

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 03.03.02 «Физика»
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование влияния параметров электронно-лучевого сплавления на структуру и свойства титанового сплава Ti-6Al-4V

УДК 669.295.5:621.7.048.7:536.421

Студент			
Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б52	Цао Чжэньцзе		

Руководитель				
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пушилина Наталья Сергеевна	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александров			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭФ	Лидер А.М.	д.т.н., доцент		

Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник способен)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные компетенции</i>		
Р1	Использовать основные этапы и закономерности исторического развития общества, основы философских, экономических, правовых знаний для формирования мировоззренческой, гражданской позиций и использования в различных сферах жизнедеятельности	Требования ФГОСЗ+ (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4)
Р2	К самоорганизации и самообразованию, работать в коллективе, к коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке, толерантно воспринимать социальные, этические и культурные различия, использовать методы и средства физической культуры, приёмы первой помощи и методы защиты в условиях ЧС.	Требования ФГОСЗ+ (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9)
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>		
Р3	Использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, современные концепции и ограничения естественных наук, использовать фундаментальные знания разделов общей и теоретической физики, математики для создания моделей и решения типовых профессиональных задач, в том числе с использованием знаний профессионального иностранного языка.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-7)
Р4	Понимать сущность и значение информации, соблюдать основные требования информационной безопасности, использовать методы, способы, средства	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-4, ОПК-

	получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры.	5, ОПК-6)
P5	Получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах, критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-8, ОПК-9)
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P6	<u>Научно-исследовательская деятельность</u> Проводить научные теоретические и экспериментальные исследования в областях: материаловедения, атомной и ядерной физики, водородной энергетики, физики плазмы с помощью современной приборной базы с использованием специализированных знаний физики и освоенных профильных дисциплин.	Требования ФГОСЗ+ (ПК-1, ПК-2)
P7	<u>Научно-инновационная деятельность</u> Применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований, а также профессиональные знания и умения в результате освоения профильных дисциплин для проведения физических исследований в инновационных областях науки, используя современные методы обработки, анализа и синтеза информации.	Требования ФГОСЗ+ (ПК-3, ПК-4, ПК-5)
P8	<u>Организационно-управленческая</u> Использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований, участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме, понимать и	Требования ФГОСЗ+ (ПК-6, ПК-7, ПК-8)

	применять на практике методы управления в сфере природопользования	
Р9	<u>Педагогически-просветительская</u> Проектировать, организовывать, анализировать педагогическую деятельность, владеть последовательностью изложения материала с использованием междисциплинарных связей физики с другими дисциплинами, участвовать в информационно-образовательных мероприятиях по пропаганде и распространению научных знаний	Требования ФГОСЗ+ (ПК-9)

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 03.03.02 «Физика»
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Лидер А.М.
 (Подпись) (Дата)
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
150Б52	Цао Чжэньцзе

Тема работы:

Исследование влияния параметров электронно-лучевого сплавления на структуру и свойства титанового сплава Ti-6Al-4V	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	01.02.2019 г., 755/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Образцы сплава Ti-6Al-4V, полученного методом электронно-лучевого сплавления из титанового порошка.
--	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	– Обзор литературных источников; – Подготовка образцов; – Исследование фазового состава образцов; – Измерение твердости по Виккерсу; – Исследование микроструктуры образцов; – Исследование электросопротивления образцов; – Анализ полученных результатов; – Заключение.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александров
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пушилина Наталья Сергеевна	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б52	Цао Чжэньцзе		

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

Студенту:

Группа	ФИО		
150Б52	Цао Чжэньцзе		
	Инженерная школа ядерных технологий		Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление	Физика(03.03.02)

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Альтернативы проведения НИ</i>
3. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б52	Цао Чжэньцзе		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
150Б52	Цао Чжэньцзе

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Физика (03.03.02)

Тема ВКР:

Исследование влияния параметров электронно-лучевого сплавления на структуру и свойства титанового сплава Ti-6Al-4V	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Прибор: MicroVickers HV-1000; Рабочая зона: лаборатория; Материал: титановый сплав VT6 Область применения: Аэрокосмическая система</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	По данной теме рассматриваются законодательный и нормативные документы: Документы по воздействию ПЭВМ: - СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы; - ГОСТ Р 50948-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности; - ГОСТ Р 50949-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности;
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов	Анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды:

2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– Метеоусловия – электромагнитное поле, – шум - освещение
3. Экологическая безопасность:	Экологическая безопасность: – Влияние экспериментальных отходов на окружающую среду; – Предложим решение;
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Защита в чрезвычайных ситуациях: – Возникновение возгорания; – Поражение оператора станочки электрическим током; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александров			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б52	Цао Чжэньцзе		

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Уровень образования бакалавриат

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

Период выполнения _____

Форма представления работы: _____

бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы: _____

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2018	Аналитический обзор литературы	10
01.09.2018	Подготовка образцов титанового сплава Ti-6Al-4V с различным состоянием поверхности	15
30.12.2018	Исследование влияния параметров электронно-лучевого сплавления на структуру материала.	20
30.04.2019	Исследование влияния параметров электронно-лучевого сплавления на твердость и электросопротивление титанового сплава. Анализ и обобщение полученных результатов.	20
25.05.2019	Социальная ответственность	15
25.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2019	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пушилина Наталья Сергеевна	к.ф.-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭФ	Лидер А.М.	д.т.н., доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 91 страницы, 16 рисунков, 19 таблицы, 44 литературный источник, 0 приложений.

Ключевые слова: титановый сплав, электронно-лучевое сплавление, микротвердость, микроструктура.

Объектом исследований являлся титановый сплав Ti-6Al-4V, полученный с помощью электронно-лучевого сплавления. Проведено исследование изменений микроструктуры и свойств титанового сплава Ti-6Al-4V, полученного с помощью электронно-лучевого сплавления, в зависимости от скорости сканирования электронного луча.

Целью работы: Исследование влияния параметров электронно-лучевого сплавления на структуру и свойства титанового сплава Ti-6Al-4V. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Исследование влияния тока сплавления на микроструктуру и структурно-фазовое состояние сплава Ti-6Al-4V, полученного электронно-лучевым сплавлением.
2. Исследование влияния тока сплавления на твердость сплава Ti-6Al-4V, полученного электронно-лучевым сплавлением.
3. Исследование влияния тока сплавления на износостойкость сплава Ti-6Al-4V, полученного электронно-лучевым сплавлением.

Оглавление

РЕФЕРАТ.....	11
ВВЕДЕНИЕ.....	13
ГЛАВА 1. Электронно-лучевое сплавление титановых сплавов.....	15
1.1 Микроструктура титановых сплавов, полученных методом электронно-лучевого сплавления.....	15
1.2 Свойства титановых сплавов, полученных с помощью аддитивных технологий.....	18
ГЛАВА 2. Материал и методы исследования.....	32
2.1 Материал для исследований.....	32
2.2 Метод электронно-лучевого сплавления для изготовления металлических изделий.....	32
2.3 Исследование фазового состава образцов.....	35
2.4 Измерение твердости по Виккерсу.....	38
2.5 Исследование микроструктуры образцов.....	40
2.6 Исследование износостойкости образцов.....	42
ГЛАВА 3 Результаты.....	错误! 未定义书签。
3.1 Исследование влияния тока сплавления на микроструктуру и структурно-фазовое состояние сплава Ti-6Al-4V, полученного электронно-лучевым сплавлением.....	错误! 未定义书签。
3.2 Исследование влияния тока сплавления на твердость сплава Ti-6Al-4V, полученного электронно-лучевым сплавлением.....	错误! 未定义书签。
3.3 Исследование влияния тока сплавления на износостойкость сплава Ti-6Al-4V, полученного электронно-лучевым сплавлением.....	错误! 未定义书签。
ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	44
Введение.....	44
4.1. Организация и планирование работ.....	45
4.2. Определение трудоемкости выполнения работ НИОКР.....	46
4.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	52
ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	60
Введение.....	60
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	60
5.2 Профессиональная социальная ответственность.....	62
5.3 Экологическая безопасность.....	69
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	70
Заключение.....	73
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	74

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и задачи:

Титановые сплавы являются наиболее важными передовыми материалами для аддитивных технологий (АТ) медицинских и аэрокосмических систем [1]. Титан и его сплавы широко используются в качестве конструкционных материалов в основном в аэрокосмической промышленности из-за низкой плотности (малой массы), стойкости к коррозии и усталости, высокотемпературной прочности, вязкости разрушения и низкого модуля Юнга [2-4]. Двухфазные ($\alpha+\beta$) титановые сплавы используются для получения таких критических и нагруженных деталей, как диски, рабочие и направляющие лопасти, кольца компрессоров и другие компоненты. Рабочие температуры титановых сплавов в авиационных двигателях варьируются от 120 до 580 °С [5,6]. Во время работы в агрессивных средах, содержащих водород и кислород при высоких температурах, физические и механические свойства титановых сплавов значительно ухудшаются.

Электронно-лучевое сплавление («Electron Beam Melting» или ЭЛС) - одна из трех технологий печати. ЭЛС стало жизнеспособной технологией получения добавок для металлических деталей. Эта передовая технология разработана Arcam AB в Швеции и используется в различных секторах, таких как аэрокосмическая и биомедицинская промышленность. Основным преимуществом этой технологии является возможность изготовления сложных геометрий. Титановые сплавы широко используются с этой технологией, что делает ее подходящим выбором для рынка медицинских имплантатов. В то же время, эту технологию используют такие гиганты, как Boeing, Lockheed Martin и NASA для производства деталей двигателей и несущих конструктивных элементов летательных аппаратов. Электронно-лучевое сплавление (ЭЛС) представляет собой метод получения добавок, где последовательные слои

металлического порошка расплавляются мощным сканирующим электронным пучком [15]. Процесс протекает в высоком вакууме при повышенных температурах, что помогает значительно минимизировать термически вызванные остаточные напряжения. Структура и свойства полученной части зависят от состава порошка, толщины детали, тока пучка, скорости луча, стратегий сканирования (включая смещение линии), подачи энергии и других.

Отработка технологий изготовления образцов из титановых порошков проводится путем подбора основных параметров синтеза образцов. Целью работы являлось исследование влияние тока сплавления на твердость и микроструктуру сплава Ti-6Al-4V, полученного электронно-лучевым сплавлением.

Задачи исследования:

1. Исследование влияния тока сплавления на микроструктуру и сплава Ti-6Al-4V, полученного электронно-лучевым сплавлением.
2. Исследование влияния тока сплавления на твердость сплава Ti-6Al-4V, полученного электронно-лучевым сплавлением.
3. Исследование влияния тока сплавления на износостойкость сплава Ti-6Al-4V, полученного электронно-лучевым сплавлением.

ГЛАВА 1. Электронно-лучевое сплавление титановых сплавов

1.1 Микроструктура титановых сплавов, полученных методом электронно-лучевого сплавления

Процесс начинается с распределения 50-миллиметрового слоя мелкого металлического порошка на стальную платформу. Весь процесс запускается в вакуумной камере, чтобы предотвратить рассеивание и отклонение пучка. Вакуумная камера подходит для материалов с высоким сродством к кислороду и другим химическим видам, доступным в атмосфере. Электронная пушка работает номинально при 60 кВ, чтобы развить плотность энергии в сфокусированном пучке более 102 кВт/см². Электронный пучок создается путем пропускания тока через вольфрамовую нить и используется в качестве источника тепла для плавления старого. Ток пучка может меняться от 0 до 50 мА. Две магнитные катушки управляют лучом лекции во время процесса, пока он не ударит по поверхности порошка. Одна из катушек фокусирует луч на требуемый диаметр, а другой отклоняет сфокусированный луч до нужной точки на столе здания. Электронный пучок сканирует области слоя металлического слоя в системе координат x-y, которая определяется компьютерной моделью, чтобы полностью расплавить порошок в областях, отсканированных, в то время как порошок непрерывно высвобождается из порошковых кассет и распределяется градиентом порошка до верхней часть здания. Порошковый грабли перемещается в поперечном направлении между двумя кассетами для равномерного распределения порошковых слоев по поверхности после завершения каждого строительного слоя. Процесс происходит в слое металлического порошка, который поддерживает нависающие особенности детали в процессе изготовления. Пучок расплавляет порошок до твердого среза, сливая его с предыдущими срезами. Как только луч сканирует соответствующие области, платформа из нержавеющей стали опускается на 50

мм, что равно толщине слоя, а новый слой порошка распределяется поверх ранее расплавленного слоя. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет создана полная деталь. Произведенные детали охлаждаются в технологической камере, которая заполняется газообразным гелием для облегчения и ускорения процесса охлаждения[13,14].

Образцы Ti6Al4V, изготовленные в процессе ЭЛС, имеют микроструктуру несколько отличающуюся, чем литые Ti6Al4V, содержащие ламеллярную α -фазу с большими β -зернами и с более высокой плотностью и значительно более мелким зерном благодаря быстрому охлаждению расплава. Микроструктурная эволюция в первую очередь зависит от скорости охлаждения материала. Материалы, обработанные в ЭЛС, подвергаются очень высокой скорости охлаждения.

На рисунке 1 показана оптическая микрофотография типичной объемной микроструктуры ЭЛС, в которой ось z машины проходит от нижней к верхней части страницы. Объемная микроструктура состоит из столбчатых ранее β зерен, очерченных границей зерен α ; в предшествующих β -гранулах наблюдается трансформированная $\alpha + \beta$ -микроструктура с морфологией колоний и Widmanstätten. Порошок применяется в слоях 100 мкм, и, таким образом, на рисунке 2 показано примерно пять слоев. В отличие от некоторых методов ALM невозможно определить, где находятся слои; однако ясно, что предшествующие β -зерна образуют эпитаксиально и проходят через многие слои. Сообщается многими исследователями о такой столбчатой структуре и является типичной особенностью большинства методов ALM. Столбчатая природа предшествующих β зерен является прямым следствием температурного градиента, существующего в направлении z. Базовая плита и осажденный материал действуют как теплоотвод во время осаждения, в то время как электронный луч обеспечивает источник тепла сверху. Это

аналогично конструкции, полученной при вакуумной дуговой переплавке титановой заготовки в водоохлаждаемом тигле; продольное охлаждение заготовки приводит к массивным столбчатым предшественникам β -зерен. Компоненты, полученные через ЭЛС, окружены сыпучим / слегка спеченным титановым порошком, который действует как изоляция; как таковые, потери тепла преобладают в одном измерении вдоль оси z.

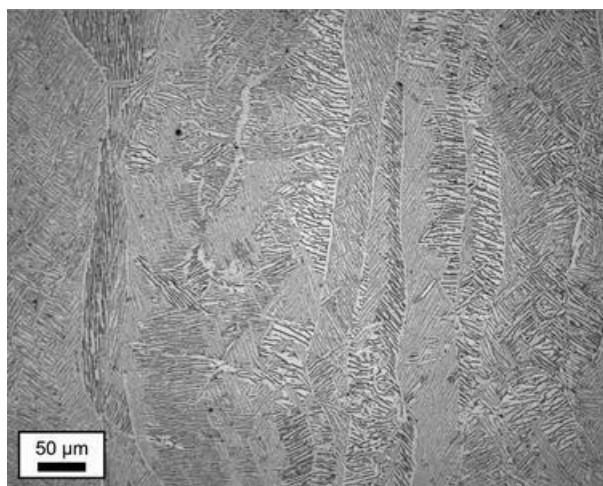


Рисунок 1 – Типичная объемная микроструктура ЭЛС Ti-6Al-4V (ось z сверху вниз)

Микроструктура ЭЛС-продукта в основном состоит из фазы α и небольшого количества β в пределах предшествующих β столбчатых зерен, ориентированных вдоль направления сборки. Фаза обладает ламеллярной морфологией с β , окружающей границу ламелей. Ламели расположены в структуре Widmanstätten / корзины с различными размерами и ориентациями и образуют альфа-тромбоциты в столбчатых зернах. Это означает, что процессы ЭЛС производят различные микроструктуры, по крайней мере, для ВТ6. Однако в обоих случаях отчетливо видны границы β столбчатых зерен. Это означает, что первичный режим затвердевания все еще остается β , что характерно для сплавов ВТ6 независимо от процесса. Поэтому различие в микроструктуре связано с различиями в скорости охлаждения, когда β

превращается в α , когда он охлаждается через температуру перехода.

Камера изготовления образцов поддерживается при температуре 650-700 ° С, которая значительно выше температуры M_s для ВТ6. Поэтому, хотя скорость охлаждения выше при повышенных температурах, материал остывает до температуры изотермической температуры 650-700 ° С. После завершения сборки медленные скорости охлаждения от 700 ° С до комнатной температуры внутри камеры сборки приводят к образованию тромбоцитов.

Микроструктуры ЭЛС - производства ВТ6 также отличаются от микроструктуры традиционных кованных материалов. Кованая микроструктура ВТ6 состоит из зерен α и β , ориентированных в направлении прокатки. Пригодность микроструктуры, основанной на процессах ЭЛС для различных применений, по-прежнему остается предметом обсуждения. Поскольку ВТ6 и многие другие сплавы хорошо реагируют на различные термические обработки, выбор подходящего метода обработки после нагревания может, вероятно, дать желаемые свойства [17].

1.2 Свойства титановых сплавов, полученных с помощью аддитивных технологий

Эксперименты с рентгеновской дифракцией *in situ* (TRXRD) проводились *in situ* для отслеживания эволюции последовательности фазового превращения $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow L \rightarrow \beta \rightarrow \alpha / \alpha$ во время сварки вольфрамовой дугой Ti-6Al-4V [18]. Синхротронное излучение использовалось для измерений *in situ* как в зоне плавления (FZ), так и в зоне термического влияния (HAZ) сварного шва, обеспечивая информацию о скоростях конверсии в условиях быстрого нагрева и охлаждения. Результаты показывают, что для температуры β -перехода требуется значительный перегрев, чтобы завершить преобразование $\alpha \rightarrow \beta$ при нагреве шва и что количество перегрева уменьшается с расстоянием от центра

сварного шва, где скорости нагрева ниже. Модель фазового преобразования ДжонсонаМел-Аврами представляла собой набор кинетических параметров для прогнозирования фазового превращения $\alpha \rightarrow \beta$ при нагреве шва. Соответствующие измерения TRXRD выполнялись при охлаждении сварного шва. Было показано, что преобразование $\beta \rightarrow \alpha$ при охлаждении сварного шва инициируется при температуре β -перехода и заканчивается ниже температуры M_s , в результате чего образуется микроструктура, содержащая значительную долю «мартенсита». Было показано, что в ФЗ трансформация $\beta \rightarrow \alpha$ при охлаждении сварного шва начинается ниже температуры M_s и полностью превращает микроструктуру в α 'мартенсит.

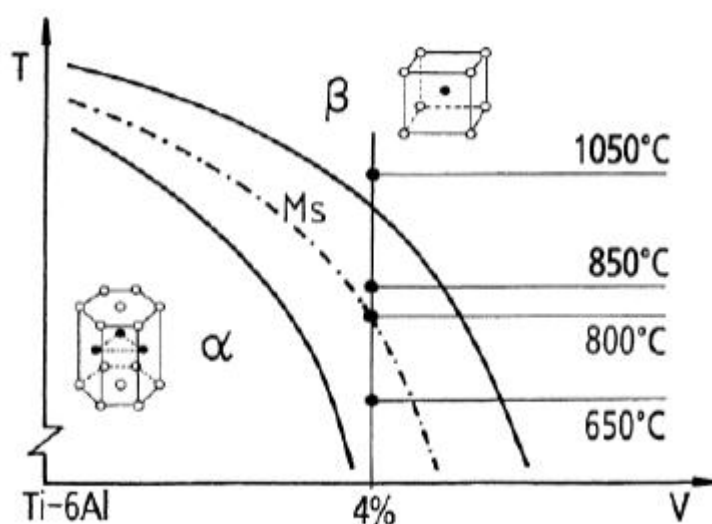


Рисунок 2 – Фазовая диаграмма Ti-6Al-4V [19]

А. Mohammadhosseini [23] установила, что из этого исследования можно сделать следующие выводы о том, какие детали из титанового сплава, изготовленные методом горячего прессования, изготовлены методом горячего прессования и изготовлены методом горячей прокатки.

1. Тенденция напряженно-деформированных кривых для готовых и горячих изостатически спрессованных образцов была почти одинаковой и

показала нормальное поведение $Ti - 6Al - 4V$, характеризующегося низкотемпературным упрочнением.

2. Свойства при растяжении $Ti - 6Al - 4V$ как для сборных, так и для горячих изостатических прессованных образцов удовлетворяли требованиям стандарта ISO для биомедицинских применений. Процесс ГИП слегка огрубляет микроструктуру, и, следовательно, прочность на растяжение снижается при увеличении удлинения.

3. Пластичное поведение образцов как для собранных, так и для горячих изостатически спрессованных образцов наблюдали с помощью испытания на растяжение и определения характеристик микроструктуры. В собранных сечениях деталей после полировки выявлены некоторые дефекты. Были некоторые пористости и некоторые нерасплавленные области. Детали, подвергнутые горячему изостатическому прессованию, не выявили дефектов.

4. Обработанный материал имеет очень высокую чистоту, что приводит к более высоким свойствам и лучшей биосовместимости из-за отсутствия кислорода.

5. Микротвердость полученных образцов была выше, чем у горячего изостатического прессованного, что можно объяснить укрупнением микроструктуры.

6. Усталостная прочность значительно улучшилась благодаря тому, что уплотнение улучшает усталостную прочность.

7. Микроструктура сплава $Ti - 6Al - 4V$, изготовленного методом ЭЛС, имеет очень тонкую и игольчатую морфологию из-за изначально высокой скорости затвердевания процесса.

Jaе Joong Ryu[24] установила, что предложены аргументы, основанные на аддитивном производственном процессе и механизме повреждения от износа, чтобы объяснить, как послойный процесс влияет на трибологические реакции в

различных средах Сложная зависимость износа от анизотропной микроструктуры и окружающей среды позволяет предположить, что механизм износа изменяется в зависимости от электрохимической реактивности. Кроме того, благотворное влияние химической среды на отожженную в мельнице поверхность Ti6Al4V может быть использовано в качестве возможных путей снижения скорости износа в результате процесса коррозионного разрушения. Кроме того, экспериментальный результат показал, что пассивирующая среда значительно снижает чувствительность к анизотропному износу на деталях, изготовленных из ДМ. В классической литературе по трибологии общепризнанно, что полученная морфология более мелких зерен обычно дает повышенную усталость и износостойкость металлов. Глубина износа, наблюдаемая на отожженной мельнице поверхности, обычно была больше, чем поверхности ЭЛС в сухом состоянии. В пассивирующей среде, однако, в наших экспериментах механизм износа показал, что глубины износа на поверхностях ЭЛС были больше, чем отожженная на мельнице поверхность. Кроме того, четкая трибологическая анизотропия (чувствительность к скольжению по отношению к износу) ЭЛС-Х, представленная во время испытаний на сухое скольжение, стала незначительной в растворах PBS. Это может быть вызвано ускоренной коррозией с установленным остаточным напряжением, что приводит к большей скорости износа деталей, изготовленных из ДМ. Смазка, обеспечиваемая белком, значительно снижает поверхностный износ и электрохимическое повреждение всех деталей Ti6Al4V. Такие наблюдения подразумевают, что забота о сохранении оптимальной микроструктуры и соответствующих трибологических характеристик должна учитываться при допустимых условиях труда, чтобы гарантировать стабильный срок службы.

Susan L. Draper [25] установила, что на образцах, изготовленных на машине ARCAM A2X ЭЛС, была завершена детальная характеристика

материала Ti-6Al-4V, расплавленного электронным пучком (ЭЛС). Образцы были изготовлены под восемь отдельных сборок с материалом, разделенным на две партии для тестирования материалов. Горячее изостатическое прессование (HIP) использовалось для закрытия пористости при изготовлении, а также служило термической обработкой материала для получения желаемой микроструктуры. Были проанализированы изменения в микроструктуре и химическом составе от порошка до материала до HIP и после HIP. Несколько методов неразрушающей оценки (NDE) были использованы для характеристики образцов как до, так и после HIP. Матрица испытаний включала в себя растяжение, высокую усталостную прочность, низкую усталостную прочность, вязкость разрушения и рост усталостной трещины при криогенных, комнатных и повышенных температурах. Механические свойства ЭЛС Ti-6Al-4V сравниваются с обычным Ti-6Al-4V в отожженном состоянии. Фрактография была выполнена, чтобы определить место возникновения отказа. ЭЛС Ti-6Al-4V имел аналогичные или превосходные механические свойства по сравнению с обычным Ti-6Al-4V.

ЭЛС Ti-6Al-4V имел эквивалентные или превосходные свойства по сравнению с обычным материалом, изготовленным в исследованном диапазоне температур. Высокая прочность материала объясняется утонченной микроструктурой. В то время как в материале присутствовали дефекты, размер дефектов, вызывающих усталостные трещины, был слишком мал, чтобы неблагоприятно влиять на циклические жизни. Чистота порошка - потенциальная проблема, поскольку неожиданные элементы были найдены как включения. Рекомендуется, чтобы критические компоненты HIPed после изготовления, чтобы устранить пористость и гомогенизировать микроструктуру. Кроме того, мы ожидаем ухудшения усталостного ресурса из-за окончательной обработки поверхности по сравнению с хорошо обработанной (и / или

полированной) поверхностью. Превосходные механические свойства HIP-ЭЛС Ti-6Al-4V должны быть достаточными для проектирования и изготовления аэрокосмических компонентов.

Charlotte de Formanoir [26] установила, что электронно-лучевое плавление (ЭЛС), процесс изготовления слоя аддитивного слоя с порошковым слоем, использовалось для получения образцов Ti-6Al-4V, микроструктура, текстура и свойства при растяжении которых были полностью охарактеризованы. Микроструктура, проанализированная с помощью оптической микроскопии, SEM / EBSD и дифракции рентгеновских лучей, состоит из мелких α -ламелей. Численная реконструкция исходной β -фазы выдвинула на первый план столбчатую морфологию предшествующих β -зерен, растущих вдоль направления образования при затвердевании ванны расплава. Наличие межзеренной границы α вдоль границ этих предшествующих β -зерен свидетельствует о диффузионном характере $\beta \rightarrow \alpha$ -фазового превращения. Для механической характеристики образцы на растяжение изготавливали с использованием двух разных тем сборки и по нескольким направлениям сборки, показывая, что образцы с вертикальной сборкой имеют более низкий предел текучести, чем образцы с горизонтальной сборкой. Влияние отделки поверхности на свойства при растяжении было четко подчеркнуто. Действительно, механическая полировка вызывала повышение пластичности - благодаря устранению критических поверхностных дефектов - а также значительное увеличение кажущегося предела текучести - вызванное удалением шероховатого поверхностного слоя толщиной ~ 150 мкм, который можно рассматривать как механически неэффективный. и не поддерживает растягивающую нагрузку. Термические постобработки были выполнены на образцах, расплавленных электронным пучком, что показало, что субтранзусные обработки вызывают очень умеренные микроструктурные

изменения, в то время как супертранзусные обработки генерируют существенно другой тип микроструктуры, из-за быстрого роста β -зерна, происходящего над трансусом.

Результаты этого исследования могут быть обобщены как:

(1) Микроструктура, специфичная для материала, расплавленного электронным пучком, приводит к слегка анизотропному механическому поведению. Вертикально построенные образцы на растяжение имеют более низкий предел текучести, чем образцы, построенные горизонтально. Рандомизация текстуры, вызванная фазовым преобразованием, - по крайней мере, частично - ответственна за такое поведение.

(2) В случае неоптимизированных параметров процесса или неправильного расположения деталей в сборочной камере могут возникать дефекты. Такие пористости являются следствием локально недостаточного плавления порошка. Они особенно вредны для пластичности расплавленных деталей электронным пучком. Минимизация длины сканирования путем выбора преимущественно вертикальной ориентации детали - это способ избежать таких вредных пористостей.

(3) Плотные, бездефектные расплавленные пучки электронов характеризуются высоким пределом текучести и удивительно низкой пластичностью. Это механическое поведение, вероятно, происходит из-за чрезмерного содержания кислорода в сплаве. Во избежание вредного загрязнения кислородом следует соблюдать меры предосторожности при хранении, обращении и переработке порошка.

(4) Спекание, происходящее на поверхности расплавленных электронным лучом деталей, создает уровень шероховатости, который присущ ЭЛС-процессу. В результате шероховатый поверхностный слой может систематически рассматриваться как механически неэффективный. Для диапазона параметров

процесса, использованного в этом исследовании, было установлено, что этот слой имеет толщину ~ 150 мкм. При проектировании расплавленных деталей электронным пучком важно учитывать эту шероховатость. Как уже подчеркивалось предыдущими авторами [13], проектировщики должны иметь в виду, что свойства на растяжение обработанных деталей могут быть неизменно выше, чем у готовых деталей. Размеры должны быть выбраны соответственно. Это может быть даже более критично, если учитывать усталостные свойства.

(5) Микроструктура расплавленных электронным путем деталей может быть изменена, в некоторой степени, путем термообработки после обработки. Тем не менее, еще предстоит проделать значительную работу, чтобы определить оптимальную термообработку для деталей, полученных ЭЛС. Действительно, субтрансфузионная термообработка вызывает только очень умеренные микроструктурные изменения, что приводит к ограниченному механическому эффекту. С другой стороны, сверхтрансфузионные термообработки вызывают значительные микроструктурные изменения. Столбчатая морфология превращается в равноосную, что приводит к более изотропному материалу. Однако быстрый рост β -зерна, который вызывают эти обработки, неуправляем и механически нежелателен.

(6) Термическая обработка, исследованная в настоящем исследовании, не приводит к значительному улучшению механических свойств расплавленных электронным лучом деталей. Производство деталей из обычного ковального, прокатного или экструдированного сплава Ti включает сложную термомеханическую обработку, во время которой механически индуцируются различные явления, такие как перекристаллизация и глобуляризация. Такая механическая обработка не может быть предусмотрена в аддитивном производстве, по крайней мере, в его нынешней установке. Следовательно, потенциальная альтернатива - лучший контроль над самим процессом.

Изучение влияния некоторых ключевых параметров на микроструктуру и возникающее в результате механическое поведение представляется многообещающей стратегией, которая в конечном итоге оптимизирует баланс между прочностью и пластичностью.

W.A. Grell [27] установила, что качество порошка в аддитивном производстве (АМ) электронно-лучевой плавки (ЭЛС) компонентов Ti-6Al-4V имеет решающее значение для определения критических свойств материала конечного изделия. В этом исследовании мы сообщаем о влиянии окисления порошка на энергию удара по Шарпи деталей Ti-6Al-4V, изготовленных с использованием ЭЛС. В дополнение к окислению, были также исследованы воздействия на энергию удара из-за горячего изостатического прессования (HIP), ориентации образца и дефектов процесса ЭЛС. Это исследование показало, что чрезмерное окисление порошка (массовая доля кислорода выше 0,25% и до 0,46%) резко снижает энергию удара. Было установлено, что энергия удара деталей при комнатной температуре после чрезмерного окисления была уменьшена примерно в семь раз. Мы также сообщаем, что постобработка HIP значительно увеличивает ударную вязкость, особенно для образцов с более низким или нормальным содержанием кислорода. Эффект ориентации образца оказался более значительным при низких уровнях окисления.

Недавно разработанный метод смешивания сильно окисленного порошка Ti-6Al-4V в небольших процентах с порошками с низким содержанием кислорода был применен для оценки влияния на энергию удара массовой доли порошка кислорода до 0,5% без каких-либо вредных эффектов, таких как на основе остаточного оксида. частицы. Энергия удара по Шарпи Ti-6Al-4V плавно, но быстро снижалась, примерно с 20 Дж до 50 Дж (в зависимости от ориентации и последующей обработки) до 3 Дж до 5 Дж, поскольку массовая

доля порошка кислорода увеличилась с 0,11% до 0,53. %. Было обнаружено сильное влияние ориентации на ударную вязкость, причем трещина перпендикулярна направлению сборки (ориентация образца Z-X), демонстрируя самые высокие энергии удара. HIP-постобработка увеличила ударную вязкость сплава во всех направлениях, особенно при низком и среднем содержании кислорода. Влияние постобработки HIP и ориентации на вязкость в значительной степени исчезли при уровне массовой доли 0,5%.

Используя данные, представленные в этой работе, энергии удара могут быть связаны с концентрациями кислорода для трех ориентаций и HIP в сравнении с постобработкой HIP. Эта работа способствовала продолжающимся дискуссиям относительно влияния кислорода на механические свойства сплавов на основе Ti. Утверждается, что уменьшение ударной вязкости (аналогично удлинению при растяжении) и связанное с этим увеличение твердости (аналогично пределу текучести) сплава наиболее вероятно вызвано блокированием движения винтовой дислокации кислородом внедрения, как показано Yu et al. , однако дальнейшее изучение динамических механизмов деформации и разрушения потребовалось бы, чтобы определить, является ли это фундаментальной причиной.

Sarah Saunders [28] установила, что испытания на износ проводились на образцах до и после лазерного нанесения с помощью тестера износа шарик-на-диске в растворе Хэнка. Измеряли шероховатость поверхности и микротвердость образцов, обработанных по-разному. Свойства трения и износа образцов оценивали путем сравнения их коэффициента трения (COF) и потери массы износа. Морфологию износа рубца и механизм износа характеризовали оптическим микроскопом (ОМ), сканирующим электронным микроскопом (СЭМ) и энергодисперсионным спектрометром (ЭДС). Результаты показали, что микротвердость поверхности образца, подвергнутого воздействию LP, была

значительно увеличена на 25,7%, а соответствующая глубина отвержденного слоя была более 0,3 мм. Средняя COF и потеря массы при износе были значительно снижены до 50% и 29,2%, соответственно, в результате увеличения энергии лазера и времени воздействия. После LP механизм износа превратился из сильного окислительного износа в легкий адгезивный износ и абразивный износ. Экспериментальные результаты доказали, что обработка LP может эффективно улучшить фрикционные и износостойкие свойства медицинского сплава Ti6Al4V.

M.Jamshidinia [29] установила, что увеличение количества радиаторов сопровождалось уменьшением толщины зерна. В то время как удлиненные зерна все еще формируются во всех купонах, из-за доминирующей теплопередачи вдоль направления накопления. Уточнение микроструктуры было подтверждено уменьшением средней толщины α -планки с 1,73 мкм в купоне с наибольшим количеством радиаторов. Предел прочности при растяжении и твердость были увеличены за счет увеличения количества радиаторов. Результаты фрактографии показали, что купоны с максимальным количеством радиаторов (5-HS) показали более пластичный перелом. Кроме того, цифровая реконструкция поверхности разрушения показала, что нерасплавленные частицы порошка оказали влияние на зарождение трещины.

Увеличение количества радиаторов привело к образованию более тонкой микроструктуры, вызванной более высокой скоростью охлаждения. Уточнение микроструктуры было подтверждено сравнением макро и микроструктуры купонов. Кроме того, измерение толщины α -планок показало обратную зависимость между количеством радиаторов и толщиной α -планок. Средняя толщина α -планок уменьшилась с 1,73 мкм в купоне 0-HS до 1,01 мкм в купоне 5-HS.

Увеличение количества радиаторов привело к увеличению предела прочности на разрыв и твердости. Увеличение прочности и микротвердости объяснялось уравнением Холла-Петча.

Результаты фрактографии показали, что купоны с максимальным количеством радиаторов (5-HS) показали более пластичный перелом. Увеличение количества теплоотводов привело к образованию на чашках с трещинами конусообразного элемента.

Цифровая реконструкция поверхности разрушения показала, что нерасплавленные частицы порошка влияют на зарождение трещины. Для изучения возможной взаимосвязи между конструкцией радиатора и образованием нерасплавленных порошков потребуется дополнительное исследование.

Н.К. Rafi [30] установила, что образцы SLM и ЭЛС дали две разные микроструктуры для Ti-6Al-4V. Произведенный в SLM Ti-6Al-4V привел к мартенситной микроструктуре, а произведенный в ДМ Ti-6Al-4V привел к с-фазе с разделением β ламелей.

Образцы Ti-6Al-4V, изготовленные из УЗМ, имеют более высокую прочность на разрыв, чем образцы, изготовленные с помощью МБМ. Но образцы, полученные методом ЭЛС, обладают более высокой пластичностью. Более высокая прочность на разрыв образцов SLM объясняется мартенситной микроструктурой, а более высокая пластичность образцов, полученных с помощью ЭЛС, связана с пластинчатой с-фазой.

Образцы, изготовленные по модели SLM, показали предел усталости в 550 МПа, тогда как образцы, изготовленные по методу ММ, показали предел усталости, равный 340 МПа. Нижний предел усталости, наблюдаемый для ЭЛС, обусловлен микроструктурой пластинчатой фазы.

Е. Hernández-Nava [31] установила, что инструменты электронно-лучевой плавки (ЭЛС) и CAD успешно применяются для аддитивного изготовления тонких кубических решетчатых структур с использованием предварительно легированного порошка Ti-6Al-4V 45–100 мкм. В этой статье микроструктура и точность размеров готовых решеток были исследованы для набора решеток, имеющих одинаковую морфологию, за исключением диаметра стойки, который систематически варьировался. Было обнаружено, что термообработка ниже β -трансуса имела относительно небольшое влияние на микроструктуру или свойства, так что готовое состояние можно рассматривать как находящееся в отожденном состоянии. Термическая обработка над β -трансусом имела гораздо более выраженный эффект, значительно огрубляя структуру и приводя к грубым чередующимся пакетам α и β ламелл и α на предыдущих границах зерен. Хотя предыдущая обработка оказала очень незначительное влияние на механические характеристики, более высокая термообработка снизила предел текучести при сжатии примерно на 11%.

Характеристика текучести при сжатии может быть предсказана для всех диаметров, изготовленных просто с точки зрения сжимающей пластической деформации выровненных распорок, а не из-за изгиба или сдвига, хотя они могут привести к окончательному разрушению. Свойства АМ-стоек внутри тонких решеток были примерно такими же, как у массивного аддитивного материала. Собственные полностью увлеченные дефекты также видны; для выровненных вдоль направления сборки они были небольшими и находились в основном в кольцах, связанных с профилем сканирования EB. Как и следовало ожидать, учитывая избыточность горизонтальных стоек, на предел текучести при сжатии дефекты этих стоек мало влияли. Значительно большие дефекты разрушения поверхности были обнаружены для распорок, лежащих перпендикулярно направлению сборки. Минимальный размер сварочной

дорожки был экспериментально и численно идентифицирован как 176 и 148 мкм в глубину соответственно с отношением глубины к ширине 0,55. Это привело к прохождению пучка порядка 300 мкм с малыми размерами (стойки диаметром 0,4 и 0,6 мм) при применении контура вокруг диаметра стойки. Отклонения площади, где параметрически определены до 52% для негабаритного компонента, однако, поскольку параметры луча способны воспроизводить более тонкие срезы, эта проблема может быть исправлена в будущем. Сырье и стратегии осаждения предлагается дополнительно изучить для уточнения точности. Кроме того, шероховатость поверхности является значительной (близкой к меньшему размеру частиц) и, как полагают, происходит из-за увлечения частиц на периферии внешнего контура, определенного схемой сканирования.

ГЛАВА 2. Материал и методы исследования

2.1 Материал для исследований

Образцы изготавливались на машине ARCAM A2 ЭЛС (Arcam AB, Mölndal, Швеция) с использованием порошка титанового сплава Ti-6Al-4V (Ti6Al4V ELI) [30]. Порошок был приобретен у ARCAM AB и имеет средний размер зерен от 50 до 150 мкм. Образцы были в форме монеты диаметром 8 мм и высотой 2 мм. Все использованные образцы были изготовлены в одной партии с направлением сборки, параллельным круглой поверхности. Толщина порошкового слоя составляла 70 мкм, и использовались стандартные настройки параметров ARCAM для твердого Ti64. Все образцы были тщательно взорваны в системе извлечения порошка ARCAM с использованием одного и того же порошка-прекурсора. Затем все образцы механически шлифовали до получения однородной поверхности. Параметры изготовления образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры изготовления образцов

Серия	Ток сплавления, мА	Функция скорости
1	17	85
2	15	
3	13	

2.2 Метод электронно-лучевого сплавления для изготовления металлических изделий

Объектом исследований в данной работе являлись образцы титанового сплава Ti-6Al-4V, изготовленные методом электронно-лучевого сплавления. Электронно-лучевое сплавление (ЭЛС) – это современное и перспективное производство металлических деталей. Металлический порошок или проволока

свариваются вместе с использованием электронного пучка в качестве источника тепла. Применяется при сплавлении особо чистых материалов, например, титана, и материалов, стойких к высокой температуре и химическим воздействиям. Информация об основных элементах установок по электронно-лучевому сплавлению металлических порошков представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Основная информация о ЭЛС

Электронно-лучевая пушка	Катод
	Первичный анод
	Фокусирующая катушка
	Сканирующая катушка
Вакуумная камера	Бункер для порошка
	Каретка
	Камера построения
	Поршень

Электронный пучок генерируется электронно-лучевой пушкой, расположенной в верхней части вакуумной камеры. Электронная пушка фиксирована, но электронный луч может управляться рулевым управлением, достигая всей области обработки. В электронно-лучевых пушках электроны испускаются из нити, которая испускает электроны при нагревании до определенной температуры. Нить представляет собой катод. В то же время в электронно-лучевой пушке есть электрические и магнитные поля, и многие электроны ускоряются до половины скорости света в электрическом поле. Затем электронный пучок управляется двумя магнитными полями. Первое магнитное поле играет роль электромагнитной линзы, ответственной за фокусировку электронного пучка до желаемого диаметра с образованием электронного пучка. Второе магнитное поле затем перенаправляет

сфокусированный электронный луч в желаемую рабочую точку на верстаке. Схема электронного пучка показана на рисунке 3.

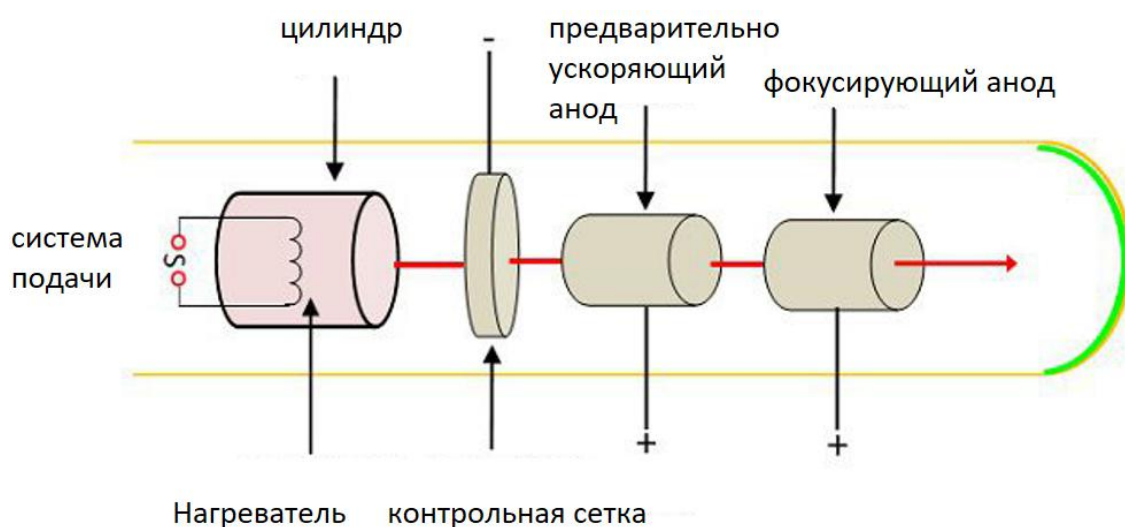


Рисунок 3 – Схема электронного пучка

Электронный пучок ускоряется до половины скорости света в электронно-лучевой пушке, так что электронный пучок имеет высокую энергию. В то же время запуск в вакууме значительно снизит потерю энергии электронного пучка.

Перед печатью, при укладке слоя порошка, электронный луч будет быстро сканировать порошкообразный слой несколько раз, чтобы предварительно разогреть порошок, порошок находится в состоянии легкого спекания без расплавления.

В лазерных технологиях (SLM) необходимо предварительно нагревать подложку до 300 °С, в то время как технология ЭЛС может предварительно нагревать каждый слой металлического порошка путем сканирования электронным лучом, чтобы обеспечить возможность формирования детали при 600 – 1200 °С. Поэтому технология сплавления электронным лучом может расплавлять огнеупорный металл и может сплавлять различные металлы. Обработка детали при более высоких температурах сокращают время обработки.

Вакуумная технология относится к состоянию газа, давление которого ниже атмосферного. Нужно отметить, что 3Д-печать осуществляется в камере, где создан искусственный вакуум с давлением меньше $1 \cdot 10^{-4}$ Бар. Во-первых, при атмосферном давлении электронный луч сталкивается со многими молекулами во время движения, в результате чего потребляется много энергии, что снижает скорость печати. Во-вторых, электроны сталкиваются с молекулами атмосферы, и электроны легко рассеиваются. В-третьих, рентгеновские лучи также легко генерируются, когда электроны сталкиваются с молекулами атмосферы. В-четвертых, многие материалы (такие как титан) становятся очень реакционноспособными при высоких температурах и легко окисляются. Поэтому в технологии электронного лучевого сплавления очень важна вакуумная система.

2.3 Исследование фазового состава образцов

Исследование фазового состава образцов проводилось на дифрактометре XRD-7000S.

Дифракция рентгеновских лучей - это рассеяние рентгеновских лучей на кристаллах (или молекулах жидкостей и газов), в которых возникают вторичные отклоненные пучки одинаковой длины волны, возникающие в результате взаимодействия первичных рентгеновских лучей с электронами вещества. начальный пучок лучей; Направление и интенсивность вторичных пучков зависят от структуры рассеивающего объекта. Дифрагированные пучки образуют часть всего рентгеновского излучения, рассеянного веществом. Наряду с рассеянием без изменения длины волны, рассеяние с изменением длины волны наблюдается, так называемый комптоновского рассеяния. Рентгеноструктурный анализ (рентгеноструктурный анализ) является одним из методов дифракции для изучения структуры вещества. Этот метод основан на феномене рентгеновской дифракции на трехмерной решетке.

Лауэ обнаружил явление рентгеновской дифракции кристаллов. Теоретическая основа этого явления дается условиями Вульфа и Брэгга. В качестве метода рентгеноструктурный анализ был разработан Дебаем и Шеррером. Метод может определять атомную структуру вещества, включая пространственную группу элементарной ячейки, ее размер и форму, а также определять симметрию кристалла.

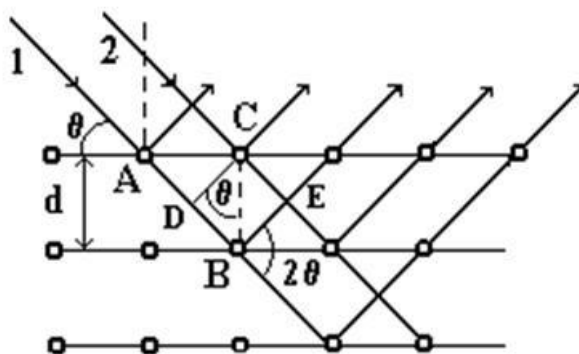


Рисунок 4 – Дифракция рентгеновских лучей

Рентгеноструктурный анализ по-прежнему является наиболее распространенным методом определения структуры материала из-за его простоты, универсальности и относительно недорогого .

Кристаллический материал имеет свою специфическую кристаллическую структуру, включая тип решетки, межплоскостное расстояние и другие параметры. Облучение образца пучком достаточной энергии будет возбуждать атомы в образце, что приводит к вторичной флуоресценции рентгеновского излучения. Для идентификации максимумов рентгеновских лучей, отраженных кристаллической плоскостью, используют закон Брэгга.

Качественный анализ соединения может быть выполнен путем измерения положения угла дифракции (положение пика). Интегральную интенсивность (пиковая интенсивность) измеряемой линии можно количественно проанализировать, а соотношение между интенсивностью линии и углом

можно измерить, чтобы определить размер и форму кристаллического зерна. обнаружение.

Условие Вульфа — Брэгга определяет направление максимумов дифракции упруго рассеянного на кристалле рентгеновского излучения.

Формула Вульфа — Брэгга:

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

Где d — межплоскостное расстояние, θ — угол скольжения (брэгговский угол), n — порядок дифракционного максимума, λ — длина волны.

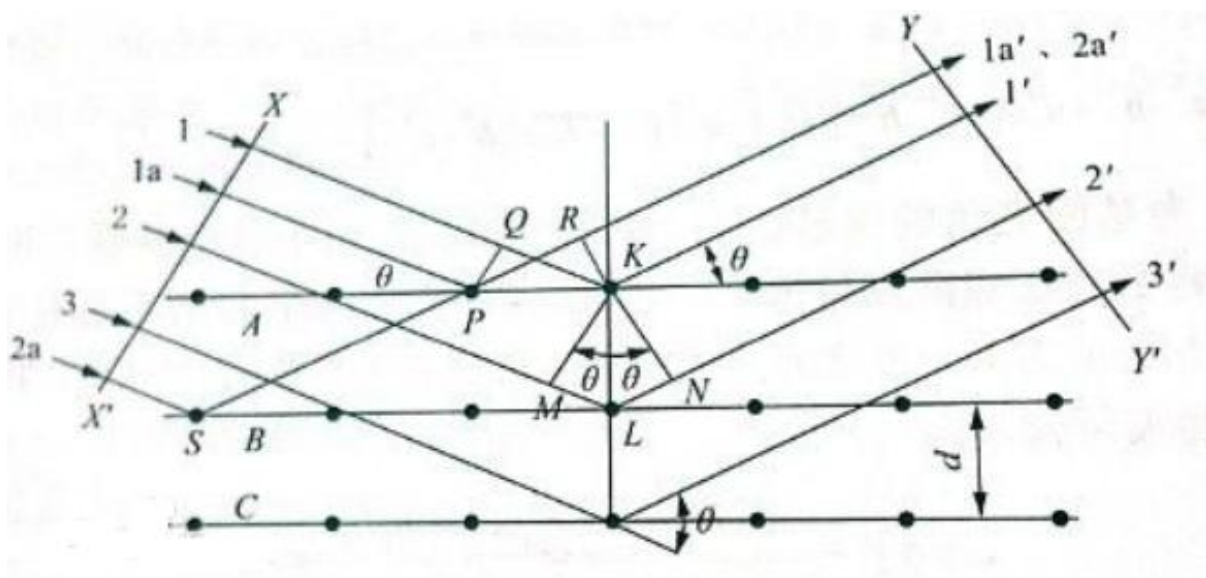


Рисунок 5 – Рентгеноструктурный анализ

Условие Вульфа — Брэгга предполагает, что падающие волны зеркально отражены от параллельных атомных плоскостей в кристалле. Каждая плоскость отражает небольшую часть излучения, точно как слегка посеребренное зеркало. В зеркале такого зеркального отражения угол отражения равен углу падения. Когда отражение от параллельной атомной плоскости происходит конструктивно, получается дифрагированный пучок.

2.4 Измерение твердости по Виккерсу

Твёрдость – свойство материала сопротивляться внедрению более твёрдого тела. Твердость — эта характеристика горных пород, отражающая их прочность. В зависимости от предназначения величина твердости определяется различными методами. Метод испытания твердости делится на статический и динамический. Статические методы включают методы измерения твердости по Бринеллю (HB), по Виккерсу (HV), по Роквеллу (HRA, HRB, A, B и C HRC), по Кнупу.

К динамическим относятся способы измерения твердости по Шору(HSD), Шварцу, Бауману, Польши(HP), Морину, Граве. Измерения твёрдости осуществляют при $20\pm 10^{\circ}\text{C}$ [21].

Метод Виккерса (HV) – (является статичным) метод измерения твёрдости металлов и сплавов по Виккерсу. Вдавливание алмазной пирамиды с квадратным основанием и углом при вершине между гранями 136° с нагрузками от 0,01 до 50 кгс. Путем деления давления, приложенного к индентору, на величину твердости, полученную в области конической канавки, определяемой диагональю выемки. Этот метод универсален, потому что он позволяет измерять твердость любого металла и сплава на практике. Этот метод измеряет твердость листов и слоев (максимум 6,05 мм). Этот метод требует очень тщательной обработки поверхности - тонкого шлифования или полировки. При измерении твердости и различных структур шероховатости нежелательно использовать тест на твердость по Виккерсу, поскольку небольшие отпечатки (соответствующие размеру зерна) могут быть получены с широким диапазоном данных.

Испытание проводили путем вдавливания пирамидального алмазного индентора, имеющего определенную испытательную силу, в поверхность испытуемого образца. После определенного периода нагрузки индентор поднимается, и значение твердости рассчитывается в соответствии с длиной диагонали печатного материала или рассчитывается по формуле. Поскольку индентор твердомера может иметь различную форму, расчеты приведены по разным формулам. Твердость по Виккерсу измеряли с использованием пирамидального индентора, имеющего противоположный аромат 136° (см. Фиг.7). [22], полная формула приведена ниже:

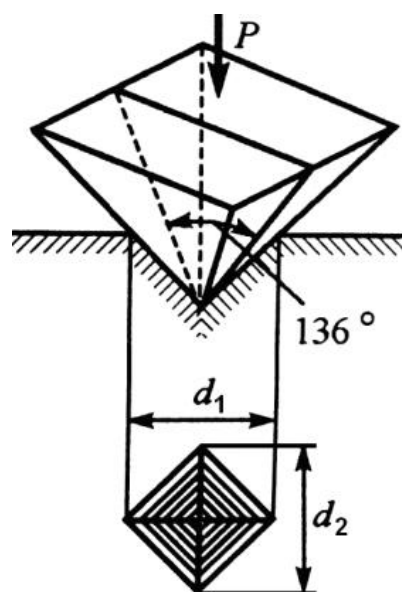


Рисунок 6 – Схема твердости по методу Виккерса:

Где P - нагрузка; d_1 и d_2 - диагонали отпечатка.

Формула для расчета микротвердости:

$$HV = \frac{2F \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1.8544 \frac{F}{d^2} (\text{кг} / \text{мм}^2) \quad (1)$$

где HV – твердость по методу Виккерса (кг/мм^2), α – наклон алмазного индентера пирамидальной формы, F – испытательное усилие, d – средняя длина диагонали отпечатка.

Преимущества метода Виккерса: способность измерять очень прочные и тонкие изделия (толщина менее 0,3 мм), поверхностный слой детали, твердость покрытия. Недостатки этого метода: высокие требования к чистоте и шероховатости поверхности испытуемого образца.

2.5 Исследование микроструктуры образцов

Исследование микроструктуры образцов проводилось методами оптической и сканирующей электронной микроскопии. К приборам для изучения структуры металлов, прежде всего, относится металлографический микроскоп. Обычный микроскоп не удастся применить для исследования металлов, т.к. в его оптической схеме свет от источника проходит через исследуемый образец, попадает в объектив микроскопа и через систему линз и окуляр попадает в глаз наблюдателя. Металл не пропускает световые лучи, поэтому для исследования металлов пришлось разрабатывать совершенно другую схему отражательного микроскопа. В этом типе микроскопа свет попадает на поверхность исследуемого образца, и после отражения попадает в объектив и в дальнейшем в окуляр микроскопа. Чтобы поверхность образца хорошо отражала свет, она должна быть отполирована до зеркального состояния.

Микроскоп металлографический инвертированный МЕТАМ ЛВ предназначен для исследования микроструктуры металлов, сплавов и других непрозрачных объектов в отраженном свете в светлом поле при прямом и косом освещении, в темном поле, а также по методу дифференциально-интерференционного контраста. В состав микроскопа входят следующие узлы: основание 1 (рис. 9), осветитель 4, направляющая с отражателями 8, револьвер

9 с объективами, фокусировочный механизм с предметным столиком 11, фототубус 2, бинокулярная насадка 15 с окулярами и видеотубусом 12. Общий вид микроскопа показан на рисунках 7.

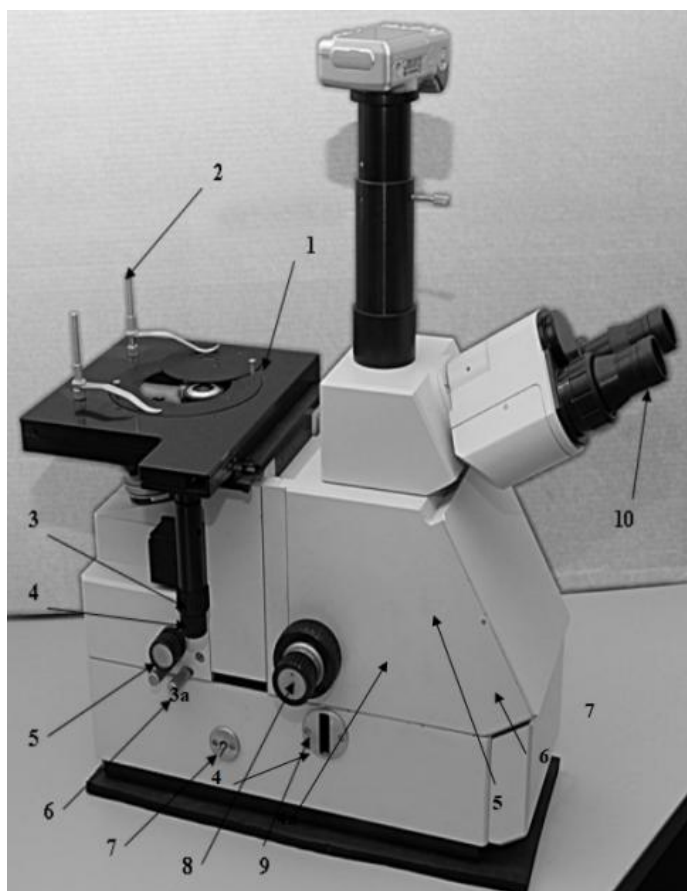


Рисунок 7 – Общий вид микроскопа МЕТАМ ЛВ

Структурно состояние образцов изучалось использованием системы с электронным и сфокусированными пучками Quanta 200 3D. Система совмещает в себе сканирующий электронный микроскоп и термоэмиссионным катодом, сфокусированный ионный пучок, позволяющий прецизионно наносить и удалять материалы, а также системы энергодисперсионного микроанализа (EDS).

2.6 Исследование износостойкости образцов

Исследование износостойкости образцов проводилась на трибометре «High Temperature Tribometer» (CSEM, Швейцария). Прибор предназначен для измерения коэффициента трения, износостойкости, интенсивности износа в различных температурных условиях, газовой среде и смазывающих жидкостях. Работа «High Temperature Tribometer» контролируется персональной вычислительной машиной. При этом обеспечивается управление работой прибора, измеряемые величины отображаются в режиме реального времени. Программное обеспечение производит расчет износа образца и свидетеля. Технические характеристики прибора следующие: максимальная температура – 800 °С, нагрузка на индентор от 1 до 60 Н, разрешение по нагрузке 10 мН, сила трения – до 10 Н, Частота вращения 1-1500об/мин. Окружающие нагревательные элементы в сочетании с водяным охлаждением обеспечивают точный и однородный контроль температуры образца до 1000 °С. Независимое приложение нормального измерения нагрузки и силы трения, чтобы избежать перекрестных помех между различными сигналами силы. Однонаправленное вращение или угловое возвратно-поступательное движение. Непрерывное измерение глубины износа.



Рисунок 8 – Схема трибометра «High Temperature Tribometer»

PC-Operated High Temperature Tribometer обеспечивает реализацию измерительных методик «Игла на диске» и «Шар на диске».

Исследуемый образец закрепляется на вращающемся диске. Зафиксированный нагревающий элемент позволяет вращающемуся диску нагреваться до температуры 800°C. Коэффициент трения определяется во время теста путем измерения прогиба эластичного рычага. Износ исследуемого образца определяется путем измерения трека образованного в результате действия неподвижного индентора на вращающийся образец.

ГЛАВА 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

В то же время трудно оценить масштабы разработки и ее коммерческую ценность на ранних этапах развития высокотехнологичной продукции. Оценка коммерческой ценности продукта является предпосылкой для поиска источника финансирования для результатов исследований и коммерциализации. Состояние и перспективы научных исследований очень важны для разработчиков. Что еще более важно, мы должны знать, что коммерческая привлекательность научных исследований зависит не только от ранее разработанных технических параметров, но также и от того, могут ли исследователи быстро найти ответы на эти вопросы, то есть нужны ли продукты рынку и как формулировать продукты. Цена, как определить бюджет исследовательского проекта. Сколько времени требуется для того, чтобы продукт вышел на рынок, и сколько времени потребуется для его промышленного производства для массового производства. Следовательно, цель «финансового управления, эффективности использования ресурсов и сохранения ресурсов» заключается в разработке и создании конкурентоспособных продуктов и технологий, отвечающих требованиям эффективного использования существующих ресурсов. Достигните цели, решая следующие задачи:

- Оценить потенциал и перспективы исследований продукции;
- Научные исследования;
- Определить возможные варианты исследований для удовлетворения требований по эффективному использованию ресурсов;
- Исследование использования ресурсов для определения экономических выгод бюджета и продуктов.

4.1. Организация и планирование работ

Запланируйте серию предлагаемых работ в следующем порядке:

- определить рабочую структуру в рамках научных исследований;
- Теория формирования части. Определить возможные направления исследования;
- определить участников в каждой работе;
- определить продолжительность работы;
- Выводы и рекомендации по этому вопросу, в которых результаты развития. Разработка технологии отчет;
- Заключительный этап. Анализ результатов исследования всей рабочей группы. Подготовка отчетных документов.

В таблице 9 перечислены этапы этих видов работ, работы и распределения исполнителей.

Таблица 9 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Основные этапы	№ работ	Содержание работы	Загрузка исполнителей
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение задания НИР	НР – 100%
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материала	НР – 100%
	3	Выбор направления	НР – 30%

		исследований	СД – 100%
	4	Календарное планирование работ по теме	НР – 100% СД – 50%
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Поиск литературы	НР – 30% СД – 100%
	6	Метод выбора	НР – 100% СД – 50%
	7	Проектирование экспериментальных процессов	НР – 100% СД – 80%
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ результатов данных	НР – 60% СД – 100%
	9	Определить достоверность результатов	НР – 20% СД – 80%
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	НР – 60% СД – 100%

4.2. Определение трудоемкости выполнения работ НИОКР

Стоимость бизнеса является одним из основных факторов, отражающих ценность научного развития. С этой точки зрения, определение трудоемкости

каждого участника исследования очень важно. Чтобы оценить трудоемкость исследования, выполняющего заключительную работу, используйте экспертный метод, который определяется вручную. Чтобы определить ожидаемое значение трудоемкости, используйте следующие отношения:

Существует два способа расчета продолжительности этапа работы:

- 1) Экономические технологии;
- 2) Статистика тестовой продукции.

Первый используется для планирования рабочего времени и усилий в процессе планирования, и они постоянно повторяются в стабильной среде. При этом используются экспериментальные статистические методы, которые реализуются двумя способами:

Аналоговый;
расчетный.

Аналоговый метод привлекает своей внешней простотой и практически нулевыми затратами, но это возможно только при наличии устаревшего аналога в поле зрения исполнителя. проект в целом или хотя бы его фрагмент, который по всем значимым параметрам идентичен проводимому исследованию. В большинстве случаев его можно применять только локально - для отдельных элементов (этапов работы).

Расчетный метод используется при отсутствии вышеупомянутых информационных ресурсов и предполагает выработку необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, исходя из их профессионального опыта и эрудиции. Для определения вероятной (ожидаемой) продолжительности работ по усмотрению подрядчика применяется одна из двух формул.

$$t_{ожи} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}$$

$$t_{ож} = \frac{t_{\min} + 4 \cdot t_{\text{prob}} + t_{\max}}{6}$$

где $t_{\min}$ – минимальная продолжительность работы.;

$t_{\max}$ – максимальная продолжительность работы.;

t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы.

Вторая формула дает более надежные оценки, но предполагает большую «нагрузку» на экспертов.

Для выполнения перечисленных в таблице 9 работ требуются специалисты:

- инженер – в его роли действует исполнитель НИР (ВКР);
- научный руководитель.

Чтобы построить линейный график, вам необходимо рассчитать продолжительность фазы дня недели, а затем преобразовать ее в календарный день. Расчет продолжительности каждого этапа рабочего дня (T_P) основан на следующей формуле:

$$T_{PD} = \frac{t_{ож}}{K_{BH}} * K_D$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

K_{BH} – коэффициент выполнения работ, $K_{BH} = 1,2$;

K_D – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ, $K_D = 1,1$

Для проведения научных исследований, выдвинутых в заключительной работе, выберите ключевую научную тему. С этой целью создайте специальный ленточный график для проведения научной работы в виде диаграммы Ганта.

Чтобы установить расписание, необходимо преобразовать рабочие дни в календарные дни. Мы используем следующие отношения:

$$T_{KD} = T_{PD} * k_{\text{кал}}$$

Где $T_{\text{КД}}$ – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

$T_{\text{РД}}$ – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности, определяющийся выражением:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1.22$$

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

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе $T_{\text{ки}}$ необходимо округлить до целого числа.

Таблица 10 – Временные показатели проведения научного исследования

№ раб	Должность исполнителя	Продолжительность работ			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
		tmin чел- дн	tmax чел- дн	тож чел- дн	Т-НР раб- дн	Т-И раб- дн	Тк-НР кал- дн	Тк-И кал- дн
1	Научный руководитель	3	7	4,6	4,2	-	5,1	-
2	Научный руководитель , Студент	5	11	7,4	6,78	-	8,3	-
3	Научный руководитель ,	5	8	6,2	1,7	5,68	2,1	6,9

	Студент							
4	Научный руководитель , Студент	3	9	5,4	4,95	2,48	6	3
5	Студент	10	15	12	3,3	11	4	13,4
6	Студент	6	10	7,6	6,96	3,48	8,5	4,2
7	Научный руководитель , Студент	9	11	9,8	8,98	7,18	11	8,8
8	Студент	5	10	7	3,85	6,42	4,7	7,8
9	Студент	5	9	6,6	1,2	4,84	1,5	5,9
10	Студент	6	12	8,4	4,62	7,7	5,6	9,4
Итого				85	46,54	50,8	56,8	59,4

Наиболее удобным и видимым типом рабочего графика является построение полосы диаграммы исследований в виде диаграмм Ганта.

Диаграмма Ганта представляет собой горизонтальный блок-полоса, в которой работа по теме представлена длинных отрезков времени, характеризующихся даты начала и окончания выполнения этих работ.

График построен в рамках таблицы 11 с разбивкой по месяцам и неделям (7 дней) на период дипломной работы. В то же время работа на графике отличается разным штрихованием, в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 11 – Календарный план проведения НИР

№ раб оты	Содержание работы	Должность исполнителя		12		2	3	4	5
		Тк-НР кал- дн	Тк-И кал- дн						
1	Составление и утверждение задания НИР	5,1	-						
2	Подбор и изучение материала	8,3	-						
3	Выбор направления Исследований	2,1	6,9	 					
4	Календарное планирование работ по теме	6	3		 				
5	Поиск литературы	4	13,4						
6	Метод выбора	8,5	4,2				 		
7	Проектирован ие экспериментал ьных процессов	11	8,8				 		
8	Анализ результатов данных	4,7	7,8				 		
9	Определить достоверность результатов	1,5	5,9					 	
10	Составление пояснительной записки	5,6	9,4					 	

4.3. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат включает стоимость всех материалов, используемых в процессе разработки проекта:

- Покупка сырья извне;
- Приобретение материалов, используемых для производства научнотехнической продукции;
- Приобретенные детали и полуфабрикаты, требующие дальнейшей установки или дополнительной обработки;
- Сырье и материалы как исследовательские объекты, приобретенные детали и полуфабрикаты, а также эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт изделий

Таблица 12 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Зм), руб.
Образец ВТб	См3	4	20	80
Резиновые перчатки	Шт.	3	2,5	7,5
наждачная бумага	Шт.	10	60	600
Ручка	Шт.	2	20	40
Дополнительная литература	Шт.	4	300	1200
Итого				1927,5

Транспортно-заготовительные расходы:

$$1927,5 * 0,05 = 96,4 \text{ руб.}$$

4.3.2 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

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

где $P_{\text{ОБ}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{\text{Э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

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

Для ТПУ $Ц_{\text{Э}} = 5,748$ руб./кВт.час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы для инженера ($T_{\text{рд}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} * K_t$$

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

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{ОБ}} = P_{\text{ном.}} * K_C$$

где $P_{\text{ном.}}$ – 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 13

Таблица 13 – Затраты на электроэнергию технологическую

№ п / п	Наименование оборудования	Время работы тоб (ч)	Потребляемая Мощность Роб (кВт)	Цена единицы оборудования, Цэ(кВт/ч);	Затраты на электроэнергию, руб.
1	Электрическая ячейка	620	0,03	5,748	106,9
2	Установка твердомера по Микро-Виккерсу HV-1000	410	0,04		94,3
3	компьютер	620	0,22		784,0
4	машина ARCAM A2 ЭЛС	620	0,52		1853,2
5	Микроскоп металлографически й инвертированный МЕТАМ ЛВ	210	0,06		72,4
Итого		2480	0.87		2910.8

4.3.3 Расчет амортизационных расходов

В учете затрат учитывается не только счет за электроэнергию оборудования, но и амортизация оборудования. Используется формула.

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

где H_A – годовая норма амортизации; ($H_A=12,5\%$ по приложению 1)

$Ц_{ОБ}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР.

F_D – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования ($301*24=7224$ ч)

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

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Результаты расчета нормы амортизации в таблице 14

Таблицы 14

№ п/п	Наименование оборудования	Количество (n).	Цена единицы оборудования, руб (ЦОБ)	Общая стоимость оборудования, руб.	Время работы $t_{рф}$ (ч)	Амортизация руб
1.	Электрическая ячейка	4	120	480	620	5.1
2.	Установка твердомера по Микро-Виккерсу HV-1000	1	17800	17800	410	126.3
3.	компьютер	1	60000	60000	620	643.7
4.	машина ARCAM A2 ЭЛС	1	36800	36800	620	394.8
5.	Микроскоп металлографический инвертированный METAM LB	1	13700	13700	210	49.8
	Итого			40300	2480	1219.7

4.3.4 Расчет заработной платы

Среднедневная тарифная заработная плата (ЗП_{дн-т}) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дн-т} = \frac{МО}{\frac{298}{12}} = \frac{МО}{24,8}$$

Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:

$$К_{ПР} = 1,1; K_{доп.ЗП} = 1,2; K_P = 1,3$$

Поэтому необходимо добавить тарифы к базовой зарплате и оценить соответствующий коэффициент. Формула для расчета коэффициента выглядит следующим образом

$$K_{И} = К_{ПР} * K_{доп.ЗП} * K_P = 1,1 * 1,2 * 1,3 = 1,7$$

Таблицы 15 – Затраты на заработную плату

Исполните ль	Оклад, руб./мес	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	33664	1346,5	76	1,7	173967,8
И	15470	618,8	74	1,7	77845,1
Итого:					251812,9

4.3.5 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту.

$$C_{соц} = C_{зп} * 0,3 = 251812,9 * 0,3 = 75543,9 \text{ руб}$$

4.3.6 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных)

Сюда относятся:

- командировочные расходы, в т.ч. расходы по оплате суточных, транспортные расходы, компенсация стоимости жилья;
- арендная плата за пользование имуществом;
- оплата услуг связи;
- услуги сторонних организаций.

Норма оплаты суточных – 100 руб./день.

Время пребывания в командировке составило 10 календарных дней (с учетом дней приезда и отъезда); оплата проживания в общежитии 50 руб./день*8 дней = 400 руб. (основные расходы за счет принимающей стороны); оплата проезда по ж.д. в обе стороны – 4720 руб.; аренда специальных приборов – 4200 руб.; почтовые расходы – 240 руб.; консалтинговые услуги – 1500 руб. Итого по данному пункту $C_{нп} = (10 - 1) * 100 + 400 + 4720 + 4200 + 240 + 1500 = 11960$ руб.

4.3.7 Расчет прочих расходов

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

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

Для нашего примера это

$$C_{проч} = (1927,5 + 251812,9 + 75543,9 + 1333,9 + 1219,7 + 11960) * 0,1 = 34379,8 \text{ руб.}$$

4.3.8 Формирование бюджет затрат НТИ

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в табл. 17.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб
Материальные затраты НТИ	1927,5
Основная заработная плата	251812,9
Отчисления в социальные фонды	75543,9
Расходы на электроэнергию	1333,9
Непосредственно учитываемые расходы	11960
Амортизационные отчисления	1219,7
Прочие расходы	34759,8
Бюджет затрат НТИ	388611,6

Исследование стоило всего 388611,6 рублей. Этот эксперимент не имеет рыночного значения, только для изучения защиты материалов из сплава циркония в ядерных реакторах. Следовательно, оценка его экономической эффективности невозможно.

4.2.9 Расчет прибыли

Прибыль следует принять в размере $5 \div 20 \%$ от полной себестоимости проекта. В нашем случае она составляет руб. 38861,16 (10 %) от расходов на разработку проекта.

4.2.10 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это $(388611,6 + 38861,16) * 0,2 = 85494,5$ руб.

4.2.11 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае
 $\text{ЦНИР(КР)} = 388611,6 + 38861,16 + 85494,5 = 512967,26 \text{ руб.}$

4.3 Оценка экономической эффективности проекта

Так как работа носит исключительно научный характер, то оценка ее экономической эффективности невозможна.

ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

ГЛАВА 5. Социальная ответственность

Введение

Исследовательские работы, в которых изучается влияние водорода на механические свойства титана, включают работы, выполненные на различных системах. Например, использование оптической микроскопии, микротвердости и т. д. Основной задачей данной работы было изучение механических свойств и микроструктуры образцов титана VT6, полученных электронно-лучевой плавкой. Поэтому, учитывая безопасность и здоровье на рабочем месте, характеристики электропроводности образца измеряются четырехзондовым методом, который имеет особое значение в этом исследовании. Исследовать влияние электронно-лучевого плавления на микроструктуру образца.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Документы по воздействию ПЭВМ:

- инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ;
- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы;
- ГОСТ Р 50948-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности;
- ГОСТ Р 50949-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности;

Микроклимат:

- ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные помещения. Параметры микроклимата в помещении;
- ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;

- СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

5.1.1. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса. Рабочее место является основной подсистемой производственного процесса.

Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПЭВМ, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной - не менее 500 мм, глубиной на уровне колен - не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног - не менее 650 мм. Конструкция рабочего стула должна обеспечивать: - ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; - поверхность сиденья с закругленным передним краем; - регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400-550 мм и углам наклона вперед до 15 град, и назад до 5 град.; - высоту опорной поверхности спинки 300 ± 20 мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости - 400 мм; - угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах ± 30 градусов; - регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260-400 мм; - стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной - 50-70 мм; - регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230 ± 30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350-500 мм. Рабочее место пользователя ПЭВМ следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки

до 20°. Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращенного к пользователю или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

5.2 Профессиональная социальная ответственность.

5.2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды

Рабочая установка MicroVickers HV-1000 была достигнута путем подачи переменного напряжения 220 В, которое было экспериментальным исследованием под оптическим микроскопом. Вредные факторы при измерении твердости следующие:

- микроклимат
- электромагнитное поле,
- шум
- освещение,

Следующие угрозы безопасности могут иметь нежелательные последствия:

- пороговое напряжение;
- подвергается воздействию высоких температур;

Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015[5] «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представить в виде таблицы.

Таблица 17 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Раз раб отк	Изг ото вле	Экс плу ата	

	а	ние	ция	
1.Отклонение показателей Микроклимата		+	+	Приводятся нормативные документы, которые регламентируют действие каждого выявленного фактора с указанием ссылки на список литературы. Например, требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
2. Превышение уровня шума		+		
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	
5.Повышенное напряжение в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	

Влияние напряжения на людей связано с протекающим через него током. Поток тока может вызвать раздражение и повреждение различных органов человека. Пороговый ток, который не отключается, составляет 50 Гц (6-16 мА). Защитить токи от воздействия с помощью организационных, технических и профилактических мер.

Утечка газа в баллоне может привести к пожару. Проверяйте целостность цилиндра перед утечкой, где нет прочности крепления и нет газа. Клапан и расход должны быть должным образом проверены, манометр должен быть проверен, и отрегулированная коробка передач имеет газ в соответствующем цилиндре.

Для облегчения работы в помещении необходимо стандартизировать параметры микроклимата. Защитные меры должны применяться к методам и

средствам предотвращения высокой и низкой температуры, системам отопления, вентиляции и кондиционирования, искусственного освещения и т. д.

5.2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.

Микроклимат

Значительное влияние на состояние тела работника, его производительность имеет климат (метеорологические условия) в помещениях, что относится к условиям внутренней среды этих пространств, которые влияют на теплообмен с рабочей средой. Эти условия определяются сочетанием температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха, температуры поверхностей, окружающих человека, и интенсивности теплового (инфракрасного) излучения.

Значительное влияние на состояние тела работника, его производительность имеет климат в помещениях, что относится к условиям внутренней среды этих пространств, которые влияют на теплообмен с рабочей средой. Эти условия определяются сочетанием температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха, температуры поверхностей, окружающих человека, и интенсивности теплового излучения.

Нормальный ход физиологических процессов и, следовательно, хорошее здоровье возможны только тогда, когда тепло, генерируемое человеческим организмом, играет в окружающей среде. Микроклиматические условия, которые позволяют этот процесс, считаются лучшими. В случае неудовлетворительных микроклиматических условий в организме человека для поддержания постоянной температуры тела могут начаться различные процессы, направленные на регулирование производства тепла и потери тепла. Когда температура воздуха находится в диапазоне 15-25 ° C, тепловыделение тела почти не меняется. При более низкой температуре воздуха увеличивается

тепловыделение, главным образом из-за мышечной активности и увеличения обмена веществ. С увеличением температуры воздуха усиливается процесс теплообмена. Количество тепла, выделяемого в организме человека, во многом зависит от физической активности и уровня тепла - от микроклиматических условий, главным образом от температуры воздуха. Оптимальные и допустимые параметры температуры, относительной влажности и скорости воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 18 [СанПиН 2.2.4.548–96.[2] Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.].

Таблица 18 – Оптимальные значения показателей микроклимата на лабораторных рабочих местах

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Іб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
Теплый	Іб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1

Электромагнитные поля

Чтобы проанализировать результаты работы, вы должны работать с компьютером. Источниками электромагнитного излучения являются электрические сигналы цепей, когда компьютер работает. Нарушения в

организме человека под действием электромагнитных полей малых напряжений обратимы. Под влиянием полей, что напряжения, которые имеют более высокие, чем максимально допустимый уровень, развитие заболеваний нервной и сердечно-сосудистой систем, желудочно-кишечных и некоторых биологических параметров крови. Сильным источником электромагнитных полей в пространстве расположены системы отклоняющей катушки в непосредственной близости от базовых частей ЭЛТ-мониторов.

Стандартное расстояние монитора напряженности электромагнитного поля 50 см до электрических компонентов в таблице 19 в соответствующем представлении

Таблица 19 – Напряженность поля

Наименование параметров	Допустимые значения
Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см. Вокруг ВДТ по электрической составляющей должна быть не более: - в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц - в диапазоне частот 2—400 кГц	25 В/м 2,5 В/м
Плотность магнитного потока должна быть не более: - в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц - в диапазоне частот 2 – 400 кГц	250 нТл 25 нТл
Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать	500 В

Для размещения максимально допустимой напряженности электромагнитного поля от глаза до монитора от 60 до 70 см должно быть не менее 50 см. Увеличение расстояния приводит к тому, что оператор снижает плотность мощности на более низких частотах.

Шум производства

Воздействие шума на работе может нанести вред здоровью работников. Наиболее известным эффектом шума на работе является потеря слуха, он также может усугубить стресс и увеличить риск несчастных случаев.

Нарушение слуха может быть связано с механическим блокированием при передаче звука во внутреннее ухо или повреждением волосковых клеток в улитке, части внутреннего уха. Редко, нарушение слуха также может быть вызвано нарушениями центральной слуховой обработки.

Потеря слуха, вызванная шумом, является наиболее распространенным профессиональным заболеванием в Европе, на которое приходится около одной трети всех связанных с работой заболеваний, опережая проблемы с кожей и респираторными заболеваниями. НИХЛ обычно вызван длительным воздействием громкого шума. Первым симптомом, как правило, является невозможность услышать высокие звуки. Если проблема чрезмерного шума не будет устранена, слух человека будет еще более ухудшаться, включая трудности с обнаружением более низких звуков. Обычно это происходит в обоих ушах. Ущерб, вызванный шумом, является постоянным. Потери слуха могут возникать без долгосрочных воздействий. Кратковременное воздействие импульсных шумов (даже одного сильного импульса), таких как выстрелы или гвоздь или заклепочные пушки, может иметь постоянные последствия, включая

потерю слуха и непрерывный шум в ушах. Импульсы могут также разделять мембрану барабанной перепонки. Это болезненно, но урон исцеляем.

Способы определяют, как уменьшить влияние шума на рабочем месте:

а) При определении способов производства или процессов следует учитывать необходимость управления шумом.

б) Административный контроль следует использовать, когда невозможно снизить уровень шума посредством технических мер контроля шума.

в) Снабжены личными защитниками слуха правильной оценки и подходят для условий работы.

Освещенность

Освещение может показаться простой частью рабочей среды, но если это не сделано правильно, это может привести к жалобам, таким как глазное раздражение, раздражение глаз, сухость глаз, помутнение зрения и головные боли. Кроме того, плохое освещение может создавать проблемы безопасности и снижать производительность, поскольку сотрудники могут чувствовать себя некомфортно или не в состоянии соблюдать темп работы, потому что они не видят этого четко.

Хорошее освещение, с другой стороны, может сделать сотрудников более комфортными и повысить производительность. Пространство, которое хорошо освещено и не имеет слишком большого количества теней или слишком большого количества бликов, позволяет работникам сосредоточиться на задачах под рукой, не прибегая к косоглазиям, использовать неудобные позы или искать дополнительные источники света.

На рабочем месте требуются три основных типа освещения: общая, локализованная и локальная задача. Общее освещение, такое как потолочные светильники, освещает большие площади, в то время как локализованное

освещение немного ближе к рабочим станциям. Потолочные светильники помогают освещать места, где будут выполняться задачи. Местное освещение или освещение задач устанавливается ближе к работникам. Например, настольные лампы могут быть скорректированы сотрудниками, чтобы помочь им увидеть материалы, с которыми они работают. При использовании вместе эти типы освещения могут уменьшить напряжение глаз для работников.

5.3 Экологическая безопасность.

При разработке лабораторий необходимо проявлять осторожность, чтобы защитить окружающую среду, особенно в производстве отходов.

Вследствие относительной инертности титана считается, что он не оказывает отрицательного влияния на окружающую среду. 100% титана можно использовать повторно, он не разрушается, и как результат этого не загрязняет окружающую среду [7]. При изготовлении титановых сплавов необходимо использовать только порошок титана и подавать электрическую энергию на станок. Титановый порошок можно использовать повторно дважды и не оказывает влияния на литосферу, гидросферу и атмосферу.

Лучшая стратегия управления лабораторными отходами направлена на максимизацию безопасности и минимизацию воздействия на окружающую среду, и рассматривает эти цели с момента покупки.

Наилучшим подходом к лабораторным отходам является предотвращение его генерации. Примеры включают сокращение масштабов лабораторных операций, сокращение образования отходов во время лабораторных операций и замену неопасных или менее опасных химических веществ в химических процедурах.

Все отходы, пригодные для сбора отходов местного правительства, называются «контролируемыми отходами». Предметы этой категории, включая

грязную бумагу, пластик, резину и дерево, обычно помещают в мусорные баки, имеющиеся в каждой лаборатории, и собирают с помощью чистящих средств. Однако в каждой лаборатории также должен быть контейнер для некоторых предметов, которые нельзя поместить в обычный мусорный бак.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Если рабочие подвергаются воздействию электрического тока, они должны решить проблему с питанием как можно скорее, проверить состояние пострадавшего и при необходимости вызвать скорую помощь. До прибытия машины скорой помощи предоставьте пострадавшему необходимую первую медицинскую помощь или, при необходимости, организуйте его перевозку в ближайшее медицинское учреждение, чтобы проинформировать лицо, ответственное за подразделение аварийной структуры.

В случае пожара немедленно прекратите работу, выключите газовый баллон, отсоедините электрическое оборудование, позвоните в пожарную службу по номеру 01 или 010, сообщите об инциденте руководителю подразделения и используйте главный агент пожаротушения для запуска пожара.

Противопожарная защита основана на устранении благоприятных условий возгорания. В рамках четырех проблем решается пожарной безопасности: предотвращение пожаров и пожаров, локализация пожаров, защита людей и имущества, борьба с пожарами. Предотвращение возгорания достигается путем устранения легковоспламеняющихся предметов и источников возгорания и поддержания окружающей среды в условиях, которые предотвращают возгорание.

В современном компьютере элементы электронных схем, расположенных в очень высокой плотности. Рядом друг с другом они соединены с проводами,

кабелями коммутирующих электронных компонентов микросхемы. Когда через них протекает электрический ток, выделяется некоторое количество тепла, что может привести к повышению температуры до 80-100 ° С. В этом случае возможно расплавление изоляции и, как следствие, короткое замыкание, что сопровождается искрообразованием и приводит к недопустимым перегрузкам элементов чипа. Для удаления избыточного тепла в компьютере используйте внутренние вентиляторы.

Напряжение в электрооборудовании обеспечивается кабелем, который также представляет особую пожарную опасность. Технические решения для промышленных зданий и пожароопасных мест.

Во избежание риска возгорания и взрыва необходимо принять следующие меры:

- 1) Планирование защиты жизни и имущества на уровне предприятия от пожаров и взрыва;
- 2) Эвакуация работников;
- 3) Создайте инвентарь личного защитного снаряжения и сохраните его;
- 4) Проектирование, размещение, строительство и эксплуатация инфраструктуры, включая потенциально опасную инфраструктуру;

План эвакуации

1. Сначала вы должны ознакомиться с путями эвакуации с этажей, на которых вы находитесь, и быть готовыми к эвакуации в любое время.
2. В случае чрезвычайной ситуации проникновение открытого огня и дыма должно быть заблокировано.
3. Смочите все в комнате.
4. Накройте нос влажным полотенцем и опустите позу, чтобы уменьшить вдыхание дыма.
5. Никогда не используйте подъемное устройство (лифт), чтобы спастись.

6. Никогда не возвращайтесь в дом, чтобы забрать ценные вещи.
На рисунке 16 показан план эвакуации.

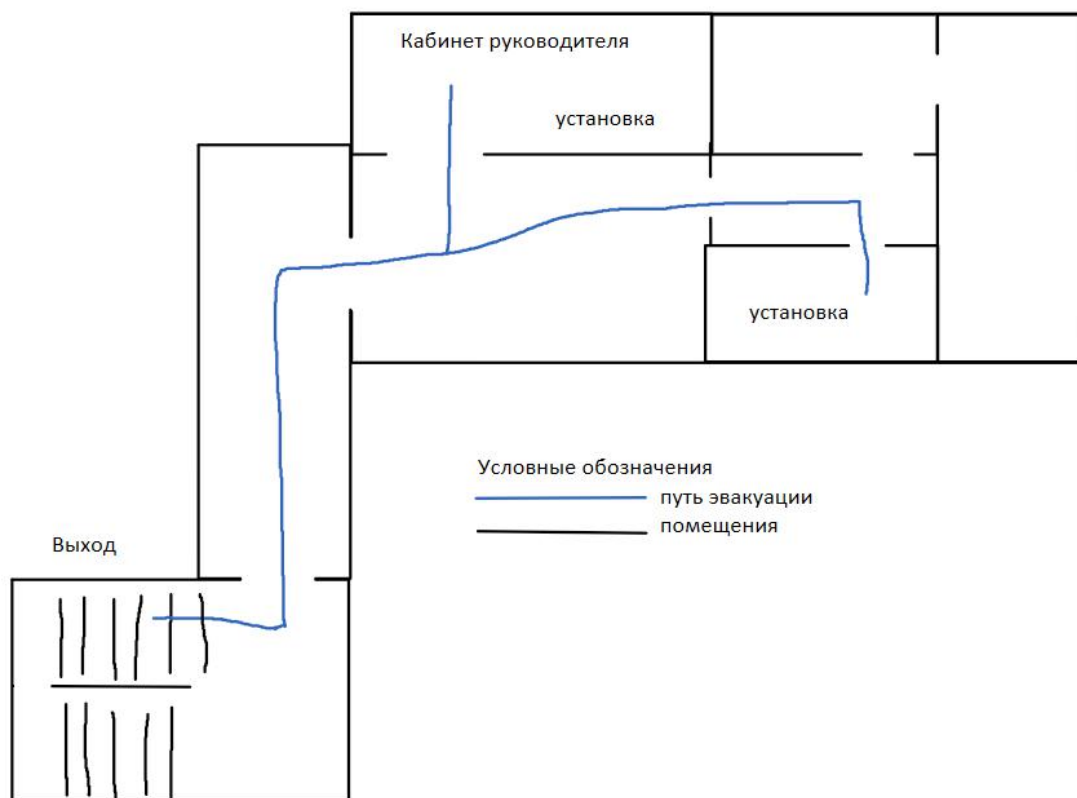


Рисунок 16. План эвакуации

Вывод

Во время проверки безопасности, вредных и опасных факторов были определены меры защиты на рабочем месте. В статье рассмотрены вопросы экологической безопасности и охраны труда в чрезвычайных ситуациях, а также разработаны меры по предотвращению опасности. На практике вы можете использовать их для обеспечения безопасности.

Заключение

В работе проведены комплексные исследования влияния тока электронно-лучевого сплавления на структуру и свойства титанового сплава Ti-6Al-4V. В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что с увеличением тока сплавления с 13 до 17 мА (при фиксированной скорости перемещения электронного луча) происходит уменьшение ширины α -пластин.

2. Уменьшение тока сплавления при ЭЛС вызывает уменьшение твердости сплава Ti-6Al-4V, изготовленного электронно-лучевым сплавлением. Наибольшей твердостью (498 ± 32 Hv_{0.5}) обладают образцы, изготовленные при токе сплавления 13 мА.

3. Уменьшение тока сплавления при ЭЛС (с 17 до 13 мА) незначительно увеличивает износостойкость сплава Ti-6Al-4V, изготовленного электронно-лучевым сплавлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Additive manufacturing of biomedical implants: A feasibility assessment via supply-chain cost analysis / A. Emelogu, M. Marufuzzaman, S.M. Thompson, N. Shamsaei, L. Bian, // *Addit. Manuf.* – 2016. – Vol. 11, №9. – P.97 – 113.
2. Titanium alloys and processing for high speed aircraft /W.D. Brewer, R.K. Bird, T.A. Wallace. // *Mater. Sci. Eng. A.* – 1998. – P.299 – 304.
3. Lightweight materials for aircraft applications. / J.-P. Immarigeon, R.T. Holt, A.K. Koul, L. Zhao, W. Wallace, J.C. Beddoes. // *Mater. Charact.* – 1995. – Vol. 35 – P.41 – 67.
4. Phase transition, microstructural evolution and mechanical properties of Ti-Nb-Fe alloys induced by Fe addition / S. Ehtemam-Haghighi, Y. Liu, G. Cao, L.C. Zhang. // *Mater. Des.* – 2016. – P.279 – 286.
5. An investigation of a new near-beta forging process for titanium alloys and its application in aviation components / Y.G. Zhou, W.D. Zeng, H.Q. Yu. // *Mater. Sci. Eng.* – 2005. – P.204 – 212.
6. Hydrogen effects in titanium alloys. In *Gaseous Hydrogen Embrittlement of Materials in Energy Technologies* / D. Eliezer, T.H. Böllinghaus, R.P. Gangloff, B.P. Somerday. // Woodhead Publishing Ltd.: Cambridge,UK. – 2012. – P. 668 – 706.
7. “Тема 15 Специальные порошковые конструкционные материалы”. lib.kstu.kz:8300/tb/books/2013/MMiN/Perspektivnye%20metallicheskie%20materialy/teory/t15. Retrieved 2013
8. Водород в металлах: В 2-х т. : Пер. с англ. / Под ред. Г. Алефельда, И. Фёлькиля. – М. : Мир, 1981. –Т. 2. Прикладные аспекты. – 1981. – 430 с.
9. Madina V., Azkarate I. Compatibility of materials with hydrogen. Particular case: Hydrogen embrittlement of titanium alloys // *International journal of hydrogen energy.* – 2009. – 34. – P. 5976 – 5980. 8.

10. Zeng Y., Nol J.J., Norton P.R., Shoesmith D.W. Hydrogen transport through thin titanium oxides // *Journal of Electroanalytical Chemistry*. – 2010. – 649. – P. 277–285.
11. *International Journal of Hydrogen Energy* / S.V. Ivanova – 2002. – Vol.27, № 8. P. 819 – 824.
12. Водород в титане. / В.А. Ливанов, А.А. Буханова, Б.А. Колачев – М.: Металлургия, 1962. – 245 С.
13. Characterisation of H13 steel produced via electron beam melting / D. Cormier, O. Harrysson and H. West. // *Rapid Prototyping J.* – 2004. – 10, (1) – P.35 – 41.
14. Wear resistance of experimental titanium alloys for dental applications / A. C. L. Faria, R. C. S. Rodrigues, A. P. R. A. Claro, M. D. G. C. D. Mattos and R. F. Ribeiro *J. Mech. // Behav. Biomed. Mater.* – 2011. – 4 – P.1873 – 1879.
15. Electron-beam additive manufacturing // wikipedia.org. – 2017.
16. Microstructures and Mechanical Properties of Ti6Al4V Parts Fabricated by Selective Laser Melting and Electron Beam Melting / H.K. Rafi, N.V. Karthik, – 2013 – P.4 – 6.
17. Heat Treatment of Ti6Al4V Produced by Selective Laser Melting — Microstructure and Mechanical Properties / B. Vrancken, L. Thijis, J. Alloy Compd. – 2012 – P. 177 – 185.
18. Температурно Концентрационные диаграммы фазового состава водородсодержащих сплавов // Математика и механика. / П. В. Панин, Д. А. Дзунович, Е. Б. Алексеев. // Физика. – 2014.
19. Установление влияния химического состава на протекание полиморфного превращения в двухфазных сплавах титана методами термического анализа. / А.А. Попов, А.Г. Илларионов. // УДК 669-1.-2013.-V.1.-P.8-20.

- 20.Рентгенофазовый анализ нанопорошков / И.А. Курзина, А.Ю. Годымчук, А.А. Качаев // Издательство Томского политехнического университета – 2010 – Р.7-8.
- 21.“Твёрдость”. // wikipedia.org.Retrieved 2018-02-20.
- 22.Материаловедение: учебник для вузов / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин и др. // 3-е издание – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002г.- 648 с.
- 23.A. Mohammadhosseini, Microstructure and mechanical properties of Ti–6Al–4V manufactured by electron beam melting process, 2013.
- 24.Sliding Contact Wear Damage of ЭЛС built Ti6Al4V: Influence of Process Induced Anisotropic Microstructure / Jae Joong Ryu – 2018. – P.13.
- 25.Materials Characterization of Electron Beam Melted Ti-6Al-4V / L.Susan – 2016.-14 с.
- 26.Electron beam melted Ti–6Al–4V: Microstructure, texture and mechanical behavior of the as-built and heat-treated material / Charlotte de Formanoir – 2015.
- 27.Effect of powder oxidation on the impact toughness of electron beam melting Ti-6Al-4V / W.A. Grell, – 2017г.
- 28.Subjecting 3D Printed Medical Ti6Al4V Implants to Laser Peening Could Increase Wear Resistance / Sarah Saunders – 2018.
- 29., Microstructural modification of Ti – 6Al – 4V by using an in-situ printed heat sink in Electron Beam Melting® (EBM) / M.Jamshidinia – 2015.
- 30., Microstructures and Mechanical Properties of Ti6Al4V Parts Fabricated by Selective Laser Melting and Electron Beam Melting / H.K. Rafi – 2013.
- 31.The effect of defects on the mechanical response of Ti-6Al-4V cubic lattice structures fabricated by electron beam melting / E.Hernández-Nava, – 2016.
- 32.Chandra, H., et al., Open-Source Automated Mapping Four-Point Probe. Materials 2017, 10(2), 110.

33. Handbook of Electrical Resistivity: New Materials and Pressure Effects, / G.T. DyosThe, – 2012.
34. Resistivity tensor imaging via network discretization of Faraday's law / M.-S. Ko, Y.-J. Kim, // SIAM J. Imaging Sci., 10 (2017) – P. 1-25
35. The Electrical Resistivity of Metals and Alloys / P.L. Rossiter, // Cambridge University Press – 1991.
36. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБГ. Шум. Общие требования безопасности.
37. СанПин 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
38. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.
39. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
40. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
41. ГОСТ 12.4.051-87 (СТ СЭВ 5803-86) Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования и методы испытаний
42. ГОСТ 12.1.008-76 ССБТ. Биологическая безопасность. Общие требования.
43. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
44. ГОСТ Р ИСО 1410-2010. Экологический менеджмент. Оценка жизненного Цикла. Принципы и структура.