

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование влияния наводороживания на микроструктуру и твердость сплава Ti-6Al-4V, изготовленного импульсным электронным пучком

УДК : 66.295+669.71:620.19:621.7.044

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б51	Ли Пай		

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
Доцент	Скачкова Лариса Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП				
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 ФГОС3+ (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 ФГОС3+ (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 ФГОС3+ (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-7)
Р4	Понимать сущность и значение информации, соблюдать основные требования информационной безопасности, использовать методы, способы,	Требования ФГОС3+

	средства получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры.	(ОПК-4,ОПК-5, ОПК-6)
Р5	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 ФГОС3+ (ОПК-8, ОПК-9)
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р6	<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 ФГОС3+ (ПК-1, ПК-2)
Р7	<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 ФГОС3+ (ПК-3,ПК-4, ПК-5)
Р8	<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	Требования ФГОС3+ (ПК-6, ПК-7, ПК-8)

	практике методы управления в сфере природопользования	
Р9	<p><u>Педагогически-просветительская</u></p> <p>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</p>	Требования ФГОС3+ (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
150Б51	Ли Пай

Тема работы:

Утверждена приказом директора (дата, номер)	06.02.2019 г. , 924/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(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.).

Сплав Ti-6Al-4V, изготовленные методом электронно-лучевого сплавления, до и после обработки водородом, автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller LPB.

<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>	<p>1. Аналитический обзор по литературным источникам. 2. Подготовка образцов титанового сплава. 3. Исследование влияния насыщения водородом на микроструктуру сплава Ti-6Al-4V, изготовленного электронно-лучевым сплавлением. 4. Измерение микротвердости образцов до и после наводороживания. Анализ результатов. 5. Социальная ответственность. 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 7. Выводы и заключение по работе.</p>
--	--

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
--	--

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич

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

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
150Б51	Ли Пай		

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

Студенту:

Группа	ФИО		
150Б51	Ли Пай		
	Инженерная школа ядерных технологий		Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление	Физика

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Определение стоимости ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых информационных и человеческих (137494,22руб)
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Знакомство и отбор норм и нормативов расходования ресурсов
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Районный коэффициент 30%, Отчисления во внебюджетные фонды - 27,1%
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Определение ресурсной, финансовой, экономической составляющей
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
150Б51	Ли Пай		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
150Б51	Ли Пай

	Инженерная школа ядерных технологий		Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление	Физика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>1. При работе на комплексе Gas Reaction Controller LP на работников возможно воздействие следующих вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Микроклимат; - Компьютер; - Опасность поражения электрическим током; - Воздействие высокой температуры; - Эксплуатация газовых баллонов (аргон), работающих под давлением. <p>2. При неисправности в работе комплекса Gas Reaction Controller LP возможна утечка газа, возгорание.</p>
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>По данной теме рассматриваются законодательный и нормативные документы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - инструкция № 2-25 по охране труда при выполнении работ на установке Gas Reaction Controller; - инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В; - инструкция № 2-07 по охране труда при работе с

	<p>баллонами, работающими под давлением.</p> <p>Документы по воздействию ПЭВМ:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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; - ГОСТ Р 50923-96. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. <p>Микроклимат:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные помещения. Параметры микроклимата в помещении; - ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны; <p>СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; 	<p>1. Характеристика факторов изучаемой производственной среды, описывающих процесс взаимодействия человека с окружающей производственной средой:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Воздействие электрического напряжения на организм человека;

<ul style="list-style-type: none"> – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<ul style="list-style-type: none"> – Воздействие высокой температуры на организм человека; – Воздействие химических веществ на дыхательные пути и организм человека в целом; – Утечка газа из баллона; – Микроклимат.
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<p>2. Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (непосредственное питание установки от сети постоянного тока 220 В; средства защиты, предусмотренные конструкцией установки, соблюдение правил и инструкций по электробезопасности при работе); – термическая опасность (печь нагрева образцов; защита специальной конструкцией установки, изолирующие слои, соблюдение правил безопасности и эксплуатации установки); – пожаровзрывобезопасность (баллоны с газом; соблюдение правил безопасности и эксплуатации установки).
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>3. Факторы рабочего места, влияющие на окружающую среду:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Выброс в атмосферу рабочего газа; – Выброс в атмосферу химических веществ;
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Утечка газа из баллона; – Возникновение возгорания; – Поражение оператора установки электрическим током; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p>	<p>5. Правовые вопросы обеспечения безопасности</p>

<ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	1.Схема расположения оборудования; 2. План размещения светильников на потолке рабочего помещения.

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б51	Ли Пай		

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	15
01.09.2018	Подготовка образцов титанового сплава	15
30.12.2018	Исследование влияния насыщения водородом на микроструктуру сплава Ti-6Al-4V, изготовленного электронно-лучевым сплавлением.	20
30.04.2019	Измерение микротвердости образцов до и после наводороживания. Анализ результатов	15
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.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 85 страницы, 7 рисунков, 9 таблицы, 43 литературный источник, 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 влияния насыщения водородом на структурно-фазовое состояние и микроструктуру, твердость сплав Ti-6Al-4V, изготовленный электронно-лучевым сплавлением.

Целью работы являлось Исследование влияние наводороживание на микроструктуру и твердость сплава Ti-6Al-4V, изготовленного электронно-лучевым сплавлением

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

1. Исследование влияния насыщения водородом на микроструктуру сплава Ti-6Al-4V, изготовленного электронно-лучевым сплавлением.
2. Исследование влияния насыщения водородом на фазовое состояние сплава Ti-6Al-4V, изготовленного электронно-лучевым сплавлением.
3. Исследование влияния концентрации водорода на твердость сплава Ti-6Al-4V, изготовленного электронно-лучевым сплавлением.

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

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	17
ГЛАВА 1. Литературный обзор	19
1.1 Методы получения металлических порошков для аддитивных технологий.....	19
1.2 Электронно-лучевое сплавление титановых порошков.....	22
ГЛАВА 2 Влияние водорода на свойства титановых сплавов	27
2.1 Взаимодействие водорода с титаном и сплавами на его основе.....	27
2.2 Способы наводороживания сплавов из титана	35
ГЛАВА 3 Материалы и методы исследования.....	39
3.1 Материалы и методы для исследований	39
3.2 Насыщение образцов водородом.....	39
3.3 Измерение микротвердости.....	39
ГЛАВА 4. Исследование влияние водорода микроструктуру и твердость сплава Ti-6Al-4V, изготовленного электронно-лучевым сплавлением.错误!未定义书签。	
4.1 Исследование микроструктуры образцов до и после насыщения водородом.....	错误!未定义书签。

4.1 Исследование микротвердости образцов до и после насыщения водородом..... 错误!未定义书签。

ГЛАВА 5 . Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение 44

Глава 6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ 54

6.1 Производственная безопасность..... 55

6.2 Экологическая безопасность..... 61

6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях..... 62

6.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности..... 66

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... 70

ВВЕДЕНИЕ

Водород как обратимый легирующий элемент обладает высокой адсорбционной способностью и диффузионной подвижностью в титановых сплавах [1], что оказывает большое влияние на процесс фазового превращения и микроструктуру. Титановые сплавы широко используются в аэрокосмической, морской и других областях, и среда их использования определяет проникновение водорода в окружающую среду, поэтому важно изучить влияние водорода на микроструктуру и свойства титановых сплавов. Исследования показали, что водород является стабильным элементом в β -фазе, который может эффективно снизить температуру перехода $(\alpha + \beta) / \beta$ и снизить критическую скорость охлаждения и характеристическую температуру превращения мартенсита: после того, как водород войдет в титановый сплав, он ослабит атом металла. Взаимодействие между связями усиливает диффузию атомов и образует водородные соединения титана. Гидриды, о которых сообщалось, имеют δ структуры ГЦК, ϵ структуры fct ($c / a < 1$) и γ ($c / a > 1$). В настоящее время исследование гидридов не является совершенным, потому что даже для одного и того же сплава образуются разные гидриды из-за различных режимов обработки содержания водорода, и механизм образования гидридов был спорным. Исследования. Кроме того, нет единого мнения о влиянии водорода на твердость титановых сплавов и его причинах. Исследовано влияние различного содержания водорода на микроструктуру и твердость двухфазного

сплава Ti-6Al-4V, обсужден механизм образования гидроида и факторы, влияющие на твердость.

Целью работы являлось исследование влияние водорода микроструктуру и твердость сплава Ti-6Al-4V, изготовленного электронно-лучевым сплавлением.

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

1. Исследование влияния насыщения водородом на микроструктуру сплава Ti-6Al-4V, изготовленного электронно-лучевым сплавлением.

2. Исследование влияния насыщения водородом на фазовое состояние сплава Ti-6Al-4V, изготовленного электронно-лучевым сплавлением.

3. Исследование влияния концентрации водорода на твердость сплава Ti-6Al-4V, изготовленного электронно-лучевым сплавлением.

ГЛАВА 1. Литературный обзор

1.1 Методы получения металлических порошков для аддитивных технологий

Аннотация: 3D-печать или аддитивное производство - это новый метод изготовления деталей непосредственно из цифровой модели с использованием подхода наращивания материала слой за слоем. Этот метод изготовления без использования инструментов позволяет производить высокоплотные металлические детали за короткое время с высокой точностью. Особенности аддитивного производства, такие как свобода конструирования деталей, сложность деталей, легкая утяжеленность, консолидация деталей и проектирование по функциональности, вызывают особые интересы в производстве присадок к металлам для аэрокосмической, нефтегазовой, морской и автомобильной промышленности. Плавление в порошковом слое, при котором каждый слой порошкового слоя избирательно расплавляется с использованием источника энергии, такого как лазер, является наиболее перспективной технологией аддитивного производства, которая может быть использована для изготовления небольших металлических деталей небольшого объема[1]. Этот метод использует мощный электронный пучок для легирования металлического порошка в вакуумной камере с образованием непрерывного слоя, который соответствует контурам цифровой модели. По сравнению с методами спекания и плавления, электронно-лучевое плавление создает модели металлов высокой плотности и высокой прочности. не прибегая к изобретению специальных

обрабатывающих станков и устройств. Готовые изделия практически не отличаются от литых деталей по механическим свойствам. Устройство считывает данные с файла, содержащего 3D-модель. Полная плавка расходного порошка позволяет производить монолитные изделия – отсюда максимальная прочность и отсутствие необходимости обжига. Таким образом, не требуется обжигание напечатанной модели для достижения необходимой механической прочности.

Технология 3D-печати - это новый тип технологии печати, ее выдающимся преимуществом является то, что она может напрямую изготавливать детали любой формы из данных компьютерной графики без механической обработки или пресс-формы, что значительно сокращает цикл разработки продукта, повышает производительность и снижает производственные расходы. 3D-печать металлического порошка является наиболее важным сырьем для 3D-печати металлических деталей. Метод подготовки привлек большое внимание. 3D-печать металлического порошка является наиболее важной частью цепочки металлических деталей в индустрии 3D-печати, а также является самой большой ценностью. Известный специалист в мире 3D-печати имеет четкое определение металлического порошка с 3D-печатью, который относится к группе металлических частиц размером менее 1 мм. Он содержит один металлический порошок, порошок сплава и соединение порошка, имеющих определенные свойства тугоплавких металлов. В настоящее время 3D-печатные металлические порошковые материалы включают кобальт-хромовые сплавы, нержавеющую

сталь, промышленную сталь, бронзовые сплавы, титановые сплавы и никель-алюминиевые сплавы. Однако, в дополнение к хорошей пластичности, металлический порошок с 3D-печатью должен отвечать требованиям по размеру частиц мелкого порошка, узкому распределению частиц по размерам, высокой сферичности, хорошей текучести и высокой объемной плотности. Для дальнейшей демонстрации воздействия металлического порошка с 3D-печатью на изделие.

С помощью селективного лазерного спекания (метод SLS) были напечатаны два различных порошка из нержавеющей стали, и было обнаружено, что они имеют значительные различия в готовых продуктах. Образец порошковой печати из нержавеющей стали немецкого производителя имеет небольшой блеск поверхности, небольшую усадку, отсутствие деформации и стабильные механические свойства. Печатных образцов порошка нержавеющей стали от отечественного производителя гораздо меньше, чем прежних. С этой целью был проведен микроморфологический анализ двух различных порошков из нержавеющей стали.

Посредством вышеупомянутых исследований было показано, что порошкообразный металлический расходный материал для 3D-печати должен удовлетворять мелким размерам частиц, узкому распределению частиц по размерам, высокой сферичности, хорошей текучести и высокой объемной плотности.

В настоящее время способ приготовления порошка в основном можно разделить на способ восстановления, способ электролиза, способ разложения карбонила, способ измельчения, способ распыления и тому подобное в соответствии с процессом приготовления.

Другие металлы или сплавы с высокой активностью реагируют с водой и увеличивают содержание кислорода в порошке из-за контакта с водой во время распыления. Эти проблемы ограничивают применение метода распыления водой при получении металлических порошков, имеющих высокую сферичность и низкое содержание кислорода. Однако Jinchuan Group Co., Ltd. изобрела способ получения сферического металлического порошка путем распыления водой, который дополнительно снабжен вторичным соплом для распыления в холодной воде под распылительным соплом для вторичного распыления. Порошок, полученный согласно изобретению, имеет не только сферичность, близкую к эффекту аэролизации, но также более мелкий размер частиц, чем первичное распыление водой.

1.2 Электронно-лучевое сплавление титановых порошков

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 ток фокусируется и позиционируется с помощью контролируемого магнитного поля..

Само по себе это явление не ново: кинескопы на электронно-лучевых трубках были изобретены на рубеже 19 и 20 веков. Отличие лишь в том, что в телевизорах луч используется для отображения точки на экране, а в СЛС луч расплавляет порошок. Как получить этот луч? За это отвечает электронная пушка. Она 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.

Электронно-лучевая плавка (СЛС) – это метод аддитивного производства, при котором последовательные слои металлического порошка плавятся мощным сканирующим электронным пучком. Процесс протекает в высоком вакууме при повышенных температурах, что помогает значительно минимизировать термически вызванные остаточные напряжения. Структура и свойства получаемой детали зависят от состава порошка,

толщина детали, ток луча, скорость луча, стратегии сканирования (включая смещение линии), подвод энергии и другие. Например, в системах Arcam СЛС, используемых в данном исследовании, фактическое сканирование луча

Скорость может контролироваться функцией скорости (SF). Таким образом, закономерности формирования и развития структуры, которые зависят от параметров аддитивного производства, имеют большое практическое значение для создания изделий с уникальным набором физико-механических свойств.

Большое количество работ было посвящено исследованию влияния параметров электронно-лучевой плавки на структуру титановых деталей Ti-6Al-4V, изготовленных методом СЛС. Известно, что 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 комнатная температура. Если титановый продукт поддерживается при температуре выше 700 °С в процессе производства СЛС, наблюдается довольно тонкая отожженная $\alpha + \beta$ -структура [24]. Авторы отметили, что β -зерна возникали неравномерно из пограничных слоев на сборной пластине или на поверхностях деталей во время процесса СЛС. Было обнаружено, что они образуются из частично расплавленного порошка в окружающем слое на поверхностях деталей. Сафдар и соавт показали, что предшествующая β -фаза в форме столбчатых зерен растет вдоль направления сборки и присутствуют α -тромбоциты Widmanstätten α

В структуре СЛС сплава Ti-6Al-4V. Микроструктура и пористость, сформированные в образцах Ti-6Al-4V, полученных методом СЛС в диапазоне скоростей сканирования расплава, от 100 мм / с до 1000 мм / с, были исследованы в [26]. Было показано, что увеличение скорости сканирования расплава во время процесса СЛС ориентированных цилиндров Ti-6Al-4V снижает скорость охлаждения (затвердевания), что приводит к уменьшению ширины игольчатого зерна α -фазы, а также к увеличению доля α' -мартенситной плиты. Это уточнение микроструктуры улучшает микротвердость (HV) для горизонтальных цилиндров.

Соответственно, с увеличением скорости сканирования расплава вследствие образования объемов нерасплавленного порошка в слоях увеличивается пористость. Аль-Бермани и Мурр и соавт также показали образование мартенситной фазы в образцах во время процесса СЛС. Juechter et al. исследовали влияние скорости сканирования на процесс СЛС и показали, что скорость сканирования до $6,4 \text{ м / с}$ приводит к плотным образцам. Граб и Куинн продемонстрировали влияние расстояния от подложки, размера детали,

подвод энергии, ориентация и расположение на микроструктуре, а также механические свойства Ti-6Al-4V, изготовленного СЛС. Го и соавт. изучали влияние тока пучка, скорости сканирования и линии сканирования в диапазоне $2\text{--}18 \text{ мА}$, $250\text{--}2000 \text{ мм / с}$ и $2\text{--}50 \text{ мм}$ соответственно. Авторы обнаружили, что в верхних областях в образцах двух типов присутствует α' -мартенсит, что указывает на то, что первичная β -фаза сначала трансформируется в α' -мартенсит, а затем разлагается в α / β -фазу. Ток пучка и скорость сканирования сильно влияют на плотность энергии и скорость затвердевания. При высокой плотности энергии жидкость течет и распространяется легче, заполняя поры и приводя к плотной поверхности, свободной от агломератов. Таммас-Уильямс и соавт. исследовали влияние стратегии заполнения на формирование дефектов при ДМ. Было окончательно показано, что поры / дефекты не распределены случайным образом, так как была обнаружена сильная корреляция с параметрами процесса и стратегии, используемые для обрисовки (контурной) и заполнения (штриховки) части раздела. Изучали влияние скорости сканирования (функции скорости 20,

36, 50 и 65) на микроструктурные изменения и ориентацию. Авторы обнаружили, что образцы, полученные на SF50, имеют самые высокие

Твердость по Виккерсу и модуль упругости, обусловленные его тончайшей микроструктурой и самой слабой текстурой. Antonysamy et al. исследовали влияние построенной геометрии на структуру и текстуру зерна в образцах СЛС Ti-6Al-4V. Таким образом, эволюция структуры и свойства титановых сплавов существенно зависят от производственных параметров. В то же время микроструктура и фазовый состав вносят основной вклад во взаимодействие металл-водород.

Влияние водородной обработки на структуру и механические свойства образцов, изготовленных из порошка Ti-6Al-4V, методом селективного лазерного плавления сообщалось. Однако сорбционное поведение ЭЛС Ti-6Al-4V водородом не изучалось авторами. Более того, нет данных ни о сорбции водорода титановыми сплавами с аддитивной обработкой, ни о влиянии производственных параметров на взаимодействие водорода с ЭЛС Ti-6Al-4V.

ГЛАВА 2 Влияние водорода на свойства титановых сплавов

2.1 Взаимодействие водорода с титаном и сплавами на его основе

ВТ6 сплавы широко используются в аэрокосмической, морской и других областях. В процессе эксплуатации изделия из титановых сплавов могут поглощать водород, что существенно влияет на физические и механические свойства титановых сплавов типа. С одной стороны, водород является вредным элементом, который может вызвать охрупчивание титановых сплавов [2-4]. Например, в [4] было показано, что поглощение водорода приводит к охрупчиванию, о чем свидетельствует изменение величины удлинения, а также уменьшение площади при разрушении. В титановых сплавах типа ($\alpha+\beta$) в случае значительного фазового содержания водород может преимущественно перемещаться внутри решетки и вступать в реакцию с α -фазой вдоль границ α/β . В этом случае деградация, как правило, будет более серьезной, и ее степень будет отражать зависимость давления водорода от движения водорода в β фазе [5]. В то же время взаимодействие водорода с металлическими материалами и степень водородного охрупчивания зависят от многих факторов, таких как фазовый состав, окружающая среда, температура [5], микроструктура [6], размер зерна [7] и состояние поверхности [8]. В титановых сплавах охрупчивание чаще всего обусловлено образованием гидридов [5,9]. В фазе максимальная растворимость водорода составляет 0,18 мас.% При температуре около 300 °С и уменьшается с понижением температуры, что может привести к образованию гидридов. Растворимость водорода в фазе титана примерно в 5 раз выше, чем в фазе при

температуре эвтектоида и достигает максимума 1,98 мас.% При 640 ° С [10]. С другой стороны, водород также может оказывать положительное влияние на титановые сплавы. Термо-водородная обработка (ТНР) представляет собой сочетание обратимого гидрирования и термического воздействия на гидрированные титановые сплавы. Использование ТНР позволяет добиться измельчения микроструктуры, улучшения технологичности и повышения механических свойств титановых сплавов [11-13]. Кроме того, титан-водородные системы могут быть использованы в качестве перспективных материалов для хранения водорода [14,15]. В настоящее время существуют различные методы синтеза различных типов материалов для хранения водорода, и проводятся многочисленные исследования для улучшения емкости для хранения водорода. Основными методами, реализованными в последнее время, являются аномальная плазма тлеющего разряда [16], плазменное измельчение [17,18], шаровое измельчение [19], дуговое плавление [14], химическое осаждение из паровой фазы [20]. Еще одним направлением развития производства изделий из титановых сплавов является применение различных типов аддитивных технологий. Аддитивное производство (АМ), включая метод электронно-лучевой плавки (EBM), является одним из перспективных направлений в производстве конструкционных металлических материалов с уникальным набором свойств [21,22]. Преимущества АМ по сравнению с традиционными методами - быстрый производственный процесс, экономия материала и создание легкой конструкции сложной формы. Внедрение

аддитивных технологий при изготовлении изделий из $(\alpha+\beta)$ титанового сплава требует дополнительных исследований влияния водорода на свойства аддитивно изготовленных материалов. Поскольку часто свойства трехмерных материалов отличаются от свойств изделий, изготовленных с использованием традиционных технологий. В настоящее время не так много работ по изучению гидрирования титановых сплавов, выполненных А.М. [23-26]. В работе [23] были изучены состояние захвата водорода и характеристики десорбции в трехмерном принтере Ti-6Al-4V, полученные с использованием такого метода АМ, как селективное лазерное плавление (SLM). По этому способу изделия изготавливаются путем плавления порошковых слоев лазерным лучом. В процессе АМ (по сравнению со стандартным сплавом Ti-6Al-4V, полученным методомковки) происходят структурные изменения, влияющие на механизм захвата водорода. В исследовании [24] было оценено сопротивление водородному охрупчиванию трехмерных печатных деталей, изготовленных из лаустенитной нержавеющей стали 304, и их механические характеристики были определены количественно для оценки их надежности в газообразном водороде. В [25] двухстадийная ТПП, включающая стадии гидрирования и дегидрирования, была применена к титановому сплаву Ti-6Al-4V, полученному путем селективного лазерного плавления, для улучшения микроструктуры и улучшения пластичности сплава. Анализ литературы показал, что многие вопросы взаимодействия водорода с добавочно изготовленными металлическими материалами, включая титановые сплавы, остаются неисследованными. В те фазе максимум Когда температура

превышает 250°C , титан поглощает водород, но процесс поглощения водорода является относительно медленным. После того, как температура превышает 300°C , скорость поглощения водорода титаном ускоряется, поглощение водорода достигает равновесия при температуре от 500 до 600°C , температура продолжает увеличиваться, а количество поглощения водорода увеличивается. Если не увеличиться, он упадет вместо этого. После реакции титан-водород в основном образуются соединения TiH , TiH_2 и твердые растворы $\text{Ti}(\text{H})$. Поскольку радиус атомов водорода мал, в титане существует высокая скорость диффузии, поэтому титан и водород не образуют поверхностной пленки, а количество водорода, растворенного в титане, очень велико. Так 1 г атомного титана может растворять 2 г атомного водорода, что очень Хороший материал для хранения водорода. Водород является стабилизирующим β -фазой элементом. Прежде чем водород будет подвергаться аллотропизму, водород

Растворимость в α -Ti составляет всего $0,2\%$. После температуры перехода растворимость водорода в β -Ti достигает 2% . Изменение парциального давления водорода также влияет на процесс абсорбции водорода и дегидратации титана, парциальное давление водорода увеличивается, растворимость водорода в титане увеличивается, парциальное давление водорода уменьшается и растворимость водорода в титане уменьшается до тех пор, пока он не будет удален. $0,002\%$. Высокотемпературный вакуумный отжиг является эффективным мерилем дегидрирования, 800°C или около того, может снизить содержание водорода до $0,002\%$ или менее. Кроме того, титан может также абсорбировать

водород из растворов кислотного травления и абсорбировать водород из высокотемпературных атмосфер, что приводит к охрупчиванию водорода, подобному стали.

Влияние водорода на механические свойства титановых сплавов. Ранее изучались внутренние эффекты присутствия твердого растворения водорода и косвенные эффекты индуцированных водородом изменений фазового состава и микроструктуры. Водород очень плохо влияет на пластичность титана. Когда содержание водорода в титане превышает 0,015-0,02%, водород диффундирует и становится богатым в местах с более низкой температурой или более высоким напряжением при градиенте температуры или градиенте напряжения. В результате гидриды осаждаются в определенных локальных зонах (наконечник трещины или зона концентрации напряжений). Из-за образования гидроксида он вызывает растягивающее напряжение или растрескивание вблизи него, сильно уменьшая величину ударной вязкости титана, вызывая водородное охрупчивание титана. Водородное охрупчивание, вызванное гидридом титана, является обычным явлением, и водородная восприимчивость хрупкого гидроксида обычно высока. Сплав β -Ti с объемноцентрированной кубической структурой имеет более плотную гексагональную структуру, чем сплав α -Ti с водородом. Хрупкость более чувствительна. Водородное охрупчивание, по-видимому, является уменьшением пластичности и небольшим увеличением прочности. Также установлено, что при температурах ниже 93 °C ударная вязкость сплава уменьшается и изменяется диапазон температур хрупкости к пластику.

Водородное охрупчивание также иногда напоминает охрупчивание стали, явление охрупчивания, возникающее при медленных испытаниях при постоянной нагрузке или постоянной нагрузке. Этот метод испытаний обычно использует зубчатые образцы, применяя напряжение выше определенного уровня прочности и соблюдая поведение хрупкости. Обычно указывается, что содержание водорода в используемых титановых частях должно составлять менее 0,015%. Литература . Чтобы изучить влияние водорода на механические свойства образцов титанового сплава, сплав Ti-Al-Zr подвергали гидрогенизации путем электролитического гидрирования, а испытания на растяжение и ударные испытания образцов проводили при комнатной температуре. Результаты показывают, что прочность образца после гидрирования была в разной степени улучшена, а пластичность уменьшается с увеличением содержания водорода. Когда содержание водорода достигает 1200 мкг / г, потеря пластика достигает 25%, ударная вязкость уменьшается с увеличением содержания водорода. Когда содержание водорода достигало 300 мкг / г, ударная вязкость уменьшилась на 80%, и образец был в основном хрупким.

Поскольку титановые сплавы используются в качестве конструкционных материалов, вызванные водородом переломы могут привести к катастрофическим авариям. Затянувшийся перелом вызванных водородом титановых сплавов получил широкое внимание. Замедленное растрескивание, вызванное водородом, происходит, когда предварительно заряженный титановый сплав подвергается устойчивой нагрузке, но на его удельные

характеристики влияют многие факторы, такие как материал, микроструктура, условия нагрузки, окружающая среда и температура.

Режим гидрирования с задержкой крекинга полагает, что водород диффундирует и накапливается в области трехосных напряжений наконечника трещины во время медленного распространения трещин. Когда локальное содержание водорода превышает растворимость в твердом теле, гидриды осаждаются на фронте трещины, а гидрид находится под напряжением на кончике трещины. Отделение от матрицы приводит к непрерывному росту трещин до разрушения. Во всех трех типах титановых сплавов, альфа, бета и альфа-бета происходит водородное индуцированное замедленное растрескивание. Влияние водорода на титановом сплаве в основном на статической нагрузке замедленного разрушения, в этой области существует большое количество результатов исследований, а большинство выводов в линии, показывает, что скорость роста трещины (da/dt) содержание водорода в тита. Тем не менее, в динамических условиях, влияние водорода на скорость роста трещины задержки титана (da/dN) нет консенсуса. Саррацин - Baudoux и другие исследования показывают, что сплав Ti-6Al-4V: воздух при комнатной температуре da/dN значительно выше, чем в вакууме da/dN , и явление происходит из-за промотор роста трещины водорода; Nakasa и др Исследования также показывает, что бета образцы титанового сплава предзаряда водород da/dN по всей Δ к гораздо больше, чем ненадутый водороду образец; Lynch, и Суреш др, что в водородсодержащей среде, водород, адсорбированный на

кончике трещины ускорит расширение усталостных трещин, и образец предварительно загружают водородом не оказывает никакого влияния на последующее скорости роста усталостных трещин. Температура оказывает большое влияние на скорость роста водородной трещины титановых сплавов. В более низком температурном диапазоне по мере повышения температуры скорость диффузии водорода ускоряется и распространение трещины происходит быстрее. В более высоких температурных условиях гидридное образование титана является экзотермической реакцией, и увеличение температуры затрудняет зарождение гидроксида, что снижает скорость роста трещины. исследовали индуцированное водородом замедленное разрушение сплава Ti₂Al₂Zr с 11% -ным содержанием водорода при комнатной температуре и 100 ° C. Результаты показывают, что при комнатной температуре скорость распространения трещины da / dt изменяется с коэффициентом интенсивности напряжений. Увеличение K_I возрастает, хотя оно существенно не изменяется при 100 ° C, а критическое значение K_I во время неустойчивого разрушения изменяется с температурой. Для разных титановых сплавов критическая температура, соответствующая максимальной скорости распространения трещины, различна, например, критическая температура Ti-6Al-6V-2Sn составляет 300 К.

Водород диффундирует в низкотемпературные области и области высоких напряжений при градиентах температуры и градиентах напряжений. Эта

диффузия заставляет водород накапливаться локально и создавать гидриды, которые вызывают резкое падение вязкости титанового сплава.

Различные составы чувствительности водородного охрупчивания титанового сплава не совпадают. Увеличение содержания Мо снижает чувствительность водородного охрупчивания титанового сплава в растворе H_2S - CO_2 - Cl . β -фазные титановые сплавы имеют более высокую чувствительность к хрупкости, чем обычные α -титановые сплавы и $\alpha + \beta$ титановые сплавы.

2.2 Способы наводороживания сплавов из титана

Исследователи, изучающие процессы адсорбции и десорбции водорода, помогают в решении многих основных и прикладных задач. Поэтому в области водородной энергетики необходимо изучить материалы для хранения водорода [26]. Изучена максимальная емкость накопления водорода [27], а также условия введения и удаления водорода и количество этих циклов [28]. В атомной энергетике и тех отраслях, где гидридообразующие материалы, такие как сплавы циркония [29], различные марки стали [30] и титановые сплавы [31], подвергаются поглощению водорода и охрупчиванию, необходимо разработать методы предотвращения проникновения водорода. По этой причине на поверхность этих материалов могут воздействовать различные эффекты [32] или наносить защитное покрытие [33]. Исследование этих методов было шито, и эффективность того или иного метода можно сравнить при изучении и сравнении процесса адсорбции водорода образцом до и после нанесения защитного покрытия. Не менее интересным является создание неразрушающих

методов контроля для определения увеличения содержания водорода и образования гидридов в конструкционных материалах. Для этого необходимо подготовить серию образцов с заранее заданными различными концентрациями водорода. Подготовка серии образцов также необходима для изучения основных проблем системы материал - водород [34]. Все эти функции реализованы в модели низкого давления автоматического регулятора газовой реакции (GRC). Проект автоматизированного композитного GRC был разработан командой общей физики в Физико-техническом институте Национального Томского политехнического университета. Внедрение комплекса осуществляется корпорацией передовых материалов. В настоящее время существует два способа улучшения сверхпластичных свойств титановых сплавов с использованием технологии водородной обработки:

(1) Использование пластифицирующего воздействия водорода, добавление соответствующего количества водорода перед сверхпластичным формованием титанового сплава, увеличение доли фазы β в титановом сплаве, снижение напряжения текучести при сверхпластической деформации и улучшение суперпластических свойств титанового сплава.

(2) Микроструктура титанового сплава очищается водородной обработкой, а ультрамелкозернистый титановый сплав изготавливается методом пластической деформации, так что титановый сплав обладает превосходной сверхпластичностью при более низкой температуре деформации и более высокой скорости деформации.

Современная теория сверхпластической деформации утверждает, что скольжение по границам зерен является основной модой сверхпластических деформаций, а дисперсионное и дислокационное движение в зерне и границах зерен являются основными координационными механизмами скольжения по границам зерен. При сверхпластичном формовании титанового сплава в фазе β преобладает диффузионное ползучесть или ползучесть дислокации: в фазе α преобладает проскальзывание границ зерен, координируемое диффузионным и дислокационным движением, поток между фазами α и β равен α . Миграция границы β -фазы завершена. Водород играет главную роль в сверхпластическом формовании титановых сплавов:

(1) Добавление водорода увеличивает диффузионную способность легирующих элементов, что приводит к усилению диффузионного ползучести β -фазы и межфазного скольжения α -фазы.

(2) Диффузия водорода активирует дислокацию пиннинга, способствует миграции и скольжению дислокаций, улучшает способность скольжения зерен β и облегчает координацию дислокаций, необходимую для скольжения границ зерен $\alpha / \alpha + \beta$.

(3) Эффект ослабления водородной связи, уменьшение энергии активации диффузии, повышение способности диффузии атомов и улучшение способности сверхпластического течения.

(4) Из фазовой диаграммы видно, что добавление водорода значительно снижает температуру перехода $\alpha / (\alpha + \beta)$ и увеличивает объемную долю фазы β ,

что непосредственно приводит к улучшению пластичности и уменьшению напряжения текучести, так что титановый сплав можно сравнивать. Сверхпластичное формование при низких температурах деформации и высоких скоростях деформации.

ГЛАВА 3 Материалы и методы исследования

3.1 Материалы и методы для исследований

В работе исследовались образцы, изготовленные методом электронно-лучевого сплавления из порошка Ti-6Al-4V. Размеры образцов были следующие: 10×10×1 мм. Изготовление образцов проводилось на установке, разработанной в ТПУ. Параметры изготовления образцов: ускоряющее напряжение 40 кВ, ток электронно-лучевого сплавления составил 13 мА.

После изготовления поверхность образцов была отшлифована и отполирована с использованием шлифовальной бумаги и алмазных паст.

3.2 Насыщение образцов водородом

Наводороживание экспериментальных образцов проводилось из газовой среды на установке Gas reaction Controller. Параметры эксперимента были следующие: температура в камере 650 °С, давление водорода 1,2 атм., насыщение проводилось до концентраций водорода 0,9 масс.%.

3.3 Измерение микротвердости

Метод определения твердости по Виккерсу был предложен Р. Л. Смитом и С. Э. Сэндлендом в 1925 г. Британская компания Vickers-Armstrong заказала первый твердомер, который будет испытан таким образом. Поэтому этот метод испытаний называется методом твердости по Виккерсу, а твердомер для выполнения такого испытания на твердость называется твердомером по

Виккерсу. Испытательная сила теста на твердость по Виккерсу расширяется в небольшом направлении, и происходит испытание на твердость по Виккерсу и микро-Виккерсу при небольшой нагрузке. Твердость по Виккерсу обычно делится на следующие три типа в зависимости от испытательной силы:

Виккерс: $F \geq 49.03\text{N}$ (HV5 или выше)

Vickers малой нагрузки: $1.961\text{N} \leq F \leq 49.03\text{N}$ (HV0.2 до HV3)

Микро Виккерс: $F \leq 1,961\text{N}$ (HV0,2 или менее)

---- При фактическом использовании, особенно в конструкции твердомера Виккерса, испытательное усилие часто пересекается в соответствии с простотой использования, и разделение не очень строгое. Если не указано иное, следующее совместно обозначается как: испытание на твердость по Виккерсу.

Принцип твердости по Виккерсу в основном такой же, как и по твердости по Бринеллю, за исключением того, что индентор использует алмазный положительный четырехугольный пирамидальный индентор. Угол между двумя противоположными сторонами квадратной пирамиды составляет 136° , а нижняя поверхность - квадратная. Основным принципом испытания на твердость по Виккерсу является квадратная пирамида с ромбами с углом противоположных граней 136° (два противоположных угла $148^\circ 6'42''$). Индентор вдавливается в поверхность образца под определенным испытательным усилием. Через определенный промежуток времени испытательное усилие снимается, и измеряется диагональная длина углубления. Испытательное усилие делится на частное с отступом площади поверхности. Значение твердости.

Твердость по Виккерсу рассчитывается как

$$HV = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2},$$

В формуле:

HV - значение твердости по Виккерсу (кгс / мм²)

F — Испытательное усилие (кгс)

S — Зубчатая поверхность конуса (мм²)

D — средняя длина диагонали отступа (мм)

Θ — Угол между противоположными гранями индентора (136 °)

HV используется как знак единицы твердости по Виккерсу. Поскольку значение твердости связано с условиями испытаний, основные условия испытаний отмечены после HV. Число перед HV обозначает значение твердости. Первое число после HV обозначает испытательное усилие (кгс), а второе число обозначает время нагрузки, отличающееся от 10 до 15 с (от 10 до 15 с - стандартное время испытательной нагрузки). Например:

440HV10 означает, что значение твердости по Виккерсу, измеренное через 10-15 с при испытательном усилии 10 кгс, составляет 440.

440HV10 / 30 означает, что значение твердости по Виккерсу, измеренное при удержании испытательного усилия 10 кгс в течение 30 с, равно 440.

Твердость по Виккерсу имеет много преимуществ

По сравнению с испытаниями на твердость по Бринеллю и Роквеллу, испытание на твердость по Виккерсу имеет широкий диапазон измерений, от

мягких материалов до сверхтвердых материалов, охватывающих практически все виды материалов;

Испытание на твердость по Виккерсу имеет сходство, что делает выбор испытательного усилия более гибким;

Поскольку контур выемки четкий, при измерении длины диагонали точность выравнивания высока, и, следовательно, точность измерения твердости высока;

Микротвердость по Виккерсу имеет небольшое испытательное усилие, так что можно измерить твердость особенно маленького испытательного образца.

Тест на твердость по Виккерсу особенно подходит для измерения твердости тонких деталей, мелких деталей и покрытий, науглероживания, азотирования и т. Д. В точных приборах. Микротвердость по Виккерсу в большей степени позволяет измерить твердость металлографической структуры материала и хрупкого материала из-за его относительно небольшой испытательной силы.

3.4 Исследование микроструктуры и фазового состава титановых образцов

Структура поверхности образцов исследовалась методом оптической микроскопии на микроскопе МЕТАМ ЛВ, с помощью сканирующей электронной микроскопии на микроскопе и методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре Shimadzu 7000S.

Подготовка образцов проводилась в следующем порядке: сначала проводилась шлифовка, затем полировка образцов. Для выявления микроструктуры проводилось травление в растворе Кролла.

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)	Ли Пай

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 проведение экспериментов	НР, И	НР – 100% 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:

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

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

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

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

$$T_{\text{рд}} = \frac{t_{\text{ож}}}{K_{\text{вн}}} \cdot K_{\text{д}} \quad (5.2)$$

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

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

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

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

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

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

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

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

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_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	$T_{рд}$		$T_{кд}$	
					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	3	75
Итого:				5615

Транспортно-заготовительные расходы -5% т.е.

$$\text{Затраты} = 5615 * (1 + 0,5) = 5895.75 \text{ руб.}$$

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:

$$КПР = 1,1; \text{ Кдоп.ЗП} = 1,188; \text{ Кр} = 1,3.$$

Поэтому необходимо добавить тарифы к базовой зарплате и оценить

соответствующий коэффициент. Формула для расчета коэффициента выглядит следующим образом

$$K_i = K_{PP} * K_{доп.ЗП} * K_p = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699.$$

Таблицы 5.5 Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	ежедневная 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.

$$C_{соц.} = C_{зп} * 0,3 = 208426,8 * 0,3 = 62528 \text{ руб.}$$

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:

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

где $P_{об}$ – мощность кВт;

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

$C_{э}$ – цена на 1 кВт·час; $C_{э} = 5,748 \text{ руб./кВт.час}$ (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 $t_{об}$ определяется путем прямого учета, особенно если использование соответствующего оборудования ограничено.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном.} * K_C$$

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

$K_C = 1$ (оборудование малой мощности).

Результаты расчета стоимости электроэнергии следующие таблице

Таблице 5.6

№ п/п	Наименование оборудования	Время работы тоб (ч)	Потребляемая Мощность P _{об} (кВт)	Цена единицы оборудования, Ц _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 многоканального анализа	648	0,2		744,9
7	Монитор	110	0,09		56,9
8	3D-принтеры СЛС/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

№ 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 СЛС	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	$C_{\text{мат}}$	5615
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:	,	297746,75

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 297746,75$ руб.

5.2.8 Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и ком-мерциализации, 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 промышленного применения. Следовательно, оценка их экономической эффективности невозможна.

Глава 6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Процесс 3D-печати делится на два этапа: 1) сначала осуществляется нанесенВыпускная квалификация проводилась на кафедре экспериментальной физики Томского политехнического университета. Эта работа является исследовательской работой, направленной на расширение, углубление и систематизацию знаний о конкретных научных проблемах и создание научных резервов. Данная работа посвящена изучению взаимодействия водорода с Ti-6Al-4V, который получают электронно-лучевой плавкой. Все работы (шлифование, измерение твердости, микроструктура) проводились в лаборатории подвала здания ТПУ 3. В этом разделе рассматриваются факторы опасности и риска, влияющие на персонал лаборатории, и разрабатываются требования безопасности на рабочем месте и ряд защитных мер. Этот раздел также включает разделы об охране окружающей среды и чрезвычайных ситуациях..

6.1 Производственная безопасность.

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

Таблица 6.1. Опасные и вредные факторы при выполнении работ по оценке технического состояния подводного перехода нефтегазопровода

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Полевые работы: 1) Подготовка образцов; 2) Исследование взаимодействия водорода с титаном; 3) Способы наводороживания сплавов из титана 4) Анализ полученных результатов;	1. Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе; 2. Превышение уровней шума и вибрации; 3. Повышенная загазованность воздуха рабочей среды.	1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; 2. Электрический ток.	Приводятся нормативные документы, которые регламентируют действие каждого выявленного фактора с указанием ссылки на список литературы. Например, параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96 [1].

Основная часть государственной системы стандартизации устанавливает требования и нормы по видам опасных и вредных производственных факторов.

Для анализа и профилактики производственного травматизма профессиональной заболеваемости важное значение имеет классификация их причин. Несчастные случаи возникают в процессе неудовлетворительных условий труда в результате действия опасных и вредных производственных факторов.

При анализе производственного травматизма и профессиональных заболеваний необходимо учитывать весь комплекс факторов, воздействующих на формирование безопасных условий труда.

Главными задачами анализа вредных и опасных факторов является установление закономерностей, вызывающих несчастные случаи, и разработка на основе этой закономерности эффективных профилактических мероприятий.

Можно выделить две группы факторов: производственно-технологические или объективные человеческие, к которым относятся:

- все работающие (движущиеся) части станков, машин или цеховой транспорт, а также острые кромки и заусенцы деталей, заготовок, инструмента и оборудования

- запыленность и загазованность цеха или рабочей зоны

- некомфортный микроклимат цеха или участка

- повышенная температура оборудования или материалов

- повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте или в цехе

- отсутствие или недостаток естественного освещения и недостаточность искусственного освещения цеха и рабочего места

- электрическое оборудование токоведущие провода и кабели

- наличие вредных и токсичных веществ

6.1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.

Работающее оборудование, перемещаемые детали заготовки, цеховой транспорт, а также наличие острых кромок заусенцев на деталях, заготовках, инструменте и оборудовании является источником производственного травматизма – порезов ушибов переломов и т.д. Оборудование при работе выделяет тепло, и разогретый металл при обработке служит источником ожогов и тепловых травм. Все токоведущее и токопоглощающее оборудование при не соблюдении техники безопасности работы на нем может привести к поражению электрическим током.

Одним из вредных веществ, часто находящимся в воздухе машиностроительных цехов является пыль, представляющая собой мельчайшие частицы твердого вещества. Пыль, способная некоторое время находиться в воздухе во взвешенном состоянии, называется аэрозолью, в отличие от осевшей пыли, называемой аэрогелью. Пыль оказывает вредное действие главным образом на дыхательные пути и легкие. В зависимости от ее состава и вида может оказывать также неблагоприятные воздействия на кожу и глаза. К ядовитой или токсичной относятся свинцовая, марганцевая, хромовая и др. Эта пыль, попадая в организм или оседая на коже, может вызвать острое или хроническое отравление.

По дисперсности (степень измельченности) различают пыль: крупнодисперсную – частицами размером более 10 мкм; среднедисперсную – частицами размером от 10 до 5 мкм, мелкодисперсную и дым с частицами размером мене 5 мкм. Мелкодисперсная пыль представляет для организма наибольшую опасность.

Вредные вещества (пары, газы, пыль), находящиеся в воздухе производственных помещений, через дыхательные пути, пищевой тракт могут попасть в организм человека и при определенных условиях вызвать острые и хронические отравления, а также, при выделении в атмосферу при постоянном воздействии и повышенной концентрации приводит к загрязнению окружающей среды

Важнейшее значение для нормальной жизнедеятельности человека имеет наличие чистого воздуха, необходимого химического состава и имеющего оптимальные температуру, влажность и скорость движения.

В производственных помещениях при работе станков, машин, оборудования, от технологического процесса и нахождения работающих людей могут выделяться избыточное количество тепла и влаги, а также загрязняющих воздух газов, паров, пыли.

Длительное воздействие шума на человека может привести к частичной потере слуха, повышению кровяного и внутреннего давления, общей утомляемости и увеличению опасности травматизма. Воздействие вибрации оказывает патологическое воздействие на весь организм человека, вызывая общую утомляемость и снижение внимания, и как следствие травматизм при работе, а также хронические профессиональные заболевания.

6.1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

Одним из вредных производственных факторов, действующих в цехах сервисного центра сельскохозяйственной техники является шум и вибрация. При разработке технологического процесса, при организации рабочих мест следует принимать все необходимые меры по снижению шума, до значений не превышающих допустимые (по ГОСТ 12.1.003-86) применением средств индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051-78. В качестве средств индивидуальной защиты используют вкладыши, наушники, шлемы.

Средства и методы коллективной защиты от шума делятся на акустические, архитектурно-планировочные, организационно-технические.

К организационно-техническим методам защиты относятся применение малошумных технологий, оснащение шумных машин дистанционным управлением, использование рациональных режимов труда и отдыха.

Архитектурно-планировочные методы защиты от шума включают в себя рациональные акустические решения планировок зданий, рациональное размещение технологического оборудования, машин и механизмов.

Для устранения шума и вибрации в цехе применяются следующие мероприятия:

- а) Станки, установленные на фундаменты, виброизолированные от конструкции здания;
- б) Электродвигатели станков, установленные на демпфирующие прокладки;
- в) Сопряжение всасывающих и выхлопных воздухопроводов производится при помощи гибких патрубков.

Микроклимат производственных помещений - климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека

сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей.

В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 значения температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха устанавливаются для рабочей зоны производственных помещений в зависимости от категории тяжести выполняемой работы, величины избытков явного тепла, выделяемого в помещении, и периода года.

Во всех случаях в воздухе, поступающем внутрь зданий и сооружений через приемные отверстия систем вентиляции и через проемы для естественной приточной вентиляции, содержание вредных веществ не должно превышать 30% ПДК, установленных для рабочей зоны производственных помещений.

Требуемое состояние воздуха рабочей зоны может быть обеспечено выполнением определенных мероприятий:

1.Механизация и автоматизация производственных процессов, дистанционное управление ими.

2.Применение технологических процессов и оборудования, исключающих образование вредных веществ или попадания их в рабочую зону.

3.Большое значение для оздоровления воздушной среды имеет надежная герметизация оборудования, в котором находятся вредные вещества.

4.Защита от источников тепловых излучений.

5.Устройство вентиляции и отопления.

Вытяжная вентиляция устанавливается на рабочем месте заточки инструмента, а также на рабочем месте электросварщика.

В качестве индивидуальных средств защиты у каждого рабочего должны быть защитные очки. Для удаления стружки из рабочей зоны станка – специальные крючки.

В проектируемом цехе установлено большое количество электрооборудования. Чтобы избежать поражения работающих электрическим током, оборудование необходимо заземлить.

Контурное заземляющее устройство характеризуется тем, что его одиночные заземлители размещаются по контуру площади, на которой находится заземляемое оборудование. Безопасность при контурном заземлении обеспечивается выравниванием потенциала на защищаемой территории до такой величины, чтобы максимальное значение напряжений прикосновения и шага не превышали допустимых. Это достигается путем соответствующего размещения одиночных заземлителей.

Для защиты от поражения электрическим током также применяют зануление и защитные отключающие устройства.

Занулением называется присоединение к неоднократно заземленному проводу «нулевому» питающей сетки корпусов и других металлических частей электрооборудования, которые не находятся под напряжением, но вследствие повреждения изоляции могут оказаться под напряжением.

6.2 Экологическая безопасность.

6.2.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

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. Другие металлы, когда подвергаются действию загрязняющих веществ окружающей среды, разъедаются или разрушаются от коррозии и выделяют ионы металла в грунтовые воды, что является причиной возникновения проблем в окружающей среде. С учетом обязательств, связанных со "спецификацией по строительству без вреда окружающей среде", преимуществами титана считаются его наибольшая степень инертности и наибольший срок службы по сравнению со всеми остальными архитектурными металлами.

Однако во время эксперимента используется водород. Утечка водорода может вызвать взрыв.

6.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.

Таблица 6.2 - Анализ возможных ЧС

Чрезвычайная ситуация	Источники ЧС	Последствия ЧС
1	2	3
Пожар	Пожар, разрушение машин, ожоги, отравления продуктами горения, опасность взрывов, летальные исходы	
Ураганный ветер	Природный фактор	Разрушение машин, зданий, травмирование и раздавливание людей летающими предметами и их осколками, опасность взрыва, летальные исходы, обрыв линии электропередач
Ливневые дожди	Природный фактор	Затопление территории предприятия, разрушение зданий, летальные исходы

6.3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.

К возникновению ЧС могут привести полное или частичное разрушение технологического оборудования.

К основным причинам и факторам, связанным с отказами оборудования относятся:

- опасности, связанные с технологическими процессами;
- физический износ, коррозия, механические повреждения, температурные деформации оборудования или трубопроводов;
- ошибки обслуживающего персонала.

Основными причинами выбросов и утечек нефти могут быть:

- превышение рабочего давления;
- разрушение (полное или частичное) трубопроводов, оборудования и сооружений;
- отказы оборудования и технологических устройств.

Рассматриваются наиболее опасные варианты развития аварии:

- для технологических трубопроводов - связанные с порывом трубопровода на участке с максимальным давлением;
- для насосных - связанные с полным разрушением насоса.

6.3.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.

Организационные мероприятия касаются области управления ЧС. К ним относится планирование, комплексные проверки состояния объектов ГО, проведение на предприятиях контроля состояния сил и средств на предприятиях, установление персональной ответственности за проведение тех или иных видов работ, направленных на повышение надежности функционирования объекта в условиях ЧС и т.п.

Организационные мероприятия касаются области управления ЧС. К ним относится планирование, комплексные проверки состояния объектов ГО, проведение на предприятиях контроля состояния сил и средств на предприятиях, установление персональной ответственности за проведение тех или иных видов работ, направленных на повышение надежности функционирования объекта в условиях ЧС и т.п.

Мероприятия по минимизации потерь населения:

Технические:

1. Ведение контроля за системой молниезащиты, за системой пожаробезопасности.

2. Ведение строгого контроля за условиями хранения химически опасного вещества.

3. Хранение СД и ЯВ в специализированных резервуарах и установка на них приборов регистрирующих изменение параметры состояния вещества - в случае разгерметизации срабатывают сигнальные устройства.

4. Ограждение площадки с резервуаром (место хранения) заградительной полосой (нейтрализация), в случае растекания вещества, размер зоны растекания не выйдет за пределы площадки, вещество будет нейтрализовано и утилизировано.

Организационно – технические:

1. Установление персональной ответственности за проведение тех или иных видов работ, которые могут вызывать риск возникновения ЧС.

2. Установление ответственности за проведение работ по эвакуации работников предприятия при локализации аварии.

3. Использование сорбента и металлической пены при разливе СД и ЯВ.

4. Ведение работ по прогнозированию возникновения химической опасности.

5. Проведение учений для отработки действий при локализации ЧС.
6. Обучение персонала методам активной защиты и использование СИЗ при возникновении ЧС.
7. Разработка инструкций к действиям для работников при возникновении ЧС.

6.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

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

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.

При работе с вредными условиями труда работникам выдаются бесплатно по установленным нормам молоко или другие равноценные пищевые продукты. Выдача работникам по установленным нормам молока или других равноценных пищевых продуктов по письменным заявлениям работников может быть заменена компенсационной выплатой в размере, эквивалентном, стоимости этих продуктов, если это предусмотрено коллективным договором и (или) трудовым договором.

Федеральный государственный надзор за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, осуществляется федеральной инспекцией труда в порядке, установленном Правительством Российской Федерации.

Государственный контроль (надзор) за соблюдением требований по безопасному ведению работ в отдельных сферах деятельности 78

осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации уполномоченными федеральными органами исполнительной власти.

Ведомственный контроль за охраной труда проводят министерства и ведомства, которые контролируют внутриведомственное соблюдение законодательства о труде. Для этого создают специальные службы охраны труда в виде отделов с аппаратом инженеров по охране труда, санитарных врачей и других специалистов.

Профсоюзный общественный контроль за охраной труда осуществляют общественные инспектора и комиссии по охране труда комитетов профсоюзов. Для исключения возможности несчастных случаев должны проводиться обучение, инструктажи и проверка знаний работников требований безопасности труда.

6.4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

Персонал допускается к работе только в спецодежде и средствах индивидуальной защиты. На рабочем месте должны быть запасы сырья и материалов, не превышающие сменную потребность. Необходимо знать специфические свойства применяемых веществ и соблюдать установленные правила работы с ними. Производственный процесс должен быть организован так, чтобы не допускать выделения в воздух рабочей зоны пыли и вредных веществ. Все эксплуатируемые электроустановки должны соответствовать требованиям «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей», и др. нормативных документов. 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 79 загромождения рабочих мест, проходов, выходов из помещений и здания, доступа к противопожарному оборудованию .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведены исследования влияния водорода на микроструктуру, фазовый состав и твердость сплава Ti-6Al-4V, изготовленного электронно-лучевым сплавлением. В результате проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

1. Внедрение водорода в образцы приводит к измельчению микроструктуры сплава Ti-6Al-4V, изготовленного методом электронно-лучевого сплавления.
2. Установлено, что с ростом содержания водорода в образцах происходит увеличение микротвердости титанового сплава на 18%, по сравнению с ненасыщенными образцами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Duda.T and Raghavan LV. 3D Metal Printing Technology: AI and Society ,2016-33c
2. Huang L J , Geng L , Li A B , et al. Characteristics of hot compression behavior of Ti–6.5Al–3.5Mo–1.5Zr–0.3Si alloy with an equiaxed microstructure//Materials Science & Engineering: A (Structural Materials: Properties, Microstructure and Processing), 2009-505c
3. Madina V Azkarate I., Compatibility of materials with hydrogen. Particular case: hydrogen embrittlement of titanium alloys. / Madina V Azkarate I // Hydrogen Energy-2009.-Vol.34- Issue 14.- P.5976-5980
4. Hardie D , Ouyang S . Effect of hydrogen and strain rate upon the ductility of mill-annealed Ti6Al4V/ Hardie D.// Corrosion Science-1999-No41(1)- P. 0-177.
5. Eliezer D , T.H. Böllinghaus. 18 – Hydrogen effects in titanium alloys/ Eliezer D // Gaseous Hydrogen Embrittlement of Materials in Energy Technologies,- 2012-P.668-706.
6. Gaddam R, Hornqvist M, Antti ML, Pederson R. Influence of high-pressure gaseous hydrogen on the low-cycle fatigue and fatigue crack growth properties of a cast titanium alloy / Gaddam R//.Mater Sci Eng,-2014-Vol.133-P.362-378
7. Mishin I P , Grabovetskaya G P , O. V. Zabudchenko.... Influence of Hydrogenation on Evolution of Submicrocrystalline Structure of Ti–6Al–4V Alloy upon Exposure to Temperature and Stress/ Mishin.I.P//Russian Physics Journal- 2014-Vol.57- Issue 4 - P.423-428.
8. Yilbas B S , Coban A , Kahraman R , et al. Hydrogen embrittlement of Ti-6Al-4V alloy with surface modification by TiN coating/ Yilbas B S. // International Journal of Hydrogen Energy-1998-Vol23(6)-P.483-489.
9. Livanov VA, Kolachev BA, Buhanova AA. Hydrogen embrittlement of titanium and its alloys/ Livanov VA//.Sci Technol ApplTitan-1970-P.561-576.

10. Campanelli LC, da Silva PSCP, Jorge Jr AM, Bolfarini C. Effect of hydrogen on the fatigue behaviour of the near- β Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr alloy/ Campanelli LC//Scripta Mater-2017;Vol.132-P.39-43.
11. Zong Y, Wu K. Thermo hydrogen treatment for microstructure refinement and mechanical properties improvement of Ti-6Al-4V alloy/ Zong Y//Mater Sci Eng, -2017-No.703-P.30-37.
12. Liu Z, Li J, Ruan Q, et al. Probing the optimal thermohydrogen processing conditions of titanium alloy shavings via chemisorption method/ Liu Z. //International Journal of Hydrogen Energy-2018. No.45-Vol-207 P.83-94.
13. Murzinova MA, Salishchev GA, Afonichev DD. Formation of nanocrystalline structure in two-phase titanium alloy by combination of thermohydrogen processing with hot working/ Murzinova MA. // Hydrogen Energy -2002-No.27-Vol.7-P.75-82
14. Cao Z, Ouyang L, Wang H, Liu J, Sun D, Zhang Q, Zhu M. Advanced high-pressure metal hydride fabricated via Ti-Cr-Mn alloys for hybrid tank/ Cao Z. // Hydrogen Energy-2015-No.40-Vol.27-P.17-28.
15. Wang JY, Jeng RR, Nieh JK, Lee S, Lee SL, Bor HY. Comparing the hydrogen storage alloys-TiCrV and vanadium-rich TiCrMnV/ Wang JY // Hydrogen Energy – 2007-No.32(16)-Vol.39-P.59-64.
16. Murashkina TL, Syrtanov MS, Laptev RS, Lider AM. Cyclic stability of the C36-type TiCr₂Laves phase synthesized in the abnormal glow discharge plasma under hydrogenation / Murashkina TL // Hydrogen Energy-2019-Vol.67-P.09-19.
17. Ouyang LZ, Cao ZJ, Wang H, Liu JW, Sun DL, Zhang QA, Zhu M. Enhanced dehydrogenation thermodynamics and kinetics in Mg(In)-MgF₂ composite directly synthesized by plasma milling/Ouyang LZ // J Alloy Comp-2014-P.20-31
18. Ouyang LZ, Cao ZJ, Li LL, Wang H, Liu JW, Min D, Chen YW, Xiao FM, Tang RH, Zhu M. Enhanced high-rate discharge properties of La_{11.3}Mg_{6.0}Sm_{7.4}Ni_{61.0}Co_{7.2}Al_{7.1} with added graphene synthesized by plasma milling /Ouyang LZ // Hydrogen Energy-2014-No.39-Vol.127-P.65-72

19. Romero G , Lv P , Huot J . Effect of ball milling on the first hydrogenation of TiFe alloy doped with 4 wt% (Zr + 2Mn) additive/Romero G // Journal of Materials Science-2018-No.53-Vol.19-P.1-7.
20. Zhu C, Hosokai S, Akiyama T. Direct synthesis of MgH₂ nanofibers from waste Mg /Zhu C // International Journal of Hydrogen Energy-2012-No.37-P.79-87
21. Murr LE. Metallurgy of additive manufacturing: examples from electron beam melting / Murr LE // Addit Manuf – 2015-Vol.5-P.40-53.
22. Dutta B, Froes FH. The Additive Manufacturing (AM) of titanium alloys /Dutta B //Met Powder Rep-2017-Vol.72: P.96-106.
23. Silverstein R, Eliezer D. Hydrogen trapping in 3D-printed (additive manufactured) Ti-6Al-4V/ Silverstein R //Mater Char-2018-Vol.144-P.79-87
24. Baek SW, Song EJ, Kim JH, Jung M, Baek UB, Nahm SH. Hydrogen embrittlement of 3-D printing manufactured austenitic stainless steel part for hydrogen service /Baek SW //Scripta Mater – 2017-Vol.130-P.87-90.
25. Bilgin GM, Esen Z, Akin SK, Dericioglu AF. Optimization of the mechanical properties of Ti-6Al-4V alloy fabricated by selective laser melting using thermohydrogen processes /Bilgin GM //Mater Sci Eng, A – 2017-Vol.5-P.74-82.
26. Rather S., Mehraj-ud-din N., Zacharia R., Hwang S.W., Kim A.R., Nahm K.S. Hydrogen storage of nanostructured TiO₂-impregnated carbon Nanotubes /Rather S // International Journal of Hydrogen Energy-2009-Vol. 1-P.61–66.
27. Zacharia R., Kim K.Y., Hwang S.W., Nahm K.S. Intrinsic linear scaling of hydrogen storage capacity of carbon Nanotubes with the specific surface area /Zacharia R // Catalysis Today-2007-Vol.4-P.26–31.
28. Srinivas G., Sankaranarayanan V., Ramaprabhu S. Kinetics of hydrogen absorption in Ho_{1-x}MmxCo₂ alloys /Srinivas G // Journal of Alloys and Compounds -2008-Vol.1-P.59–65.
29. McRae G.A., Coleman C.E., Leitch B.W. The first step for delayed hydride cracking in zirconium alloys/ McRae G.A // Journal of Nuclear Materials – 2010-Vol.1-P.30–43.

30. Dong C.F., Liu Z.Y., Li X.G., Cheng Y.F. Effects of hydrogen-charging on the susceptibility of X100 pipeline steel to hydrogen-induced cracking /Dong C.F // International Journal of Hydrogen Energy-2009-Vol.98 - P.79–84.

31. Madina V., Azkarate I. Compatibility of materials with hydrogen. Particular case: hydrogen embrittlement of titanium alloys / Madina V // International Journal of Hydrogen Energy-2009-Vol.59-P.76–80.

32. Pushilina N.S., Stepanova E.N., Berezneeva E.V., Lider A.M., Chernov I.P., Ivanova S.V. Effect of pulsed electron beam treatment and hydrogen on properties of zirconium alloy /Pushilina N.S // Applied Mechanics and Materials-2003-Vol-P.66–71.

33. Denis Levchuk, Harald Bolt, Max Dobeli, Simon Eggenberger, Beno Widrig, Jurgen Ramm. Al-Cr-O thin films as an efficient hydrogen barrier /Denis Levchuk // Surface & Coatings Technology -2008-Vol.50-P.43–47.

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

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

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

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

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

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

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

41. ГОСТ Р 57552-2017 Техника пожарная. Извещатели пожарные

мультикритериальные. Общие технические требования и методы испытаний

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

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