

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 взаимодействия водорода с титановым сплавом Ti-6Al-4V, изготовленным методом электронно-лучевого сплавления

УДК 669.295.5:669.788::621.7.048.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б52	Чжун Хаовэнь		

Руководитель

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

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
Доцент	Скачкова Лариса Александровна	к.х.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2019 г.

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 получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-4, ОПК-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 применять на практике методы управления в сфере природопользования	Требования ФГОСЗ+ (ПК-6, ПК-7, ПК-8)
P9	<u>Педагогически-просветительская</u> Проектировать, организовывать, анализировать педагогическую деятельность, владеть последовательностью изложения материала с использованием междисциплинарных	Требования ФГОСЗ+ (ПК-9)

	связей физики с другими дисциплинами, участвовать в информационно-образовательных мероприятиях по пропаганде и распространению научных знаний	
--	---	--

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	Чжун Хаовэнь

Тема работы:

Исследование взаимодействия водорода с титановым сплавом Ti-6Al-4V, изготовленным методом электронно-лучевого сплавления	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	01.02.2019 г., 755/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>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></p>	<p style="text-align: center;">Сплав Ti-6Al-4V, изготовленные методом электронно-лучевого сплавления, до и после обработки водородом, автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller LPB.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Обзор литературных источников; – Изготовление и подготовка образцов; – Насыщение образцов водородом; – Исследование микроструктуры экспериментальных образцов; – Измерение твердости образцов до и после наводороживания; – Анализ полученных результатов; – Заключение.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна
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	Чжун Хаовэнь		

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

Студенту:

Группа	ФИО
150Б52	Чжун Хаовэнь

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

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	
<i>2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Районный коэффициент 1,3, Отчисления во внебюджетные фонды - 30%</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет.</i>
<i>2. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<i>1. График проведения и бюджет НИ</i> <i>2. 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	Чжун Хаовэнь		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
150Б52	Чжун Хаовэнь

Школа	ИШЯТ	Отделение (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 физика

Тема ВКР:

Исследование взаимодействия водорода с титановым сплавом Ti-6Al-4V, изготовленным методом электронно-лучевого сплавления	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Образцы титанового сплава ВТ6-0 с размерами 10 × 1 мм; Определения энергии связи водорода в титане с помощью термодесорбционной спектроскопии (TDS); автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller LPB. При сфере газофазного наводораживания; Рабочая зона в лаборатория Н2 (Учебный корпус № 3) .
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	-Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ; -СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. ; -ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений; -СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение; -ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности; -ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности; -ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы; -ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования; -ГОСТ Р 57552-2017 Техника пожарная. Извещатели пожарные мультикритериальные. Общие технические требования и методы испытаний; -СНиП 2.06.15-85 от 1986-07-01.Инженерная защита территории от затопления и подтопления;

	-ГОСТ Р 22.0.03-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения;
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– Микроклимат – Производственное освещение – шумы
3. Экологическая безопасность:	– в данной работе отходами являются металлические порошки, полученные вследствие чистки камеры и других компонентов установки.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– Пожар – Затопление

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Скачкова Лариса Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б52	Чжун Хаовэнь		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 71 страниц, 9 рисунков, 11 таблицы, 50 литературных источников, 0 приложений.

Ключевые слова: титановый сплав, взаимодействие водорода с титаном, электронно-лучевое сплавление.

Объектом исследований являлся титановый сплав Ti-6Al-4V, изготовленный электронно-лучевым сплавлением и насыщенный водородом. Проведено исследование сорбции водорода Ti-6Al-4V, исследование влияния насыщения водородом на структурно-фазовое состояние и микроструктуру, твердость сплав Ti-6Al-4V, изготовленный электронно-лучевым сплавлением.

Целью работы являлось исследование взаимодействия водорода с титановым сплавом Ti-6Al-4V, изготовленным методом электронно-лучевого сплавления.

Для достижения поставленной цели были определены **следующие задачи:**

1. Исследование микроструктуры и структурно-фазового состояния сплава Ti-6Al-4V, изготовленного методом электронно-лучевого сплавления.
2. Исследование поглощения водорода сплавом Ti-6Al-4V, изготовленным методом электронно-лучевого сплавления.
3. Исследование термостимулированного выхода водорода из сплава Ti-6Al-4V, изготовленного методом электронно-лучевого сплавления.

Область применения: результаты работы могут быть использованы при оптимизации технологии изготовления титановых сплавов методом электронно-лучевого сплавления.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	14
1 Электронно-лучевое сплавление титановых сплавов.....	15
1.1 Электронно-лучевое сплавление титановых сплавов. Физические основы	15
1.2 Микроструктура титановых сплавов, изготовленных электронно-лучевым сплавлением	18
ГЛАВА 2. Взаимодействие водорода с титановыми сплавами	20
2.1 Водородное охрупчивание титановых сплавов	20
2.2 Исследование поглощения водорода образцами	23
ГЛАВА 3. Материалы и методы исследований	27
3.1 Материал для исследований	27
3.2 Исследование микроструктуры, фазового и элементного состава экспериментальных образцов	27
3.3 Насыщение водородом и исследование термостимулированного выхода водорода из образцов	29
ГЛАВА 4. Исследование взаимодействия водорода со сплавом Ti-6Al-4V, изготовленным методом электронно-лучевого сплавления	错误!未定义书签。
4.1 Исследование влияния тока сплавления на микроструктуру и структурно- фазовое состояние сплава Ti-6Al-4V, изготовленного методом электронно-лучевого сплавления.....	错误!未定义书签。
4.2 Исследование поглощения водорода сплавом Ti-6Al-4V, изготовленным методом электронно-лучевого сплавления.....	错误!未定义书签。
4.3 Исследование термостимулированного выхода водорода из сплава Ti-6Al- 4V, изготовленного методом электронно-лучевого сплавления.....	40

Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	42
5.1 Организация и планирование работ	42
5.1.1 Продолжительность этапов работ	44
5.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта	49
5.2.1 Расчет затрат на материалы	49
5.2.2 Расчет заработной платы	49
5.2.3 Расчет затрат на социальный налог	49
5.2.4 Расчет затрат на электроэнергию	49
5.2.5 Расчет амортизационных расходов	51
5.2.6 Расчет прочих расходов	52
5.2.7 Полные затраты на выполнение ВКР	52
5.2.8 Расчет прибыли	52
5.2.9 Расчет НДС	53
5.2.10 Цена разработки НИР	53
5.3 Оценка экономической эффективности проекта	53
Глава 6. Социальная ответственность	54
6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	55
6.1.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.	55
6.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.	55
6.2. Профессиональная социальная безопасность.	56
6.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.	56
6.2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.	58

6.3. Экологическая безопасность.	60
6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	61
6.4.1 . пожар.....	61
6.4.2. Затопление	63
Вывод.....	64
Заключение.....	54
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	56

ВВЕДЕНИЕ

Титановые сплавы на основе обеспечивают превосходное сочетание высокой прочности / весом и соотношения хорошего поведения коррозии, что делает эти сплавы одним из наиболее важных перспективных материалов для различных аэрокосмических, морских, промышленных и коммерческих применений.

Несмотря на то, что титан считается достаточно устойчивым к химическому воздействию, серьезные проблемы могут возникнуть, когда сплавы на основе титана вступают в контакт с водородсодержащими средами, особенно при повышенных температурах. Наводороживание титановых сплавов зачастую приводит к деградации физико-механических свойств сплавов. На процессы поглощения, накопления и распределения водорода в металлах и сплавах существенное влияние оказывает микроструктура материала, наличие дефектов, элементный и фазовый состав сплавов на основе титана. Для большинства титановых сплавов такие исследования проводились и выявлены основные закономерности взаимодействия водорода с титаном. Однако, внедрение в производство изделий из титана новых подходов производства, в частности, аддитивных технологий (АТ), приводит к необходимости исследований процессов взаимодействия водорода со сплавами, изготовленными с помощью АТ.

Целью работы являлось исследование взаимодействия водорода с титановым сплавом Ti-6Al-4V, изготовленным методом электронно-лучевого сплавления. Для решение поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Исследование микроструктуры и структурно-фазового состояния сплава Ti-6Al-4V, изготовленного методом электронно-лучевого сплавления.
2. Исследование поглощения водорода сплавом Ti-6Al-4V, изготовленным методом электронно-лучевого сплавления.
3. Исследование термостимулированного выхода водорода из сплава Ti-6Al-4V, изготовленного методом электронно-лучевого сплавления.

1 Электронно-лучевое сплавление титановых сплавов

1.1 Электронно-лучевое сплавление титановых сплавов. Физические основы

Электронно-лучевое сплавление (ЭЛС) представляет новую технологию твердого произвольное изготовление, с помощью которого части строится слой за слоем с помощью электронного луча селективно плавление металлического порошка, а также свободный порошок поддерживает все обращенные вниз поверхность, весьма сложный геометрические формы могут быть построены [1]. Кроме того, высокая скорость здания может быть получена с этим процессом использовать некоторые преимущества электронного пучка, такие как высокая плотность энергии, высокая скорость адсорбции и высокую скорость сканирования. Наконец, части с превосходными свойствами могут быть достигнуты, как весь процесс происходит под вакуумом, что обеспечивает чистую атмосферу, чтобы предотвратить загрязнение металлических частей во время процесса формования. По сравнению с традиционным процессом порошковой металлургии и механической обработки, технология ЭЛС предлагает высокое здание скорость и высокий уровень геометрических свободы вместе с первого класса свойства материала, который имеет широкий спектр приложений в авиационной и автомобильной промышленности, а также биомедицинской инженерии.

Технология производит части путем плавления металлического порошка слоем с помощью электронного пучка в высоком вакууме. В отличие от некоторых методов спекания металлов, детали полностью плотные, свободны от пустот и чрезвычайно прочны. Вакуумная среда в машине ЭЛС поддерживает химический состав материала и обеспечивает отличную среду для строительных деталей с реактивными материалами, такими как титановые сплавы. Высокая мощность электронного пучка обеспечивает высокую скорость осаждения и равномерное распределение температуры внутри детали, что дает полностью расплавленный металл с превосходными механическими и физическими свойствами. Эта уникальная

технология является результатом интенсивных исследований и разработок и имеет широкий спектр применений в производстве присадок [2].

Технология основана на использовании мощных электронных пучков для допинга металлический порошок в вакуумной камере с образованием последовательных слоев, которые повторяют контуры цифровой модели. Готовая продукция практически не отличается от литых деталей механических свойств.

Устройство считывает данные из файла, содержащего 3D-модель. После этого, литых или распылить специальную платформу с дозой порошкообразного материала и придавить его с роликом или ножом. Использование электронно-лучевая пушки, основываясь на координатах, полученных из компьютерной модели, электронно-лучевая пушка начинает бомбардировать поверхность порошка электронами в соответствии с контуром каждого слоя модели в компьютере. В то же время, электронно-лучевая пушка генерирует достаточно тепла, чтобы расплавить порошок в точке контакта. В этом случае часть металлического порошка не растает. Платформа останавливается, а затем процесс повторяется.

Электронно-лучевой плавки необходимо проводить в вакууме в рабочей камере, и необходимо, чтобы повысить температуру до приблизительно 700-1000 ° C части созданные таким образом не подвержены механическим нагрузкам, вызванных градиентом температуры между слоем охлаждения и тепловой слой, чувствительные к окислению - например, с помощью чистого титана. Кроме того, полное расплавление расходуемого порошка позволяет производить твердые продукты - следовательно, максимальную прочность и отсутствие необходимости в стрельбу. Еще одной особенностью таких устройств является возможность одновременно «облучить» несколько частей заготовки, что ускоряет процесс производства. Как и в случае с SLS, расходный материал для ЭЛС обычно представляет собой титановый сплав, или другой металлический порошок [3]. Металл измельчают до консистенции порошка с помощью шаровой мельницы. Другие металлы, которые также используются для получения определенных характеристик.

Расходный состоит из чистого металлического порошка без связующего наполнителя и пористости готовой модели. Таким образом, нет необходимости сжигать напечатанную модель для того, чтобы достичь желаемой механической прочности.

Электронная пушка состоит из вакуумной колбы, к которой подведен электрод (катод) с высоким напряжением, предварительно нагреваемый до высокой температуры, а с другого конца установлен анод. В этих условиях возникает явление термоэлектронной эмиссии – проще говоря, катод начинает испускать поток электронов. Этот поток фокусируется и позиционируется помощью управляемого магнитного поля.

За счет расширения доступа к формирующимся субрынков высокого роста, технология Электронно-лучевое сплавление предлагает конкурентные преимущества прогрессивных предприятий. Во многих случаях применения Электронно-лучевое сплавление, дизайнеры пользуются беспрецедентной гибкости дизайна. Электронная плавка производит детали со свойствами, похожими на деформируемых частей, и лучше, чем у литых деталей. Для многих применений, ЭЛС является экономически эффективным процессом, который снижает требования к инвентаризации и отходы. Сокращение времени свинцового часто Повышение удовлетворенности клиентов [4].

Процесс плавления электронного пучка уменьшает остаточные напряжения в различных направлениях. Можно контролировать остаточное напряжение при подготовке данных САПР, во время печати, так и в пост-обработки. Во время печати, остаточное напряжение снижается путем предварительного нагрева слоя печати и при нагревании материала до его ударили электронный пучок. В некоторой степени, низкое остаточное напряжение также является функция процесса высоких температур сборки и более медленными темпов охлаждения по сравнению с лазером на основе технология плавки АМ процессы. Электронно исключает спекание, что позволяет пользователям получить точный контроль пористости. Операторы ЭЛС

дальнейшей минимизации проблем пористости путем корректировки параметров пучка.

1.2 Микроструктура титановых сплавов, изготовленных электронно-лучевым сплавлением

Сплав Ti-6Al-4V классифицируется как сплав α - β . α представляет собой кристаллическую структуру гексагонально-плотноупакованной (ГПУ) до 980 °C, над которой он превращается в кристаллическую структуру с объемно-центрированной кубической (ОЦК) β . Обработка и термическая обработка сплава определяют микроструктуру α - β и полученные механические свойства сплава. Во время остывания от расплава в машине ЭЛС фаза α сначала зарождается при предыдущих границах зерен β , а затем переходит в пластинки.

Максимальная температура применения составляет 400 °C, плотность — 4420 кг/см², модуль Юнга — 100 ГПа, предел прочности — 1000 МПа. Для сравнения, стандартная отожженная нержавеющая сталь имеет плотность 8000 кг/см², модуль Юнга 193 ГПа, предел прочности — всего 570 МПа. Температура плавления сплава — около 1600 °C[5].

Части Ti6Al4V, изготовленные в процессе ЭЛС, имеют микроструктуру лучше, 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.

Susan L. Draper [6] установила, что ЭЛС Ti-6-4 имел эквивалентные или превосходные свойства по сравнению с традиционным материалом 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 является

потенциальной проблемой, как неожиданные элементы были найдены в виде включений. 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-EBM Ti-6Al-4V должны быть достаточными для проектирования и изготовления аэрокосмических компонентов.

Изменения в подводимой энергии также могут влиять на характер образца. Nikolas Hgrabe [6] установила, что эффект ввода энергии был определен для самого большого диапазона коэффициента возможной скорости (30-40), сохраняя при этом полное плавление и полностью плотные, как построенные части. Было обнаружено, что с увеличением расхода энергии и расплава размер пула, а толщина пластинчатого и перед β -размер зерен увеличивается, а UTS, YS, микротвердость уменьшилась, как и ожидалось. Тем не менее, изменение в UTS (изменение 2%) и YS (3%) изменение было небольшим. Вертикально были обнаружены ориентированные части, чтобы иметь значительно более низкий% EL (изменение 30%) по сравнению с горизонтально ориентированными частями, которые были отнесены к различиям в растягивающей ориентации оси по отношению к направлению удлиненных предыдущей & beta; зерна и микроструктурным текстурам для ЭЛС Ti6Al4V, и не наблюдалось никакой разницы в OTC или YS. оба были найдены Ориентация в плоскости x-y и расположение, чтобы иметь менее 3% влияние на механические свойства, а также второго порядка эффект тепловой массы, возможно, повлияли эти результаты. Это исследование обеспечивает основу для определения и оценки изменений внутри сборки с использованием уникальной геометрии детали, которая позволяет для более точного определения влияния от различных переменных параметров обработки. Переменные должны быть оценены для каждого нового материала, машины и техники (например, ЭЛС слой порошка отличается от подачи проволоки ЭЛС) как часть процесса контроля качества.

ГЛАВА 2. Взаимодействие водорода с титановыми сплавами

2.1 Водородное охрупчивание титановых сплавов

Титан и титановые сплавы, водород может быть в фазе твердого раствора и фазы β , γ -фаза может присутствовать (гидрогенизированная) форма. Водород уменьшает точку фазового перехода $\alpha + \beta / \beta$ титана и является β -стабилизирующим элементом щелевого типа. Когда сплав титана и титана в содержании водорода составляет менее 0,020%, чтобы предотвратить возникновение водородного охрупчивания типа гидрида. Тем не менее, водородное охрупчивание и стресс-индуцированной обратимой хрупкости гидрида титана и титановых сплавов, трудно избежать. Влияние водорода на титан и титановые сплавы свойства в основном для водородной хрупкости.

Феномен водородного охрупчивания в α - β -сплаве отличается от явления однофазного α -титана, поскольку растворимость водорода в β -фазе выше, чем в α -фазе. В этих сплавах под воздействием водорода обычные свойства во время испытания на растяжение сначала изменяются, а свойства, определенные в испытании на удар, не изменяются[7].

Даже при комнатной температуре этот этап в альфа Титан является стабильным на очень низкой водорода концентрации. Таким образом рассеянных, стабильные Гидрид фаза отвечает за уровень высокой деформации или хрупкости водорода в α - β титанового сплава. Вторая форма водородной хрупкости, известная как охрупчиванию медленной скорости деформации также связана с наличием гидридной фазы. 1 Тем не менее, эта форма охрупчиванию во многом напоминает водородфа растрескивания наблюдается в высокопрочных стали и также отнести к зарождающемуся водороду в решетке титана.

Сплавы В ближайшем- α и $\alpha + \beta$ - титановых сплавов, основной механизм водородного охрупчивания обычно обусловлен осаждением и разложением хрупких гидридных фаз. При более низких температурах гидрид титана может стать хрупким

и подвергаться постоянному механическому разложению и разрушению. Титановые сплавы, у которых микроструктура содержит в основном α фазы, при воздействии внешней среды водорода при температуре около комнатной, будет деградировать в первую очередь за счет многократного образования и разрыва хрупкой гидридной фазы на, или очень близко, интерфейс газа-металл. Разложение нечувствительно к изменениям внешнего давления водорода, когда присутствует только α -фаза, поскольку образование гидроксида в альфа-фазе может происходить практически при любом приемлемом парциальном давлении водорода[8].

Ущерб от охрупчивания водорода титаном относится к гидриднему типу водородного охрупчивания. Водородное охрупчивание гидридного типа характеризуется хрупким разрушением при высокой скорости деформации и не проявляет чувствительности к охрупчиванию водорода при низкой скорости деформации. Когда содержание водорода в титане превышает 0,03%, степень укорачивания секции зависит, и когда содержание водорода составляет менее 0,05%, прочность на растяжение, предел текучести и удлинение вообще не изменяются[9]. Это указывает на то, что обычные механические свойства нечувствительны к определению водородного охрупчивания титана. Повреждение водорода титана и его сплавов проявляется в двух частях, одна потеря пластичности (хрупкость), а вторая часть является уменьшением порога интенсивности напряжений распространения трещин.

Эффект предварительной обработки внешних условий на чувствительность охрупчивания титана водорода то же самое, что и точечной коррозии. Анодированная или термически окисленная поверхность обладает наибольшей устойчивостью к поглощению водорода и водородному охрупчиванию. Второе явление - травление (фтористоводородная кислота для азотной кислоты) или отжиг. Механическая полировка или механическая взрывная обработка устойчивы к абсорбции водорода и водородному охрупчиванию. Способность является самой слабой. Это указывает на то, что активный титан всегда прост для поглощения водорода, а поверхность оксида

титана является полезным барьером, препятствующим поглощению водорода и предотвращающим водородное охрупчивание.

Материальный ущерб из-за водородного охрупчивания и коррозионного растрескивания под напряжением можно классифицировать как случаи, которые не могут быть выяснены только на основе механических параметров. Оба типа повреждений вызваны окружающей средой и поэтому контролируются физическими, химическими или электромеханическими процессами. Появление повреждения также аналогично: в обоих случаях появляются отсроченные трещины или трещины с низкой пластичностью, и материал охрупчивается только локально в местах, где произошел контакт с повреждающей средой. Роль водорода в механизме коррозионного растрескивания под напряжением известна, поэтому с тех пор были приняты профилактические меры[10]. Хотя вызванное водородом растрескивание и коррозионное растрескивание под напряжением являются сходными явлениями, оба типа повреждения обычно описываются и рассматриваются по отдельности. Причиной этого является сложность механизма повреждения, который зависит от конкретного материала и среды повреждения. В некоторых случаях можно найти комбинацию обоих механизмов, которая затем называется коррозионным растрескиванием под действием водорода.

Jarmila Woodtli[11] установила, что Растрескивание водорода и коррозионное растрескивание под напряжением приводят к замедленным деформационным разрушениям низкого качества даже в материалах с высокой прочностью на растяжение, хотя диапазон смежных материалов может не проявлять никаких характеристик охрупчивания. Оба типа повреждений зависят от множества одновременных параметров и поэтому сопровождаются очевидной непредсказуемостью. Комплексный анализ как отправная точка для превентивных мер имеет первостепенное значение как с точки зрения безопасности, так и по экономическим причинам.

2.2 Исследование поглощения водорода образцами

Титан и титановые сплавы имеют большое сродство к водороду. Чистый титан поглотит более 60 ат. рст (3 вес.%) водорода при давлении одной атмосферы и 640 °С. Все более высокие концентрации поглощаются при более низких температурах. Наиболее очевидным и наиболее изученным воздействием водорода на титановые сплавы является охрупчивание при температуре окружающей среды. В отличие от других газов, поглощение водорода является обратимым. Диффузионность водорода достаточно высока, и его равновесная концентрация при легко достигаемых вакуумных давлениях достаточно мала, так что водород может быть удален вакуумным отжигом[12].

Водород в титановых сплавах также может быть использован для осуществления фазового превращения, которое приводит к уникальным тонким микроструктурам. Выше 815 °С Ti-6Al-4V, содержащая от 0,4 до 1,35 мас.% Водорода, полностью превращается в бета. Когда образцы этого сплава, содержащие 0,46, 0,93 и 1,35 вес.% Водорода, были закалены водой из поля бета-фазы (870 °С), идентифицированные фазы были соответственно: первичный альфа плюс ромбический мартенсит ($\alpha + \alpha_H$); орторомбический мартенсит плюс бета, насыщенный водородом ($\alpha_H + \beta_H$); и бета, насыщенная водородом (β_H). Гидриды не были обнаружены ни с помощью оптической микроскопии, ни с помощью рентгеновской дифракции. При нагревании до бета-фазового поля, после чего стадию охлаждают до 650 °С и выдерживают в течение нескольких раз, образец водорода 0,93 мас.% Подвергают трансформации, которая приводит к тонкоизмельченной смеси из трех фаз, идентифицированных как α , β и гидрид. Трансформация предполагает трехфазный эвтектоид, в котором $\beta_H \rightarrow \alpha + \text{гидрид}$.

Взаимодействие водорода с титаном принимает форму простого эвтектоидного преобразования с $\alpha + \text{гидридных}$ фазами, образующих непосредственно из β -фазы. Сильное стабилизирующее действие водорода на бета фазы приводит поля в уменьшении температуры превращения альфа→бета от 882 °

С до эвтектоидной температуры 300 ° С. Растворимость водорода терминала в β -фазах (без образования гидридной фазы) может достигать 50 ат.%, При повышенных температурах выше 600 ° С. В β -фазах, однако, растворимость водорода терминала только приблизительно 7 ат.% . При 300 ° С и быстро падает с понижением температуры. В переходных металлов IV группы, водород, как правило, занимают тетраэдрические междоузлия. В следствии, тем выше растворимость, а также быстрое распространение (особенно при повышенных температурах) водорода в результатах бета-титана с относительно открытой объемно-центрированной кубической (ОЦК) структурой, которая состоит из 12 тетраэдрических и шести октаэдрических . Для сравнения, государственное политическое управление (ГПУ) решетки альфа-титановых экспонатов только четыре тетраэдрических и октаэдрических двух междоузлий[13].

O.N Senkov [14] установила, что добавление водорода расширяет кристаллическую решетку ОЦК-бета-титана. Это может указывать на то, что водород находится в основном в октаэдрических междоузлиях. Интенсивности дифракционных пиков, полученных из ОЦК-титан-водородных сплавов, зависят от концентрации и температуры водорода. Температурный эффект кажется обратимым. Эти изменения в интенсивности пиков могут возникнуть в результате перегруппировки атомов водорода между тетраэдрическими и октаэдрическими интерстициальными центрами. Также может быть вклад процессов беспорядка порядка.

Легирование водородом приводит к расширению в ОЦК-решетке, как описано следующим индуцированным водородом коэффициентом расширения $K_H = 2,1 \times 10^{-4}$ нм /.%Н. Это выражение действительно в диапазоне концентраций водорода от 0 до 30 ат.%.

Коэффициент теплового расширения ОЦК-титана слабо зависит от концентрации водорода; оно имеет значение около $13,8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}$

В данной работе насыщение образцов водородом проводили на установке Gas Reaction Controller при температуре 650 °С и давлении 2 атм. В процессе наводороживания образцов проводилась запись изотерм поглощения водорода в режиме реального времени. По наклону кривой поглощения водорода к оси абсцисс [15,16].

Микроструктура титановых изделий зависит от параметров процесса ЭЛС [17,18] и скорости охлаждения. Формирование структурно-фазового состояния сплава Ti-6Al-4V происходит в результате плавления порошка при температуре 1900°С и последующего быстрого охлаждения до температуры ~ 700°С с последующим охлаждением до комнатной температуры. Авторы [19] также отмечают, что в ЕВМ-процессе зарождение β -зерен происходило гетерогенно из пограничных слоев либо на пластине сборки, либо на поверхности детали. Было обнаружено, что на поверхности детали он образуется из частично расплавленного порошка в окружающем слое. Сафдар и соавт. [20] отмечает, что структура расплавленного электронным пучком Ti-6Al-4V состоит из предшествующей β -фазы в форме столбчатых зерен, растущих вдоль направления сборки, и α -тромбоцитов Widmanstätten. Аналогичная структура наблюдалась и в [21]. Авторы [22] установили, что ламели тонкостенных образцов толщиной 0,5 и 1,0 мм были значительно меньше по сравнению с толстыми образцами. Таким образом, более толстые ламели наблюдались во всех образцах с толщиной стенки не менее 2 мм. В дополнение к работе Safdar, Tan et al. [19] показали морфологию плетения корзин, а также многочисленные единичные выпуклости в предыдущих β -зернах. Наряду с фазами α и β мартенситные фазы α_0 и α'' могут быть представлены в микроструктуре образцов Ti-6Al-4V, полученных методом ЕВМ. Обычно мартенситные фазы наблюдаются в небольших образцах [23,24]. Аль-Бермани [23] обнаружил образование мартенситной фазы в образцах размером 1–5 мм, полученных методом ЭЛС. Основные области применения Ti-6Al-4V производства АМ - медицина, авто и авиакосмическая промышленность [25]. Применение Ti-6Al-4V с добавками в жестких условиях,

особенно в среде, содержащей водород, открывает новые проблемы для исследования его коррозии и устойчивости к воздействию водорода. Во время работы в агрессивных средах водород проникает и накапливается в титановых сплавах. Накапливаясь в титановых сплавах, водород вызывает значительные изменения их физических, химических и механических свойств. При воздействии водорода в титановых сплавах происходит потеря пластичности, вызванная водородом (водородное охрупчивание), и происходит образование трещин, вызванных водородом [20,26–28]. Водородное охрупчивание и вызванное водородом растрескивание могут привести к разрушению деталей и конструкций [20,26]. Водород может изменять микроструктуру, которая влияет на механические свойства титановых сплавов. Это главная трудность при изучении прямого или внутреннего воздействия водорода в многофазных системах [27,28].

ГЛАВА 3 Материалы и методы исследований

3.1 Материал для исследований

В работе исследовались образцы, изготовленные методом электронно-лучевого сплавления из порошка Ti-6Al-4V. Изготовление образцов проводилось на установке, разработанной в ТПУ. Внешний вид установки представлен на рисунке 1. Технические характеристики установки следующие: ускоряющее напряжение – 40 кВ, рабочий вакуум 5×10^{-3} , область построения образцов: 150x150 мм, потребляемая мощность 6 кВт.



Рисунок 1 – Внешний вид установки по электронно-лучевому сплавлению

3.2 Исследование микроструктуры, фазового и элементного состава экспериментальных образцов

Микроструктура сплава является важным фактором, который определяет его твердость, свойства при растяжении, вязкость разрушения, сопротивление усталости и результирующее поведение при разрушении. Микроструктуру образцов в данной

работе исследовали методом оптической микроскопии (микроскоп METAM LB) и методом сканирующей электронной микроскопии (микроскоп SEM 515). Энергодисперсионный анализ образцов проводился на микроскопе SEM 515.

Технические характеристики сканирующего микроскопа:

- ускоряющее напряжение и ток пучка - 3—30 кВ
 - разрешение – до 10 нм
 - минимальное увеличение ~ 20 крат
 - глубина резкости – 0,5 от его линейных размеров
 - анализируемые элементы - начиная от Фтора
 - предел обнаружения - 0,2 вес. %
 - предельная точность определения концентрации ~ 5%

Подготовка образцов проводилась в следующем порядке: сначала проводилась шлифовка, затем полировка образцов. Затем наблюдайте под оптическим микроскопом и наблюдайте с различными увеличениями микроскопа.

Фазовый состав, внутренние напряжения и долю фаз определяли методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре XRD-7000S Shimadzu.

Рентгенодифракционный анализ — один из дифракционных методов исследования структуры вещества. В основе данного метода лежит явление дифракции рентгеновских лучей на трёхмерной кристаллической решётке [29].

Дифракция рентгеновских лучей (XRD) полагается на двойную волновую / частицевую природу рентгеновских лучей для получения информации о структуре кристаллических материалов. Основное использование метода - идентификация и характеристика соединений на основе их дифракционной картины.

Доминирующим эффектом, который возникает, когда падающий пучок монохроматического рентгеновского излучения взаимодействует с материалом мишени, является рассеяние этого рентгеновского излучения от атомов в материале мишени. В материалах с регулярной структурой (то есть кристаллических) рассеянные рентгеновские лучи подвергаются конструктивному и разрушительному

вмешательству. Это процесс дифракции. Дифракция рентгеновских лучей на кристаллах описывается законом Брэгга, $n(\lambda) = 2d \sin(\theta)$ [30]. Направления возможных дифракций зависят от размера и формы элементарной ячейки материала. Интенсивности дифрагированных волн зависят от вида и расположения атомов в кристаллической структуре. Однако большинство материалов не являются монокристаллами, а состоят из множества крошечных кристаллитов во всех возможных ориентациях, называемых поликристаллическим наполнителем или порошком. Когда порошок со случайно ориентированными кристаллитами помещается в рентгеновский луч, он увидит все возможные межатомные плоскости. Если экспериментальный угол систематически изменяется, будут обнаружены все возможные дифракционные пики от порошка[31].

Дифракция рентгеновских лучей с использованием рентгеновской оптики применяется во многих различных типах применений, включая анализ тонких пленок, оценку текстуры образца, мониторинг кристаллической фазы и структуры, а также исследование напряжения и деформации образца.

3.3 Насыщение водородом и исследование термостимулированного выхода водорода из образцов

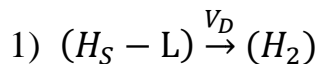
Наводороживание образцов проводилось из газовой среды на комплексе Gas Reaction Controller. Автоматизированный комплекс состоит из компьютера с программным обеспечением на основе LabVIEW, высокотемпературной печи или криостата, камер с низким и высоким давлением, контроллером. Контроллер состоит из электронной системы управления и вакуумной части. Вакуумная часть состоит из контрольного объема, резервуаров низкого и высокого давления, пневматических управляемых клапанов и ручных клапанов, датчиков давления, фильтров[32].

Максимальный размер образца ограничен размерами камер: Ø30 мм до 80 мм для камеры низкого давления и 06 мм до 20 мм для камеры высокого давления. Максимальное давление водорода в камере низкого давления 202.64 кПа, в камере высокого давления 5066 кПа. Существует один основной метод водород исследования материалов для хранения с помощью автоматизированного контроллера комплекса реакционного газа - кривые PСI. PСI (давление-состав изотерма) является зависимость максимального количества поглощенной (поглощение PСI) или десорбированном (PСI) десорбция водорода от давления в камере при постоянной температуре. При использовании метода PСI можно получить важную информацию о природе поглощения водорода и десорбции реакции, такие как гистерезис сорбции и десорбции водорода и его кинетики [21].

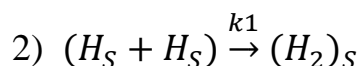
Для проведения исследований по термостимулированному газовыделению автоматизированный комплекс оснащен масс-спектрометром МХ-7304. Система позволяет: а) записывать полный спектр масс (от 1 до 250 а.е.м.) газов содержащихся в камере масс-спектрометра 7, с разрешением 1М; б) одновременно и непрерывно отслеживать от 1 до 6-ти масс (любых из состава масс-спектра), выделяющихся из образца газов в процессе облучения или нагрева. Шаг измерений при этом может варьироваться от 1 до 100 точек в секунду [34].

Метод термостимулированного газовыделения (ТСГВ) широко применяется для характеристики поверхности адсорбентов и измерения параметров взаимодействия газ-твердое тело [35]. Согласно данному методу, проводят адсорбцию специальным образом подобранного газа (зонда) при постоянной температуре, а затем сорбент подвергают программированному (как правило линейному) нагреванию. В ходе проведения эксперимента измеряют поток зонда, выделяющегося из образца. Кривые зависимости потока газовой выделения от температуры, так называемые термодесорбционные спектры (ТД-спектры), непосредственно отражают основные особенности исходного энергетического спектра состояний атомов адсорбата в адсорбенте.

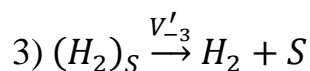
Атомы водорода могут диффузионно выходить на поверхность со скоростью v_D . Атомы водорода рекомбинируют на поверхности в молекулы. Молекулы десорбируются с вероятностью v'_3 . Стадийная модель такого процесса имеет вид [36]:



Диффузионный выход атома Н на поверхность из невозбужденной связи со скоростью v_D ;



Рекомбинация атомов на поверхности;



Десорбция молекул

Здесь: v_D – скорость диффузионного выхода водорода на поверхность; k – скорость реакции диффузионной рекомбинации атомов Н; v'_3 – относительная вероятность десорбции.

В данной работе насыщение образцов проводилось при следующих параметрах: скорость нагрева и охлаждения камеры с образцами составила 1 К/с, температура в процессе эксперимента 500 °С. Для равномерного распределения водорода образцы выдерживались в среде аргона после наводороживания.

Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Организация и планирование работ

В процессе организации реализации конкретных проектов необходимо разумно планировать ситуацию с занятостью участников и рабочее время каждого человека. В следующей таблице 5.1 перечислены люди и имена, вовлеченные в работу.

Таблица 5.1 – Участники проекта

№ раб.	Исполнители	Имя
1	Научный руководитель (НР)	Пушилина Наталья Сергеевна

2	Студент-дипломник (И)	Чжун Хаовэнь
---	-----------------------	--------------

При проведении исследований в выпускной работе необходимо строить рабочие группы для того, что достигнуть и выполнить конкретную цель. Для разных видов работ установите соответствующую должность исполнителя.

Таблица 5.2 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

№ раб	Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
1	Составление и утверждение технического задания	НР	НР – 100%
2	Подбор и изучение материалов по теме	НР	НР – 100%
3	Выбор направления исследований	НР, И	НР – 30% И – 100%
4	Календарное планирование работ по теме	НР, И	НР – 100% И– 10%
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	НР, И	НР – 30% И– 100%
6	Построение макетов (моделей) и	НР, И	НР – 100%

	проведение экспериментов		И – 50%
7	Проведение расчетов и анализ полученных данных	НР, И	НР – 100% И – 80%
8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	НР, И	НР – 100% И – 80%
9	Оценка эффективности полученных результатов	НР, И	НР – 20% И – 80%
10	Определение целесообразности проведения НИР	НР, И	НР – 40% И – 80%
11	Составление пояснительной записки	НР, И	НР – 100% И – 80%
12	Подготовка темы к защите	НР, И	НР – 60% И – 100%

5.1.1 Продолжительность этапов работ

Существует два способа расчета продолжительности этапа работы.

Первый метод - это технология и экономика: этот метод применим к полностью разработанной нормативно-правовой базе для трудоемкости процесса планирования, что, в свою очередь, обусловлено их высокой воспроизводимостью в стабильной

среде. Поскольку подрядчики часто не имеют соответствующих стандартов, мы отказываемся от использования этого метода.

Второй метод - опытно-статистический метод, который может быть реализован двумя способами: 1) аналоговый, 2) экспертный. Аналоговый метод возможен только при наличии устаревшего симулятора в поле зрения исполнителя. В большинстве случаев его можно применять только локально - для отдельных элементов (этап работы). Так что выбирайте экспертный метод для оценки. Экспертные методы пригодны для использования при отсутствии информационных ресурсов, а эксперты в конкретных предметных областях проводят необходимые количественные оценки на основе своего профессионального опыта.

Рассчитайте время, необходимое для каждого шага работы, по следующей формуле:

$$t_{ож} = \frac{t_{min} + 4t_{prob} + t_{max}}{6} \quad (5,1)$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д} \quad (5,2)$$

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

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

$K_{д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ, $K_{д} = 1,1$

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{кд} = T_{рд} \cdot T_{к} \quad (5,3)$$

где $T_{кд}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{к}$ – коэффициент календарности, решение по формуле:

$$T_{к} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вд} - T_{пд}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22 \quad (5,4)$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни ($T_{\text{КАЛ}} = 365$);

$T_{\text{ВД}}$ – выходные дни по кадровым вопросам. Вопросы применения ст. 111 ТК РФ, ($T_{\text{ВД}} = 52$);

$T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни по кадровым вопросам. Вопросы применения ст. 112 ТК РФ, ($T_{\text{ПД}} = 14$).

Рассчитайте время, необходимое для работы на каждом этапе из таблицы 5.2, и сделайте следующие выводы:

Таблицы 5.3 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Составление и утверждение технического задания	НР	3	4	3.4	3.116	-	3.802	-
Подбор и изучение материалов по теме	НР	2	3	2.4	2.2	-	2.684	-
Выбор направления исследований	НР, И	3	6	4.2	1.155	3.85	1.4091	4.697
Календарное планирование работ по теме	НР, И	15	20	17	15.58	12.46	19.01	15.209
Проведение теоретических расчетов и обоснований	НР, И	7	14	9.8	8.983	4.491	10.959	5.479
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	НР, И	30	40	34	31.16	24.93	38.02	30.41
Проведение расчетов и анализ полученных данных	НР, И	14	20	16.2	14.85	11.88	18.117	14.49
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	НР, И	7	10	8.2	2.255	7.516	2.751	9.170
Оценка эффективности полученных результатов	НР, И	2	4	2.8	2.566	0.256	3.131	0.313
Определение целесообразности проведения НИР	НР, И	5	6	5.4	1.98	3.96	2.4156	4.8312
Составление пояснительной записки	НР, И	10	15	12	11	8.8	13.42	10.736
Подготовка темы к защите	НР, И	4	6	4.8	2.64	4.4	3.2208	5.368
Итого:				120.2	94.85	82.84	118.94	100.70

Эта	НР	И	Март			Апрель			Май			Июнь		
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
1	3.8 02	-	■											
2	2.6 84	-	■											
3	1.4 091	4.6 97		■										
4	19. 01	15. 20		■	■	■								
5	10. 959	5.4 79				■	■							
6	38. 02	30. 41					■	■	■	■				
7	18. 117	14. 49								■	■			
8	2.7 51	9.1 70									■	■		
9	3.1 31	0.3 13										■		
10	2.4 156	4.8 31										■	■	
11	13. 42	10. 73											■	■
12	3.2 208	5.3 68												■

НР – ■ ; СД – ■

5.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

Стоимость создания проекта включает в себя все затраты, необходимые для реализации каждой из задач, которые составляют эту разработку. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат: материалы и покупные изделия; заработная плата; социальный налог; расходы на электроэнергию (без освещения); амортизационные отчисления; командировочные расходы; оплата услуг связи.

5.2.1 Расчет затрат на материалы

Во-первых, расходы включают материальные затраты, приобретенные продукты, полуфабрикаты и другие материальные ценности, которые непосредственно потребляются при работе объекта проектирования. Для покупки большого количества предметов, например цены листа сплава Э110, мы используем метод взвешивания. Цена за единицу товара принимается за среднюю рыночную цену. Хотя цена на оптовую торговлю будет намного ниже, чем средняя рыночная цена, мало влияет на небольшое количество протестированных образцов.

Таблицы 5.4 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Единица измерения	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Источник Ti^{44}	см ²	3500	1	3500
Наждчная бумага (А4)	штук	150	10	1500
Бумага (А4)	штук	2	180	360
Титановый сплав ВТ6 (10см*10см*1см)	штук	60	3	180
Защитные перчатки	штук	25	4	100
Итого:				5640

Транспортно-заготовительные расходы -5% т.е.

$$\text{Затраты} = 5640 * (1 + 0,5) = 5922 \text{ руб.}$$

5.2.2 Расчет заработной платы

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

$$ЗП_{дн-т} = \frac{МО}{\frac{298}{12}} = \frac{МО}{24,83}$$

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

$$КПР = 1,1; Кдоп.ЗП = 1,188; Кр = 1,3.$$

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

$$Ки = КПР * Кдоп.ЗП * Кр = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699.$$

Таблицы 5.5 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	26300	876.7	94	1,699	140014.25
И	15 450	515	82	1,62	68412,6
Итого:					208426,85

5.2.3 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.

$$Ссоц. = Сзп * 0,3 = 208426.8 * 0,3 = 62528 \text{ руб.}$$

5.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Рассчитайте счет за электроэнергию, необходимый для теста. Вам нужно знать местную цену на электроэнергию, мощность устройства и сколько времени

использовать, рассчитываемые по формуле:

$$\text{Сэл. об.} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot C_{\text{э}}$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность кВт;

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

$C_{\text{э}}$ – цена на 1 кВт·час; $C_{\text{э}} = 5,748$ руб./кВт.час (в ТПУ).

Поскольку спектральные данные были записаны, экспериментальное оборудование работало 24 часа, и данные были получены в режиме реального времени с помощью удаленного компьютера. Поскольку экспериментальный метод имеет излучение частиц высокой энергии, он минимизирует контакт между людьми и оборудованием. Эта операция приведет к тому, что рабочее время экспериментального оборудования будет больше рабочего времени человека.

В таких случаях $t_{\text{об}}$ определяется путем прямого учета, особенно если использование соответствующего оборудования ограничено.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном.}} * K_{\text{с}}$$

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

$K_{\text{с}} = 1$ (оборудование малой мощности).

Результаты расчета стоимости электроэнергии следующие таблице

Таблице 5.6 – Затраты на стоимость электроэнергии

№ п/п	Наименование оборудования	Время работы $t_{\text{об}}$ (ч)	Потребляемая Мощность $P_{\text{об}}$ (кВт)	Цена единицы оборудования, $C_{\text{э}}$ (кВт/ч);	Затраты на электроэнергию, руб.
1.	Детекторы	648	0,05	5,748	186,2
2.	ФЭУ	648	0,01		37,2
3.	ДПС	648	0,03		111,7
4.	Системы совпадения	648	0,02		74,5
6.	Компьютер многоканально го анализа	648	0,2		744,9

7	Монитор	110	0,09	56,9
8	3D-принтеры EVM/Arcam A2X	6	7	241.4
	Итого			1452.8

5.2.5 Расчет амортизационных расходов

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

$$C_{AM} = \frac{N_A * C_{OB} * t_{рф} * n}{F_D}$$

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

C_{OB} – 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 5.7

Таблицы 5.7 – Амортизационные отчисления

№ п/п	Наименование оборудования	Количество (n).	Цена единицы оборудования, руб (C _{OB})	Общая стоимость оборудования, руб.	Время работы трф (ч)	Амортизация руб
1.	Детекторы	2	5800	11600	648	130,0
2.	ФЭУ	2	3900	7800	648	87,5
3.	Системы совпадения	1	8500	8500	648	95,3
4.	ДПС	2	12000	24000	648	269,1

5.	3D-принтеры EBM	1	73800000	73800000	7	8938,9
	Итого			51900		9520,8

5.2.6 Расчет прочих расходов

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) \cdot 0,1 = 7354 \text{ руб}$$

5.2.7 Полный затраты на выполнение ВКР

Консолидировать и суммировать расходы по вышеуказанным разделам. Все затраты на этот эксперимент представлены в таблице 5.8 ниже.

Таблицы 5.8 Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	5640
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	208426,85
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	65378
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	1452,8
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	9520,8
прочих расход	$C_{\text{проч.}}$	7354,
Итого:	,	297771,75

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 297771,75$ руб.

5.2.8 Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере $5 * 20\%$ от полной себестоимости проекта. В нашем примере она составляет 60221,58 руб (20%)

от расходов на разработку проекта.

5.2.9 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это $(301107,92 + 60221,58) * 0,2 = 361329,5 * 0,2 = 72265,9$ руб.

5.2.10 Цена разработки НИР

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

$$C_{\text{НИР}}(кр) = 301107,92 + 60221,58 + 72265,9 = 433595,4 \text{ руб.}$$

5.3 Оценка экономической эффективности проекта

Этот эксперимент не имеет рыночного значения, так как предполагаем только изучение свойств титановых сплавов, используемых в том числе в авиационных двигателях и материалах для хранения водорода. Полученные результаты недостаточны для их применения. Следовательно, оценка их экономической эффективности невозможна.

Глава 6. Социальная ответственность

Введение

Данная выпускная квалификационная работа выполнялась в отделении экспериментальной физики Томского Политехнического Университета. Работа представляет собою научно-исследовательскую работу и выполняется с целью расширения, углубления, систематизации знаний по определенной научной проблеме и создания научного задела. Работа посвящена исследованию взаимодействия водорода с титановым сплавом Ti-6Al-4V, изготовленным методом электронно-лучевого сплавления.

Все работы (Шлифовка, полировка, измерение твердости, микроструктуры) выполняются в лаборатории в цокольном этаже корпуса №3 ТПУ.

В данном разделе рассмотрены вредные и опасные факторы, действующие на сотрудника лаборатории, разработаны требования безопасности и комплекс защитных мероприятий на рабочем месте. Также этот раздел включает подразделы охраны окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.

6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

6.1.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.

При исследовании в лаборатории существуют много вредных и опасных факторов производства. При работах с вредными и опасными условиями труда, а также выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, работникам бесплатно выдаются прошедшие обязательную, сертификацию или декларирование соответствия специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты, а также смывающие и (или) обезвреживающие средства в соответствии с типовыми нормами. Исследователи допускаются к работе только в спецодежде и средствах индивидуальной защиты.

Приобретение и выдачу за счет собственных средств специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты, смывающих и обезвреживающих средств, прошедших обязательную сертификацию или декларирование соответствия в установленном законодательством Российской Федерации о техническом регулировании порядке, в соответствии с установленными нормами работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением [38].

6.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

Во время полировки и анализа данных мы сидели перед верстаком и компьютером. 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 (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ;

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов. Дизайн ПЭВМ должен предусматривать окраску корпуса в спокойные мягкие тона с диффузным рассеиванием света. Корпус ПЭВМ, клавиатура и другие блоки и устройства ПЭВМ должны иметь матовую поверхность с коэффициентом отражения 0,4-0,6 и не иметь блестящих деталей, способных создавать блики. Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики;

6.2. Профессиональная социальная безопасность.

6.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.

Таблица 6.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003- 2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплуа тация	

1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96[39]. Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[40]. Повышенное значение напряжения в электрической цепи устанавливаются Оценка условий труда на рабочем месте инженера-электронщика Уфа 2007г[41].
2. Превышение уровня шума		+	+	
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека		+		

В условиях химических лабораторий в задачи производственной санитарии входит предупреждение профессиональных отравлений, предотвращение воздействия на работающих ядовитых и раздражающих веществ, производственной пыли, шума и других вредных факторов, определение предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в воздухе производственных помещений, разработка и эксплуатация средств индивидуальной защиты, система вентиляции и отопления, рационального освещения и т.п. [40].

В лаборатории используется соляная кислота. По степени воздействия на организм человека соляная кислота относится ко второму классу опасности (высоко опасное вещество), ПДК – 2 мг/м³, раздражает дыхательные пути, вызывает ожоги кожи [41].

Метеоусловия тоже важно для создания образцов. Метеоусловия производственной среды регламентируются [39].

Температура воздуха в лаборатории поддерживается:

- 1) в холодный и переходный периоды 16 – 22 °С;
- 2) в теплый период 18 – 25 °С.

Влажность воздуха не должна превышать 30 – 60 %, скорость движения воздуха 0,2 – 0,5 м/с.

В лаборатории создание микроклимата обеспечивается работой форточек, дверей, приточной вытяжной вентиляцией. Кратность воздухообмена – отношение объема воздуха, подаваемого в помещение или удаляемого из него за 1 час, к объему помещения, – при сохранении комнатной температуры должна быть в пределах 4 – 6 час⁻¹.

Летом помещения проветриваются с помощью вентиляторов. В зимнее время помещения нагревают центральным отоплением.

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

- Микроклимат

При работе установки включены нагревание рабочей камеры и соответствующие охлаждающие системы, которые вызывают изменение микроклимата в соответственных рабочих местах.

Температура наружных поверхностей технологических установок, ограждающих устройств, с которыми соприкасается в процессе труда человек, не должен превышать 45 °С[42].

Чтобы обеспечить оптимальные условия в рабочем месте, можно применять кондиционер, который позволяет поддерживать величины показателей микроклимата постоянными, оптимальными, и не зависимо от меняющихся условий.

В холодное время года в целях поддержания в рабочем месте оптимальной температуры воздуха и относительно влажности воздуха можно использовать отопление.

- Производственное освещение

Освещение рабочих мест должно отвечать условиям и характеру работы, оно должно быть оптимальным по величине, а его спектр должен быть максимально приближен к дневному (солнечному), лучше всего соответствующему физиологии человека. Чрезмерно высокая освещенность так же, как и недостаточная, вызывает быстрое утомление глаз, снижение видимости. Освещение должно быть достаточно равномерным по площади, так как при переводе взгляда с менее освещенных на ярко освещенные поверхности и наоборот происходит снижение остроты зрения на некоторый период времени, связанный с переадаптацией глаз. В связи с этим СПиП 23-05-95 [43] ограничивает неравномерность освещения на рабочих местах (отношение максимальной освещенности к минимальной) от 1,5 до 3 для различных видов работ. По этой же причине в комбинированном искусственном освещении доля общего освещения должна составлять не менее 10% [44].

- шумы

Изготовление титана осуществлялась на установке «Электронно-лучевая сплавка», одними из основных частей которой являются форвакуумный и турбомолекулярный насосы, создающие производственный шум. Воздействие шума в первую очередь влияет на органы слуха, нервную и сердечнососудистую системы. В соответствии с ГОСТ 12.1.003-83 допустимый уровень шума при сосредоточенной умственной работе составляет 75 дБ [45]. По ГОСТ 12.4.026, уровень или эквивалентный уровень звука в зоне не должен превышать 80 дБ чтобы обеспечить нормальные работы в данный в данном месте. Рекомендуются следующие средства коллективной защиты: акустические экраны, выгородки, объемные поглотители звука, виброизолирующие опоры; средства индивидуальной защиты: специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противо- шумные каски [46].

6.3. Экологическая безопасность.

В этой работе отходы представляют собой металлические порошки, которые из процессов производства и полировки.

Для литосферы. Твердые отходы, образующиеся в ходе реализации проекта, включают в себя твердые промышленные отходы и бытовые отходы. Среди них твердые промышленные отходы являются несоответствующим продуктом, и все они перерабатываются для повторного производства и не выбрасываются.

Твердые отходы собираются в специальные сборники и увозятся для уничтожения. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов имеет огромное экономическое и социальное значение.

Для гидросферы, это исследование не дало производственных сточных вод. Все выбросы в канализацию также необходимо подвергать обезвреживанию и очистке. Для этих целей все отработанные кислотные и щелочные сливы собираются в отдельную для каждого вида тару, затем подвергаются нейтрализации и только после этого они могут быть слиты в канализацию с их предварительным 10-кратным разбавлением водопроводной водой. Отработанные органические сливы собираются в специальную герметически закрытую тару, которую по мере заполнения отправляют на обезвреживание и утилизацию .

Для атмосферы, в процессе производства, процесс производства полностью закрыт.оборот всех материалов осуществляется через резервуар для сбора порошка со стандартными интерфейсными клапанами.

Все выбросы в канализацию также необходимо подвергать обезвреживанию и очистке. Для этих целей все отработанные кислотные и щелочные сливы собираются в отдельную для каждого вида тару, затем подвергаются нейтрализации и только после этого они могут быть слиты в канализацию с их предварительным 10-кратным разбавлением водопроводной водой. Отработанные органические сливы собираются

в специальную герметически закрытую тару, которую по мере заполнения отправляют на обезвреживание и утилизацию .

6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.

В данном пункте рассмотрены вероятные ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований, соответствующие мероприятия по их предотвращению и порядка действия в случае их возникновения.

Рассмотрим следующие наиболее вероятные ЧС – пожар и затопления.

6.4.1 . пожар

Существуют много возможных факторов, которые могут вызвать пожар, в них включаются перегрев приборов, электрическая утечка и т. д.

По ГОСТ 12.0.003-2015, объекты, пожары на которых могут привести к массовому поражению людей, находящихся на этих объектах, и окружающей территории опасными и вредными производственными факторами, а также опасными факторами пожара и их вторичными проявлениями. [47]

Используемое помещение относится к категории Г согласно пожарной и взрывопожарной опасности, так в данном помещении расположены горючие легко воспламеняемые материалы, также баллоны с газами. Помещение, в котором находится установка, оснащено аварийными выходами, обеспечено средствами пожаротушения, сигнализацией оповещения пожара. План эвакуации представлен на рисунке 9.

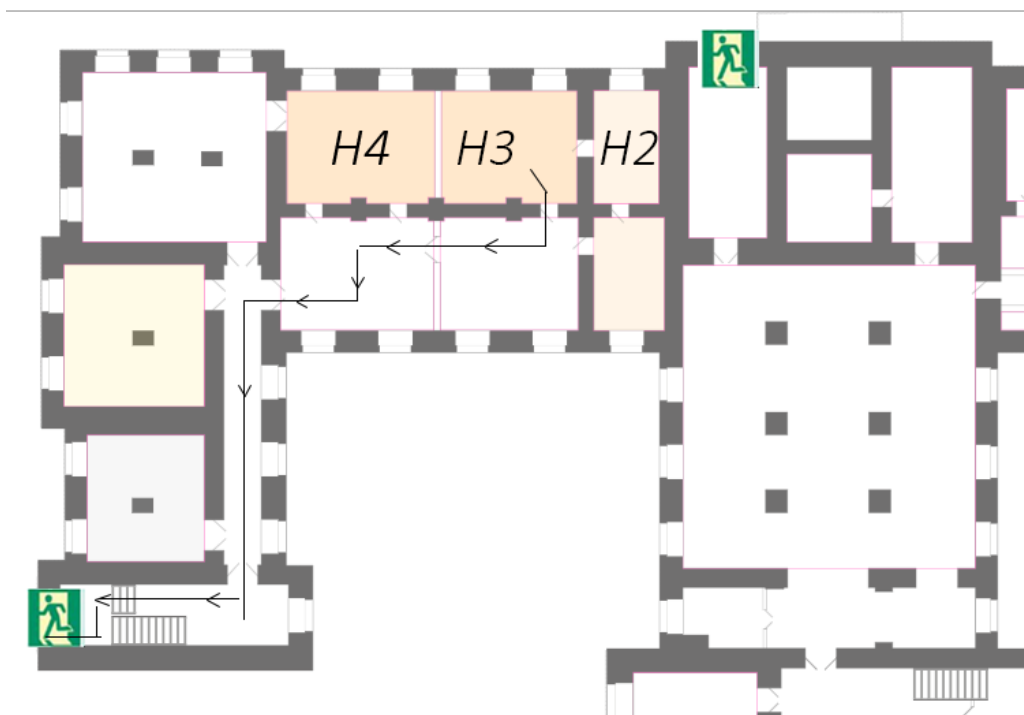


Рисунок 9 –План эвакуации рабочих помещений.

Работники допускаются к работе только после прохождения инструктажа о мерах пожарной безопасности, во всех помещениях вывешены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны и таблички с направлением пути эвакуации и план эвакуации.

В лаборатории расположены огнетушители порошковые ОП-4(з)- АВСЕ-02 (предназначен для тушения твердых, жидких и газообразных веществ и электроустановок до 1000 вольт).

Причинами возникновения пожара могут быть:

1. Курение в запрещённых местах;
 2. Неправильное хранение возгорающих веществ.
 3. Перегрузка электрических сетей;
 4. Нарушение правил эксплуатации электрического оборудования;
- Нарушение правил пожарной безопасности;

В лаборатории имеются 2 огнетушителя марки ОУ-2 предназначены для тушения загорания различных веществ и материалов, за исключением щелочноземельных элементов, а также электроустановок под напряжением до 1000В. При тушении электроустановок, находящихся под напряжением, не допускается подходить раструб ближе 1 метра до электроустановки и пламени[48].

Эксплуатация электрооборудования без заземления не допускается. Помещения опытно-производственной лаборатории обеспечиваются первичными средствами пожаротушения согласно действующим нормам. Все работники должны уметь пользоваться средствами пожаротушения и уметь оказывать первую помощь при несчастном случае. Не допускается загромождения рабочих мест, проходов, выходов из помещений и здания, доступа к противопожарному оборудованию.

6.4.2. Затопление

Томская область имеет влажный климат с большим количеством осадков. В течение этого возможно возникать наводнения. Лаборатория находится в цокольном этаже, что сильно увеличивает риск затопления[49].

В лаборатории размещено много ценных экспериментальных приборов, образцов и документов. Затопления лаборатории может приводит к серьёзному материальному ущербу. Кроме этого, поскольку в лаборатории существует высоковольтное электрическое питание, наводнение может привести к электрической утечке и соответственно привести к жертвам. Более того, утечка химических и радиоактивных веществ из лаборатории может также вызвать серьёзное экологическое загрязнение[50].

Защитные меры включают в себя размещение прибора на столе на высоте не менее 0,5 м над землёй, строение дренажной системы вокруг лаборатории и добавление водостойких слоёв.

В случае затопления необходимо отключить электричество, правильно размещать опасные химические вещества и радиоактивные материалы, затем эвакуировать от помещения к высокой местности.

Вывод

При рассмотрении вопросов безопасности и гигиены труда при выполнении работ особенностей накопления водорода в титановом сплаве ВТ6 при газофазном наводораживании были определены опасные и опасные факторы рабочей силы, причины и средства защиты, и на этом объекте были рассмотрены случаи, чтобы обеспечить безопасность жизни.

В лаборатории могут возникать чрезвычайные ситуации, как пожар, затопление. Для предотвращения возникновения следует принимать систему противопожарной защиты, водонепроницаемые меры и системы защиты от молнии. При возникновении ЧС особое внимание требуется для правильного размещения химических и радиоактивных веществ.

Заключение

В работе были проведены исследование микроструктуры и свойств образцов Ti-6Al-4V, изготовленным методом электронно-лучевого сплавления

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что с увеличением тока сплавления с 2,5 до 3 мА происходит увеличение размеров зерен, увеличение ширины пластин альфа фазы, рост внутренних напряжений.

2. Наибольшей скоростью сорбции водорода обладают образцы, изготовленные при токе сплавления 2,5 мА. Уменьшение скорости поглощения водорода обусловлено увеличением размера структурных составляющих (размеров α пластин).

3. Особенностью образцов, полученных электронно-лучевым сплавлением, является смещение пика выхода водорода в высокотемпературную область, по сравнению с литым материалом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фомина О.Н. Порошковая металлургия. Энциклопедия международных стандартов.// О.Н. ФОМИНА – М.: Протектор, 2015. – 384 с.
2. Смуров, И. Ю. Инновационное цифровое Производство на базе аддитивных технологий./ И. Ю. Смуров, С. Г. Конов, Д. В. Котобан, А. П. Назаров, , & С. К. Сундуков, // Инновации, М. – (8 (202)), 2015.– 384 с.
3. Ивасишин О.М. Производство титановых сплавов и деталей экономичным методом порошковой металлургии для широкомасштабного промышленного применения / О.М. Ивасишин, Д.Г. Саввакин, К.А. Бондарева, В.С. Моксон, В.А. Дузь // Наука и инновации. — 2005. — Т. 1, № 2. — С. 44-57.
4. Gurrappa I. Characterization of titanium alloy Ti-6Al-4V for chemical, marine and industrial applications // Materials Characterization. – 2003. – V. 51, Issues 2-3. – P. 131-139
5. Колачев Б. А. Водородная хрупкость металлов / Б. А. Колачев. – М. : Металлургия, 1985. – 217 с
6. Draper, S.L. Materials Characterization of Electron Beam Melted// Draper, S.L., Bradley A. Lerch, and Jack Telesman; Glenn Research Center, Cleveland, Ohio// NASA/TM—2016-69p.
7. Гельд П.В., Рябов Р.А., Мохрачева Л.П. Водород и физические свойства металлов и сплавов. – М.: Наука. –1985. –232 с
8. Добрина, А. Я. Влияние наводороживания при климатических температурах на фазовый состав сплава ВТ-6: ВКРМ: 22.04.02 - Металлургия ; 22.04.02_12 – СПб., 2018. – 96с.
9. Лидер А. М. Взаимодействие водорода с модифицированными слоями и покрытиями, нанесёнными на циркониевый сплав ZR1%NB и технический титан ВТ1-0.: дис. ... канд. техн. наук. –ТОМСК, 2014- 126с

10. Гаранин Г. В. Ультразвуковой стенд контроля физико-механических свойств металлов и сплавов (на примере системы титан-водород) .: дис. ... канд. техн. наук. - Томск, 2016.- 20 с.

11. Jarmila W. Damage due to hydrogen embrittlement and stress corrosion cracking/ W. Jarmil, K. K. Rolf // Engineering Failure Analysis, 2000.– Vol. 7 –P.427-450.

12. Senkov O.N. Effect of temperature and hydrogen concentration on the lattice parameter of beta titanium. / O.N Senkov, B. C Chakoumakos, J.J Jonas, F.H Froes // Materials Research Bulletin. – 2001, –Vol. 36. –P.1431-1440

13. Ливанов В.А. Водород в титане/Ливанов В.А., Буханова А.А., Колачев В.А. //М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1962. — 246 с.

14. Чернов И.П. Физические свойства насыщенных водородом металлов и сплавов./ Ю.П. Черданцев, А.М. Лидер, Г.В. Гаранин //Специализированный физический практикум. —Томск: Томский политехнический университет, 2009. — 250 с.

15. Ильин А.А., Водородная технология титановых сплавов./ Б.А.Колачев , В.К. Носов, А.М. Мамонов // М.: МИСиС. 2002. 392 с.

16. Clegg, W. Crystal Structure Determination (Oxford Chemistry Primer). Oxford: Oxford University Press. 1998. ISBN 0-19-855-901-1.

17. Hrabec, N. Effects of processing on microstructure and mechanical properties of a titanium alloy (Ti-6Al-4V) fabricated using electron beam melting (EBM), Part 2: Energy input, orientation, and location. / N. Hrabec, Q. Timothy. // Mater. Sci. Eng. A - 2013.– Vol. 573. –P.271–277.

18. Hrabec, N. Effects of processing on microstructure and mechanical properties of a titanium alloy (Ti-6Al-4V) fabricated using electron beam melting (EBM), Part 2: Energy input, orientation, and location. / N. Hrabec, Q. Timothy. // Mater. Sci. Eng. A - 2013. –Vol. 573. –P.264–270.

19. Antonysamy, A.A. Effect of build geometry on the β -grain structure and texture in additive manufacture of Ti6Al4V by selective electron beam melting. / A.A. Antonysamy, J. Meyer, P.B. Prangnell. // Mater. Charact. – 2013. – Vol. 84. –P.153–168.
20. Safdar, A. Evaluation of microstructural development in electron beam melted Ti-6Al-4V. / A. Safdar, L.-Y Wei. A. Snis, Z. Lai. // Mater. Charact. – 2012. – Vol. 65 – P.8–15.
21. Tan, X. Graded microstructure and mechanical properties of additive manufactured Ti-6Al-4V via electron beam melting. / X. Tan, Y. Kok, Y.J Tan, M. Descoins, D. Mangelinck, S.B Tor, K.F. Leong. C.K. Chua. // Acta Materialia. – 2015. – Vol. 97. – P.1–16.
22. Tal-Gutelmacher, E. Hydrogen cracking in titanium-based alloys. / E. Tal-Gutelmacher, D. Eliezer. // Journal of Alloys and Compounds. – 2005, – Vol. 404–406, – P.621–625.
23. Algardh, J.K. Thickness dependency of mechanical properties for thin-walled titanium parts manufactured by Electron Beam Melting (EBM)®. / J.K. Algardh, Horn, T. West, H. Aman, R. Snis, A. Engqvist, H. Lausmaa, J. O. Harrysson. // Additive Manufacturing. –2016, – Vol.12, –P.45–50.
24. Gil Mur, F.X. Influence of tempering temperature and time on the α' -Ti-6Al-4V martensite / F.X. Gil Mur, D. Rodríguez, J.A. Planell. //J. Alloys Compd. 1996, – Vol. 234, –P.287–289.
25. Dutta, B. The Additive Manufacturing (AM) of titanium alloys. / B. Dutta, F.H. Froes, //Metal Powder Report. 2017, – Vol.72, –P.96–106.
26. Tal-Gutelmacher. High fugacity hydrogen effects at room temperature in titanium ased alloys. / E. Tal-Gutelmacher, D. Eliezer. // J. Alloys Compd. 2005, – Vol.404–406, –P.613–616.

27. Tal-Gutelmacher, E. The effect of residual hydrogen on hydrogenation behavior of titanium thin films. / E. Tal-Gutelmacher, A. Pundt, R. Kirchheim. // *Scr. Mater.* 2010, – Vol. 62, –P.709–712.

28. Tao, J. Effect of trace solute hydrogen on the fatigue life of electron beam welded Ti-6Al-4V alloy joints. / S. Hu, L. Ji. // *Mater. Sci. Eng. A* 2017, – Vol. 684, –P.542–551.

29. Azároff, Leonid V., et al. *X-ray Diffraction*. Vol. 3. No. 1. New York: McGraw-Hill, 1974.

30. Guinier, André. *X-ray diffraction in crystals, imperfect crystals, and amorphous bodies*. Courier Corporation, 1994

31. Терентьев В. Ф. Теория и практика повышения надежности и работоспособности конструкционных металлических материалов : учебное пособие /В. Ф. Терентьев, А. Г. Колмаков, Ю. А. Курганова. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – 268 с.

32. Кудияров В.Н., Изучение процессов сорбции и десорбции водорода при помощи автоматизированного комплекса gas reaction controller LP / В.Н Кудияров., А.М. Лидер // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 10 (часть 15) – С. 3466-3471

33. Кудияров В.Н. Особенности распределения водорода в титане ВТ1-0 в зависимости от способа насыщения: электролитическим способом и методом Сивертса/ Кудияров В.Н., Лидер А.М., Пушилина Н.С., Кренинг Х.В. // *Альтернативная энергетика и экология*. – 2012. – № . 11 – С. 10–15.

34. Никитенков. Н.Н. Исследование выхода изотопов водорода методами термогазовыделения:методические указания / Н. Н. Никитенков, В. Д. Хоружий; Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2008. — 46 с.: ил.. — Библиогр.: с. 35.. — ISBN 5-98298-345-4

35. Тюрин Ю. И., Радиационно-стимулированный выход водорода из твердых тел./Ю. И. Тюрин, И. П. Чернов . – ISBN 5–98298–303–9 –2008 –P. 206-218;

36. Самарский А. А. Теория разностных схем: учебное пособие. /А. А. Самарский //Москва: Наука Физико-математическая литра.–1989 –Р. 616 с.

37. Меркулова Г. А. Металловедение и термическая обработка цветных сплавов: учеб. пособие / Г. А. Меркулова. - Красноярск: Сиб. федер. унт», 2008. - 320 с

38. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)

39. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*

40. Оценка условий труда на рабочем месте инженера-электронщика/Уфа 2007г.

41. Санитарные нормы микроклимата производственных помещений*(утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 31 марта 1986 г. № 4088-86)

42. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений.

43. СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение

44. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.

45. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности

46. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация

47. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования

48. ГОСТ Р 57552-2017 Техника пожарная. Извещатели пожарные мультикритериальные. Общие технические требования и методы испытаний

49. СНиП 2.06.15-85 от 1986-07-01.Инженерная защита территории от затопления и подтопления

50. ГОСТ Р 22.0.03-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения