



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов
ООП/ОПОП Материаловедение в машиностроении
Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы
Получение деталей аддитивно-упрочняющей технологией

УДК 621.81-021.416:004.925.84:621.785.5

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ11	Юй Яо		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Мартюшев Никита Владимирович	К.т.н, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.А.	д-р экон.наук		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ ИШНПТ	Буякова С.П.	ДОКТ. ТЕХН. наук, профессор		

Томск – 2023 г.

Планируемые результаты обучения по ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном языке, для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен решать производственные и/или исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов
ОПК(У)-2	Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии
ОПК(У)-3	Способен участвовать в управлении профессиональной деятельностью, используя знания в области системы менеджмента качества
ОПК(У)-4	Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности
ОПК(У)-5	Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в области материаловедения и технологии материалов, смежных областях
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен обоснованно (осмысленно) использовать знания основных типов металлических, неметаллических и композиционных материалов различного назначения, в том числе наноматериалов для решения профессиональных задач.

ПК(У)-2	Способен осуществлять рациональный выбор материалов и оптимизировать их расходование на основе анализа заданных условий эксплуатации материалов, оценки их надежности, экономичности и экологических последствий применения
ПК(У)-3	Способен осуществлять анализ новых технологий производства материалов и разрабатывать рекомендации по составу и способам обработки конструкционных, инструментальных, композиционных и иных материалов с целью повышения их конкурентоспособности
ПК(У)-4	Способен планировать и осуществлять экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать их результаты, делать выводы, составлять и оформлять отчеты по проведенным исследованиям
ПК(У)-5	Способен выполнять перевод технической литературы на иностранном языке, связанной с профессиональной деятельностью в области материаловедения
ПК(У)-6	Способен решать задачи, относящиеся к производству, обработке и модификации материалов и покрытий, деталей и изделий
ПК(У)-7	Способен организовать проведение анализа и анализировать структуру новых материалов, адаптировать методики исследования свойств материалов к потребностям производства и разрабатывать специальные методики
ПК(У)-8	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки (специальность) Материаловедение и технологии материалов
Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ С.П. Буякова

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ11	Юй Яо

Тема работы:

Получение деталей аддитивно-упрочняющей технологией	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ №_69-70_с _____ от ____10.03.2023____

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является технология получения образцов из нержавеющей стали марки 40X13 методом электронно-лучевой наплавки
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Изучить литературу по диссертации. Получить на установке электронно-лучевой наплавки образцы из стали марки 40X13 при различных режимах печати. Провести исследование полученных образцов – изучить их микроструктуру и измерить микротвердость.

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Титульный лист Актуальность, цель работы Материалы и методы исследования Результаты исследований Заключение
---	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Гасанов М.А., Профессор-д-р экон. наук
Социальная ответственность	Антоневич Ольга Алексеевна, Доцент
Обзор литературы	Мартюшев Никита Владимирович, Доцент
Объект и методики исследования	Мартюшев Никита Владимирович, Доцент
Результаты исследования	Мартюшев Никита Владимирович, Доцент
Иностранный язык	Полякова Наталья Владимировна, Доцент

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

Реферат – Abstract
Литературный обзор - Review of literature

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Мартюшев Никита Владимирович	К.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ11	Юй Яо		



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов
Уровень образования Магистратура
Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения
Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2022 /2023 учебного года)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Обучающийся

Группа	ФИО
4БМ11	Юй Яо

Тема работы:

Получение деталей аддитивно-упрочняющей технологией

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
13.03-31.03	<i>Подготовительный этап</i>	
01.04-16.04	<i>Основной этап</i>	
17.04-20.05	<i>Научно-исследовательская работа</i>	
21.05-25.05	<i>Заключительный</i>	
26.05-05.06	<i>Подготовка отчета</i>	

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Мартюшев Никита Владимирович	К.т.н., доцент		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ ИШНПТ	Буякова С.П.	докт. техн. наук, профессор		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ11	Юй Яо		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа магистра содержит 109 с., 27 рис., 24 таб., 34 источника.

Ключевые слова: Аддитивное производство, нержавеющие стали, электронно-лучевая наплавка.

Объектом исследования является технология получения образцов из нержавеющей стали марки 40X13 методом электронно-лучевой наплавки.

Ц е л ь работы – получить режимы электронно-лучевой наплавки, позволяющие изготавливать образцы из стали 40X13 с минимальной пористостью и изучить микроструктуру и механические свойства этих образцов.

В ходе работы проводились пробоподготовка, исследование структуры и фазового состава образцов, измерение микротвёрдости.

В результате исследований было установлено, что микроструктура образца из нержавеющей стали 40x13 состоит из игольчатого мартенсита и остаточного аустенита. Мы проанализировали различия в твердости образцов. Горизонтальные детали имеют более высокую скорость охлаждения, что приводит к более высокому значению твердости.

О б л а с т и применения нержавеющей стали, изготовленной методом аддитивного производства: автомобилестроение, аэрокосмическая промышленность и машиностроение.

Экономическая эффективность/значимость работы. Поскольку данный проект относится к поисковым научным разработкам, то интегральный финансовый показатель разработки рассчитать не представляется возможным. В целом, данный проект является перспективным с точки зрения ресурсопотребления, так как в отличие от аналогов в проекте предусмотрены меньшие затраты на себестоимость будущей продукции за счет использования недорогих сырьевых материалов и возможное достижение требуемых физико-механических характеристик.

ABSTRACT

The master's final qualifying work contains 109 pages, 27 figures, 24 tables, 34 sources.

Keywords: Additive manufacturing, stainless steels, electron beam surfacing.

The object of the study is the technology of obtaining samples from stainless steel grade 40X13 by electron beam surfacing.

The aim of the work is to obtain electron beam surfacing modes that allow to produce samples of 40X13 steel with minimal porosity and to study the microstructure and mechanical properties of these samples.

In the course of the work, sample preparation, study of the structure and phase composition of samples, measurement of microhardness were carried out.

As a result of the research, it was found that the microstructure of the 40x13 stainless steel sample consists of needle-like martensite and residual austenite. We analyzed the differences in the hardness of the samples. Horizontal parts have a higher cooling rate, which leads to a higher hardness value.

Areas of application of stainless steel made by additive manufacturing: automotive, aerospace and mechanical engineering.

Economic efficiency/significance of the work. Since this project relates to exploratory scientific developments, it is not possible to calculate the integral financial indicator of the development. In general, this project is promising from the point of view of resource consumption, since, unlike analogues, the project provides for lower costs for the cost of future products due to the use of inexpensive raw materials and the possible achievement of the required physical and mechanical characteristics.

Определения, обозначения, сокращения

САПР – Система автоматизированного проектирования;

EBM – Электронно-лучевая наплавка;

АП – Аддитивное производство;

SLM – Выборочная лазерная плавка;

SLS – Выборочное лазерное спекание;

WAAM – Проволочное дуговое оплавление;

НИР – Научно-исследовательская работа.

Оглавление

Введение.....	12
1 Литературный обзор.....	13
1.1 Аддитивные технологии.....	13
1.2 Классификация аддитивных технологий.....	20
1.3 Мартенситная нержавеющая сталь 40X13.....	27
2 Экспериментальная часть.....	31
2.1 Экспериментальное принтерное оборудование.....	31
2.2 Подготовительный этап.....	35
2.3 Обработка образцов.....	41
2.4 Микроструктура и твердость.....	44
3 Результаты и их обсуждение.....	46
3.1 Микроструктура.....	46
3.2 Микротвердость.....	48
3.3 Влияние твердости материала на обрабатываемость.....	50
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	53
4.1 Предпроектный анализ.....	53
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	53
4.1.2 Анализ конкурентных решений.....	54
4.1.3 SWOT-анализ.....	56
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	59
4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	60
4.2 Планирование управления научно-техническим проектом.....	61
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	61
4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования.....	63
4.3 Бюджет научного исследования.....	66
4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	67
4.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы.....	68
4.3.3 Расчет затрат на социальный налог.....	71

4.3.4 Расчет амортизационных расходов	71
4.3.5 Расчет затрат на электроэнергию	72
4.3.6 Расчет прочих расходов	74
4.3.7 Расчет общей себестоимости разработки	74
4.3.8 Расчет прибыли	75
4.3.9 Расчет НДС	75
4.3.10 Цена разработки НИР	75
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	75
Выводы по разделу	79
5 Социальная ответственность	82
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	83
5.2 Производственная безопасность	84
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов	84
5.2.2 Производственные факторы, связанные с электрическим током	85
5.2.3 Воздушная среда и микроклимат студии	86
5.2.4 Химически вредные вещества в воздухе рабочей зоны	87
5.2.5 Повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума	88
5.2.6 Активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов	89
5.2.7 Недостаточная освещенность рабочей зоны	90
5.3 Экологическая безопасность	92
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	93
Заключение по разделу	95
Заключение	96
Список использованных источников	98
Приложение	102

Введение

Аддитивное производство металла (АП) — это технология производства, при которой металлическая деталь создается слой за слоем путем плавления необработанного металла и наращивания его слой за слоем на основе компьютерной модели данных САПР.

За последние несколько лет эта технология созрела для промышленного применения, в основном благодаря преимуществам более быстрого производства, более низкой стоимости материалов и широкого спектра материалов, которые можно использовать [1]. В зависимости от цели могут использоваться различные типы технологий аддитивного производства. Например, в качестве источников тепла используются лазерные и электронные лучи, а в качестве сырья для мелких деталей, требующих высокой точности, используются порошки [2]. Для крупных деталей используются методы наплавки, такие как аддитивное электронно-лучевое производство (EBAM). Например, титановый шарообразный бак относительно простой формы. Электронно-лучевая плавка осуществляется в вакуумной камере, что позволяет избежать окисления металла и образования пор.

Аддитивное производство позволяет изготавливать сложные 3D-компоненты с более высокой скоростью осаждения по сравнению с обычным субтрактивным и деформируемым производством [2]. Но процесс аддитивного производства всегда сопровождается быстрым нагревом и последующим охлаждением. Это может отрицательно сказаться на качестве продукта.

В этой статье подробно рассматривается технология аддитивного производства с использованием электронного луча в качестве источника тепла и проволоки в качестве сырья для производства деталей из нержавеющей стали 40х13, а также анализируется микроструктура и механические свойства деталей.

1 Литературный обзор

1.1 Аддитивные технологии

Технология аддитивного производства - это технология изготовления твердых деталей путем послойного накопления материалов с помощью проектных данных САПР. По сравнению с традиционной технологией удаления (резки) материала, это метод производства накопления материала “снизу вверх”. Технология аддитивного производства постепенно развивалась с конца 1980-х годов [1].

С принципиальной точки зрения, на основе проектных данных, материалы (в том числе жидкости, порошки, проволоки или блоки и т. д.) автоматически накапливаются для формирования метода изготовления твердых конструкций, который можно рассматривать как технологию аддитивного производства. Технология аддитивного производства не требует традиционных инструментов, приспособлений и многопроцессорных процедур. Используя данные 3D-проектирования, детали любой сложной формы можно быстро и точно изготовить на одном устройстве, решая многие сложные проблемы прошлого. Формование изготавливаемых сложных конструкционных деталей значительно сокращает технологические процессы и цикл обработки. И чем сложнее структура изделия, тем значительнее преимущества его изготовления.

В последние годы технологии аддитивного производства достигли быстрого развития. Принципы аддитивного производства сочетаются с различными материалами и процессами для формирования многих устройств аддитивного производства. В настоящее время насчитывается более 20 видов оборудования. Как только технология появилась, она получила быстрое развитие и стала широко использоваться в различных областях, таких как бытовая электроника, автомобили, аэрокосмическая, медицинская, военная, географическая информация, художественный дизайн и так далее [3]. Аддитивное производство характеризуется быстрым производством

единичных или небольших партий, что определяет его важную роль в инновациях продуктов.

1.1.1 История развития технологии 3D-печати металлом [4]

Методами нагрева металлических материалов для 3D-печати в основном являются лазер, электронный луч, а формы материалов для печати — порошок, нить, фольга и т. д. Далее в основном анализируется процесс разработки технологии 3D-печати металлом с точки зрения физической металлургии металлических материалов и механических свойств деталей.

(1) Этап быстрого прототипирования

Этап быстрого прототипирования является начальным этапом исследований и разработок технологии 3D-печати. Производство деталей завершается определенной технологией печати. Точность формовки деталей и компактность матрицы плохие. Обычно требования к производительности не могут быть встречались, но по способу формообразования уже имеют эпохальное значение, например SLS.

(2) Стадия уплотнения

За исключением особых требований, большинство металлических деталей должны соответствовать определенным механическим свойствам, прежде чем их можно будет использовать. Уменьшение пористости и увеличение плотности являются основными задачами на этапе уплотнения 3D-печати. Существует два способа достижения уплотнения деталей: первый способ — уплотнить оригинальные 3D-печатные детали с высокой пористостью, второй — разработать новые процессы, такие как SLM (технология селективного лазерного плавления), которые могут напрямую получать металлические детали плотностью более 99%, что значительно улучшает механические свойства деталей.

(3) Стадия повышения эффективности процесса [5]

В начале 21 века различные исследовательские группы приложили большие усилия для печати деталей сложной, крупной и точной формы и

продолжали улучшать механические свойства деталей для достижения практического инженерного применения 3D-печатных деталей, а также получили плодотворные результаты. Этот материал сравним с поковками, открывая новую эру 3D-печати металлом — от лабораторных до практических инженерных приложений.

(4) Стадия технологической зрелости

Правительство поддерживает технологию 3D-печати из-за ее гибкости, энергосбережения, защиты окружающей среды и высокой адаптируемости. Скорость развития технологии 3D-печати за последние 30 лет поразительна. До сих пор было большое количество коммерческих случаев 3D печать деталей. Развитие технологии 4D-печати показало блестящее будущее для технологии 3D-печати. Благодаря постоянным усилиям многих исследователей 3D-печать станет зрелой и станет одной из основных технологий формирования в машиностроительной промышленности.

1.1.2 Преимущества аддитивной технологии производства по сравнению с традиционной технологией производства [5]

В области производства некоторые детали имеют сложную форму и длительные циклы подготовки, которые не могут быть изготовлены традиционными процессами литья иковки или имеют большие потери. Технология аддитивного производства металлов позволяет быстро изготавливать детали, соответствующие требованиям, и имеет преимущества короткого цикла обработки, низкой стоимости производства и отсутствия необходимости в инструментах и формах.

Типичным применением является изготовление металлических форм с конформным охлаждением в литейной промышленности. Система охлаждения металлической формы является одним из проектов проектирования формы. Традиционная система охлаждения формы в основном основана на линейной конструкции водяного канала, которая относительно проста в изготовлении, но требует длительного времени

рассеивания тепла, что напрямую влияет на время извлечения из формы, продукт качество, внешний вид товара и т.п. Дизайнер проанализировал тепловыделение пресс-формы и водовода с помощью программного обеспечения и спроектировал водовод специальной формы [6]. Однако из-за ограничений существующей технологии обработки конструкция водовода специальной формы может оставаться только на теоретическом уровне. этап. После появления технологии аддитивного производства металлов эти проблемы были решены за счет прорывов. Сообщается, что время проектирования водосточной формы особой формы с помощью 3D-печати металлом было сокращено на 75%, рабочая сила на производственном этапе была сэкономлена на 50%, производственный цикл литейной формы был сокращен на 14%, а себестоимость производства снижена на 16%.

Металлические материалы являются незаменимыми и важными материалами в области производства, но в реальном процессе обработки возникает множество проблем, таких как титановые сплавы, жаропрочные сплавы, сверхвысокопрочные стали и другие материалы, которые трудно обрабатывать, высокая обработка затрат и использования материалов Низкий, длительный цикл обработки и т. д. Высокоэнергетические лучи, такие как лазеры и электроны, используемые в технологии аддитивного производства металлов, имеют высокую плотность и высокую скорость, что значительно снижает сложность обработки металлических материалов, улучшает использование материала и снижает затраты на сырье [5].

3D-печать очень подходит для индивидуального производства на заказ и мелкосерийного производства. В настоящее время персонализированное производство аддитивного производства металлов чрезвычайно заметно в применении медицинских устройств, с одной стороны, оно используется для печати имплантатов/протезов с индивидуальными требованиями или сложных структур, имитирующих бионические принципы. Персонализация и мелкосерийное производство стали современным трендом развития

обрабатывающей промышленности, 3D-печать металлом избавилась от ключевого технического звена изготовления пресс-форм, а параметры можно в любой момент скорректировать для выполнения мелкосерийного или даже единичного производства. штучное производство продукции с меньшими затратами и более коротким циклом. Помимо производства медицинского оборудования, он также имеет большой потенциал применения в других отраслях.

Восстановление формы дорогостоящих деталей также является важным преимуществом технологии аддитивного производства металлов. В прошлом поврежденные детали можно было отремонтировать только с помощью поверхностного покрытия, а процесс ремонта включал множество этапов, в том числе некоторые дополнительные этапы, такие как обработка, полировка, испытание и т. д., а также был ограничен сроком ремонта, который занимал долгое время, а также может выполнять замену только для слегка серьезных повреждений. Технология аддитивного производства металлов позволяет быстро формировать и ремонтировать любые отсутствующие или поврежденные детали.

Для традиционных методов производства очень сложно комбинировать различные материалы в одном продукте, но технология аддитивного производства позволяет комбинировать различное сырье для производства. Технология аддитивного производства металлов может произвольно добавлять тонкие структуры однородных/гетерогенных материалов к деталям, изготовленным традиционными технологиями, такими как литье,ковка и механическая обработка, и придавать им механические свойства, сравнимые с обычным производством [7]. Таким образом, целесообразное использование технологии аддитивного производства для комбинированного изготовления некоторых промышленных деталей с использованием различных видов металлических материалов для различных конструктивных деталей не только значительно улучшает

эксплуатационные характеристики конструкционных деталей, но и снижает затраты, особенно стоимость дорогостоящих материалов. В то же время преимущества технологии аддитивного производства для формирования сложных и тонких структур сочетаются с преимуществами традиционной технологии изготовления высокоточных книг для формирования наилучшей производственной стратегии.

Технология аддитивного производства изменила традиционный метод производства и дала новую идею прямого изготовления сложных металлических конструкционных функциональных деталей, которая имеет широкие перспективы применения в обрабатывающей промышленности. В будущем металлические 3D-принтеры будут все больше и больше заменять некоторое традиционное оборудование для обработки и производства, но технология аддитивного производства также имеет свои недостатки и недостатки, и она не может полностью заменить субтрактивное производство, а представляет собой параллельную и взаимодополняющую связь.

По сравнению с традиционными технологиями термической обработки, такими как ковка и сварка, и технологиями холодной обработки, такими как механическая обработка, зрелость технологии 3D-печати металлом все еще намного отстает от традиционных технологий, особенно материалы стали ключевым фактором, влияющим на будущее развитие металла. 3D печать. По неполным статистическим данным, среди более чем 5000 видов металлических сплавов только десятки из них могут быть сформированы с помощью качественной 3D-печати. Мало видов сырья, высокая стоимость, незрелые технологии материалов и технологии контроля качества, отставание в разработке специальных сплавов и неразрушающий контроль формованных деталей. Несовершенство метода и отсутствие соответствующих стандартов во многом ограничивают применение технологии 3D-печати металлом.

1.1.3 Тенденции развития технологии 3D-печати металлом [8]

После почти 30 лет разработки материалы для 3D-печати металлами добились значительного прогресса, но существуют только десятки относительно зрелых сплавов, и все еще существует огромный разрыв с существующими более чем 5000 металлическими материалами. Кроме того, механические свойства и контроль геометрической точности формования сплавов для 3D-печати Jinzhan далеки от идеальных. Этот аспект исходит из исследований механизма формования и формообразования этих сплавов в процессе 3D-печати металлов и последующей термообработки. понимание недостаточно систематично, с другой стороны, оно происходит из-за недостаточного контроля процесса 3D-печати металлом. Это также означает, что для технологии 3D-печати металлом предстоит еще много фундаментальных и прикладных исследований, требующих дальнейшего совершенствования. Поэтому тенденция развития технологии 3D-печати металлом в будущем включает:

(1) Глубокое понимание ключевых научных вопросов технологии 3D-печати.

3D-печать — это металлургическое поведение порошка, проволоки и другого сырья при чрезвычайно коротком и быстром взаимодействии лазера и других источников энергии, металлургическое поведение и энергетические характеристики в процессе быстрого нагрева и охлаждения, характеристики сырья, среда нагрева/охлаждения. и т. д. Существует взаимодействие между несколькими факторами. Определите и изучите механизм действия между сырьем и источниками энергии, а затем улучшите физические свойства сырья, выберите источники энергии с лучшим соответствием, улучшите эффективное поглощение источников энергии сырьем и установите подходящий метод 3D-печати, который, несомненно, станет металлом будущего Исследуйте горячие точки в области 3D-печати.

(2) Разработка новых материалов для 3D-печати.

С углублением фундаментальных научных вопросов в процессе 3D-печати и постоянным улучшением уровня производства оборудования для печати будет использоваться все больше и больше металлических материалов, исследования, несомненно, станут важным направлением развития 3D-печати металлом.

(3) Качество технологии 3D-печати металлом будет улучшаться.

Благодаря углубленному исследованию механизма 3D-печати металлом скорость обновления оборудования для 3D-печати металлом и технологии контроля качества процесса будут улучшены, поэтому эффективность и всесторонние механические свойства деталей для 3D-печати из металла будут значительно улучшены. качество поверхности улучшится, а также будут улучшены другие физические свойства.

(4) Установить критерии оценки и методы оценки в рамках новой структурной формы.

3D-печать — это революционная технология для быстрого и точного изготовления сложных, сложных в изготовлении и дорогостоящих конструкционных деталей. Реализация этой технологии сильно отличается от традиционного производства с точки зрения металлургического механизма, микроструктуры, структурной формы, формы дефекта и т. д., поэтому традиционные стандарты и методы оценки больше не могут удовлетворять потребности новых продуктов. В соответствии с характеристиками технологии 3D-печати изучение комплексных методов оценки производительности и установление стандартов и методов оценки для новых структурных форм являются ключевыми вопросами для реализации инженерного применения технологии 3D-печати металлом.

1.2 Классификация аддитивных технологий

Аддитивное производство как новая технология производства широко изучалось для изготовления металлических деталей сложной формы и геометрии. В отличие от традиционных методов производства, в аддитивном

моделировании компоненты строятся слой за слоем из модели детали, созданной в системе автоматизированного проектирования (САПР), без использования инструментов или даже вспомогательных материалов. В результате можно легко изготавливать детали почти чистой формы с относительно высокой производительностью и точностью [9], требуя минимальных операций отделки [10].

В настоящее время процессы формования, которые можно использовать для аддитивного производства металлов, в основном включают селективное лазерное плавление (SLM), селективное электронно-лучевое плавление (EBM), осаждение электронно-лучевым плавлением и аддитивное производство электродуговой сварки (WAAM) [11]. Эти процессы обычно можно дополнительно классифицировать в зависимости от используемого источника тепла и способа подачи сырья (например, проволоки или порошка) или в зависимости от размера формовочного оборудования [10], чтобы адаптировать их к различным применениям.

1.2.1 Лазерное селективное плавление

Селективное лазерное плавление (SLM) является одним из типичных процессов технологии лазерного аддитивного производства, технический принцип которого показан на рисунке 1. Процесс построения изделий происходит в камере SLM машины, заполненной инертным газом аргон или азот (в зависимости от типа порошка, из которого происходит построение), при ламинарном его течении. Основной расход инертного газа происходит в начале работы, при продувке камеры построения, когда из нее полностью удаляется воздух (допустимое содержание кислорода менее 0,15%). После построения изделие вместе с плитой извлекается из камеры SLM машины, после чего изделие отделяется от плиты механическим способом. От построенного изделия удаляются поддержки, производится финишная обработка построенного изделия. Практически полное отсутствие кислорода

позволяет избегать оксидации расходного материала, что делает возможной печать такими материалами, как титан. [7].

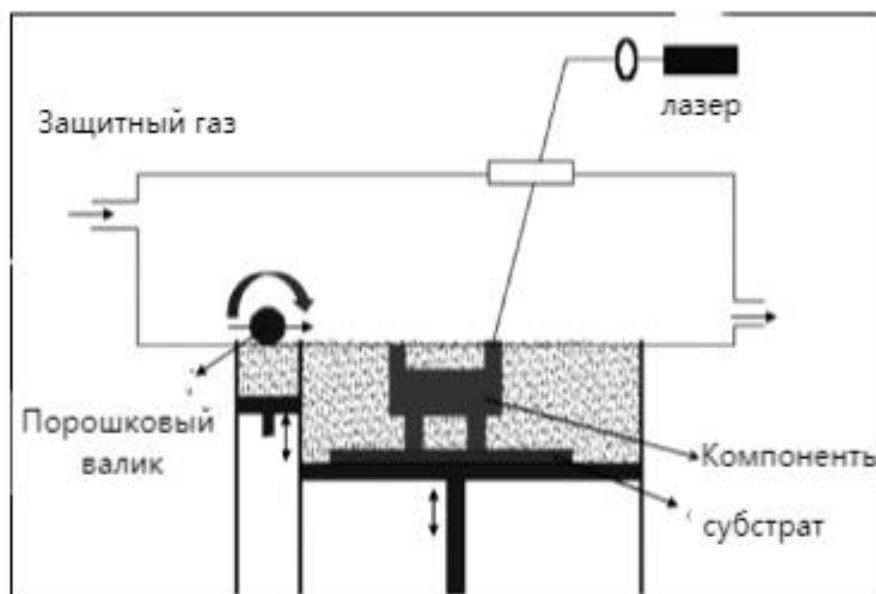


Рисунок 1 - Принцип формирования SLM

Технология лазерной плавки (SLM) – технология изготовления металлических изделий сложных пространственных форм при помощи плавления порошковых составов лазером. Работы выполняются на основании математических САД-моделей.

Чтобы обеспечить быстрое плавление металлических порошковых материалов, технология SLM в настоящее время использует лазеры с высокой плотностью энергии в качестве источников тепла, мощностью лазера 50-400 Вт и размером пятна 20-100 мкм, что позволяет практически напрямую получать металлургически связанные функциональные детали любой формы и практически полностью плотных, механические свойства практически близки к уровню поковок [8], формованные детали имеют мелкозернистую однородную структуру, шероховатость поверхности может достигать 20-50 мкм, что подходит для обработка заготовок различной сложной формы по технологии. Хотя SLM имеет высокую точность, он также сталкивается с явлением сфероидизации в процессе формования. [11] и термические напряжения [12] отрицательно сказываются на точности

формообразования.

Технология селективного лазерного плавления имеет много преимуществ, но она больше всего подходит для аддитивных материалов из нержавеющей стали, поэтому технология селективного лазерного плавления обычно применима к нержавеющей стали и инструментальной стали.

По статистике, основанной на практических результатах, экономия на производстве продукции достигает 65%. Сокращение двух традиционных этапов позволило ощутимо снизить и время выполнения работ. Технология предоставляет пользователям полную свободу в проектировании заготовок и деталей. Она подходит для решения сложных задач. Позволяет проектировать изделия со сложной геометрией, с внутренними каналами для эффективного охлаждения, технологическими полостями. Существенно упрощает и снижает время на выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Порошок, который остается незадействованным в технологическом процессе, отводится из рабочей области и может использоваться повторно. То есть получаем практически безотходное изготовление деталей: отсеивается не более 3-9% материала. Высокая гибкость. Можно вносить конструктивные изменения быстро и недорого. Традиционные методы производства металлических деталей не предполагают такой гибкости: она нецелесообразна как с экономической, так и с технической точки зрения. Минимальные требования к последующей (финишной) обработке. Напечатанная продукция отличается высокой точностью размеров.

1.2.2 Электронно-лучевая плавка (EBM)

EBM — это использование высокоэнергетических, высокоскоростных электронных пучков для расплавления слоев металлического порошка или проволоки [13]. Электронный луч управляется набором электромагнитных катушек, которые точно направляют электронный луч в область плавления, и электронный луч избирательно перемещается по мере плавления порошка,

вызывая сплавление металлического порошка. . Поскольку ЕВМ нагревается электронным лучом, генерируемая температура относительно высока, поэтому он обычно используется для некоторых материалов, устойчивых к высоким температурам, таких как титановый сплав и никелевый сплав.

Электронные лучи — очень передовые инструменты для соединения материалов и аддитивного производства. Электронный пучок генерируется электронно-лучевой пушкой, расположенной в верхней части вакуумной камеры. Электронная пушка является стационарной, а электронный луч можно направлять контролируемым образом, чтобы охватить всю зону обработки. Сверхвысокий вакуум в рабочей камере обеспечивает защиту от негативного влияния атмосферы. Это очень полезно, особенно при работе с реактивными материалами [14].

Аддитивное производство на основе проволоки предлагает интересную альтернативу процессам на основе порошка благодаря своей простоте и относительно высокой скорости осаждения. Благодаря присущей ему гибкости использование электронных лучей в качестве источника тепла для аддитивного производства открывает уникальные возможности для проектирования компонентов. Более крупные детали с довольно тонкими характеристиками и высокой сложностью могут быть построены эффективно. В отличие от лазерных и дуговых технологий, электронные лучи более эффективны.

Построение процесса ЕВАМ означает понимание фундаментальных взаимосвязей между очень сложными физическими процессами. Правильная координация подачи энергии и подачи проволоки имеет решающее значение для стабильного переноса материала от проволоки в сварочную ванну и, таким образом, для формирования стабильной сварочной ванны [15].

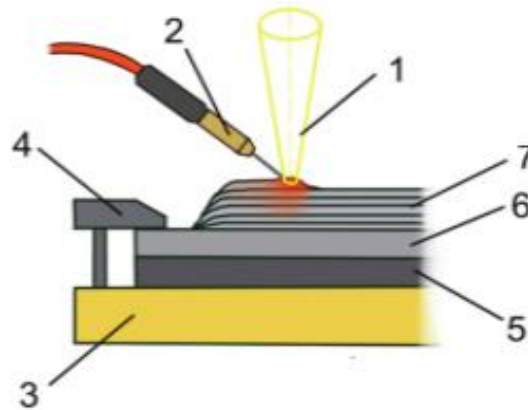


Рисунок 2 – 1 Электронный пучок, 2 Устройство подачи проволоки, 3 Столик, 4 Крепление подложки, 5 Подложка-основа, 6 Подложка, 7 Образец печати

Когда технология электронно-лучевой плавки используется для производства различных металлических материалов, в процессе формовки металла с высокой отражательной способностью, поскольку материал с высокой излучательной способностью мало влияет на технологию электронно-лучевой плавки, необходимо: При производстве различных металлических материалов, коэффициент использования материала в производственном процессе может быть эффективно улучшен. Хотя технология электронно-лучевой плавки имеет много преимуществ, она также имеет свои ограничения, например, при работе в вакууме стоимость соответствующего производственного оборудования слишком высока, поэтому стоимость будет постепенно увеличиваться в реальном производстве; Сама технология плавки имеет определенную степень радиации, которая будет оказывать определенное влияние на организм человека и окружающую среду.

1.2.3 Производство электродуговых добавок (WAAM)

Дуговое аддитивное производство (WAAM) основано на принципе многослойного и наложенного производства с использованием дуг, генерируемых сварочными процессами, такими как сварка MIG/MAG и плазменно-дуговая сварка, в качестве источника тепла и сварочной

проволоки в качестве формирующего материала. Трехмерные детали формируются путем нанесения слоев покрытия, принцип формирования показан на рисунке 3.

Технология WAAM считается технологией DED на основе проволоки из-за ее способности производить материалы со значительно высокой скоростью осаждения (до 10 кг / ч) при более низкой стоимости оборудования по сравнению с процессами аддитивного производства на основе лазера и электронного луча, более короткое время доставки. С точки зрения затвердевания, скорость охлаждения материала при использовании технологии WAAM намного ниже, чем при лазерном (10^3 - 10^8 К/с) или электронно-лучевом (10^3 - 10^4 К/с) процессах АМ. Это может привести к микроструктуре, которая менее склонна к растрескиванию или образованию пор [16].

WAAM имеет следующие преимущества по сравнению с традиционной ковкой и другими методами производства металлических добавок:

(1) Высокая эффективность формовки. Поскольку технология WAAM построена на основе автоматизированного производства и объединяет цифровое, интеллектуальное и параллельное производство, время от проектирования модели до обработки детали очень короткое, а отформованные детали могут быть непосредственно введены в эксплуатацию с небольшой обработкой.

(2) стоимость оборудования низкая. WAAM использует общее сварочное оборудование и имеет высокую степень использования материала, что подходит для формирования материалов из драгоценных металлов и композитных материалов.

(3) Производственная форма является гибкой. Размер и форма формованных деталей WAAM практически не ограничены, что позволяет реализовать быстрое прототипирование небольших партий и крупных деталей.

(4) Производительность формованных деталей хорошая. По сравнению с традиционными отливками и поковками материалы WAAM связаны металлургически, имеют компактную структуру, отличные механические свойства, высокую прочность и хорошую ударную вязкость [13].

Однако, поскольку технология WAAM представляет собой сложный процесс с многопараметрической связью, форму сварного шва и переход капли в процессе сварки контролировать непросто, а на процесс формования легко влияют другие факторы, что приводит к накоплению дефектов.

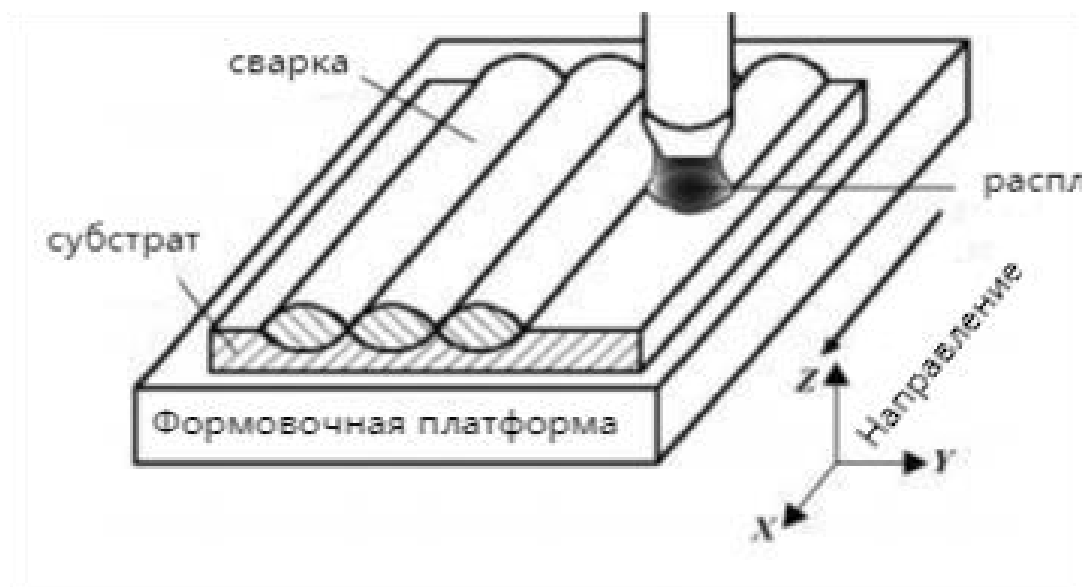


Рисунок 3 - Принцип WAAM

1.3 Мартенситная нержавеющая сталь 40X13

Сплавы из нержавеющей стали используются во все большем числе промышленных применений из-за их высокой прочности, ударной вязкости и коррозионной стойкости от хорошей до превосходной.

Аустенитные или ферритные нержавеющие стали предпочтительны в высококоррозионных средах, таких как химическая, нефтехимическая, морская и медицинская, в то время как мартенситные нержавеющие стали используются, когда также требуются хорошие механические свойства [17].

Мартенситная нержавеющая сталь — это тип нержавеющей стали, известный своей высокой прочностью, высокой твердостью и коррозионной

стойкостью. Он имеет относительно высокое содержание углерода, поэтому его можно подвергать термической обработке для упрочнения и укрепления структуры. Используется в хирургических инструментах, бритвенных лезвиях, подшипниках и других областях [12].

Мартенситные стали имеют объемно-центрированную тетрагональную (ОЦТ) кристаллическую структуру, и, поскольку в структуре ОЦТ работает очень мало систем скольжения, мартенситные нержавеющие стали прочны, но хрупки. Более того, содержание углерода в мартенсите относительно велико, и все они находятся в твердом растворе, что способствует упрочнению твердого раствора.

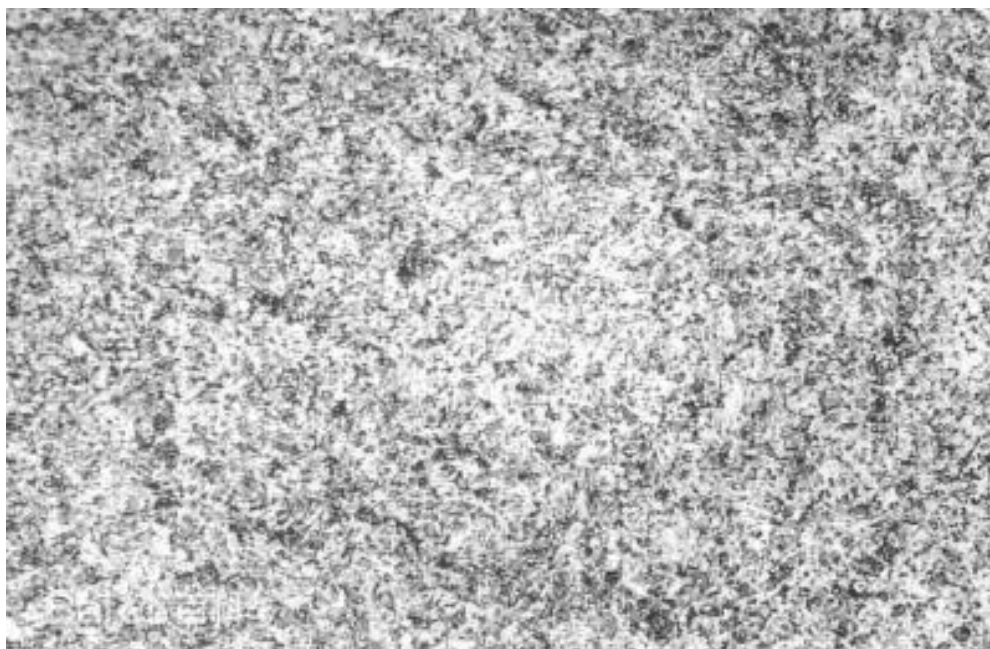


Рисунок 4 – Мартенситная нержавеющая сталь

Нержавеющая сталь 40х13 представляет собой мартенситную сталь, широко используемую в пресс-формах, аэрокосмической, морской, ядерной и оборонной областях благодаря сочетанию высокой прочности и превосходной коррозионной стойкости [11]. Нержавеющая сталь 40х13, изготовленная аддитивным способом, обычно состоит из мартенситной, остаточного аустенита, ферритной и карбидной фаз, которые быстро затвердевают при высоких скоростях охлаждения.

С другой стороны, аустенит может оставаться в микроструктуре после

применения относительно медленной скорости охлаждения, что приводит к значительному изменению физических и механических свойств. Таким образом, скорость охлаждения в процессе производства играет жизненно важную роль в определении свойств конечного продукта.

При сравнении механических свойств стержней из стали 40X13 в предварительно закаленном и отпущенном состоянии с готовыми компонентами, полученными в процессе аддитивной обработки, нельзя не отметить улучшение. Предел текучести стандартного холодотянутого образца составляет около 590 МПа [16], в то время как компонент, изготовленный аддитивным способом, может достигать 1000 МПа. Фактически, термоциклирование мартенситной нержавеющей стали во время аддитивного производства приводит к образованию закаленного мартенсита [17], ответственного за увеличение твердости и прочности и снижение пластичности.

Однако большое количество углерода снижает коррозионную стойкость и свариваемость сплава. Последнее делает 40X13 более сложной, чем аустенитные нержавеющие стали, поскольку она склонна к растрескиванию на этапе повторного затвердевания каждого слоя и поэтому не может быть оптимизирована для аддитивной обработки.

Кроме того, принимая во внимание промышленное применение мартенситных нержавеющих сталей, одним из преимуществ использования аддитивного производства может быть изготовление деталей почти чистой формы, таких как конформные каналы для пресс-форм и оснастки, которые можно использовать напрямую без дополнительных этапов обработки.

Однако оказывается, что типичная шероховатость поверхности готовых аддитивных деталей выше, чем у обычных процессов [15], и последующие процессы чистовой обработки часто трудно применять [18]. Высокая шероховатость вызвана несколькими характеристиками обработки, такими как параметры процесса, поверхность Эффект естественной лестницы на

частицах и слоях спеченного порошка [19]. Все задействованные параметры должны быть оптимизированы, чтобы уменьшить начальную шероховатость и улучшить качество поверхности готовой детали.

Нержавеющая сталь 40х13 - Нержавеющая сталь жаропрочная мартенситная коррозионностойкая сталь

в % стали 40х13

C 0,35 - 0,44 Si до 0,6 Mn до 0,6 Ni до 0,6

S до 0,025 P до 0,03 Cr 12 - 14 Fe~84

Удельный вес: 7650 кг/м³

Термообработка: Закалка 1030 - 1050°C, воздух, Нагрев 530°C, 2ч

Температура ковки °C: начала 1200, конца 850. Сечения до 200 мм подвергаются низкотемпературному отжигу

Твердость материала: HB 10⁻¹ = 143 - 229 МПа

Температура критических точек: Ac₁ = 800 , Ar₁ = 780

Обрабатываемость резанием: в закаленном и отпущенном состоянии при HB 340 и $\sigma_B = 730$ МПа, $K_{v\text{ тв. спл}} = 0,6$, $K_{v\text{ б.ст}} = 0,4$

Свариваемость материала: не применяется для сварных конструкций

Жаростойкость: стойкая до температуры 600 - 650 °C

2 Экспериментальная часть

2.1 Экспериментальное принтерное оборудование

В экспериментах в качестве сырья использовалась проволока из легированной нержавеющей стали 40х13 диаметром 1,2 мм. Для всех подложек размеры 100×100×19 мм. Основная подложка помещается поверх опорной пластины и плотно прижимается зажимами, два зажима размещаются по углам подложки для обеспечения максимально возможной силы зажима. Основная подложка непосредственно используется для нанесения расплавленного сырья. Для этого требуется материал, аналогичный материалу для осаждения, чтобы избежать образования хрупких интерметаллидов или дефектов затвердевания. Подложка носит в первую очередь защитный характер, поскольку при использовании тонкой подложки существует риск проникновения в подложку и повреждения стола, что может иметь катастрофические последствия для оборудования. Положение механизма подачи проволоки относительно заготовки и электронного луча должно быть правильно отрегулировано для стабильной передачи материала. Во время сварки между плавким предохранителем и расплавленной ванной должна существовать перемычка из расплавленного металла [20].

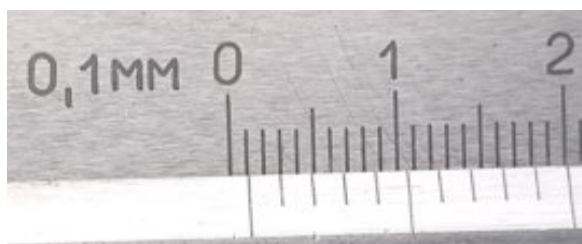


Рисунок 5 – Измерительная проволока штангенциркуля

Таблица 1 – Проволока из нержавеющей стали 40х13

элемент	C	Si	Mn	Cr	S	P	Ti	Cu	Ni
%	0.36-0.45	≤0.8	≤0.8	12.0-14.0	≤0.03	≤0.025	≤0.2	≤0.3	≤0.6

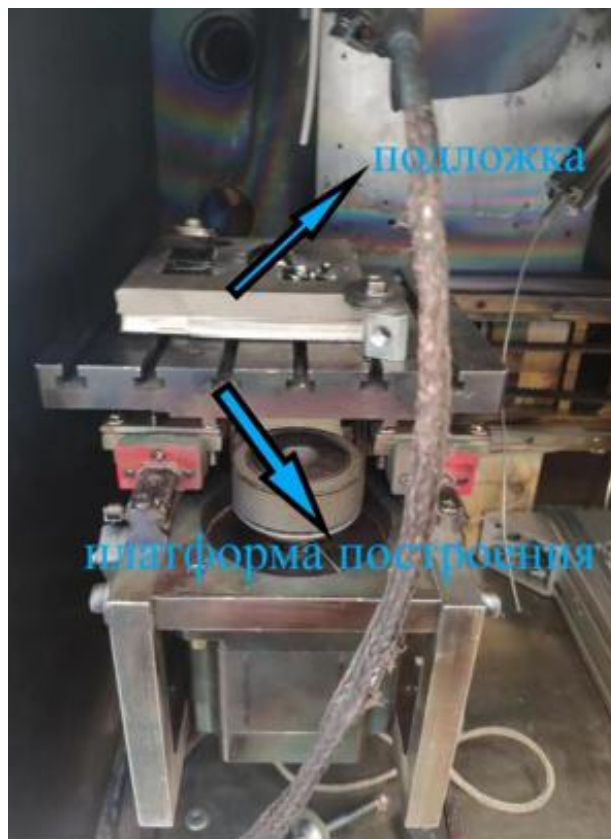


Рисунок 6 - Механизм движения подложки



Рисунок 7 - Механизм подачи проволоки

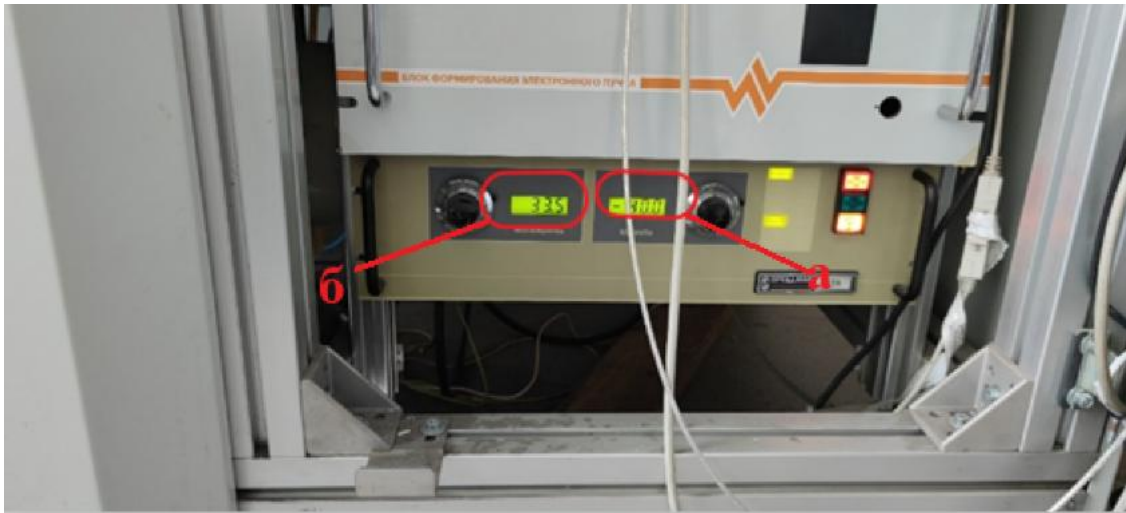


Рисунок 8 - Ускоряющее напряжение(а) и Ток луча(б)

Уравнение Юнга для угла смачивания в:

$$\cos \theta = (F_{ТГ} - F_{ТЖ}) / F_{ЖГ}$$

Где θ , $F_{ТГ}$, $F_{ТЖ}$, $F_{ЖГ}$ соответственно угол смачивания, сила поверхностного натяжения на границы подложка/опора, сила поверхностного натяжения на границе подложка/ванна, сила поверхностного натяжения жидкости. Силы $F_{ТГ}$ и $F_{ЖГ}$ мало зависят от температуры, поэтому можно считать их постоянными.

Поверхностное натяжение обратно пропорционально активности жидкой плавильной ванны, и активность жидкости увеличивается с повышением температуры. По мере увеличения высоты выращивания происходит накопление тепла, в то же время температура предыдущего слоя повышается. По этой причине ширина (8,5 мм) 19-го слоя больше чем ширина (5мм) первого слоя. Уменьшения угла смачивания негативно влияет на точности формирования, которая приводит к увеличению времени последующей механической обработки.

Когда проволока почти соприкасается с поверхностью расплавленной ванны как расплавленно-металлический мост, сварной шов имеет хороший внешний вид. По мере увеличения высоты H внешний вид шва становится плохим из-за струи паров металла (рис. 9) [20].

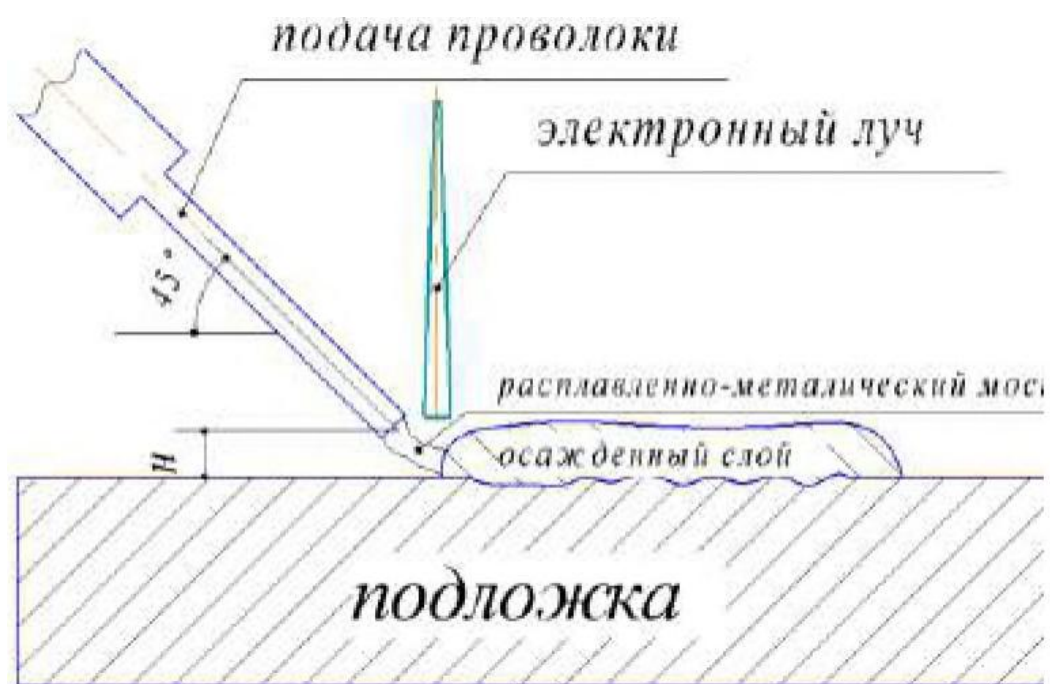


Рисунок 9 - Принцип электронно-лучевой наплавки проволоочной аддитивной технологии

2.2 Подготовительный этап

В этом исследовании были напечатаны 3 разных экспериментальных образца, и образец 1 был вертикальным образцом. В начале печати после 6 попыток найдите наиболее подходящий для печати ток 21 мА.

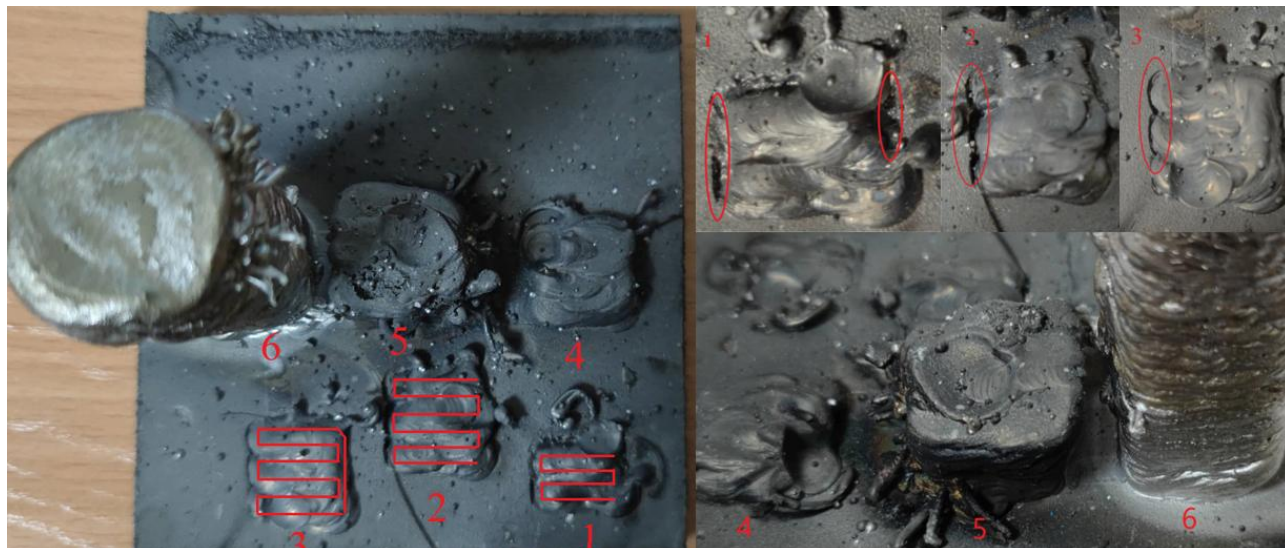


Рисунок 10 – Образец печати вертикально

Как показал рисунок 10, что при высоком токе луча может быть обнаружено избыточное проплавление сварного шва на модуль 1,2,3.

Как известно, первый слой имеет самую высокую скорость охлаждения. Модель 4 и 5 относится к переходному состоянию. В процессе эксперимента наблюдалось, когда деталь достигает некоторой высоты, скорость ее охлаждения становится низкой, в результате чего проволока переходит в жидкометаллическое состояние и перемещается вокруг.

Образец А

Таблица 2 – Параметры печати образца А

Диаметра проволоки: 1,2 мм	Развертка луча круг: 3-5мм
Ускоряющее напряжение: 40 кВ	Угол подачи проволоки: 45°
Ток луча : 21 мА	КПД электронно-лучевого : 0.85-0.95
Толщина слоя : 0, 877мм	Количество слоя: 100
длина:21мм ширина:21 мм высота:76мм (приблизительно) Постепенный нагрев подложки до температура- Нет, С завышенной мощностью(+5-10мА) на первом слое	
Скорость сканирование(Рис 11) Подача проволоки (Рис 12) Скорость формирования(м ³ /ч) 6.9×10^{-5} Время за одна слоя 20.8 s	

- скорость 350 мм/мин
- скорость 300 мм/мин
- скорость поднимания 1000 мм/мин

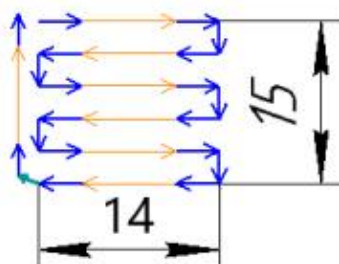


Рисунок 11 - Схема скорости печати

- подача проволоки 1050 мм/мин
- подача проволоки 900 мм/мин
- подача проволоки поднимания 0 мм/мин

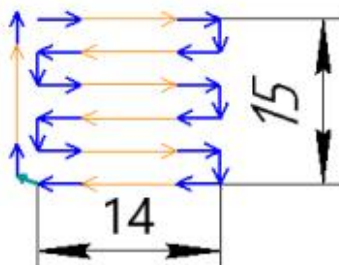


Рисунок 12 - Схема подачи проволоки

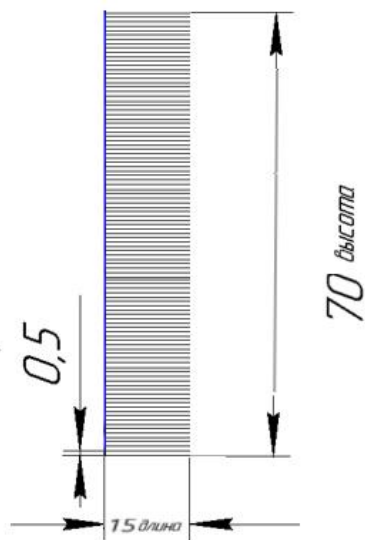


Рисунок 13 - Схема троектории печати

Образец Б

Таблица 3 – Параметры печати образца Б

Диаметра проволоки: 1,2мм	Количество слоя: 20
Ускоряющее напряжение: 40 кВ	КПД электронно-лучевого : 0.85-0.95
Ток луча : 33 мА	Развертка луча круг: 3-5мм
Толщина слоя : 0,65 мм	Угол подачи проволоки: 45°
<p>Размер изделия: длина:73мм ширина:23 мм высота:13мм (приблизительно) Постепенный нагрев подложки до температура- Нет, С завышенной мощность(+5-10мА) на первом слое</p>	
<p>Скорость сканирование(Рис 14) Подача проволоки (Рис 15) Скорость формирования (м³/ч) 4.16×10^{-5} Время за одна слоя : 88s</p>	



Рисунок 14 - Схема скорости печати

- подача проволоки 700 мм/мин
- подача проволоки 600 мм/мин
- подача проволоки поднимания 0 мм/мин

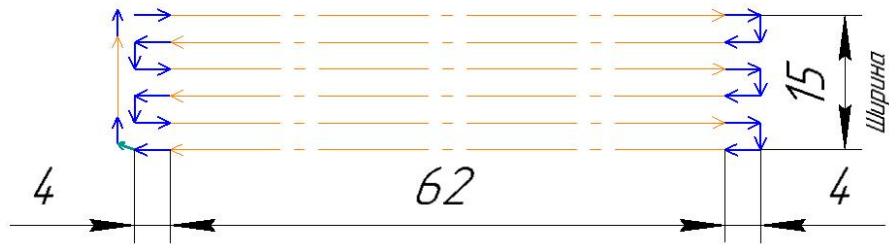


Рисунок 15 - Схема подачи проволоки

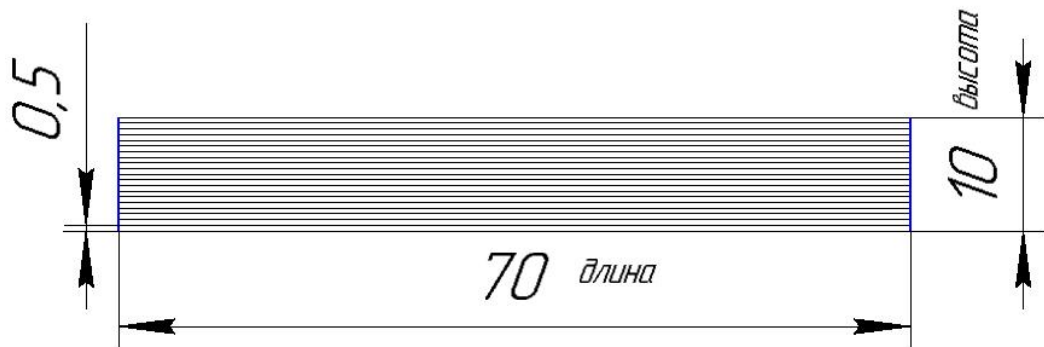


Рисунок 16 - Схема траектории печати

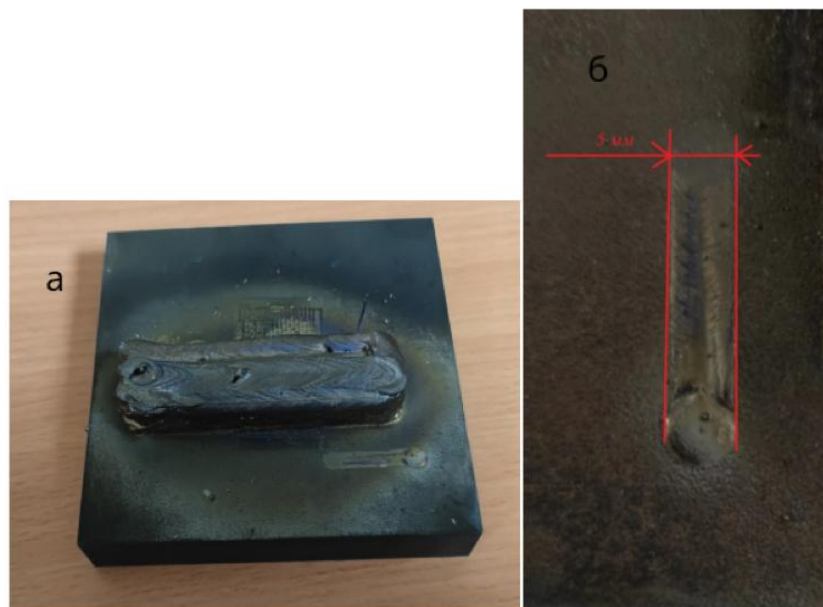


Рисунок 17 - а - нержавеющей стали 40x13 б - Ширина первого слоя
Образец В

Таблица 4 – Параметры печати образца В

Диаметра проволоки: 1,2мм	Развертка луча круг: 3-5мм
Ускоряющее напряжение: 40 кВ	Угол подачи проволоки: 45°
Ток луча : 31 мА	Количество слоя: 20
Толщина слоя : 0,65 мм	КПД электронно-лучевого : 0.85-0.95
длина:73мм ширина:23 мм высота:13мм (приблизительно) Постепенный нагрев подложки до температура- Нет, С завышенной мощностью(+5-10мА) на первом слое	
Скорость сканирование(Рис 18) Подача проволоки (Рис 19) Скорость формирования (м³/ч) 4.16×10^{-5} Время за одна слоя : 88s	



Рисунок 18 - Схема скорости печати

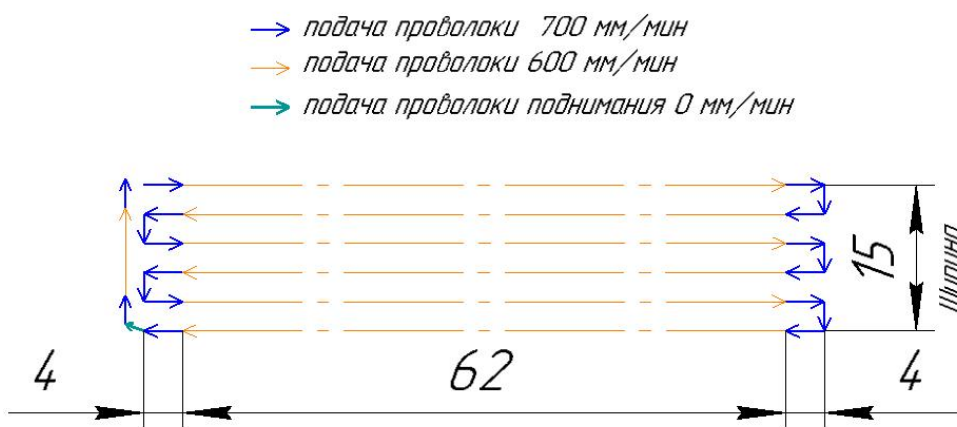


Рисунок 19 - Схема подачи проволоки

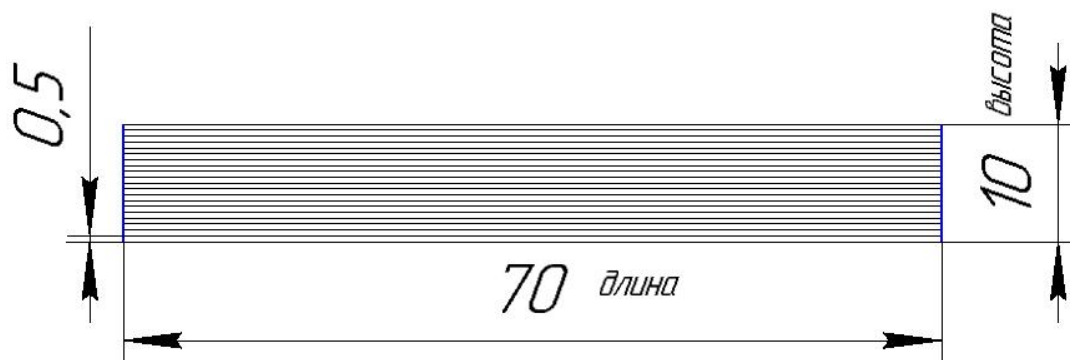


Рисунок 20 - Схема троектории печат

Были напечатаны три опытных образца из нержавеющей стали 40x13, образец 1 – вертикальный ток образца 21 мА. Образцы 2 и 3 представляют собой образцы горизонтальной печати с токами 31 мА и 33 мА. Различные направления печати и разные токи печати приведут к различной микроструктуре образцов, что, в свою очередь, приведет к различиям в механических свойствах образцов. Затем образец подвергается постобработке для анализа микроструктуры и измерения твердости.

2.3 Обработка образцов

Как показано на рисунке 21, образцы были вырезаны и зафиксированы смолой. Сначала шлифуйте на шлифовальном круге и подождите, пока следы износа станут равномерными; затем переместите его на тонкий шлифовальный круг для шлифования, и образец должен быть охлажден водой во время шлифования, чтобы структура металла не изменилась из-за тепла.

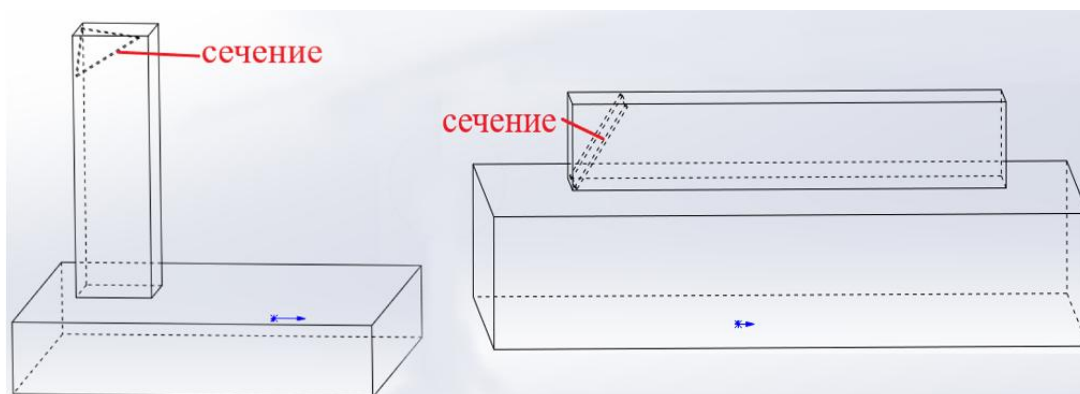


Рисунок 21 - Вертикальная заготовка и горизонтальная заготовка

Отшлифованные, промытые и высушенные на шлифовальном круге образцы затем шлифуются на каждой зернистости наждачной бумаги от грубой до мелкой, используя бумагу SIC P180, P300, P600, P800, P1000, P1500, от крупнозернистой наждачной бумаги до мелкозернистой. , а затем снова смените наждачную бумагу, образец необходимо повернуть на угол 90°, а старую шлифовку в вертикальном направлении.

Предварительно отшлифованные образцы сначала грубо полируют на полировальной машине (полировальная ткань – тонкая фланелевая ткань, полировальная жидкость – суспензия оксида алюминия), а затем проводят тонкую полировку (полировальная ткань – бархат, полировальная жидкость – оксид триоксида).

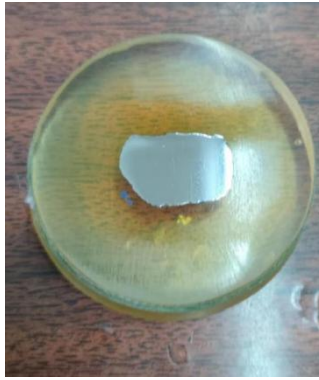
Диалюминиевая суспензия) · Полировка до полного удаления следов износа на образце и получения поверхности зеркального вида, то есть шероховатости ниже Ra0,04.

Полированный образец можно погрузить в травитель, содержащийся в стеклянной чашке для травления. Во время травления образец может время от времени слегка перемещаться, но полированная поверхность не должна соприкасаться с дном чашки.

При травлении образцов из нержавеющей стали следует использовать царскую водку. Царская водка представляет собой высококоррозионную жидкость желтого цвета, представляющую собой смесь концентрированной соляной кислоты и концентрированной азотной кислоты в объемном соотношении 3:1. Попадание реагента царской водки на кожу вызывает ожоги. Попадание паров реагента на слизистые оболочки глаз и носоглотки вызывает местное покраснение и раздражение. Работать в вытяжном шкафу со средствами индивидуальной защиты.

После травления образец быстро промывают водой со спиртом, а затем сушат феном. Подготовьтесь к микроструктурному наблюдению за образцом.





В

Рисунок 22 - Отшлифованный и полированный образец (а - образец А б -
образец Б в - образец В)

2.4 Микроструктура и твердость

В этом эксперименте для наблюдения за микроструктурой протравленных деталей использовался металлографический микроскоп Лабомет-1И. Дополнительный объектив со 100-кратным увеличением и окуляр устанавливаются соответственно на держателе объектива и внутри тубуса окуляра. Отрегулируйте центр предметного столика так, чтобы он совпадал с центром линзы объектива, и поместите протравленную сторону образца в центр предметного столика. Отрегулируйте конденсор так, чтобы свет падал на протравленную поверхность через предметный столик [21].

Найдите подходящее положение через окуляр и поворачивайте ручку точной фокусировки, пока изображение не станет максимально четким. Замена окуляра на DCM-510 SCOPE Видеоокуляр для поляризационных микроскопов, видеоокуляр подключается к компьютеру через порт USB. Отобразите наблюдаемый объект на экране компьютера, масштабируйте его и сохраните в виде файла для дальнейшей обработки.



Рисунок 23 - Металлографический микроскоп Лабомет-1И

В данном эксперименте микротвердость образцов определяли на приборе DuraScan 20 (EMCO-TEST Prufmaschinen GmbH Austria).

Обычный метод определения твердости имеет большую площадь вдавливания, и измеряется средняя твердость в области вдавливания [22].

Однако, когда микроструктура материала неоднородна, вместо этого необходимо использовать микротвердость для представления реальной твердости матрицы материала. большой площади средней твердости. Измерение микротвердости измеряется размером отпечатка, произведенного коническим индентором на поверхности материала под нагрузкой, и наконечник можно вдавить в поверхность металлического испытательного тела, чтобы получить отпечаток, сохраняющий форму наконечника. .

Каждый экспериментальный образец измеряли в 11 различных положениях и рассчитывали среднее значение [23].



Рисунок 24 - DuraScan 20 (EMCO-TEST Prufmaschinen GmbH Austri

3 Результаты и их обсуждение

3.1 Микроструктура

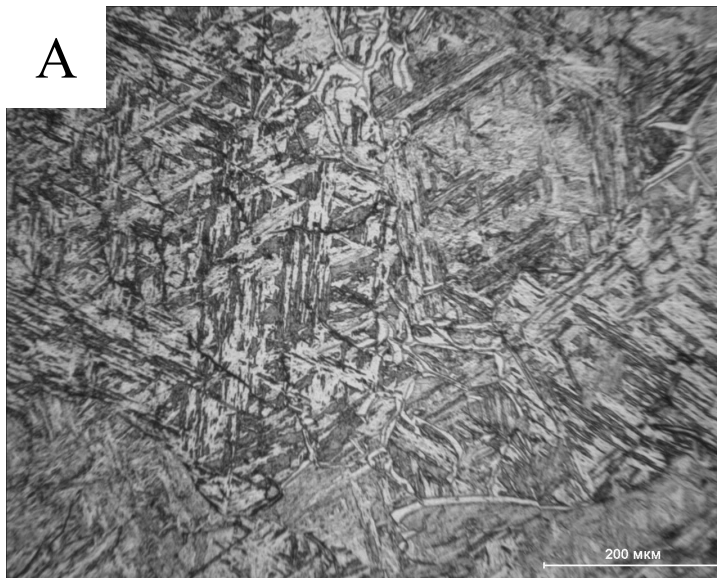
В отличие от традиционных методов производства, при которых мартенситные нержавеющие стали обычно являются полностью мартенситными, в мартенситных нержавеющих сталях, изготовленных аддитивным способом, могут быть обнаружены другие микроскопические компоненты, такие как фазы аустенита и дельта-феррита.

Как показано на рисунке 25, микроструктурная характеристика показывает, что напечатанный образец из нержавеющей стали 40x13 представляет собой полностью плотную структуру без образования трещин. Граница расплавленной ванны отсутствует, что указывает на то, что материал хорошо сплавился в процессе печати. Микроструктура состоит из мартенсита и аустенита, без пор и примесей.

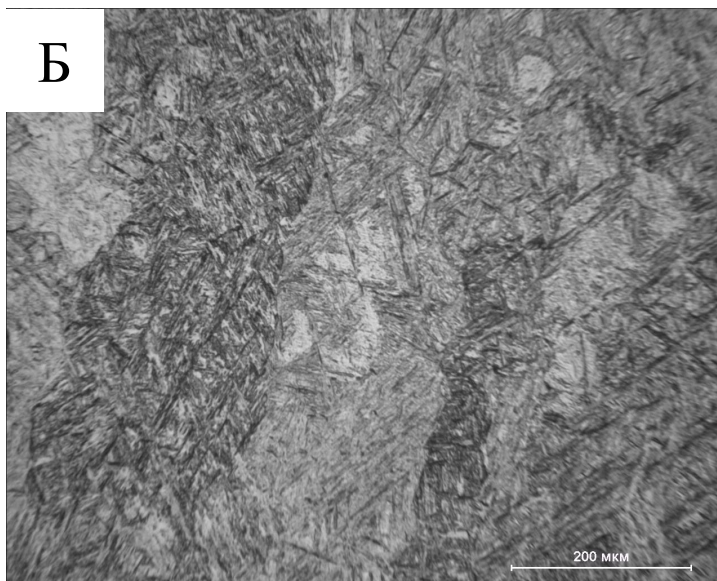
Микроструктура полна мартенситных игл. Такое поведение объясняется высокой скоростью охлаждения во время затвердевания при электронно-лучевом аддитивном производстве, что облегчает фазовое превращение аустенита в мартенсит. Эти мартенситные игольчатые ячейки со случайной ориентацией значительно меньше, чем мартенситная фаза, образующаяся при литье и закалке нержавеющей стали 40x13 [24].

Аустенит по своей микроструктуре называется остаточным аустенитом. В мартенситных нержавеющих сталях, изготовленных аддитивно, аккумулятивная теплота осаждения следующего слоя оказывает сильное влияние на конечную микроструктуру ранее нанесенных слоев. При нанесении слоя нижний слой вблизи верхнего слоя нагревается выше температуры аустенитизации, так что образовавшийся ранее мартенсит вновь превращается в аустенит, в результате чего после повторного охлаждения образуются остаточный аустенит и мартенсит. не достигшие температуры аустенитизации, все же могут поддерживаться при температуре, достаточно высокой, чтобы первоначально образовавшийся мартенсит начал отпускать, а часть остаточного аустенита в этих слоях превратилась в мартенсит.

A



B



B

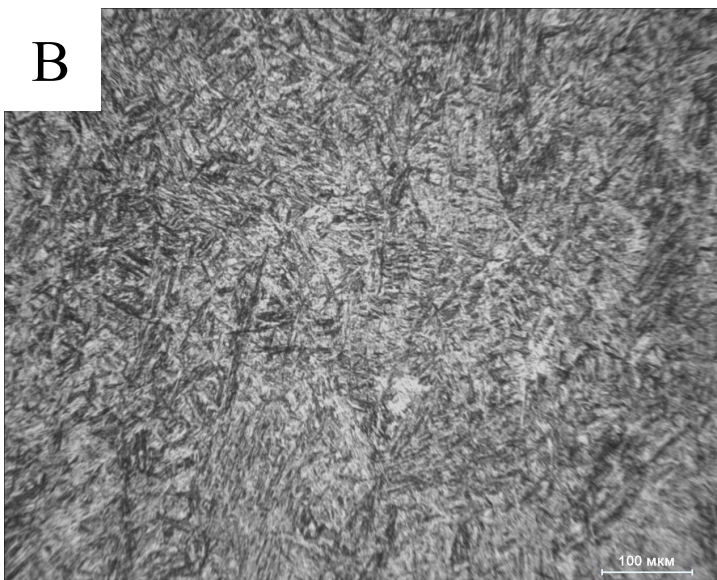


Рисунок 25 - Микроструктура под металлографическим микроскопом А-21mA; Б-31mA; В-33mA.

3.2 Микротвердость

Измерения микротвердости проводили индентором Виккерса при нагрузке 1 кгс с выдержкой 10 с. Указанная микротвердость представляет собой среднее значение одиннадцати отпечатков в разных местах.

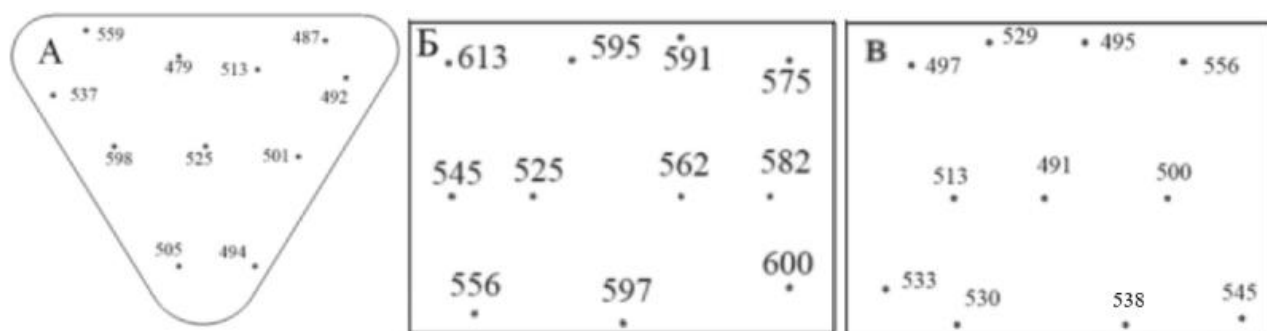


Рисунок 26 - Микроструктура под металлографическим микроскопом А-21mA Б-31mA В-33mA

Микротвердость трех образцов составляет 517HV, 576HV и 520HV соответственно; С точки зрения твердости образец А < образец В < образец Б.

Таблица 5 – Микротвердость образца

	направление печати	Ток луча (mA)	Твердость (max)	Твердость (min)	Твердость (avg)
Образец А	Вертикальная	21	598HV	479HV	517HV
Образец Б	горизонтальная	31	600HV	525HV	576HV
Образец В	горизонтальная	33	556HV	491HV	520HV

Анализируем разницу в твердости образцов. Как показано в Таблице 5, вертикальные детали можно печатать с меньшими затратами энергии, более высокой скоростью подачи проволоки и более высокой скоростью формования, чем горизонтальные детали. Кроме того, из значений средней плотности энергии можно сделать вывод, что скорость охлаждения горизонтальных компонентов больше, чем у вертикальных компонентов.

Горизонтальные детали имеют 2 более высокие скорости охлаждения, что приводит к более высоким значениям твердости. Повышение твердости при 40Х13 можно объяснить равномерным распределением игольчатого мартенсита при быстром охлаждении. Чрезмерная температура и время увеличат присутствие остаточного аустенита, что неблагоприятно повлияет на твердость. Полученные данные по твердости показывают, что положительный эффект от повышения температуры перевешивает увеличение остаточного аустенита с параметрами процесса и термоциклированием, вызванным во время изготовления.

Таблица 6 – Сравнение параметров печати

Параметры	Вертикальная	Горизонтальная
Ускоряющее Напряжение(кВ)	40	40
Ток луча (мА)	21	33
Подача проволоки по дуге (мм/мин)	1050	700
Подача проволоки по прямой линии (мм/мин)	900	600
Средняя толщина слоя (мм)	0.877	0.65
Скорость формирования (м ³ /ч)	6.9×10^{-5}	4.16×10^{-5}
Плотность энергии (Дж/мм ³)	45.17	114.12
Удельная энергия (Дж/мм)	53.64	129.1

Для одиночного образца с увеличением высоты структуры скорость охлаждения уменьшается, что приводит к увеличению размера зерна и изменению состава структуры.

Аддитивное производство имеет сложную термическую историю, включая быстрый повторный нагрев и охлаждение, по сравнению с традиционным производством. При формировании верхние слои нагреваются выше температуры аустенитизации, поэтому ранее образовавшийся мартенсит вновь превращается в аустенит. Увеличение содержания аустенита также приведет к снижению твердости мартенситной нержавеющей стали 40Х13. Но образцы, изготовленные аддитивно, были жестче, чем образцы, изготовленные традиционным способом. Это связано с тем, что термическая

предыстория аддитивного производства заставляет образец существовать в закаленном мартенсите и мартенсите отпуска, что приводит к более высокой твердости.

3.3 Влияние твердости материала на обрабатываемость

По сравнению с традиционными методами изготовления процесс аддитивного производства всегда сопровождается быстрым нагревом и последующим охлаждением. Неоднородность в процессе наплавки из-за неравномерного охлаждения и пористости наносит ущерб целостности поверхности получаемых деталей. Другими словами, технология аддитивного производства может производить только детали, близкие к окончательной форме, и обычно требует дополнительной обработки деталей для соответствия требованиям использования. Постобработка субтрактивными методами удаляет лишний материал, уменьшает среднюю шероховатость заготовки и ужесточает допуски, связанные с точностью размеров. Многие инженерные компоненты, для которых необходимо строго контролировать допуски и геометрические допуски (например, резьба, валы подшипников, скользящие фитинги, параболические зеркала и т. д.), не могут быть обработаны с помощью прямого аддитивного производства. Для нержавеющей стали 40х13 детали, изготовленные аддитивным способом, тверже, чем детали, изготовленные традиционным способом. Это влияет на обрабатываемость и увеличивает износ инструмента [25].

Обрабатываемость металлических материалов обычно относится к характеристикам или качеству металлических материалов, которые могут быть четко определены и измерены как признак легкости резки. Вообще говоря, хорошей обрабатываемостью должны быть: лучшая стойкость инструмента или более высокая скорость резания при определенной долговечности, более низкая сила резания, более низкая температура резания и легкость получения лучшего качества поверхности заготовки. Физико-механические свойства, химический состав и металлографическая структура материала заготовки напрямую влияют на обрабатываемость материала. Как

правило, чем выше твердость одного и того же материала, тем хуже обрабатываемость. Потому что чем выше твердость, тем меньше контактная длина режущей кромки на передней поверхности, тем больше нагрузка на переднюю поверхность и тем более сконцентрировано тепло резания на меньшей площади. Следовательно, чем выше твердость материала, тем выше температура резания, усугубление износа инструмента, а чрезмерная твердость иногда вызывает выкрашивание.

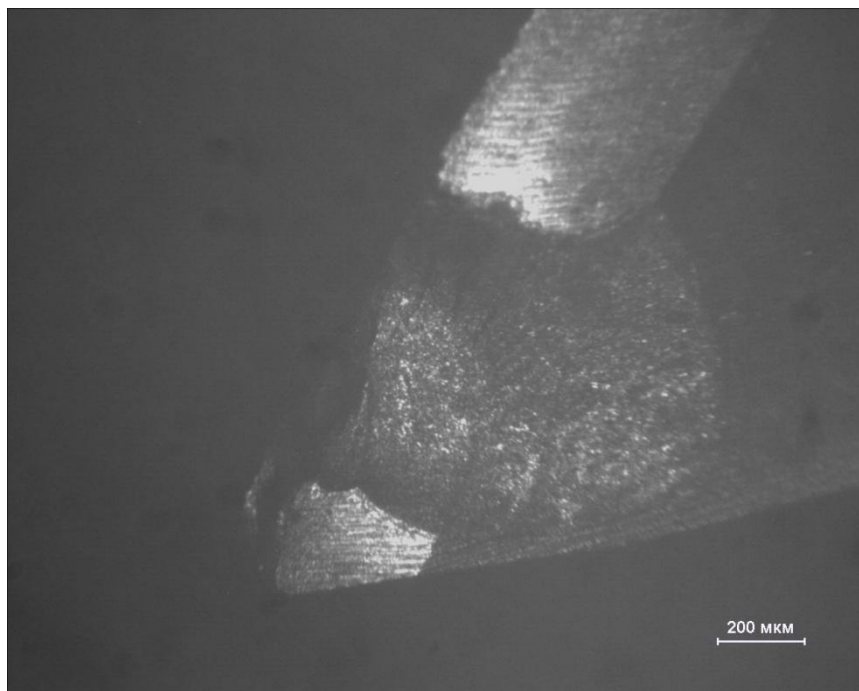


Рисунок 27 – Износ инструмента

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

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ11	Юй Яо

Школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедение
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Материаловедение и технологии материалов

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Материально-техническая база: Энергетические ресурсы: электрическая энергия; Информационные ресурсы: научные журналы, учебники и статьи по теме исследования; Человеческие ресурсы: студенты, научной руководитель.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Исследователи проводили эксперимент впервые, поэтому нормы и нормативы расходования ресурсов нет.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Ставка для расчета отчислений во внебюджетные фонды – 30% от фонда оплаты труда.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Анализ конкурентных технических решений. 2. SWTO – анализ.
2. Планирование процесса управления НИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	1. Планирование работ. 2. Разработка графика ганта. 3. Формирование бюджета затрат.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Описание потенциального эффекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения и бюджет НИ 4. Расчёт денежного потока 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ	
--	--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.А.	д-р экон. наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ11	Юй Яо		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Данная работа посвящена разработке 3D-печати металлом с использованием электронного луча в качестве источника тепла и анализу механических свойств изготовленных деталей из нержавеющей стали 40х13.

Результаты этого исследования будут полезны научному сообществу, работающему с аддитивными технологиями в любой отрасли. Например, это может быть мелкосерийное производство (изготовление пресс-форм, заготовок, вкладышей), медицина (изготовление протезов и имплантатов) или аэрокосмическая (производство газовых турбин, двигателей и элементов планера) и другие.

Поэтому многие ученые-экспериментаторы заинтересованы в изучении механических свойств 3D-печатных изделий, надеясь как можно быстрее получить очень точные детали для практических целей.

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и сегментировать его. Сегментация – это разделение покупателей на однородные группы, каждая из которых может требовать определенного товара (услуги).

Рынок услуг может быть сегментирован по мере необходимости с использованием этих приложений. Результаты сегментации представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Диаграмма сегментации рынка развития различных методов.

		Различные подходы к аддитивному производству			
		Медицина	Протезирование	Аэрокосмическая промышленность	Печать моделей
Размер	Крупные	[Grid Pattern]			
	Средние	[Grid Pattern]			
	Мелкие				



Фирма А



Фирма Б



Фирма В

4.1.2 Анализ конкурентных решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

В конечном итоге в качестве конкурирующих решений были выбраны следующие методы:

1. Селективное лазерное плавление (SLM)
2. Селективное лазерное спекание (SLS)
3. Дуговое наплавление проволочных материалов (WAAM)

Таблица 8 – Перечень оценочных карт, сравнивающих конкурирующие технологии

№	Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
			Бф	Бк1	Бк2	Бк3	Кф	К1	К2	К3
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические критерии оценки ресурсоэффективности										
1	Классы материалов для использования	0,2	5	2	3	3	1	0,4	0,4	0,6
2	Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	3	2	4	0,5	0,3	0,2	0,4
3	Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,05	4	3	4	5	0,2	0,15	0,2	0,25
4	Помехоустойчивость	0,05	4	5	5	4	0,2	0,25	0,25	0,2
5	Энергоэкономичность	0,05	4	3	3	5	0,2	0,15	0,15	0,25
6	Надежность	0,05	3	4	4	3	0,15	0,2	0,2	0,15
7	Простота эксплуатации	0,05	5	2	2	2	0,25	0,1	0,1	0,1
8	Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,1	5	3	2	4	0,5	0,3	0,2	0,4
Экономические критерии оценки эффективности										
1	Конкурентоспособность продукта	0,05	5	2	2	4	0,25	0,1	0,1	0,2
2	Уровень проникновения на рынок	0,05	3	4	3	2	0,15	0,2	0,15	0,1
3	Послепродажное обслуживание	0,05	4	2	2	2	0,2	0,1	0,1	0,1
4	Финансирование научной разработки	0,1	5	2	2	4	0,5	0,2	0,2	0,4
5	Цена изготавливаемой продукции	0,1	5	5	4	3	0,5	0,5	0,4	0,3
	Итого	1	57	40	38	45	4,6	2,95	2,65	3,45

Критерии сравнительной оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 7, выбраны на основе выбора четырех объектов сравнения и учета технико-экономических характеристик их разработки, создания и эксплуатации. Позиции разработчиков и

конкурентов оцениваются экспертами по каждому показателю по пятибалльной шкале, где 1 — самая слабая позиция, а 5 — самая сильная. Веса индикаторов, определяемые экспертами, должны составлять в сумме 1.

Из проведенного анализа можно сделать вывод, что хрупкость конкурирующих технических решений в основном связана с маркой используемых материалов, то есть ключевым моментом является тип материалов, которые можно использовать для различных источников тепла. Реализации первых двух конкурентов, Selected Laser Melting и Selective Laser Sintering, очень похожи, поэтому их коэффициенты конкурентоспособности мало чем отличаются. У подхода этих компаний фактически есть более или менее единственное существенное преимущество — это их уровень проникновения на рынок, у них широкая база тайных покупателей из разных уголков страны и многие бизнесы пользуются их услугами.

Самыми сильными конкурентами можно считать компании, использующие электрическую дугу в качестве источника тепла для печати. Основные его преимущества – надежность и помехозащищенность, простота использования.

Преимущество нашей собственной компании в том, что источником тепла для печати является электронный луч, а этот метод позволяет печатать продукцию быстро и с минимальными затратами. Еще одним преимуществом системы является простота ее использования, так как она выполняется в вакуумной среде, что снижает воздействие внешней среды на продукт.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Матрица составляется на основе анализа рынка и конкурентных технических решений, и показывает сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы для разработки.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 9 – SWOT-анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>С1. Простой интерфейс для использования</p> <p>С2. Более низкие производственные затраты по сравнению с другими технологиями</p> <p>С3. Процесс монтажа автоматизирован</p> <p>С4. Изготовление деталей с погрешностью размеров $\pm 0,2$мм на 100мм (высокоточное производство)</p> <p>С5. Постоянная поддержка разработчиков.</p>	<p>СЛ1. Устройство не транспортируется из-за его габаритов.</p> <p>СЛ2. Изготовление деталей только в вакууме.</p> <p>СЛ3. Отпечатанные детали необходимо отшлифовать</p> <p>СЛ4. Из-за высокой температуры в помещении процесс подготовки оборудования к работе длительный.</p>
Возможности		
<p>В1 Легко контролировать мощность электронного луча, что позволяет использовать несколько режимов плавки.</p> <p>В2 Возможность использования расходных материалов в виде проволоки и порошка.</p> <p>В3 Технология может быть применена к любому мелкосерийному производству.</p>	<p>В1С1С3. Простой пользовательский интерфейс и автоматическая настройка позволяют легко управлять электронным пучком.</p> <p>В3В4С4. Высокоточная технология производства позволяет применять его к различным мелкосерийным деталям, что позволяет использовать его в аэрокосмической области.</p>	<p>В1СЛ1СЛ4. Источником тепла в этой технологии печати является электронный луч, поэтому печать должна выполняться в вакуумной среде, а время ожидания увеличивается из-за медленного рассеивания тепла.</p>

<p>В4 В аэрокосмической промышленности электронно-лучевой синтез позволяет производить чрезвычайно прочные и легкие детали.</p>		
Угрозы		
<p>У1 Неожиданные комиссии за эксперименты.</p> <p>У2 Периодический отказ электронной пушки.</p> <p>У3 Нехватка квалифицированных специалистов.</p> <p>У4 Отсутствие своевременного финансирования научных исследований при дальнейшем развитии проекта.</p>	<p>У1У2С3. Периодическая неисправность электронной может способствовать к изготовлению брака, так как процесс автоматизирован, исправить это уже во время работы невозможно.</p>	<p>У4СЛ2СЛ3СЛ4. Отсутствие своевременного финансирования научных исследований при дальнейшем развитии проекта может привести к удлинению циклов экспериментов.</p>

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Соотношения параметров представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Интерактивная матрица проекта

		C1	C2	C3	C4	C5
Возможност и проекта	B1	+	0	+	0	-
	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	-	-	+	0
	B4	-	-	-	+	-

Возможность и проекта		СЛ1	СЛ2	СЛ3	СЛ4	
	В1	+	-	-	+	
	В2	-	-	-	-	
	В3	-	-	-	-	
	В4	-	-	-	-	
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	0	-	+	-	-
	У2	-	-	+	-	-
	У3	-	0	-	-	0
	У4	-	-	-	-	-

Угрозы проекта		СЛ1	СЛ2	СЛ3	СЛ4
	У1	-	-	-	-
	У2	-	-	-	-
	У3	-	-	-	-
	У4	-	+	+	+

4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в табл. 11.

Таблица 11 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	5

3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	3
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	4
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	3
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	52	54

Итоговые значения проработанности научного проекта и знания у разработчика лежат в диапазоне от 52 до 54, что говорит о высокой перспективности проекта. Знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации.

4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Перспективность данного научного исследования высокая. Таким образом, для коммерциализации этого достаточно. Так как основной научно-технический задел определен, этого достаточно для

коммерциализации следующими методами: торговля патентной лицензией; передача ноу -хау и инжиниринг . Степени проработанности научного проекта и уровень знаний разработчика достаточно для реализации пунктов, которые были выбраны .

4.2 Планирование управления научно-техническим проектом

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке: - определение структуры работ в рамках научного исследования; - определение участников каждой работы; - установление продолжительности работ; - построение графика проведения научных исследований . Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться . По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей . Для дальнейшей оценки экономической эффективности составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и распределение исполнителей по видам работ (Таблица 12).

Таблица 12 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение задания	Научный руководитель
Проведение НИР			
Разработка направления исследования	2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Техник

	3	Выбор методов исследования	Научный руководитель, Техник
	4	Календарное планирование работ	Научный руководитель, Техник
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Подготовка образцов для исследования	Техник
	6	Проведение экспериментов	Техник
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов, выводы	Научный руководитель, Техник
	8	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, Техник
Оформление полученных в НИР результатов	9	Составление пояснительной записки	Техник

4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ки} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где $T_{к}$ – продолжительность выполнения работы в календарных днях; $T_{р}$ – продолжительность выполнения работы в рабочих днях; $k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – количество праздничных дней в году. Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе $T_{к}$ необходимо округлить до целого числа.

Таблица 13 – Временные показатели проведения ВКР

№ работы	Исполнители	Продолжительность работ				
		t _{min} чел-дн	t _{max} чел-дн	тож чел- дн	Тр раб. дн	Тк кал. дн
1	Научный руководитель, Техник	3	10	6	3	4
2	Техник	10	30	18	18	22
3	Научный руководитель, Техник	7	15	10	5	6
4	Научный руководитель, Техник	8	18	12	6	7
5	Техник	8	15	10	10	12
6	Техник	11	26	17	17	21
7	Научный руководитель, Техник	8	18	12	6	7
8	Научный руководитель, Техник	7	15	10	5	6
9	Техник	8	14	10	5	6
Итого:		Научный руководитель			25	30
		Техник			75	91

На основе таблицы 13 строятся календарный план -график . График строится, для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 14– Календарный план проведения НИР

№	Вид работы	Исполнители	Тк к.д.	Продолжительность выполнения работ														
				Февр .	Март	Апр .	Май	Июнь										
1	Составление и утверждение задания	Научный руководитель, Техник	4	■														
2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Техник	22		■	■												
3	Выбор методов исследования	Научный руководитель, Техник	6			■	■											
4	Календарное планирование работ	Научный руководитель, Техник	7			■	■											
5	Подготовка образцов для исследования	Техник	12				■	■										
6	Проведение экспериментов	Техник	21					■	■									

- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

4.3.1 Расчет материальных затрат НИИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + K_T) * \sum_{i=1}^m C_i * N_{расхi}$$

Где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования;

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов;

K_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы. Принимается в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 1.9.

$$Z_{M1} = (1 + 0,15) * (8000) * 3 = 27600$$

$$Z_{M2} = (1 + 0,15) * 400 * 1 = 460$$

$$Z_{M3} = (1 + 0,15) * 2000 * 1 = 2300$$

Таблица 15– Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед. руб.	Затраты на материалы, (Z _м), руб.

Проволока	Кг	3	8000	27600
Интернет	М/бит	1	400	460
Канцелярские товары	Шт.	1	2000	2300
Итого				30360

Из стоимости материальных ресурсов, включенных в себестоимость продукции, стоимость утилизируемых отходов не включается.

4.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В данной статье рассматриваются базовые оклады научных и инженерно-технических работников. Размер расходов на оплату труда определяется исходя из сложности выполняемой работы и действующей системы оплаты труда и тарифных ставок. Базовая заработная плата состоит из ежемесячных премий, выплачиваемых из фонда оплаты труда в размере 20-30% от тарифной ставки или оклада.

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Трудоемкость, чел. дн.	Исполнители по категориям	Заработ ная плата, приходя щаяся на один чел. дн., тыс. руб.	Всего заработн ая плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Составление и утверждение задания	4	Научный руководитель	1,5	6
			Техник	0,5	2
2	Изучение поставленной задачи и поиск	22	Техник	0,5	11

	материалов по теме				
3	Выбор методов исследования	6	Научный руководитель	1,5	9
			Техник	0,5	3
4	Календарное планирование работ	7	Научный руководитель	1,5	10,5
			Техник	0,5	3,5
5	Подготовка образцов для исследования	12	Техник	0,5	6
6	Проведение экспериментов	21	Техник	0,5	10,5
7	Анализ полученных результатов, выводы	7	Научный руководитель	1,5	10,5
			Техник	0,5	3,5
8	Оценка эффективности полученных результатов	6	Научный руководитель	1,5	9
			Техник	0,5	3
9	Составление пояснительной записки	6	Техник	0,5	3
Итого: 90,5					

В эту статью включаются основные заработные платы (включая премии и доплаты) и дополнительные заработные платы работников, непосредственно участвующих в реализации НИИ.

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_p$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m * M}{F_d}$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{ТС} * K_{ПР} * K_P$$

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

$K_{ПР}$ – премиальный коэффициент, равный 1,3;

K_P – районный коэффициент, равный 1,3,

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице-1.6.

$$Z_{дн1} = 1,5 * 1,3 * 1,3 = 2,535 \text{тыс. руб}$$

$$Z_{дн2} = 0,5 * 1,3 * 1,3 = 0,845 \text{тыс. руб}$$

$$Z_{осн1} = Z_{дн1} * T_p = 2,535 \text{тыс. руб} * 30 = 76050 \text{руб}$$

$$Z_{осн2} = Z_{дн2} * T_p = 0,845 \text{тыс. руб} * 91 = 76895 \text{руб}$$

Таблица 17 – Ограничения проекта

Исполнители	З _{тс} , тыс. руб.	k _{пр}	k _д	k _р	З _{дн} , тыс. руб.	T _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	1,5	1,3	1	1,3	2,535	30	76050
Техник	0,4				0,845	91	76895
Итого З _{осн} : 152945							

$$Z_{доп} = Z_{осн} * 0,16 = 24471,2 \text{руб}$$

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} = 177416,2 \text{руб}$$

4.3.3 Расчет затрат на социальный налог

Стоимость единого социального налога (ЕСН), включая отчисления в пенсионные фонды, социальное и медицинское страхование, составляет 30% от общей зарплаты по проекту, т.е.

$$C_{соц} = C_{зп} * 0,3 = 53224,86$$

4.3.4 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула:

$$C_{AM} = \frac{H_A * Ц_{ОБ} * t_{рф} * n}{F_D}$$

где H_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

C_{OB} – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

F_D – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку C_{AM} . $F_D = 3240$ часа;

$t_{PФ}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

Стоимость персональный компьютер = 50000 руб., время использования 200 часа, тогда для него

$$C_{AM} (ПК) = (0,4 * 50000 * 200 * 1) / 3240 = 1235 \text{ руб.}$$

Стоимость оборудования 15000 руб, его $F_D = 450$ час.;

$$H_A = 0,5; \text{ тогда его } C_{AM} (Пр) = (0,5 * 15000 * 25 * 1) / 450 = 416,7 \text{ руб.}$$

Итого начислено амортизации 1651.7 руб.

4.3.5 Расчет затрат на электроэнергию

Эти расходы включают в себя электроэнергию, используемую для работы оборудования, используемого во время проекта, и рассчитываются следующим образом:

$$C_{эл.об} = P_{об} * t_{об} * C_{Э}$$

где $P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_{Э}$ – тариф на 1 кВт·ч;

$t_{об}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $C_{э} = 5,68$ руб./кВт·ч (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных для инженера (ТРД) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{об} = T_{ТРД} * K_t$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к ТРД, определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение $t_{об}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном} * K_C$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Пример расчета затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 1.7

$$C_{эл.об1} = 91 * 0,3 * 5,68 = 155,064$$

$$C_{эл.об2} = 30 * 0,1 * 5,68 = 17,04$$

Таблица 18 – Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты $Э_{об}$, руб.
Персональный компьютер	91	0,3	155,064
3Д принтер	30	0,1	17,04

Итого:	172.104
--------	---------

Ниже приведены результаты расчета $C_{эл.об}$ в рублях по потреблению электроэнергии используемым оборудованием. Затраты электроэнергии на технические нужды приведены в таблице.

4.3.6 Расчет прочих расходов

В графе «Прочие расходы» отражается стоимость реализации проекта, а расходы, не включенные в несколько предыдущих статей, рассчитываются как 10% от суммы нескольких предыдущих статей, т.е.

$$C_{проч.} = (C_{мат} + C_{зп} + C_{соц} + C_{ам} + C_{эл.об}) * 0,1$$

Для нашего примера это:

$$C_{проч.} = (30360 + 152945 + 53224,86 + 1651,7 + 172.104) * 0,1$$

$$= 23835,5 \text{ руб.}$$

4.3.7 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Макет демонстрационной модели принципов КТ»

Таблица- 19 Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{мат}$	30360
Основная заработная плата	$C_{зп}$	152945
Отчисления в социальные фонды	$C_{соц}$	53224,86
Расходы на электроэнергию	$C_{ам}$	1651,7
Амортизационные отчисления	$C_{эл.об}$	172.104

Прочие расходы	$C_{проч}$	23835,5
Итого:		262189,58

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 262189,58$ руб.

4.3.8 Расчет прибыли

Рентабельность реализации проекта зависит от обстоятельств (размера и характера результатов, степени определенности и коммерциализации, специфики целевого сегмента и т. д.) и может определяться несколькими способами. При отсутствии у исполнителя работ данных о применении «комплексного» метода прибыль должна составлять 5 ~ 20 % от общей стоимости проекта. В нашем примере это 39328,437 руб. (15%) затраты на разработку проекта.

4.3.9 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это $(262189,58 + 39328,437) * 0,20 = 60303,6$ руб.

4.3.10 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае:

$$\text{ЦНИР(КР)} = 262189,58 + 39328,437 + 60303,6 = 904554,017 \text{руб.}$$

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

$$I_1 = \frac{904554,017}{1000000} = 0.90$$

$$I_2 = \frac{1000000}{1000000} = 1$$

Где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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 вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы.

$$I_{p-исп1} = 5 * 0,3 + 5 * 0,2 + 3 * 0,1 + 2 * 0,1 + 3 * 0,1 + 4 * 0,1 = 3,7$$

$$I_{p-исп2} = 3 * 0,3 + 3 * 0,2 + 2 * 0,1 + 4 * 0,1 + 4 * 0,1 + 3 * 0,1 = 2,8$$

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

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}}$$

$$I_{исп2} = \frac{I_{р-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}}$$

$$I_{исп1} = \frac{3,7}{0,9} = 4,11$$

$$I_{исп1} = \frac{2,8}{1} = 2,8$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}}$$

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{4,11}{2,8} = 1,47$$

Таблица 20- Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0.3	5	3
2. Удобство в эксплуатации	0.2	5	3
3. Помехоустойчивость	0,1	3	2
4. Энергосбережение	0,1	2	4
5. Надежность	0,1	3	4

6. Материалоемкость	0,1	4	3
ИТОГО	1		

Таблица 21-Сравнительная эффективность разработки

п/п	№	Показатели	Исп.1	Исп.2
	1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,9	1
	2	Интегральный показатель ресурсоэффективности и разработки	3,7	2,8
	3	Интегральный показатель эффективности	4,11	2,8
	4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,47	

Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 91 день; общее количество дней, в течение которых работал техник, составляет 91 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 30 дней;

Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 262189,58 руб;

Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,9, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 3,7, по сравнению с 2,8;

значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,11, по сравнению с 2,8, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ11	Юй Яо

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Магистратура	Направление	22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

Тема дипломной работы: «Получение деталей аддитивно-упрочняющей технологией»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<ul style="list-style-type: none"> Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения) 	<p>Объект исследования – электронно-лучевая 3D-печать из нержавеющей стали 40x13.</p> <p>Область применения - медицинская фармацевтика, аэрокосмическая промышленность, мелкосерийное производство.</p> <p>Рабочая зона: Центр 3D-печати ТПУ Томский политехнический университет, размер помещения 8x6x3 метра, общая площадь 32 квадратных метра.</p> <p>Рабочий процесс, связанный с объектом исследования, с использованием 3D-принтера для печати 3 различных ориентаций образцов деталей в рабочей зоне.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</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. 	<p>-Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ.</p> <p>-ГОСТ 12.1.005-88; Общие гигиенические требования к воздуху в рабочей зоне.</p> <p>-ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место сидя и работаая. Общие эргономические требования.</p> <p>-ГОСТ 22614-77. Система "человек-машина". Включение и выключение клавиш и кнопок. Общие эргономические требования.</p> <p>-ТОИ Р-200-23-95. Основная профессиональная охрана труда</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> Производственные факторы, связанные с электрическим током; Повышенная или пониженная температура материальных объектов рабочей зоны; Химически вредные вещества в воздухе рабочей зоны. <p>Вредные факторы:</p>

<ul style="list-style-type: none"> Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<ol style="list-style-type: none"> Повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума; Активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов; Недостаточная освещенность рабочей зоны. <p>Расчет: расчет системы искусственного освещения.</p>
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации	<p>Воздействие на селитебную зону: отсутствует.</p> <p>Воздействие на литосферу: утилизация бумаги (отход V класса опасности).</p> <p>Воздействие на гидросферу: поступление наночастиц (отходов III класса опасности) в канализацию.</p> <p>Воздействие на атмосферу: выбросы из вентиляционных систем, содержащие неорганические наночастицы различной степени опасности.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации	<p>Возможные ЧС техногенные аварии (пожар, авария электроэнергетических систем); случайное высвобождение нано порошка и превышение ПДК.</p> <p>Наиболее типичная ЧС <u>возникновение пожара</u></p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	25.04.2023 г.
--	---------------

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
4БМ11	Юй Яо		

5 Социальная ответственность

Обеспечение безопасности жизни и здоровья работников в процессе работы - один из национальных приоритетов защиты человеческого капитала. Для решения задач улучшения условий и безопасности труда, промышленной и экологической безопасности внедряется специальная система оценки условий труда. Совершенствуются системы и методы предварительных медицинских осмотров работников, работающих во вредных и опасных условиях труда, совершенствуются системы обеспечения работников современными средствами индивидуальной защиты.

Тема дипломной работы - Получение деталей аддитивно-упрочняющей технологией. Объектами исследования являются электронно-лучевой наплавки нержавеющей проволокой.

Целью данной работы является использование электронно-лучевого 3D-принтера для печати деталей из нержавеющей стали 40х13, использование электронного микроскопа для наблюдения за микроструктурой деталей из нержавеющей стали 40х13 и тестирование механических свойств.

Рабочая площадка этого исследования находится в Центральной лаборатории 3D-печати Томского политехнического университета (ТПУ). Длина помещения 8 м, ширина 6 м, высота потолков 3,5 м. В комнате 3 окна, закрытые белыми ставнями. Для стен и потолка используются светлые тона. Полы бетонные. При изготовлении металлических образцов наладьте принтер, используйте ручной инструмент, работу на компьютере.

Процесс работы характеризуется такими вредными факторами, как недостаток естественного освещения, недостаточная освещенность рабочего места, возможность короткого замыкания и поражение исследователя током .

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

При производстве необходимо соблюдать требования Трудового кодекса Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ (с изменениями с 1 апреля 2019 г.). Режим рабочего времени и продолжительность рабочей недели (два выходных дня в течение пяти дней и один выходной в течение шести дней) должны строго соответствовать статье 100 Закона о труде Российской Федерации. В целях защиты персональных данных сотрудников работодатели обязаны соблюдать статью 86 Закона о труде Российской Федерации при обработке персональных данных сотрудников. Согласно статье 117 Закона Российской Федерации о труде работникам, работающим с вредными и / или опасными условиями труда, предоставляется дополнительный оплачиваемый ежегодный отпуск и регулярные медицинские осмотры (осмотры).

Рабочее место сидя-рабочее организовано для легкой работы, не требующей свободного передвижения рабочих, и подходит для работы средней интенсивности в связи с особенностями технологического процесса. Категория работ - по ГОСТ 12.1.005-88. В связи с необходимостью подолгу сидеть и работать рабочее место лаборатории максимально приближено к требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденья, органы управления, способ отображения информации и др.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям и характеру работы. Расположение скамеек, полок и другой мебели выбирают таким образом, чтобы не создавать скопления людей и препятствий при эвакуации людей из помещения в аварийной ситуации. Антропометрические, физические и психологические требования и характер работы. Во избежание несчастных случаев обучение следует проводить по ГОСТ 12.0.004-90 и проверять знания рабочих. Организуйте обучение по охране труда.

5.2 Производственная безопасность

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

В данном пункте проанализированы вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при разработке или эксплуатации проектируемого решения. Для идентификации потенциальных факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды, представлен в таблице 22.

Таблица 22 – Возможные вредные и опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Производственные факторы, связанные с электрическим током;	СанПиН 2.2.4-548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2. Воздушная среда и микроклимат студии	
3. Химически вредные вещества в воздухе рабочей зоны.	ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
4. Повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума;	СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.
5. Активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов;	Актуализированная редакция ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
6. Недостаточная освещенность рабочей зоны.	ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.

При проведении работ, связанных с теоретическим исследованием, важную роль играет планировка рабочего места. Она должна соответствовать правилам охраны труда и удовлетворять требованиям удобства выполнения работы, экономии энергии и времени инженера .

5.2.2 Производственные факторы, связанные с электрическим током

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрических токов, дуг, электромагнитных полей и статического электричества.

Согласно требованиям электробезопасности (ГОСТ 12.1.019-79 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»). Все электрооборудование и приборы должны располагаться в специально отведенных местах и иметь заземление. Сопротивление заземления не должно превышать 4 Ом.

В настоящее время, в связи с неуклонным ростом использования в повседневной жизни различных типов электрических устройств, электробезопасности уделяется большое внимание. Анализ опасности электрических сетей фактически сводится к определению величины тока, протекающего через тело человека в различных ситуациях, в которых человек может оказаться при работе в сети. Безопасными для организма человека значениями являются переменный ток - 10 мА, постоянный ток - 50 мА, безопасное напряжение 12 В.

В помещении, где он используется, используйте приборы с напряжением до 1 кВ. По электробезопасности помещение относится к первому классу - помещение без повышенной опасности (сухой, хорошо отапливаемый, непроводящий пол, температура 18-20°, влажность 40-50%) Выделенная розетка с заземляющими контактами обеспечить заземление металлических нетоковедущих частей. Имеется устройство защитного отключения. Защита от прямого прикосновения не требуется, так как в зоне

установки отсутствуют электроустановки и расположено электрооборудование.

Выравнивание потенциалов, максимальное рабочее напряжение не превышает 25 В переменного тока или 60 В постоянного тока.

К электробезопасным средствам относятся: Ударное среднеквадратичное значение:

- изолирующие штанги всех типов (эксплуатационные, измерительные, заземляющие);
- индикаторы напряжения всех типов (высокого, низкого) и классов напряжения (газоразрядные, бесконтактные, импульсные, накаливания и т.д.);
- бесконтактные сигнализаторы наличия напряжения;
- защитные барьеры (щиты, экраны, изоляционные прокладки, крышки);
- изоляционные инструменты;
- индикаторы напряжения для проверки совпадения фаз, устройства для прокалывания кабеля, устройства для определения транспортных перепадов напряжения, индикаторы повреждения кабеля;
- предупредительная блокировка, изоляция токопроводящих частей, заземление, заземление, изолирующие маты и дорожки, использование низкого напряжения, электрическая изоляция сетей, уравнивание потенциалов, защитное отключение;
- Вкладыши для изолирующих лестниц, канатов, телескопических вышек и подъемников; штанги для передачи и выравнивания потенциалов; гибкие изолирующие чехлы и подкладки. Противошоковые СИЗ:
 - изоляционные клещи и электроклещи;
 - переносное заземление; - диэлектрические бахилы, диэлектрические сапоги и перчатки, защитные диэлектрические каски, диэлектрические маты, ковры.

5.2.3 Воздушная среда и микроклимат студии

Источниками этих вредных факторов могут быть изменения погодных условий, частота и продолжительность проветривания помещений и

правильное функционирование системы отопления. Этот фактор классифицируется как физическая опасность. Работа в плохо проветриваемых помещениях с высокой или низкой температурой в течение длительного времени отрицательно сказывается на здоровье работающих и неизбежно ведет к снижению производительности труда. Для создания в помещениях оптимальных значений микроклимата система отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха должна соответствовать СНиП 41-01-2003.

Таблица 23 – Допустимые критерии микроклимата рабочих зон Промышленные установки (по ГОСТ 12.1.005–88)

Период	Параметр микроклимата	Величина
Холодный	Температура воздуха	22...24°C
	помещении .	40...60%
	Относительная влажность .	До 0,1м/с
	Скорость движения воздуха .	
Теплый	Температура воздуха	23...25°C
	помещении .	40...60%
	Относительная влажность .	0,1...0,2м/с
	Скорость движения воздуха .	

Микроклимат помещений поддерживается на оптимальном уровне за счет водяного центрального отопления, естественной вентиляции, а также искусственного кондиционирования и дополнительного отопления в холодное время года.

5.2.4 Химически вредные вещества в воздухе рабочей зоны

При травлении образцов из нержавеющей стали необходимо использовать реагент царской водки. Царская водка представляет собой очень едкую жидкость с желтым туманом, представляющую собой смесь концентрированной соляной кислоты и концентрированной азотной кислоты в объемном соотношении 3:1.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 царская водка отнесена к опасным веществам второго класса (высокоопасным веществам) по степени воздействия на организм человека. По ГОСТ 12.1.000-88 ССБТ предельно допустимая концентрация (ПДК) царского водяного пара в воздухе рабочих зон промышленных предприятий составляет 2 мг/м³. Работать в вытяжном шкафу в средствах индивидуальной защиты по ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Реагент царской водки может попасть на кожу, что может вызвать ожоги, а пары реагента могут попасть на слизистые оболочки глаз и носоглотки (при дыхании без защиты маской), что может вызвать местное покраснение и раздражение. Травление раствором проводили на специально оборудованном рабочем месте, после чего образцы ополаскивали дистиллированной водой и протирали этанолом.

5.2.5 Повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума

Длительное воздействие шума может привести к депрессии и снижению продуктивности. Также может возникнуть акустический неврит. Этот фактор классифицируется как физическая опасность. Согласно ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ такая работа относится к научной деятельности, уровень шума не должен превышать 86 децибел, а частота не должна превышать 32 Гц. Согласно РП 2.2.2006-05 рассматриваемым видом деятельности является умственная нагрузка. В процессе работы выполняйте задания по инструкции, соответствующие среднему напряжению. Уровень шума в действующей лаборатории не должен превышать норм, установленных ГОСТ.

Методика определения предельно допустимых шумовых характеристик стационарных машин указана в ГОСТ 12.1.003–2014. Рабочий шум также может проникать в коридор извне через офисные вентиляционные отверстия, оконные и дверные проемы. Для оценки шума используйте частотный спектр для измерения уровня звукового давления, выраженного в децибелах (дБ), и сравните его с предельным спектром в активной полосе частот (таблица 24).

Таблица 24 – Уровни звукового давления (по ГОСТ 12.1.003–83)

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
1,5	3	25	50	100	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

5.2.6 Активное наблюдение за ходом производственного процесса, монотонность труда, перенапряжение анализаторов

При аддитивном производстве образцов из нержавеющей стали необходимо постоянно наблюдать за процессом печати и контролировать выходной ток, чтобы гарантировать, что процесс печати не будет давать сбоев, оказывая визуальное и психическое давление на организм человека. Долгие часы работы за компьютером также могут вызвать дискомфорт в шейном отделе позвоночника человека.

Согласно МР 2.2.9.2311 - 07 «Профилактика стрессовых состояний у работников различной профессиональной деятельности», при психическом напряжении необходимы продолжительность концентрации, ответственность высказывания, плотность сигналов и сообщений в единицу времени.

Оказывает тормозящее влияние на умственную деятельность, ухудшение внимания (объем, внимание, переключение), памяти (кратковременной и долговременной) и перцептивных функций (массивные ошибки). Длительное психическое напряжение может привести к эмоциональной неустойчивости людей, склонности к тревоге, депрессии и другим симптомам и даже привести к серьезным психическим расстройствам.

Длительное зрительное напряжение может вызывать головные боли и зрительное утомление, проявляющееся нарушением зрения за глазами, сопровождающееся зрительным дискомфортом и большим количеством

системных симптомов, приводящих к неспособности пациентов к нормальной работе.

Для борьбы с монотонностью работы, ускоряющей наступление утомления и приводящей к быстрому нервному срыву, необходимо изменять темп работы, позу, вводить короткие перерывы и использовать их для физических упражнений и глазной гимнастики. Во время отдыха слушайте музыку или медитируйте, чтобы снять умственное напряжение и настроить настроение персонала.

5.2.7 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Источником этого фактора является искусственное освещение. Недостаток света увеличивает зрительное напряжение и увеличивает зрительную усталость. Также это приводит к развитию глазных болезней. Этот фактор классифицируется как физическая опасность. Хорошее освещение в комнате очень важно для понимания структуры материала. Лаборатория должна быть хорошо освещена, а закрытое помещение может быть освещено боковым искусственным или частичным освещением с одной стороны. Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 и СНиП 23–05–95 визуальная работа очень точная, визуальная работа - II класс, а лучшая освещенность - 400 люкс (общая система освещения). Данная спецификация полностью реализована в рабочей лаборатории.

5.2.8 Электрическая безопасность

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрических токов, дуг, электромагнитных полей и статического электричества.

Согласно требованиям электробезопасности (ГОСТ 12.1.019-79 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»). Все электрооборудование и приборы должны располагаться в специально отведенных местах и иметь заземление. Сопротивление заземления не должно превышать 4 Ом.

В настоящее время, в связи с неуклонным ростом использования в повседневной жизни различных типов электрических устройств, электробезопасности уделяется большое внимание. Анализ опасности электрических сетей фактически сводится к определению величины тока, протекающего через тело человека в различных ситуациях, в которых человек может оказаться при работе в сети. Безопасными для организма человека значениями являются переменный ток - 10 мА, постоянный ток - 50 мА, безопасное напряжение 12 В.

В помещении, где он используется, используйте приборы с напряжением до 1 кВ. По электробезопасности помещение относится к первому классу - помещение без повышенной опасности (сухой, хорошо отапливаемый, непроводящий пол, температура 18-20°, влажность 40-50%) Выделенная розетка с заземляющими контактами обеспечить заземление металлических нетоковедущих частей. Имеется устройство защитного отключения. Защита от прямого прикосновения не требуется, так как в зоне установки отсутствуют электроустановки и расположено электрооборудование.

Выравнивание потенциалов, максимальное рабочее напряжение не превышает 25 В переменного тока или 60 В постоянного тока.

К электрозащитным средствам относятся: Ударное среднеквадратичное значение:

- изолирующие штанги всех типов (эксплуатационные, измерительные, заземляющие);
- индикаторы напряжения всех типов (высокого, низкого) и классов напряжения (газоразрядные, бесконтактные, импульсные, накаливания и т.д.);
- бесконтактные сигнализаторы наличия напряжения;
- защитные барьеры (щиты, экраны, изоляционные прокладки, крышки);
- изоляционные инструменты;

- индикаторы напряжения для проверки совпадения фаз, устройства для прокалывания кабеля, устройства для определения транспортных перепадов напряжения, индикаторы повреждения кабеля;

- предупредительная блокировка, изоляция токопроводящих частей, заземление, заземление, изолирующие маты и дорожки, использование низкого напряжения, электрическая изоляция сетей, уравнивание потенциалов, защитное отключение;

- Вкладыши для изолирующих лестниц, канатов, телескопических вышек и подъемников; штанги для передачи и выравнивания потенциалов; гибкие изолирующие чехлы и подкладки. Противошоковые СИЗ:

- изоляционные клещи и электроклещи;

- переносное заземление; - диэлектрические бахилы, диэлектрические сапоги и перчатки, защитные диэлектрические каски, диэлектрические маты, ковры.

5.3 Экологическая безопасность

Одним из вредных факторов, которые могут нанести окружающей среде в процессе производства композитных материалов, является загрязнение окружающей среды пылью в процессе подготовки.

Защита атмосферы

Ограниченный размер атмосферы делает ее очень чувствительной к локальному, региональному и глобальному загрязнению. Технический контроль на производстве осуществляется с помощью оборудования, предотвращающего попадание дисперсных частиц в воздух рабочей зоны, и оборудования, удаляющего эти частицы из воздуха рабочей зоны. Метод контроля должен иметь диапазон чувствительности (~ 5 мкм) не ниже нижнего предела.

К средствам защиты атмосферы от выбросов относятся: удаление примесей с помощью специального оборудования, такого как циклонный сепаратор, улавливающий частицы размером более 5 микрон с эффективностью до 0,95. Применение системы местной вытяжной

вентиляции со встроенным вентилятором в вытяжном шкафу. Эффективность сбора должна быть достаточно высокой.

Защита гидросферы

Основная причина сточных вод, образующихся в этом эксперименте, связана с очисткой экспериментального оборудования. Большинство лабораторных экспериментов проводится с использованием сухого порошка без жидких примесей. Не выбрасывайте отходы в канализацию. Если наночастицы попадают в воду, их концентрация незначительна и не повлияет на здоровье человека.

Защитите литосферу

Попадая в литосферу, порошкообразные материалы могут изменять микробную и ферментативную активность почвы и активно взаимодействовать с организмами, живущими в этой среде. Обращение с отходами должно осуществляться в соответствии с «Санитарными правилами накопления, транспортирования, размещения и утилизации токсичных промышленных отходов» (N 8180-84 от 28.12.84). Твердые отходы и порошковая система собираются в специальный сборник и вывозятся на переработку.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Одна из возможных аварийных ситуаций в рабочей лаборатории - факторы пожара и взрыва. Основными причинами возникновения этой аварийной ситуации могут быть электрические короткие замыкания, неправильное обращение с открытым огнем и неправильное хранение легковоспламеняющихся и взрывоопасных материалов. Согласно Стандарту безопасности труда ГОСТ Р 12.1.019-2017, в лабораториях приняты профилактические меры, чтобы иметь возможность как можно быстрее реагировать на возможные чрезвычайные ситуации. Одежда и средства индивидуальной защиты - Лаборатория должна иметь достаточное количество чистящей и защитной одежды (например, защитную одежду) в соответствии с уровнем риска для персонала лаборатории и посетителей.

Средства пожаротушения - В лаборатории установлены два порошковых порошковых огнетушителя ОП-5, в здании есть охранная и пожарная сигнализация, ящик с сухим песком и лопата. По ГОСТ Р 12.4.026-2001 область должна быть выделена красным цветом. В каждой мастерской есть план эвакуации из здания. Если пожар невозможно остановить или предотвратить, пожалуйста, покиньте здание как можно скорее.

Следующая чрезвычайная ситуация - стихийное бедствие

Наиболее вероятными стихийными бедствиями в Томской области являются:

- Сильные ветры и ураганы;
- Наводнение;
- Сильный дождь (град, сильный туман).

Министерство по чрезвычайным ситуациям Томской области несет ответственность за предотвращение возможных чрезвычайных ситуаций и ликвидацию их последствий. Чтобы получать самую свежую информацию от управления гражданской обороны, лучше всего использовать радиоприемник с батарейным питанием: скорее всего, когда начнется смерч, питание отключится, и нужно обратить внимание на информацию от гражданской обороны и аварийный штаб каждую минуту. Идите в эвакуационное убежище.

В разделе ВКР «Социальная ответственность», был произведён анализ рабочего места во время исследовательской работы, а также:

- Рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности;
- Обнаружены и подробно проанализированы возможные вредные и опасные факторы на рабочем месте;
- Проведён анализ возможного вредного воздействия исследования на экологию и способы защиты атмосферы, гидросферы и литосферы;

- Рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации на рабочем месте. Проанализировано поведение работника при различных чрезвычайных ситуациях.

Заключение по разделу

Величины всех факторов производства на изучаемых рабочих местах соответствуют критериям, также продемонстрированным в этом разделе, за исключением элементов, оказывающих психофизиологическое воздействие на организм человека. Для минимизации воздействия этого фактора на организм человека достаточно соблюдать мероприятия, приведенные в МР 2.2.9.2311-07 «Профилактика стрессовых состояний у работников различных видов профессиональной деятельности».

По ПУЭ категория места по электробезопасности соответствует первой категории – «Место без повышенной опасности». К месту без повышенного риска относится место без влажности, высокой температуры, токопроводящего пола, токопроводящей пыли и химической среды.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенские нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов внешней среды» категория интенсивности труда лаборатории относится к Ib классу (сидение, стояние или ходьба с физическими нагрузками).

По пожарной опасности лаборатории и здания могут быть отнесены к классу Д, т.е. местам, где негорючие вещества и материалы находятся в холодном состоянии.

Рассматриваемый объект оказывает низкое негативное воздействие на окружающую среду и относится к объектам III категории.

Заключение

Три образца из нержавеющей стали размером 40×13 были изготовлены с методом аддитивного производства с использованием электронного луча в качестве источника тепла и проволоки в качестве сырья.

Микроструктурный анализ показывает, что напечатанный образец из нержавеющей стали размером 40X13 представляет собой полностью плотную структуру без трещин. Границы ванны расплава отсутствуют, что указывает на то, что материал проволоки расплавлялся в процессе печати. Микроструктура состоит из игольчатого мартенсита и остаточного аустенита, без пор и примесей.

Микротвердость получалась как среднее значение одиннадцати отпечатков в разных местах. Микротвердость трех образцов составляет 517HV, 576HV и 520HV соответственно, по твердости образец 1 < образец 3 < образец 2.

Мы проанализировали разницу в твердости образцов. Из значений средней плотности энергии видно, что скорость охлаждения горизонтальной составляющей больше, чем у вертикальной. Горизонтальные детали имеют 2 более высокие скорости охлаждения, что приводит к более высоким значениям твердости. Для одиночного образца с увеличением высоты скорость охлаждения уменьшается, что приводит к увеличению размера зерна и изменению состава структуры.

Однако по сравнению с традиционным производством образцы, изготовленные с помощью аддитивных технологий, были тверже. Это связано с тем, что термическое воздействие в процессе печати приводит к тому, что образцы имеют структуру мартенсита отпуска. Это дает образцам более высокую твердость в сравнении с традиционными технологиями получения заготовок. Аддитивные технологии производства также имеют свои недостатки и недостатки. Они не могут полностью заменить субтрактивное производство. Но вместе с тем они могут дополнить

традиционные технологии производства и занять свою производственную нишу.

Список использованных источников

1. Yong H, Ming C L, Mazumde R J, et al. Additive Manufacturing: Current State , Future Potential , Gaps and Needs , and Recommendation [J] . Journal of Manufacturing Science & Engineering , 2015 , 137(1) : 14001.
2. Wang Shijie, Wang Haidong, Luo Feng. Research status of metal additive manufacturing technology based on arc [J] . Metalworking (Hot Working), 2018(1): 19-22.
3. Мартюшев Никита Владимирович, Ци Мэнсюй, Козлов Виктор Николаевич . Культрзвукое термдеформационное упрочнение.
4. Li Xuefeng, Pan Hengpei, Zhang Xianfeng, Wang Shining. Discussion on the development and application of metal 3D printing technology [J]. World Manufacturing Technology and Equipment Market, 2020(04): 21-23.
5. Zhang Yongzhong, Shi Likai, Zhang Pingzhi, etc. New progress of laser rapid prototyping technology based on metal powder [J] . Rare Metal Materials and Engineering, 2000(6):361-365.
6. Kputh J P , Froyen L , Vaerenbergh J V,et al . Selective Laser Melting of Iron-based Powder [J] . Journal of Materials Processing Technology, 2004, 149(1) : 616— 622.
7. Yu Zhongbin, Zhang Zhongbiao, Yin Tingting, Guo Song. Overview of Metal 3D Printing Technology [J]. Mechanical Management Research and Development, 2022, 37(01): 266-268. DOI: 10.16525/j.cnki.cn14-1134/th.2022.01.110.
8. Gu Bo. Application and development trend of additive manufacturing technology at home and abroad [J]. Metal Processing (Hot Processing), 2022(03): 1-16.
9. Liu Yongli. Comparative analysis of additive manufacturing technologies for different metal 3D printing [J]. Modern Vocational Education, 2020(09):118-119.

10. Vasinonta, J. Beuth, M. Griffith. Process maps for predicting residual stress and melt pool size in the laser-based fabrication of thin-walled structures. *J Manuf Sci Eng*, 129 (1) (2007), pp. 101-109
11. J. Beuth, J. Fox, J. Gockel, C. Montgomery, R. Yang, H. Qiao, et al. Process mapping for qualification across multiple direct metal additive manufacturing processes. *Solid freeform fabrication proceedings* (2013), pp. 655-665
12. F. Arcella, F. Froes. Producing titanium aerospace components from powder using laser forming. *JOM*, 52 (2000), pp. 28-30
13. Mohammad K. Alam, Mehdi Mehdi, Ruth Jill Urbanic, Afsaneh Edrissy, Mechanical behavior of additive manufactured AISI 420 martensitic stainless steel, *Materials Science and Engineering: A*, 2020, 0921-5093.
14. K. Vartanian, T. McDonald. Accelerating industrial adoption of metal additive manufacturing technology. *JOM*, 68 (3) (2016), pp. 806-810
15. C.Y. Yap, C.K. Chua, Z.L. Dong, Z.H. Liu, D.Q. Zhang, L.E. Loh, S.L. Sing. Review of selective laser melting: Materials and applications. *Appl. Phys. Rev.*, 2 (4) (2015), Article 041101
16. J.J. Lewandowski, M. Seifi. Metal additive manufacturing: a review of mechanical properties. *Annu. Rev. Mater. Res.*, 46 (1) (2016), pp. 151-186
17. Liverani, E., Fortunato, A. Additive manufacturing of AISI 420 stainless steel: process validation, defect analysis and mechanical characterization in different process and post-process conditions. *Int J Adv Manuf Technol* 117, 809–821 (2021).
18. Yuan Tian, Kanwal Chadha, Clodualdo Aranas, Laser powder bed fusion of ultra-high-strength 420 stainless steel: Microstructure characterization, texture evolution and mechanical properties, *Materials Science and Engineering: (2021)*, 0921-5093
19. P. Krakhmalev, I. Yadroitsava, G. Fredriksson, I. Yadroitsev, In situ heat treatment in selective laser melted martensitic AISI 420 stainless steels, 2015, P 380-385.

20. J. Fox, J. Beuth. Process mapping of transient melt pool response in wire feed E-beam additive manufacturing of Ti-6Al-4V. Freeform fabrication proceedings (2013), pp. 675-683
21. J. Sun, Y. Yang, D. Wang. Parametric optimization of selective laser melting for forming Ti6Al4V samples by Taguchi method. Opt. Laser Technol., 49 (2013), pp. 118-124, 10.1016/j.optlastec.2012.12.002
22. M. Ziętała, T. Durejko, M. Polański, I. Kuncce, T. Płociński, W. Zieliński, et al. The microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of 316 L stainless steel fabricated using laser engineered net shaping Mater. Sci. Eng. A, 677 (2016), pp. 1-10, 10.1016/j.msea.2016.09.028
23. X. Chen, J. Li, X. Cheng, H. Wang, Z. Huang. Effect of heat treatment on microstructure, mechanical and corrosion properties of austenitic stainless steel 316L using arc additive manufacturing Mater. Sci. Eng. A, 715 (2018), pp. 307-314, 10.1016/j.msea.2017.10.002
24. X. Lou, P.L. Andresen, R.B. Rebak. Oxide inclusions in laser additive manufactured stainless steel and their effects on impact toughness and stress corrosion cracking behavior. J. Nucl. Mater., 499 (2018), pp. 182-190, 10.1016/j.jnucmat.2017.11.036
25. Jinguo Ge, Jian Lin, Yan Chen, Yongping Lei, Hanguang Fu, Characterization of wire arc additive manufacturing 2Cr13 part: Process stability, microstructural evolution, and tensile properties, Journal of Alloys and Compounds, 2018, P 911-921
26. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
27. Миронов В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Российская академия наук, Институт физики микроструктур г. Нижний Новгород, 2004 г. 110 с.
28. ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация
29. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к

естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий

30. СНиП 23–05–95. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение

31. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование

32. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки

33. ГОСТ 12.1.010–76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования

34. ГОСТ 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

Приложение
(справочное)

Production of Details by Additive Hardening Technology

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ11	Юй Яо		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Мартюшев Никита Владимирович	к.т.н, доцент		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Полякова Наталья Владимировна	к.ф.н., доцент		

Introduction

Metal Additive Manufacturing (AM) is a manufacturing technique in which a metal part is created layer by layer by melting raw metal and building it up layer by layer based on a computer model of CAD data.

Over the past few years, this technology has matured for industrial applications, mainly due to the advantages of faster production, lower cost of materials, and a wide range of materials that can be used [1]. Depending on the purpose, various types of additive manufacturing technologies can be used. For example, laser and electron beams are used as heat sources, and powders are used as raw materials for small parts that require high precision [2]. For large parts, hardfacing techniques such as additive electron beam manufacturing (EBAM) are used. For example, a titanium spherical tank of a relatively simple shape. Electron beam melting is carried out in a vacuum chamber, which avoids metal oxidation and pore formation.

Additive manufacturing allows the fabrication of complex 3D components at higher deposition rates compared to conventional subtractive and deformable manufacturing [2]. But the process of additive manufacturing is always accompanied by rapid heating and subsequent cooling. This may adversely affect the quality of the product.

This research work takes a detailed look at additive manufacturing technology using an electron beam as a heat source and wire as a raw material for the production of 40x13 stainless steel parts, and analyzes the microstructure and mechanical properties of the parts.

1 Literature review

1.1 Additive technologies

Additive manufacturing technology is a technology for manufacturing solid parts by layer-by-layer accumulation of materials using CAD design data. Compared with the traditional material removal (cutting) technology, it is a bottom-up material accumulation production method. Additive manufacturing technology has been gradually developed since the late 1980s [1].

From a fundamental point of view, based on design data, materials (including liquids, powders, wires or blocks, etc.) are automatically accumulated to form a method for manufacturing solid structures, which can be considered as an additive manufacturing technology. Additive manufacturing technology does not require traditional tools, fixtures and multi-processor procedures. Using 3D design data, parts of any complex shape can be quickly and accurately produced on a single machine, solving many of the complex problems of the past. And the more complex the structure of the product, the greater the advantages of its manufacture.

In recent years, additive manufacturing technologies have achieved rapid development. The principles of additive manufacturing are combined with various materials and processes to form many additive manufacturing devices. Currently, there are more than 20 types of equipment. Once the technology has emerged, it has been rapidly developed and has become widely used in various fields such as consumer electronics, automobiles, aerospace, medical, military, geographic information, artistic design, and so on [3]. Additive manufacturing is characterized by the rapid production of single or small batches, which determines its important role in product innovation.

1.1.1 The history of the development of metal 3D printing technology [4]

The heating methods of metal materials for 3D printing are mainly laser, electron beam, and the forms of printing materials are powder, filament, foil, etc. The following is mainly analyzed the development process of metal 3D printing technology from the point of view of the physical metallurgy of metal materials and mechanical properties of parts.

(1) Rapid Prototyping Stage

The rapid prototyping stage is the initial stage of research and development of 3D printing technology. The production of parts is completed by a certain printing technology. The accuracy of part molding and the compactness of the die are poor. Usually, the performance requirements cannot be met, but in terms of the shaping method, they already have epoch-making significance, such as SLS.

(2) Compaction stage

Except for special requirements, most metal parts must meet certain mechanical properties before they can be used. Reducing porosity and increasing density are the main challenges in the densification phase of 3D printing. There are two ways to achieve part densification: the first way is to densify the original 3D printed parts with high porosity, the second is to develop new processes such as SLM (Selective Laser Melting Technology), which can directly obtain metal parts with a density of more than 99%, which greatly improves mechanical properties of parts.

(3) Process efficiency improvement stage [5]

At the beginning of the 21st century, various research groups have made great efforts to print complex, large and precise shaped parts, and continue to improve the mechanical properties of parts to achieve practical engineering applications of 3D printed parts, and have also obtained fruitful results. This material is comparable to forgings, ushering in a new era of metal 3D printing, from laboratory to practical engineering applications.

(4) Technological maturity stage

The government supports 3D printing technology because of its flexibility, energy saving, environmental protection and high adaptability. The rate of development of 3D printing technology over the past 30 years is astounding. Until now, there have been a large number of commercial cases of 3D printed parts. The development of 4D printing technology has shown a bright future for 3D printing technology. With the continuous efforts of many researchers, 3D printing will mature and become one of the main shaping technologies in the engineering industry.

1.1.2 Advantages of additive manufacturing technology compared to traditional manufacturing technology [5]

In the field of manufacturing, some parts have complex shapes and long preparation cycles that cannot be produced by traditional casting and forging processes or have large losses. Additive Metal Manufacturing (AMM) technology

allows fast production of parts to meet requirements and has the advantages of short cycle times, low production costs, and no need for tools and molds.

A typical application is the production of conformally cooled metal molds in the foundry industry. The metal mold cooling system is one of the mold design projects. The traditional mold cooling system is mainly based on the linear water channel design, which is relatively easy to manufacture, but requires a long heat dissipation time, which directly affects the demoulding time, product quality, external commodity type etc. The designer analyzed the heat dissipation of the mold and conduit using software and designed a special shape conduit [6]. However, due to the limitations of the existing processing technology, the design of the specially shaped conduit can only remain at the theoretical level. stage. After the advent of additive metal manufacturing technology, these problems were solved through breakthroughs. It is reported that the design time of the special-shaped gutter mold by metal 3D printing was reduced by 75%, the labor force in the production stage was saved by 50%, the production cycle of the injection mold was reduced by 14%, and the production cost was reduced by 16%.

Metal materials are indispensable and important materials in the field of manufacturing, but there are many problems in the actual processing process, such as titanium alloys, high-temperature alloys, ultra-high strength steels and other materials that are difficult to process, high processing cost and low material utilization, long processing cycle and etc. High-energy beams such as lasers and electrons used in metal additive manufacturing technology have high density and high speed, which greatly reduces the complexity of processing metal materials, improves material utilization, and reduces raw material costs [5].

3D printing is very suitable for customized custom production and small batch production. At present, the application of personalized metal additive manufacturing in medical devices is extremely prominent, which is used to print customized implants/prostheses or complex structures imitating bionic principles. Personalization and small-scale production have become a modern trend in the development of the manufacturing industry, metal 3D printing has got rid of the

key technical link in the manufacture of molds, and the parameters can be adjusted at any time to perform small-scale or even single-piece production. Produce parts at lower cost and with greater efficiency. In addition to the medical equipment industry, it also has great application potential in other industries.

Restoring the shape of expensive parts is also an important advantage of additive metal manufacturing technology. In the past, damaged parts could only be repaired with a surface coating, and the repair process included many steps, including some additional steps such as processing, polishing, testing, etc., and was also limited to a repair time that took a long time. time, and can only perform replacement for slightly severe damage. Additive metal manufacturing technology allows you to quickly shape and repair any missing or damaged parts.

It is very difficult for traditional production methods to combine different materials in one product, but additive manufacturing technology allows you to combine different raw materials for production. Additive metal manufacturing technology can arbitrarily add fine structures of homogeneous/heterogeneous materials to parts made by traditional technologies such as casting, forging and machining, and give them mechanical properties comparable to conventional production [7]. Thus, the appropriate use of additive manufacturing technology for the combined manufacturing of some industrial parts using different types of metal materials for various structural parts not only greatly improves the performance of structural parts, but also reduces costs, especially the cost of expensive materials. At the same time, the advantages of additive manufacturing technology to form complex and fine structures are combined with the advantages of traditional high-precision book manufacturing technology to form the best production strategy.

Additive manufacturing technology has changed the traditional manufacturing method and has given rise to a new idea of direct manufacturing of complex metal structural functional parts, which has broad application prospects in the manufacturing industry. In the future, metal 3D printers will more and more replace some traditional processing and manufacturing equipment, but additive manufacturing technology also has its drawbacks and shortcomings, and it cannot

completely replace subtractive manufacturing, but is a parallel and complementary relationship.

Compared with traditional heat treatment technologies such as forging and welding and cold working technologies such as machining, the maturity of metal 3D printing technology is still far behind traditional technologies, especially materials have become a key factor influencing the future development of metal 3D printing. According to incomplete statistics, among more than 5,000 types of metal alloys, only dozens of them can be formed using high-quality 3D printing. The imperfection of the method and the lack of relevant standards largely limit the application of metal 3D printing technology.

1.1.3 Trends in the development of metal 3D printing technology [8]

After almost 30 years of development, metal 3D printing materials have made significant progress, but there are only dozens of relatively mature alloys, and there is still a huge gap with the existing more than 5,000 metal materials. In addition, the mechanical properties and geometrical accuracy control of Jinzhan's 3D printing alloys are far from ideal. This aspect comes from research into the mechanism of formation and shaping of these alloys in the process of 3D printing of metals and subsequent heat treatment. Understanding is not systematic enough, it comes from insufficient control of the metal 3D printing process. This also means that for metal 3D printing technology, there is still a lot of fundamental and applied research that needs to be further improved. Therefore, the development trend of metal 3D printing technology in the future includes:

(1) Deep understanding of the key scientific issues of 3D printing technology.

3D printing is the metallurgical behavior of powder, wire and other raw materials in the extremely short and fast interaction of the laser and other energy sources, the metallurgical behavior and energy characteristics in the process of rapid heating and cooling, the characteristics of the raw materials, the heating / cooling environment. and so on. There is an interaction between several factors. Determine and study the mechanism of action between raw materials and energy

sources, and then improve the physical properties of raw materials, select energy sources with the best match, improve the efficient absorption of energy sources by raw materials, and establish a suitable 3D printing method, which is sure to be the metal of the future Explore hot spots in 3D printing areas.

(2) Development of new materials for 3D printing.

With the deepening of fundamental scientific questions in the 3D printing process and the continuous improvement of the production level of printing equipment, more and more metal materials will be used, research will undoubtedly become an important direction in the development of metal 3D printing.

(3) The quality of metal 3D printing technology will improve.

Through in-depth research into the mechanism of metal 3D printing, the update rate of metal 3D printing equipment and process quality control technologies will be improved, so the efficiency and all-round mechanical properties of metal 3D printing parts will be greatly improved. the surface quality will improve, and other physical properties will also be improved.

(4) Establish evaluation criteria and evaluation methods within the new structural form.

3D printing is a revolutionary technology for rapidly and accurately manufacturing complex, difficult-to-manufacture, and costly structural parts. The implementation of this technology is very different from traditional production in terms of metallurgical mechanism, microstructure, structural shape, defect shape, etc., so the traditional standards and evaluation methods can no longer meet the needs of new products. According to the characteristics of 3D printing technology, the study of comprehensive performance evaluation methods and the establishment of standards and evaluation methods for new structural forms are key key issues to realize the engineering application of metal 3D printing technology.