. Other mechanical properties are presented in the table (Table 1.3.1)

Table 1.3.1 Mechanical properties of laser sintered parts from EOS MaragingSteel MS1.

Mechanical properties	Values
Maximum strength, MPa	
- after sintering	1200 ± 50
- after processing	1750 ± 50
Yield strength, MPa	
- after sintering	900 ± 50
- after processing	1800 ± 50
Elongation at break, %	
- after sintering	7 ± 2
- after processing	3 ± 1
Young's modulus, GPa	160 ± 30
Hardness, HRC	
- after sintering	34-38
- after processing	53-57
Plasticity, J	
- after sintering	48 ± 5
- after processing	
Thermal conductivity coefficient, W / m 0C	10 ± 5
- after sintering	14 ± 0.5
- after processing	

In [7], it was concluded that at the moment a wide selection of various imported metal materials is available for use in the manufacture of products by selective laser sintering.

The main disadvantage for domestic consumers of 3D printers for selective laser sintering is that such equipment has a high cost, as well as a limited list of foreign metal powders used for specific equipment. In order to change the material, it is necessary to purchase new equipment, which entails large financial costs. To eliminate this disadvantage, it is necessary to ensure the use of domestic metal powder materials, but there is also a need to conduct research in the field of processing parts that will be obtained by laser sintering.

In the work under consideration [7], there is no information on the machinability of samples of materials obtained by laser sintering. In connection with this fact, research on the processing of products obtained by laser sintering is relevant.

Let us consider the work [8], in which the surface roughness of samples made of the VT20 alloy material obtained by laser sintering after milling is studied.

The study in [8] can be described as follows: during each new experiment number, after the sample under study was set and fixed on the working table of the dynamometer, a calibration pass was made, which was performed at specified cutting conditions, always constant for all considered experiments. The cutting conditions were set as follows: $F = 0.1$ mm/tooth, $t = 0.1$ mm, $V = 80$ m/min. The calibration pass was carried out specifically in order to fulfill the same conditions during the experiments. The same conditions that had to be achieved - the roughness of the original surface ($R_a 0.3 \mu\text{m}$), with a workpiece overhang of 4.0 mm.

As a result of measuring the components of the cutting force F_x , F_y , F_z using a dynamometer, graphs of the dependence of the cutting forces on time were plotted when processing the VT20 alloy. Then, only the dependencies of the components of the cutting force are selected, which turn out to be negative. This is due to the direction of the dynamometer. In this work, only the obtained values of cutting forces were taken into account in the calculations, the sign was not taken

into account in the calculations. With the help of special software of the torque table, the resulting value of the cutting force was determined.

In the software of the dynamometer table, by means of scaling, the section of the dependence presented for one tooth of the cutter was chosen (i.e., such part of the time at which only one tooth was in contact with the sample). Next, the contact area was determined, which is under the direction of the resulting cutting force for one cutter tooth. Then the actual value of the cutting force acting on a particular cutter tooth was determined. The procedure thus presented was repeated for each given cutting mode.

The study under consideration was carried out in accordance with the plan of the experiment, in which the cutting (milling) modes, the roughness of the resulting surface and productivity were indicated, in accordance with the table (Table 1.3.2).

Table 1.3.2. Experiment plan, milling modes, roughness and productivity.

№ experience	t, mm	F, mm/tooth	V, m/min	Ra, mcm	MRR, mm ³ /min
1	0,2	0,05	60	0,15	400
2	0,3			0,17	1000
3	0,5			0,13	1600
4	1,0			0,15	2800
5	0,1	0,1		0,22	400
6	0,3			0,23	1900
7	0,5			0,18	3500
8	1,0			0,21	7000
9	0,1	0,2		0,28	1400
10	0,3			0,33	3800
11	0,5			0,26	7000
12	1,0			0,28	14000
13	0,1	0,05	80	0,21	500
14	0,3			0,12	1300
15	0,5			0,19	2500
16	1,0			0,18	5000
17	0,1	0,1		0,22	700
18	0,3			0,21	2200
19	0,5			0,26	4500
20	1,0			0,23	9000
21	0,1	0,2		0,22	1500
22	0,3			0,30	4400
23	0,5			0,22	9000
24	1,0			0,24	17000

In the process of studying the effect of cutting (milling) on the surface roughness of samples made of titanium alloy VT20, which were obtained by selective laser sintering, the following conclusions were made in [8]:

- as a result of the analysis of the actual value of the cutting force, for each experiment, we can conclude that with an increase in the intensity of the processing process and an increase in the temperature increase in the cutting zone, the strength of the material decreases to 5%, with the presented processing modes (Table 1.3.2)

- the resulting microstructure of the VT20 alloy has the form of a fine-grained structure, while martensite formations are observed in it;

- the best surface quality (roughness) of the machined sample was with milling modes

- the smallest surface roughness of the machined sample is obtained at cutting modes $V = 80$ m/min, $t = 0.3$ mm, and $F = 0.05$ mm/tooth;

- as a result of milling, the microhardness of the sample became lower than the microhardness value before processing.

Based on the results of [8], it can be said that the processing of samples obtained by laser sintering was carried out in various ranges of cutting modes, but there is no information about the cutting tool used in processing, coolant and equipment.

The results of laser sintering of NiTi-TiB₂ powders are known. After laser sintering, the samples had the following mechanical properties in Table 1.3.3.

Table 1.3.3 Physical and mechanical properties of NiTi-TiB2 powder samples after laser sintering.

Physical and mechanical properties	Meaning
Density, MPa	8,3
Compressive strength, MPa	1830
Tensile strength, MPa	860
Bending strength, MPa	1320
Compressive yield strength, MPa	990 - 1090
Tensile yield strength, MPa	110 - 160
Modulus of elasticity, GPa	290 - 330
Poisson's ratio	0,29
Thermal conductivity coefficient, W/m·K	12,5 - 13,6
Coefficient of linear thermal expansion, K ⁻¹	11,3 - 12,4·10 ⁻⁶
Relative deformation of the sample under compression	0,32
Relative deformation of the sample under tension	0,11
Hardness (H _v), HRC	44 - 46

The results of the milling machinability of the NiTi-TiB2 composite obtained by powder sintering on a 3d printer are known and presented in [2]. Based on the results of the workability of the NiTi-TiB2 composite in [2], the following conclusions were made:

8. For milling the presented composite, carbide cutters for processing heat-resistant steels and titanium alloys can be effectively used. With geometry $\gamma = 4^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\omega = 38^\circ$, $z = 4$.

9. The optimal cutting speed for milling is $V = 25$ m/min.

10. The optimum feed per tooth is $Sz = 0.04$ mm/tooth.

11. Optimal for work is the milling scheme, in which the value of the milling depth is many times greater than the width. The resistance of the cutter operating at a ratio of 1:16 with other equal modes is almost 3 times higher than at a ratio of 1:1 and 2 times higher than at a ratio of 1:4.

12. The main wear is on the back surface of the cutter tooth.

13. Before the onset of critical wear, the cutting forces at different ratios of depth and width have the same values.

7. The choice of the workability group of the material under study can be considered correct. The material can be processed by milling with correctly selected cutting conditions.

The optimal processing modes presented in [2] can be used as nominal experimental modes for the study.