

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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Влияние покрытия TiN на сорбцию водорода и механические свойства титанового сплава Ti-6Al-4V, изготовленного методом электронно-лучевого сплавления

УДК 669.295.5.081:669.788

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б61	Сунь Тяньи		

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	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мезенцева Ирина Леонидовна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Запланированные результаты обучения по программе

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

	культуры.	
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 ФГОСЗ+ (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 ФГОСЗ+ (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 ФГОСЗ+ (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 практике методы управления в сфере природопользования	Требования ФГОСЗ+ (ПК-6, ПК-7, ПК-8)
Р9	<u>Педагогически-просветительская</u> Проектировать, организовывать, анализировать педагогическую деятельность, владеть	Требования ФГОСЗ+ (ПК-9)

	последовательностью изложения материала с использованием междисциплинарных связей физики с другими дисциплинами, участвовать в информационно-образовательных мероприятиях по пропаганде и распространению научных знаний	
--	--	--

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Лидер А.М.
 (Подпись)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
150Б61	Сунь Тяньи

Тема работы:

Влияние покрытия TiN на сорбцию водорода и механические свойства титанового сплава Ti-6Al-4V, изготовленного методом электронно-лучевого сплавления	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	26.05.2020 г., №147-52/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

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

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Обзор литературных источников; – Подготовка образцов; – Исследование фазового состава образцов; – Измерение твердости по Виккерсу; – Исследование микроструктуры образцов; – Исследование распределения элементов; – Исследование сорбции водорода; – Анализ полученных результатов; – Заключение.
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

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

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.09.2019 г
---	--------------

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
150Б61	Сунь Тяньи		

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

Студенту:

Группа	ФИО
150Б61	Сунь Тяньи

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение школы (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02 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>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>-30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Анализ конкурентных технических решений; Анализ по технологии QuaD; SWOT-анализ.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Формирование плана и графика разработки: - Организация работ НИ; - определение структуры работ в рамках НИ; - определение трудоемкости выполнения работ; - разработка диаграммы Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - расчет материальных затрат; - расчет заработной платы; - отчисления во внебюджетные фонды; - расчет накладных расходов; - формирование сметы затрат НИ.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>- расчет интегрального показателя ресурсоэффективности</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности НИ
2. Анализ QuaD
3. Матрица SWOT
4. Диаграмма Гантта
5. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б61	Сунь Тяньи		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
150Б61	Сунь Тяньи

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

Тема ВКР:

<p>Влияние покрытия TiN на сорбцию водорода и механические свойства титанового сплава Ti-6Al-4V, изготовленного методом электронно-лучевого сплавления</p>
--

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Прибор: MicroVickers HV-1000, дифрактометр XRD-7000S, микроскоп, Gas Reaction Controller; Методика: метод по Виккерсу. Рабочая зона: лаборатория H₂ (Учебный корпус № 3) .; Материал: титановый сплав VT6 Область применения: Аэрокосмическая система</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>По данной теме рассматриваются законодательный и нормативные документы:</p> <p>Документы по воздействию ПЭВМ:</p> <p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)</p> <p>СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*</p> <p>Оценка условий труда на рабочем месте инженера-электронщика/Уфа 2007г.</p> <p>Санитарные нормы микроклимата производственных помещений*(утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 31 марта 1986 г. № 4088-86)</p> <p>ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений.</p> <p>ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.</p> <p>ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и</p>
--	--

	<p>вредные производственные факторы. Классификация</p> <p>ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования</p> <p>ГОСТ Р 57552-2017 Техника пожарная. Извещатели пожарные мультикритериальные. Общие технические требования и методы испытаний</p> <p>ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.</p> <p>ГОСТ Р 22.0.03-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения</p>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды</p> <p>2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.</p>	<p>– Отклонение показателей микроклимата</p> <p>– Превышение уровня шума</p> <p>– Недостаточная освещенность рабочей зоны</p> <p>– Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>– в данной работе отходами являются металлические порошки, полученные вследствие чистки камеры и других компонентов установки.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Типичная ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Пожар – Затопление <p>Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Эпидемия

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б61	Сунь Тяньи		

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)
29.11.2019	Аналитический обзор литературы	10
27.12.2019	Подготовка образцов титанового сплава Ti-6Al-4V с различным состоянием поверхности	15
28.02.2020	Исследование влияния покрытия на структуру материала.	20
30.04.2020	Исследование влияния покрытия на твердость, износостойкость и сорбцию водорода образцами титанового сплава. Анализ и обобщение полученных результатов.	20
25.05.2020	Социальная ответственность	15
25.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2020	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., профессор		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 87 страницы, 16 рисунков, 19 таблиц, 35 литературный источник, 0 приложений.

Ключевые слова: титановый сплав, покрытие, микротвердость, микроструктура, водород.

Объектом исследований являлся титановый сплав Ti-6Al-4V, изготовленный методом электронно-лучевого сплавления (ЭЛС), с покрытием TiN. Проведено исследование изменений микроструктуры и свойств титанового сплава Ti-6Al-4V в результате нанесения покрытия, исследовано влияние покрытия на поглощение водорода титановым сплавом.

Целью работы: Определить влияние покрытия TiN на сорбцию водорода и механические свойства титанового сплава Ti-6Al-4V. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Исследовать микроструктуру и фазовый состав титанового сплава ЭЛС Ti-6Al-4V с покрытием TiN.
2. Исследовать влияние покрытия TiN на твердость, износостойкость сплава Ti-6Al-4V, изготовленного методом ЭЛС .
3. Установить влияние покрытия TiN на сорбцию водорода титановым сплавом Ti-6Al-4V, изготовленного методом ЭЛС.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	15
ГЛАВА 1. МЕТОДЫ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНА.....	17
1.1 Микроструктура и механические свойства титановых сплавов.....	18
1.2 Основные виды защитных покрытий на титановых сплавах.....	22
ГЛАВА 2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДОРОДА С ТИТАНОВЫМИ СПЛАВАМИ.....	25
2.1 Влияние микроструктуры на поглощение водорода сплавами на основе титана.....	25
2.2 Влияние водорода на механические свойства титановых сплавов.....	26
ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	34
3.1 Материал для исследований.....	34
3.2 Метод нанесения покрытия.....	34
3.3 Газофазное насыщение водородом.....	34
3.4 Исследование микроструктуры и фазового состава образцов.....	35
3.5 Измерение микротвердости.....	36
3.6 Метод одноосного растяжения образцов.....	38
ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ ПОКРЫТИЯ TiN НА СОРБЦИЮ ВОДОРОДА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti-6Al-4V.....	39
4.1 Влияние покрытия на микроструктуру и фазовый состав сплава Ti-6Al-4V.....	39
4.2 Влияние покрытия TiN на твердость, износостойкость, образцов сплава Ti-6Al-4V, изготовленного ЭЛС.....	43
4.3 Закономерности поглощения водорода из газовой среды образцами сплава Ti-6Al-4V с покрытием TiN.....	44
ГЛАВА 5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ,	

РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	45
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	45
5.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	45
5.1.2. Анализ конкурентных технических решений.....	46
5.1.3 Определение трудоемкости работ.....	52
5.1.4 Технология QuaD.....	53
5.2. Планирование научно-исследовательских работ.....	54
5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	54
5.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	58
5.3.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	61
5.3.2 Затраты на оборудование.....	63
5.3.3 Расчет основной и дополнительной заработной платы.....	63
5.3.4 Расчет затрат на научные и производственные командировки...	66
5.3.5 Контрагентные расходы.....	66
5.3.6 Накладные расходы.....	67
5.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	67
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	69
ГЛАВА 6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	70
Введение.....	70
6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	70
6.1.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	70
6.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей	

зоны.....	71
6.2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды.....	72
6.2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.....	74
6.3 Экологическая безопасность.....	78
6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	79
6.5 Расчет воздухообмена в жилых и общественных помещениях.....	82
Заключение.....	83
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	84

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время титановые сплавы являются очень важным материалом, который широко используется в судостроении, авиации, медицине, химии и других областях. Поскольку сплавы на основе титана обладают отличной коррозионной стойкостью и ударной вязкостью, малым весом и могут нормально работать в условиях высокой температуры.

Однако поверхностные свойства титановых сплавов не всегда соответствуют отраслевым потребностям, таким как трибологические свойства. Поэтому, как улучшить поверхностные свойства титановых сплавов стало важной проблемой в материаловедении. Известно, что в значительной степени качество поверхностного слоя определяет износостойкость, прочность, коррозионную стойкость и другие эксплуатационные свойства металлических изделий. Поэтому мы берем способ нанесения покрытия на титановый сплав, чтобы улучшить характеристики титанового сплава. Исследование и создание способов нанесения защитных покрытий на металлы являются одним из важнейших направлений физики конденсированного состояния. Особенно актуальны данные разработки для защиты титановых сплавов от воздействия водорода.

Проникновение водорода оказывает существенное влияние на физико-механические свойства титановых сплавов. Высокое содержание водорода значительно снижает механические свойства большинства инженерных материалов. Кроме того, даже относительно низкая концентрация водорода может привести к разрушению материала, если водород улавливается вокруг структурных дефектов и локальные концентрации превышают критическое значение. Проведено исследование изменений микроструктуры и свойств титанового сплава Ti-6Al-4V в результате нанесения покрытия, исследовано влияние покрытия на поглощение водорода титановым сплавом.

Целью работы: Определить влияние покрытия покрытия TiN на сорбцию водорода и механические свойства титанового сплава Ti-6Al-4V,

изготовленного методом электронно-лучевого сплавления (ЭЛС). Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Исследовать микроструктуру и фазовый состав титанового сплава ЭЛС Ti-6Al-4V с покрытием TiN.

2. Исследовать влияние покрытия TiN на твердость, износостойкость сплава Ti-6Al-4V, изготовленного методом ЭЛС.

3. Установить влияние покрытия TiN на сорбцию водорода титановым сплавом Ti-6Al-4V, изготовленного методом ЭЛС.

ГЛАВА 1. МЕТОДЫ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ТИТАНА

1.1 Микроструктура и механические свойства титановых сплавов

В таблице 1 представлены основные механические свойства титановых сплавов.

Таблица 1 – Механические свойства титановых сплавов

Средний химический сплава состав сплава, мас. %	Ti-6Al-4V
σ_B , МПа	882
$\sigma_{0,2}$ МПа	804
δ , %	5
ψ , %	12
ан, МДж / м ²	0,25

На рисунке 1 представлена микроструктура титановых сплавов. Характерной особенностью микроструктуры сплава Ti-6Al-4V, полученных литьем и подвергнутых отжигу является наличие крупных глобулярных зерен. Крупнозернистость является следствием малого изменения объема при $\beta \rightarrow \alpha$ -

превращении, что не вызывает измельчения зерна при фазовой перекристаллизации [1].

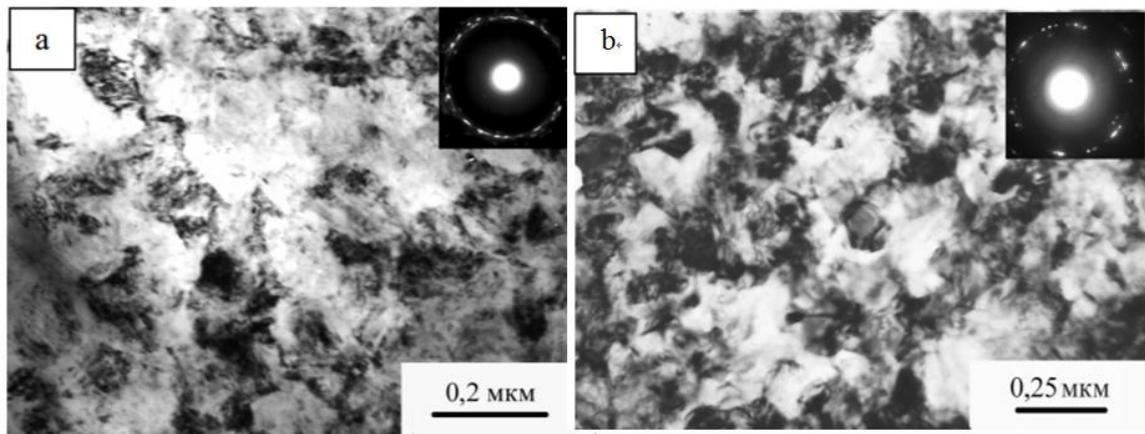


Рисунок 1 – Микроструктура титановых сплавов [1]

1.2 Микроструктура и свойства титановых сплавов, изготовленных с помощью аддитивных технологий

Электронно-лучевая плавка (ЭЛС) – это метод аддитивного производства, при котором последовательные слои металлического порошка плавятся мощным сканирующим электронным пучком [2]. 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. 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 ЭЛС, наблюдается довольно тонкая отожженная $\alpha + \beta$ -структура

[3]. Авторы отметили, что β -зерна возникали неравномерно из пограничных слоев на сборной пластине или на поверхностях деталей во время процесса ЭЛС. Jae Joong Ryu [4] установила, что предложены аргументы, основанные на аддитивном производственном процессе и механизме повреждения от износа, чтобы объяснить, как послойный процесс влияет на трибологические реакции в различных средах. Сложная зависимость износа от анизотропной микроструктуры и окружающей среды позволяет предположить, что механизм износа изменяется в зависимости от электрохимической реактивности. Кроме того, благотворное влияние химической среды на отожженную в мельнице поверхность Ti6Al4V может быть использовано в качестве возможных путей снижения скорости износа в результате процесса коррозионного разрушения. Кроме того, экспериментальный результат показал, что пассивирующая среда значительно снижает чувствительность к анизотропному износу на деталях, изготовленных из ДМ. В классической литературе по трибологии общепризнанно, что полученная морфология более мелких зерен обычно дает повышенную усталость и износостойкость металлов. Глубина износа, наблюдаемая на отожженной мельнице поверхности, обычно была больше, чем поверхности ЭЛС в сухом состоянии. В пассивирующей среде, однако, в наших экспериментах механизм износа показал, что глубины износа на поверхностях ЭЛС были больше, чем отожженная на мельнице поверхность. Кроме того, четкая трибологическая анизотропия (чувствительность к скольжению по отношению к износу) ЭЛС-Х, представленная во время испытаний на сухое скольжение, стала незначительной в растворах PBS. Это может быть вызвано ускоренной коррозией с установленным остаточным напряжением, что приводит к большей скорости износа деталей, изготовленных из ДМ. Смазка, обеспечиваемая белком, значительно снижает поверхностный износ и электрохимическое повреждение всех деталей Ti6Al4V. Такие наблюдения подразумевают, что забота о сохранении оптимальной микроструктуры и

соответствующих трибологических характеристик должна учитываться при допустимых условиях труда, чтобы гарантировать стабильный срок службы.

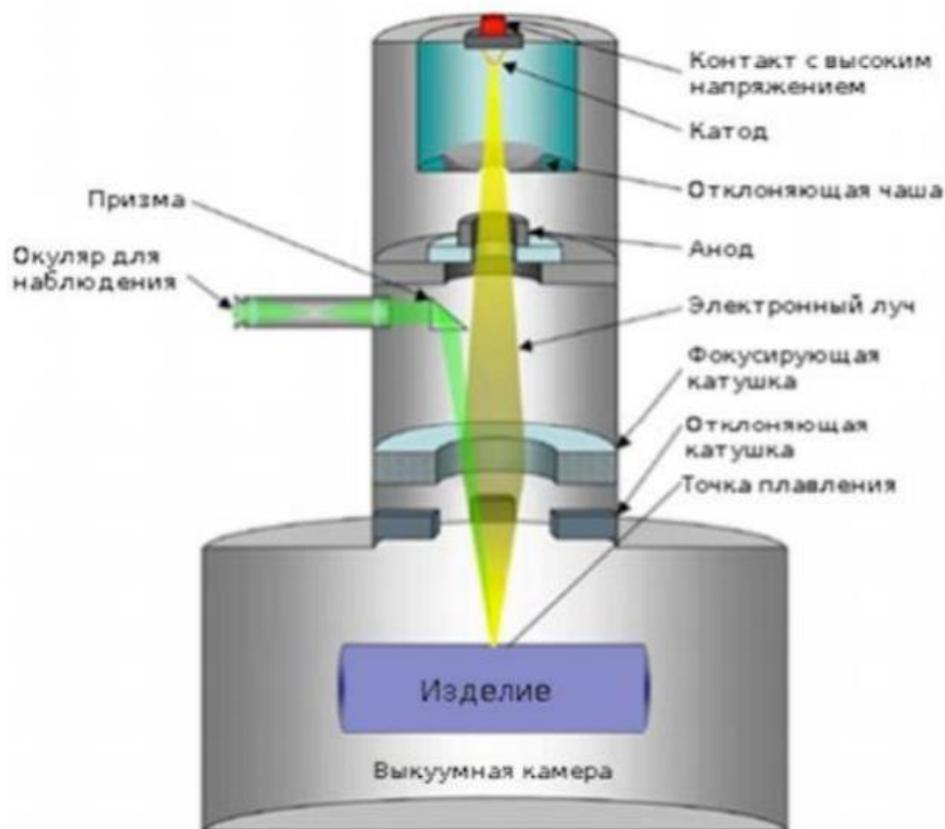


Рисунок 2 – Принципиальная схема электронно-лучевой плавки [2]

Susan L. Draper [5] установила, что на образцах, изготовленных на машине ARCAM A2X ЭЛС, была завершена детальная характеристика материала Ti-6Al-4V, расплавленного электронным пучком (ЭЛС). Образцы были изготовлены под восемь отдельных сборок с материалом, разделенным на две партии для тестирования материалов. Горячее изостатическое прессование (HIP) использовалось для закрытия пористости при изготовлении, а также служило термической обработкой материала для получения желаемой микроструктуры. Механические свойства ЭЛС Ti-6Al-4V сравниваются с обычным Ti-6Al-4V в отожженном состоянии. Фрактография была выполнена, чтобы определить

место возникновения отказа. ЭЛС Ti-6Al-4V имел аналогичные или превосходные механические свойства по сравнению с обычным Ti-6Al-4V.

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

Charlotte de Formanoir [6] установила, что электронно-лучевое плавление (ЭЛС), процесс изготовления слоя аддитивного слоя с порошковым слоем, использовалось для получения образцов Ti-6Al-4V, микроструктура, текстура и свойства при растяжении которых были полностью охарактеризованы. Микроструктура, проанализированная с помощью оптической микроскопии, SEM / EBSD и дифракции рентгеновских лучей, состоит из мелких α -ламелей. Для механической характеристики образцы на растяжение изготавливали с использованием двух разных тем сборки и по нескольким направлениям сборки, показывая, что образцы с вертикальной сборкой имеют более низкий предел текучести, чем образцы с горизонтальной сборкой. Влияние отделки поверхности на свойства при растяжении было четко подчеркнуто. Действительно, механическая полировка вызывала повышение пластичности - благодаря устранению критических поверхностных дефектов - а также

значительное увеличение кажущегося предела текучести - вызванное удалением шероховатого поверхностного слоя толщиной ~ 150 мкм, который можно рассматривать как механически неэффективный. и не поддерживает растягивающую нагрузку. Термические постобработки были выполнены на образцах, расплавленных электронным пучком, что показало, что субтранзусные обработки вызывают очень умеренные микроструктурные изменения, в то время как супертранзусные обработки генерируют существенно другой тип микроструктуры, из-за быстрого роста β -зерна, происходящего над трансусом.

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 ЭЛС Ti-6Al-4V [7]. 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 в [8]. Однако сорбционное поведение СЛМ 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 АМ Ti-6Al-4V.

1.2 Основные виды защитных покрытий на титановых сплавах

В таблице 2 представлены основные виды защитных покрытий на титановых сплавах.

Таблица 2 – Виды защитных покрытий на титановых сплавах

Покрытие	Свойства	Авторы
Металлокомпозитные (MMC) покрытия – TiC	Снижение износа по сравнению с Ti6Al4V.	[9]
Аморфные углеродные покрытия, нанесенные на Ti6Al4V PECVD (химическое осаждение из газовой фазы)	Значительно улучшить коррозионное сопротивление. Зарегистрированы более высокая жизнеспособность клеток и биосовместимость.	[10]
Термическое окисление, генерируемые слои в основном рутиловой фазы TiO ₂	Увеличить его износостойкость и коррозионную стойкость. Однако одним из недостатков этих слоев является их подверженность точечной коррозии.	[11]
Нанокерамические покрытия реактивного напыления β-Ta ₂ O ₅ и TaON на сплаве Ti–6Al–4V.	Улучшить твердость поверхности Ti – 6Al – 4V.	[12]
Электрофоретическое осаждение биоактивного стекла - нанокompозитных хитозановых покрытий на Ti-6Al-4V	Улучшить биосовместимость и биологическую активность, а также минимизировать выброс ионов металлов в организме. EPD - это простой и недорогой процесс, который работает при	[13]

	температуре окружающей среды.	
Кальций и магний в микродуговых окислительных покрытиях, разработанных на сплавах Ti-6Al-4V	пористая структура покрытий MAO, способствующая адгезии, пролиферации и дифференцировке клеток.	[14]
Покрытие NiTi на сплаве Ti-6Al-4V методом наплавки TIG	достигнуто улучшение твердости и износостойкости подложки.	[15]
Синтез покрытий Ti-Si-Al на поверхности сплава Ti-6Al-4V методом горячей силиконизации	Улучшена стойкость к высокотемпературному окислению.	[16]
Покрытие HA-TiO ₂ на подложке Ti – 6Al – 4V, изготовленное золь-гель методом	Улучшает свойства поверхности, ускоряет индукцию и проводимость клеток остеобластов, что, в свою очередь, уменьшает время фиксации имплантата в ткани хозяина.	[17]
Титановые композитные покрытия изготавливались методом лазерной наплавки со смешанным порошком TiAlSi и Al ₂ O ₃ -13% TiO ₂ на подложки из сплава Ti – 6Al – 4V.	Получить высокую твердость и отличную стойкость к износу и коррозии.	[18]

ГЛАВА 2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДОРОДА С ТИТАНОВЫМИ СПЛАВАМИ

2.1 Влияние микроструктуры на поглощение водорода сплавами на основе титана

Водород является β -стабилизатором, который образует эвтектоид, который увеличивает температурный диапазон, в котором существует β -фаза. Водород обладает более высокой растворимостью в β -титане, чем в α -титане (до 50 ат.%). Растворимость водорода в α -титане значительно снижается с понижением температуры, и в основном из пластинчатого γ -гидрида выделяется из перенасыщенного α -твердого раствора. Поглощение водорода твердым раствором является экзотермическим процессом. Из-за высокой скорости диффузии водорода в титане, значительная подвижность водорода наблюдается даже при комнатной температуре. Кинетика процесса поглощения водорода зависит от среды, в которой происходит гидрирование. Следовательно, когда в среде газообразного водорода при наводороживании наибольшей скоростью поглощения обладает нелегированный титан, а в водяном паре – сплавы содержащие β -стабилизирующие легирующие элементы.

Кроме того, известно, распределение и форма гидридов оказывают важное влияние на многие механические свойства титановых сплавов. При переходе от слоистого гидрида к сферическому гидриду повышается пластичность и ударная вязкость. Низкая растворимость водорода в сплавах α -титана заставляет гидридную фазу осаждаться в основном вдоль плоскости скольжения и двойных плоскостей, а также вдоль границ зерен. Поскольку гидрид титана имеет более высокий удельный объем, чем матрица α -титана, и поскольку адгезия гидрида к матрице является слабой, внутреннее растягивающее напряжение способствует образованию и распространению трещин вдоль осажденного гидрида.

2.2 Влияние водорода на механические свойства титановых сплавов

В работе [24], учитывая влияние водорода на механические свойства титановых сплавов и титана, гидриды могут образовываться в металлических материалах выше определенной концентрации. В этом случае гидрид, выделившийся вследствие реакции эвтектоида, не вызывает затвердевания, но значительно снижает ударную вязкость. Низкая температура эвтектоида и высокая диффузионная подвижность водорода приводят к тому, что водород может образовывать твердые растворы внедрения при высоких температурах.

Водород может растворяться в титане и его сплавах. Растворение водорода в титановых сплавах является обратимым процессом. Когда температура достаточно высока, чтобы обеспечить определенную степень взаимодействия между водородом и титаном, раствор водорода в титане может существовать в равновесии с водородом, и давление будет зависеть от содержания водорода и температуры в твердом растворе [20].

На рисунке 3 показано влияние изменений содержания водорода на характеристики пластичности ($\delta, \%$ и $\psi, \%$), предела прочности при растяжении и предела текучести (σ_B, σ_S).

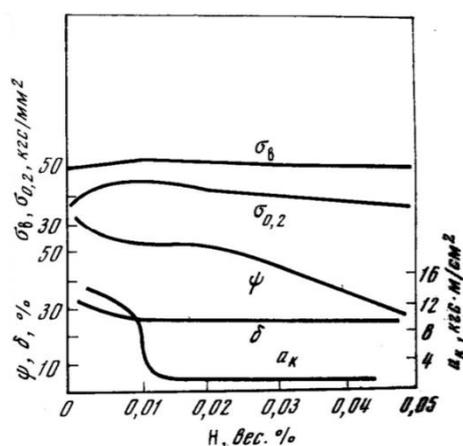


Рисунок 3 – Зависимость между механическими свойствами и содержанием водорода [19]

По мере увеличения содержания водорода твердость металлического титана увеличивается линейно. То же самое верно для прочности σ_B и σ_S . Наиболее чувствительным к воздействию водорода на механические свойства являются методы динамических испытаний, такие как испытание на ударную вязкость.

В работе [22] ударная вязкость и прочность на разрыв титана с различными концентрациями водорода были испытаны. Скорость растяжения составляет около 2-4 мм/мин. Прочность промышленного титана очень слабо зависит от содержания водорода: в исходном состоянии предел прочности при растяжении составляет 50,5 кг/мм², а предел прочности при растяжении становится 50,0 кг/мм² после добавления 0,050 мас.% водорода. По мере увеличения концентрации водорода удлинение значительно уменьшается.

На рисунке 4 показана производительность титана в зависимости от концентрации водорода. Когда содержание водорода составляет 12% (ат.), пластичность материала снижается с 70% до 10%. В титане высокой чистоты, когда содержание водорода превышает 30% (ат.), Пластичность уменьшается. Кроме того, в промышленном титане, когда содержание водорода составляет около 1% (ат.), ударопрочность падает почти до нуля.

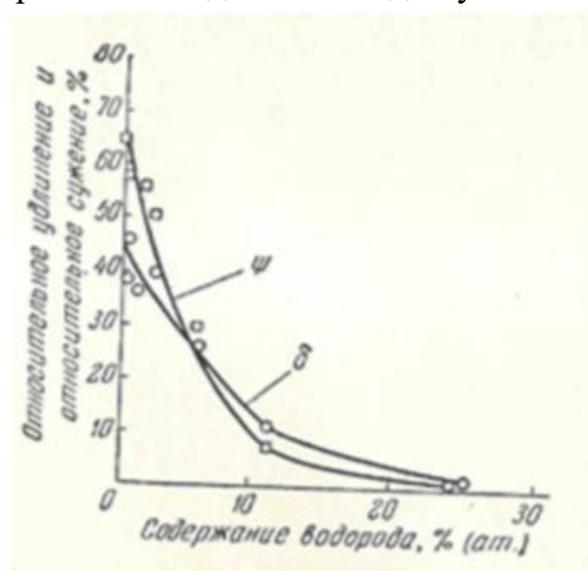


Рисунок 4 – Изображение пластичности в зависимости от содержания водорода [23]

В работе [19], микроstructures сплава Ti6Al4V с различным содержанием водорода показаны на рисунке 5. Можно видеть, что образец без водорода имеет свернутую $\alpha + \beta$ двухфазную структуру со средним размером зерна до α 14 мкм и долей площади 81% (рисунок. 5 (a)). После того, как в сплаве загружено 0,107% водорода, микроstructure меняется незаметно (рисунок. 5 (b)). Микроstructures образцов с содержанием водорода 0,278% и 0,514% имеют две области (рисунок. 5 (c) и (d)): одна белая, что указывает на α -фазу, а другая чередуется с черной и белой фазами, которые указывают на β -фаза (черная), а также гидрид δ (черная) и α -фаза после эвтектоидной реакции $\beta\text{H} \rightarrow \alpha + \delta$.

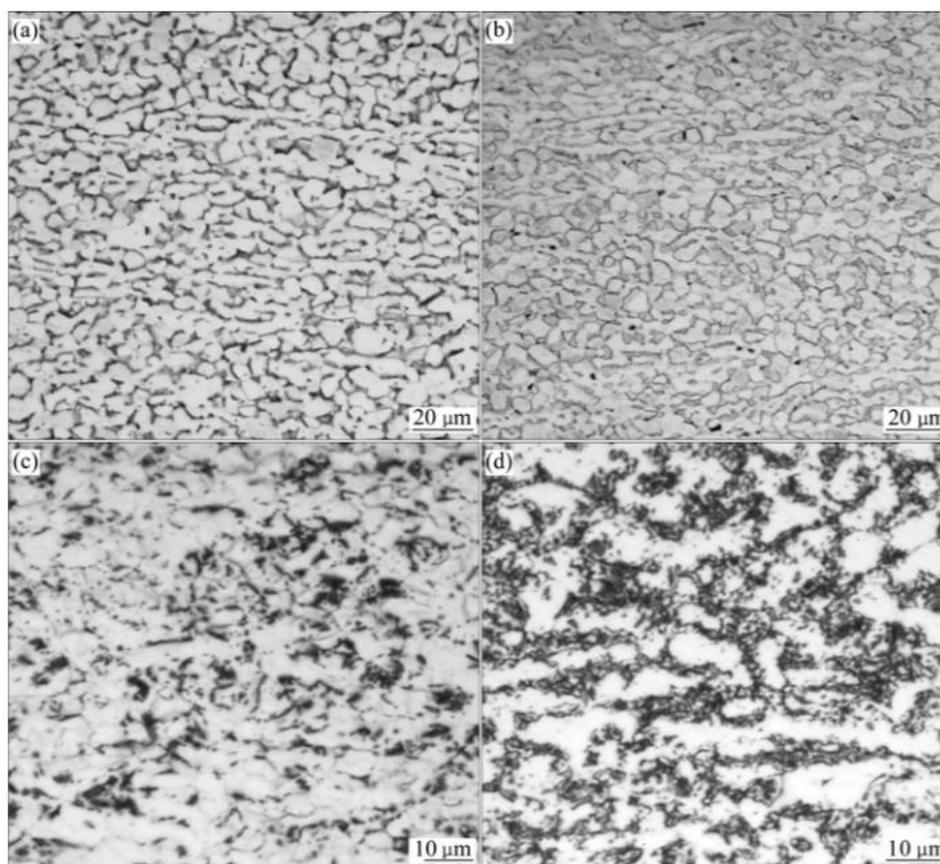


Рисунок 5 – Микроstructures сплава Ti6Al4V, гидрированного при 750 °C: (a) 0,0% H; (б) 0,107% H; (c) 0,278% H; (d) 0,514% H[19]

Рентгенограммы сплава Ti6Al4V, гидрированного при 750 °C с различным содержанием водорода, показаны на рисунок 6. Рентгенограмма показывает,

что образец без водорода содержит первичную α -фазу и небольшое количество β -фазы. После гидрирования рентгенограммы явно меняются. Относительные интенсивности пиков дифракции β -фазы постепенно увеличиваются с увеличением содержания водорода, что показывает, что фазовое превращение $\alpha \rightarrow \beta$ происходит при гидрировании при 750°C , что приводит к уменьшению α и увеличению β . Пики α' появляются в образцах с содержанием водорода 0.107%, 0.278% и 0.514%, а пики δ появляются в образцах с содержанием водорода 0.278% и 0.514%. Результаты показывают, что мартенситное фазовое превращение $\beta_n \rightarrow \alpha$ и эвтектидная реакция $\beta \rightarrow \alpha + \delta$ происходят при гидрировании при 750°C в течение 1 часа с последующим воздушным охлаждением до комнатной температуры. Кроме того, β -пики постепенно смещаются к более низким углам с увеличением содержания водорода.

Радиус атома водорода составляет всего 0,046 нм, что склонно занимать тетраэдрические междоузлия в титановом сплаве. β -фаза представляет собой объемно-центрированную кубическую (ОЦК) решетку, которая состоит из 12 тетраэдрических и 6 октаэдрических междоузлий, а водород обладает высокой растворимостью в β -фазе.

После гидрирования атомы водорода занимают промежуточные участки β -ячейки и, таким образом, увеличивают расстояние между решетками, что приводит к уменьшению угла дифракции Брэгга. В противоположность этому, в решетке (плотноупакованный гексагональный) имеется только 4 тетраэдрических и 2 октаэдрических междоузлия, а растворимость водорода в α -фазе намного меньше, чем в β -фазе. Таким образом, водород мало влияет на решетку α -фазы, и α -пики меняются без видимых изменений с увеличением количества водорода.

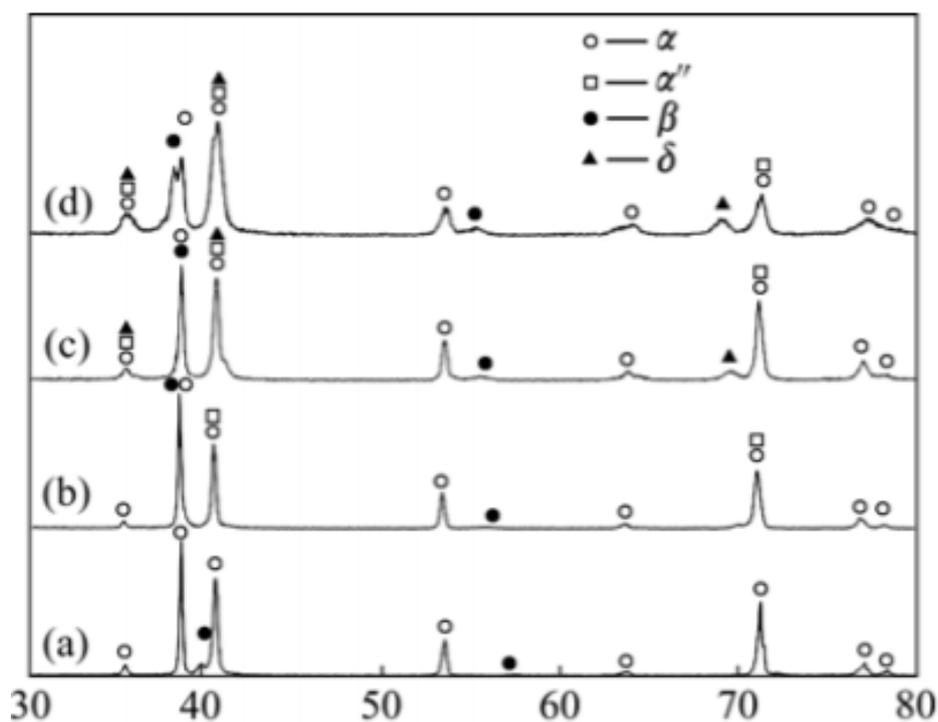


Рисунок 6 – XRD сплава Ti6Al4V, гидрированного при 750 ° C: (a) 0,0% H; (б) 0,107% H; (c) 0,278% H; (d) 0,514% H [19]

Микрофотографии ПЭМ сплава Ti6Al4V с содержанием водорода 0,278% и 0,514% показаны на рисунке 7 и рисунке 8 соответственно. Видно, что гидриды δ , а также большое количество дислокаций появляются в образцах с содержанием водорода 0,278% и 0,514%. Как показано, гидрид δ и эвтектоид α являются пластинчатыми, которые распределены поочередно, а пластинчатые гидриды приблизительно параллельны. Можно предположить, что гидрид δ и эвтектоид α зарождаются на поверхности друг друга и затем растут, когда происходит реакция эвтектоида $\beta_H \rightarrow \alpha + \delta$, а затем пластинчатый гидрид δ и эвтектоид α образуются поочередно с обогащением и обеднением содержания водорода в β_H , пока все β_H не исчерпаны. Соответствующие диаграммы дифракции выбранных областей (SAED) предполагают структуру ГЦК для гидрида δ с осью зоны [110] (Рисунок 8 (b)).

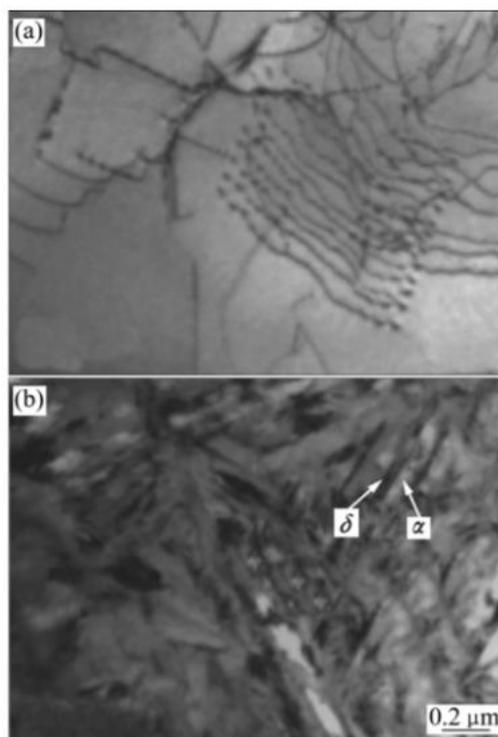


Рисунок 7 – Микрофотографии ПЭМ сплава Ti6Al4V с 0,278% водорода: (а) гидрид δ ; (б) дислокации [19]

Химическая формула δ -гидрида представляет собой TiH_x , где значения x находятся в диапазоне 1,50-1,94, а гидрид δ имеет структуру типа CaF_2 с атомами титана на гранецентрированной кубической решетке (ГЦК) и атомами водорода, случайно занимающими тетраэдрические интерстициальные сайты. На рисунке 8 (с) приведена микрофотография ТЭМ β -матрицы и δ -фазы в образце с 0,514% водорода. Соответствующий шаблон SAED показан на рисунке 8 (d), из которого отношение ориентации между β и δ может быть непосредственно идентифицировано как: $[120]_{\beta} // [011]_{\delta}$, $(200)_{\beta} // (022)_{\delta}$, Кроме того, много близнецов в β -фазе обнаружены в образце с 0,514% водорода (рисунке 8 (e)).

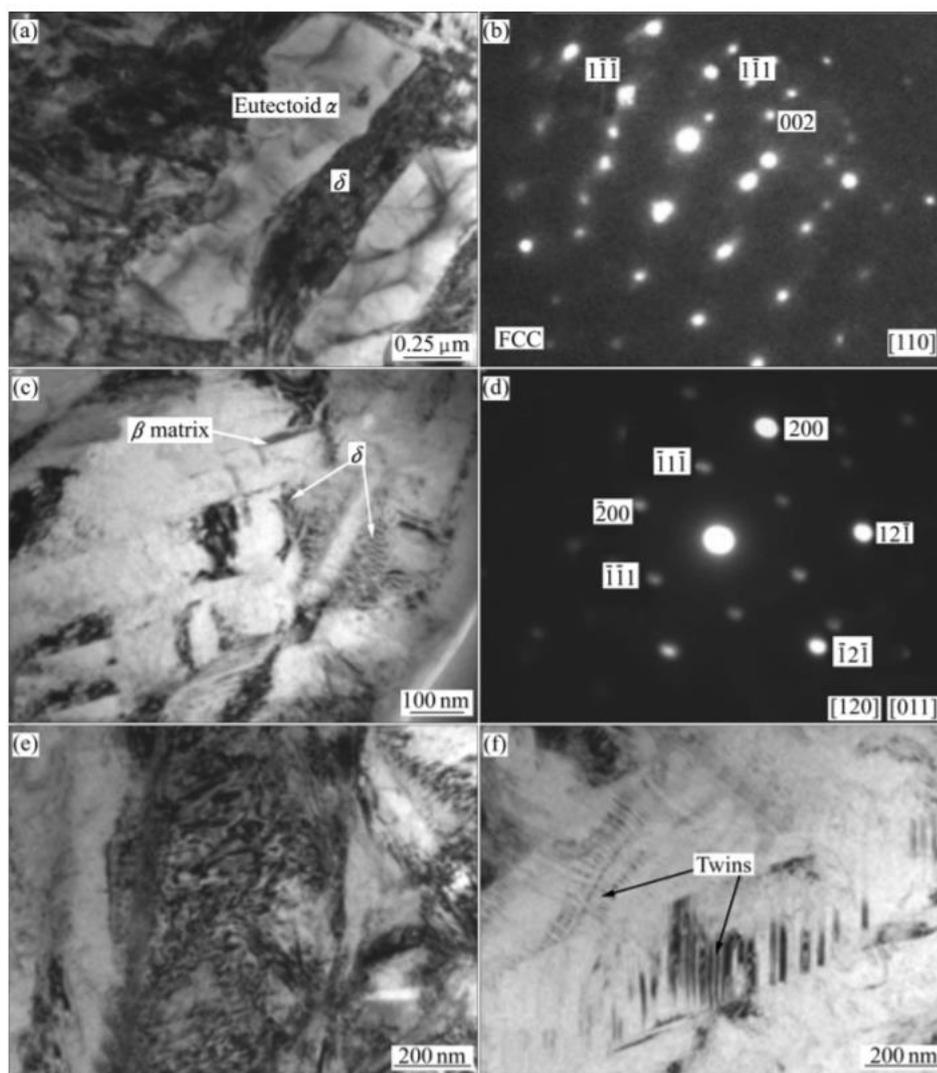


Рисунок 8 – Микрофотографии ПЭМ сплава Ti6Al4V с 0,514% водорода: (а) гидрид δ ; (b) Соответствующая картина SAED δ -фазы; (c) матрица и δ -фаза; (d) SAED картина β и δ фаз; (e) дислокации; (f) Близнецы в β -фазе.[19]

Значения микротвердости сплава Ti6Al4V с различным содержанием водорода показаны в таблице 3. Видно, что значения твердости α - и β -фаз увеличиваются синхронно с увеличением содержания водорода. Более того, значение твердости β выше, чем у α при том же содержании водорода. Кроме того, когда содержание водорода составляет менее 0,278%, значения твердости α -фазы немного увеличиваются, а когда содержание водорода составляет от 0,278% до 0,514%, значения твердости α -фазы увеличиваются быстрее с увеличением содержания водорода, но приращение, очевидно, меньше, чем у β -

фазы (значение приращения твердости α -фазы составляет HV 31,1, а значение β -фазы - HV 80).

Таблица 3 – Значения микротвердости α и β фаз[19]

Содержание водорода /%	Твердость α -фазы (HV)	Твердость β -фазы (HV)
0	308.2	-
0.107	311.5	-
0.278	314.7	362.5
0.384	339.1	436.3
0.514	345.8	442.6

ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Материал для исследований

В работе исследовались образцы, изготовленные с помощью аддитивных технологий, а именно методом электронно-лучевого сплавления. Сырье для изготовления был порошок 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 15 мА.

После изготовления поверхность образцов была отшлифована и отполирована с использованием шлифовальной бумаги и алмазных паст. Для выявления микроструктуры проводилось травление в растворе Кролла.

3.2 Метод нанесения покрытия

Нитридные покрытия наносились на экспериментальные образцы методом вакуумно-дугового напыления. Эксперименты проводились на ионно-плазменной установке «TRIO-M». Сплав Ti-6Al-4V подвергали ультразвуковой очистке в спирте в течение 10 минут. Перед распылением покрытия оксидную пленку и адсорбирующий газ на поверхности образца очищали ионами аргона с энергией 1 кэВ. Скорость роста покрытия достигала 6 мкм / ч.

3.3 Газофазное насыщение водородом

Процесс взаимодействия водорода и металла включает в себя множество последовательных стадий, в том числе адсорбцию, абсорбцию и диффузию водорода в кристаллической решетке, роль которых существенно изменится при различных условиях. Если вся внешняя поверхность образца находится в

контакте с водородом, а правильная решетка и непрерывность в металле не разрушаются, то при определенных условиях процесс взаимодействия водорода и металла будет заканчиваться равномерным насыщением. В этом случае в системе будет достигнуто равновесное состояние водорода.

Когда титан нагревают в водородной среде, он поглощает водород до тех пор, пока не будет установлена равновесная концентрация, которая определяется давлением водорода в окружающей среде. Результаты показывают, что равновесное распределение водорода между газовой фазой и металлом достигает

$$[Hx]_{Ti} = K \sqrt{P_{H_2}},$$

где $[Hx]$ – концентрация водорода в твердом растворе металлического титана; P_{H_2} – давление водорода в газовой фазе; K – коэффициент распределения водорода.

Новодороживание осуществлялось из газовой среды на комплексе Gas Reaction Controller. Автоматический комплекс предназначен для исследования адсорбции водорода на материалах методом Сиверта. Насыщение водорода в образце происходит из газовой атмосферы.

Насыщение водородом образцов проводилось при температуре 650 °С при давлении водорода 1 атм.

3.4 Исследование микроструктуры и фазового состава образцов

Микроскопический анализ - это метод изучения структуры металлов и сплавов с помощью оптической микроскопии, просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Микроструктура материала может быть изучена с помощью микроскопического анализа. Микроструктура может быть использована для изучения распределения, формы и свойств фаз в металлах. Гомогенная часть в

металле с таким же составом, структурой, свойствами, состоянием агрегации и отделенная от других частей через поверхность раздела называется фазой. Микроанализ может определять следующие факторы: форму и размер зерен, структуру сплава после термической и химической термообработки, микропоры металла, включая микротрещины, оболочки, примеси и т. Д. Процесс микроанализа включает в себя подготовку микросекций и исследование их под микроскопом. Основная структура материала микрокристаллическая (зернистая). Для наблюдения микроструктуры металлического образца можно использовать оптический микроскоп (максимальный размер 10^{-7} м) или электронный микроскоп (максимальный размер $2 \cdot 10^{-10}$ м). Изучение микроструктуры можно проводить визуально или фотографированием. Микроскопическими методами можно определить размер и форму кристаллов, наличие кристаллов различной формы, их распределение и относительный объем, форму посторонних включений и микропор и т. Д. Размер зерна поликристаллических материалов является одной из важных характеристик структуры и определяет большинство физико-механических свойств материала. Тонкая структура описывает расположение элементарных частиц в кристаллах и расположение электронов в атомах. Исследования могут проводиться дифракционными методами, такими как рентгенография, электронография и нейтронография.

Исследование фазового состава проводилось методом рентгеноструктурного анализа (дифрактометр XRD-7000S), исследуемые углы $30-80^\circ$, скорость сканирования 10.0 град/мин., с помощью программного комплекса PowderCell 2.4.

3.5 Измерение микротвердости

Принцип метода Виккерса заключается в вдавливании алмазного наконечника в измеряемый металл. Механические свойства и толщина металла

определяют величину нагрузки: чем тоньше металл, тем меньше нагрузка. И наоборот, чем выше твердость испытываемого металла, тем больше нагрузка. Диапазон нагрузки 5-12 кг. Время воздействия черного металла под нагрузкой составляет 10-15 секунд, а цветного металла - 30 ± 2 секунды.

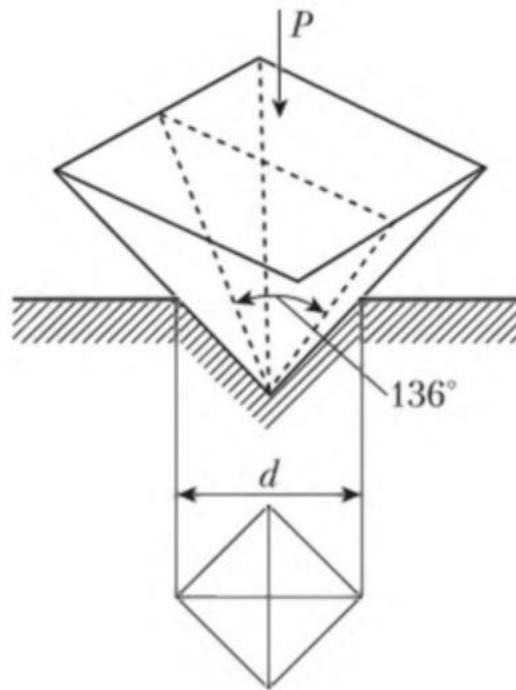


Рисунок 9 – Измерение микротвердости по Виккерсу

Величина твердости по Виккерсу HV определяется по формуле

$$HV = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1.8544 \frac{P}{d^2}$$

где d — средняя арифметическая длина двух диагональных линий (мм), P — нагрузка (кГ), α — угол при вершине равен $136^\circ \pm 30'$.

HV определяется длиной отпечатка d .

Измерение твердости по Виккерсу HV выполняется в следующем порядке.

1. Поместите измеренную поверхность образца вверх на верстак прибора. Затем вращайте стол, поворачивая маховик маховика, пока образец не коснется индентора.

2. Отпустите рычаг, приводя в действие механизм загрузки. После установки продолжительности измерения с помощью реле времени нагрузка снимается, и рабочая головка с фиксированным индентором возвращается в исходное положение.

3. Затем мы можем развернуть приборную панель с образцом в считывающем микроскопе на ложе твердомера и измерить диагонали отпечатка.

3.6 Исследование износостойкости образцов

Исследования износостойкости образцов проводились на трибометре High Temperature Tribometer. Технические характеристики прибора следующие: максимальная температура – 800 °С, нагрузка на индентор от 1 до 60 Н, разрешение по нагрузке 10 мН, сила трения – до 10 Н. Для измерения использовались следующие параметры: радиус круга составлял 1,95 мм, линейная скорость составляла 2 см / с, нагрузка составляла 2 Н, а число оборотов составляла 2000.

ГЛАВА 5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Цель данного раздела выпускной квалификационной работы заключается в экономическом планировании и оценке ресурсоэффективности разработки проекта по исследованию изменений микроструктуры и свойств титанового сплава Ti-6Al-4V в результате нанесения покрытия.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований;
- провести SWOT-анализ для выявления сильных и слабых сторон проекта;
- произвести планирование научно-исследовательских работ;
- определить бюджет научного проекта;
- определить ресурсоэффективность проекта.

На данный момент этот раздел считается один из значимых в современном проектировании каких либо отраслях, т.к. оборудование рассматривается не только исходя из их рабочих характеристик, но и по экономической оценки, выбирается наиболее выгодный вариант.

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом

выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга). Можно применять географический, демографический, поведенческий и иные критерии сегментирования рынка потребителей, возможно применение их комбинаций с использованием таких характеристик, как возраст, пол, национальность, образование, любимые занятия, стиль жизни, социальная принадлежность, профессия, уровень дохода.

5.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта применяют анализ SWOT – комплексный анализ научно-исследовательского проекта.

Специфика данного анализа формируется несколькими этапами.

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

Таблица 5.1– Матрица SWOT

<p style="text-align: center;">Сильные стороны</p> <p>научноисследовательского проект:</p> <p>С1.Актуальность тематики; С2.Использование одной из современных программ; С3.Экологичность технологии; С4.Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии; С5.Безопасность проведения исследований.</p>	<p style="text-align: center;">Слабые стороны</p> <p>научноисследовательского проект:</p> <p>Сл1.Недостаточное количество измерений; Сл2.Закрытость программы; Сл3.Предварительная подготовка экспериментальных образцов перед исследованием; Сл4.Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца; Сл5.Длительный срок поставок материалов (образцов) для проведения научного исследования. Сл6.Отсутствие детектора</p>
<p style="text-align: center;">Возможности</p> <p>В1.Проблема по энергетической эффективности; В2.Возможность появления новых условий</p>	<p style="text-align: center;">Угрозы</p> <p>Уг1.Проведение подобных экспериментов в других учебных заведениях;</p>
<p>измерений; В3.Использование инфраструктуры ТПУ; В4.Появление дополнительного спроса на результаты исследования; В5. Потребность антикоррозионной защиты.</p>	<p>Уг2.Задержки финансирования; Уг3.Развитая конкуренция технологий энергии; Уг4.Разработка новых методов исследования материалов.</p>

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 5.1. После того как сформулированы четыре области SWOT переходят к реализации второго этапа.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Использование интерактивной матрицы помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей SWOT. Интерактивная матрица проекта представлена в табл. 3. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 5.2– Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1		+	-	+	+
B2		+	+	-	-	+
B3		-	+	-	-	+
B4		-	-	+	+	-
B5		+	-	-	+	-

Таблица 5.3–Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта							
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5	Сл6
	B1		-	-	-	-	-
B2		+	0	-	+	-	-
B3		+	+	+	0	0	-
B4		-	-	+	-	-	0
B5		-	-	+	-	+	+

Таблица 5.4–Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	-	+	-	-	-
	У2	+	-	+	+	+
	У3	-	+	-	-	0
	У4	+	0	-	+	-

Таблица 5.5– Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта							
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5	Сл6
проекта	У1	+	-	-	+	-	+
	У2	-	+	+	-	+	-
	У3	+	0	-	+	-	0
	У4	-	-	-	-	0	+

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в табл. 5.6.

Таблица 5.6–SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны</p> <p>научноисследовательског о проект:</p> <p>С1.Актуальность тематики; С2.Использование одной из современных программ; С3.Экологичность технологии; С4.Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии; С5.Безопасность проведения исследований.</p>	<p>Слабые стороны</p> <p>научноисследовательског о проект:</p> <p>Сл1.Недостаточное количество измерений; Сл2.Закрытость программы; Сл3.Предварительная подготовка экспериментальных образцов перед исследованием; Сл4.Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца; Сл5.Длительный срок поставок материалов (образцов) для проведения научного исследования. Сл6.Отсутствие детектора</p>
<p>Возможности</p> <p>В1.Проблема по энергетической эффективности; В2.Возможностьпоявления</p>	<p>Благодаря использования инновационной структуры экологичность и энергоэффективность технологии растет, а также</p>	<p>Отсутствие потенциальных потребителей может быть решено возможностью повышения цен конкурентов</p>

<p>новых условий измерений; В3.Использование инфраструктуры ТПУ; В4.Появление дополнительного спроса на результаты исследования; В5. Потребность антикоррозионной защиты .</p>	<p>рост цен конкурентов и снижение цены на сырье благотворно влияет на развитие предприятия</p>	
<p>Угрозы Уг1.Проведение подобных экспериментов в других учебных заведениях; Уг2.Задержки финансирования; Уг3.Развитая конкуренция технологий энергии; Уг4.Разработка новых методов исследования материалов.</p>	<p>Экологичность технологии, а также её энергоэффективность могут ослабить влияние данных угроз.</p>	<p>Из-за отсутствия прототипа данной разработки, а также потенциальных потребителей при введении дополнительных требований к сертификации, а также из-за большой конкуренции угроза потери рынка возрастает.</p>

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта. Приведенный анализ показал, что технология, находясь на этапе разработки, имеет хорошие шансы на коммерциализацию, с учетом проявляемого интереса партнеров и удачных исследований. При этом, если переход разработки в стадию коммерциализации затянется, то возможна потеря спроса на готовую технологию.

5.1.3 Определение трудоемкости работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования .

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожi}$ используется следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (5.1)$$

где $t_{ожi}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн. ;

t_{maxi} - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож}}{ч_i} \quad (5.2)$$

где T_{pi} - продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{ожi}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

5.1.4 Технология QuaD

Технология QuaD (Q Uality A Dvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научноисследовательский проект.

Для упрощения процедуры проведения QuaD рекомендуется оценку проводить в табличной форме (табл.5.7.).

Таблица 5.7. – Оценочная карта для сравнения конкурентных разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
Показатели оценки качества разработки					
1. Время производства	0,1	75	100	0,75	7,5
2. Энергоэффективность	0,2	80	100	0,80	16
3. Надежность оборудования	0,1	80	100	0,80	8
4. Безопасность оборудования	0,3	80	100	0,80	24
5. Простота эксплуатации	0,3	75	100	0,75	22,5
6. Ремонтпригодность	0,1	82	100	0,82	8,2
7. Уровень шума	0,1	70	100	0,70	7
Итого	1	77,43	100	0,774	93,2

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum = V_i B_i, \quad (5.3)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Полученное значение P_{cp} говорит о том, что перспективность данного производства выше среднего. Значение показателя P_{cp} получилось 93,2, то такая разработка считается перспективной.

По результатам оценки качества и перспективности делается вывод об объемах инвестирования в текущую разработку и направлениях ее дальнейшего улучшения.

Технология может использоваться при проведении различных маркетинговых исследований, существенным образом снижая их трудоемкость и повышая точность и достоверность результатов.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы; - установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Таблица 5.8– Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, Инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель, Инженер
	6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Инженер
	7	Проведение расчетов и анализ полученных данных	Инженер
	8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Инженер
	10	Определение целесообразности проведения НИР	Руководитель Инженер
Оформление отчета по НИР	11	Составление пояснительной записки	Инженер
	12	Подготовка темы к защите	Руководитель Инженер

Таблица 5.9–Календарный план-график проведения НИРМ по теме

№	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал.дн	Продолжительность выполнения работ				
				Февраль	Март	Апрель	Мая	Июнь
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	5					
2	Выбор направления исследования	Руководитель Инженер	5					
3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	7					
4	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	10					
5	Проведение экспериментов	Руководитель Инженер	10					
6	Освоение применения экспериментальных машин	Инженер	5					
7	Знакомство с недостатками и ограничениями работы	Инженер	5					

8	Проведение расчетов и анализ полученных данных	Инжерер	10						
9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель Инжерер	5						
10	Определение целесообразности проведения НИР	Руководитель Инжерер	5						
11	Составление пояснительной записки	Инжерер	6						
12	Подготовка темы к защите	Руководитель Инжерер	10						
									

5.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям, представленным в таблице (табл. 5.10):

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

Таблица 5.10–Группировка затрат по статьям

Вид работ	Статьи									
	Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Научные и производственные командировки	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	Прочие прямые расходы	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
	-	-	4842.75	726.41	1447.98	-	-	-	891.06	7908.20
	-	-	6004.18	900.63	1795.21	-	-	-	1104.77	9804.83
3.	-	-	8104.44	1215.67	2423.22	-	-	-	1491.21	13234.56
4.	-	-	668.14	66.81	191.08	-	-	-	117.59	1043.62
5.	2320	28765.32	24014.31	3602.15	7180.2	-	-	-	4418.63	70300.69
6.	-	5321.71	2572.34	257.23	735.688	-	-	-	452.73	9339.69

7.	-	1442.09	3214.69	321.47	919.40	-	-	-	565.78	6463.43
8.	-	3485.10	1929.73	193.00	551.90	-	-	-	339.63	6499.37
9.	-	2629.62	2871.63	430.74	858.61	-	-	-	528.37	7318.98
10.	-	-	615.22	61.52	175.95	-	-	-	108.27	960.97
11.	-	-	5402.96	810.44	1615.4	-	-	-	994.14	8823.02
12.	-	-	30055.26	4508.29	8986.5	-	-	-	5530.16	49080.24

5.3.1 Расчет материальных затрат НИИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) * \sum_{i=1}^m C_i * N_{расхi}, \quad (5.4)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, m^2 и т.д.); C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ m^2 и т.д.); k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цены материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

К основным затратам в данной НИИ относятся затраты на электроэнергию и приобретение канцелярских товаров. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 5.11.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{элект} = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об}, \quad (5.5)$$

Где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (250 коп. за 1 кВт/ч); P – мощность оборудования. кВт; $F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

Для данной работы затраты на электроэнергию составляют:

$$C_{элект} = \frac{250 \cdot 1 \cdot 100}{100} = 250 \text{ руб.}$$

Таблица 5.11– Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Металлические материалы (ВТ6)	г	100	5	500
Водород	г	0,5	900	450
Вода	л	1	100	100
Спирт	л	1	150	150
Перчатки	шт	3	150	450
Шкурка	шт	10	15	150
Всего за материалы				1800
Транспортно-заготовительные расходы (15%)				270
Электроэнергия				250
Итого по статье Z_m				2320

Из затрат на материальные ресурсы, включаемых в себестоимость продукции, исключается стоимость возвратных отходов.

Под возвратными отходами производства понимаются остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, теплоносителей и других видов материальных ресурсов, образовавшиеся в процессе производства научно-технической продукции, утратившие полностью или частично потребительские качества исходного ресурса (химические или физические свойства) и в силу этого используемые с повышенными затратами (понижением выхода продукции) или вовсе не используемые по прямому назначению.

5.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данной работе к спецоборудованию необходимому для проведения экспериментальной работы относится установка для насыщения водородом по методу Сиверста, стоимость которой составляет 12000000 руб, назначенный срок службы – 10 лет.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{аморт}} = \frac{C_{\text{об}}}{T}, \quad (5.6)$$

где $C_{\text{об}}$ - стоимость оборудования (руб); T - срок службы (дней).

$$C_{\text{аморт}} = \frac{1200000}{3650} = 328,78$$

Оборудование использовалось в течение 5 дней, поэтому затраты на оборудование составляют:

$$C_{\text{аморт(общ)}} = 328,78 * 5 = 1643,9$$

5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИР, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (5.7)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата; $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (5.8)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника; $T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн; $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{г}}}, \quad (5.9)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научнотехнического персонала (в рабочих днях), см. табл. 5.12.

Таблица 5.12– Балансрабочеговремени

Показателирабочеговремени	Руководитель	Студент
Календарноечислодней	365	365
Количествонерабочихдней		
- выходныедни	52	104
- праздничныедни	14	14
Потерирабочеговремени		
- отпуск	48	24
- невыходыпоболезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Студент во время прохождения преддипломной практики получает стипендию, равную 2560 руб/месяц. Среднедневная стипендия (оплата) составляет, согласно:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{2560 \cdot 11,2}{223} = 128,6 \text{ руб/день,}$$

Основной заработок студента, за время преддипломной практики, равен:

$$Z_{\text{осн}} = 128,6 \cdot 75,5 = 9709,3 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

- оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.

- стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

- иные выплаты. В заработной плате следует предусмотреть: надбавку за степень (кандидат наук – 3000 руб., доктор наук – 6000 руб.); надбавку ученого совета (от 2000 руб. до 10000 руб.); районный коэффициент.

Данная научно-исследовательская работа выполнялась научным руководителем, который имеет должность доцент. Оклад доцент составляет 27 500 руб.

Надбавки в заработной плате составляют: 1,3 (районный коэффициент по Томску).

Основная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{онр}} = 27500 \cdot 1,3 = 35750 \text{ руб./месяц,}$$

Тогда, среднедневная зарплата научного руководителя равна:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{35750 \cdot 10,4}{251} = 1481,27 \text{ руб./день,}$$

Заработная плата руководителя, за время подготовки студента к дипломированию, составляет:

$$Z_{\text{осн}} = 1481,27 \cdot 30,1 = 44586,37 \text{ руб.}$$

5.3.4 Расчет затрат на научные и производственные командировки

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}. \quad (5.10)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Примем коэффициент дополнительной зарплаты равным 0,15 для научного руководителя и 0,1 для студента (дипломника).

В таблице 5.13 приведены результаты расчётов основной и дополнительной заработной платы исполнителей НИР.

Таблица 5.13–Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата, руб.	44586,37	9709,30
Дополнительная зарплата, руб.	12197,21	970,93
Зарплата исполнителя, руб.	56783,58	10680,23
Итого по статье $C_{\text{зп}}$, руб.	67463,81	

5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во вне бюджетные фонды составляют 30% от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением НИР.

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (5.11)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды,

$$Z_{\text{внеб}} = 0,26 \cdot 67463,81 = 17540,59 \text{ руб.}$$

5.3.6 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных (общеуниверситетских) служб, которые в равной степени относятся ко всем выполняемым НИР. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хозяйинвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Накладные расходы в ТПУ составляют 25-35% от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы. Если ВКР выполняется в ПИИ или на промышленном предприятии, то накладные расходы учитываются по этим организациям, как правило, они составляют 70-100%. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле;

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{накл}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (5.12)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

Поскольку НИР выполнялась в ОЭФ ИЯТШ ТПУ, предположим, что накладные расходы составляют 85% от общей заработной платы работников.

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot 67463,81 = 10794,21 \text{ руб.}$$

5.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 5.14.

Таблица 5.14– Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	
	Руководитель	Студент
1. Материальные затраты НИИ	2320	
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	1643,9	
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	44586,37	7564,64
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	12197,21	970,93
5. Отчисления во внебюджетные фонды	17540,59	
6. Затраты на научные и производственные командировки	0	
7. Контрагентные расходы	0	
8. Накладные расходы	10794,21	
Бюджет затрат НИИ	97617,85	

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1. В результате проведения SWOT-анализа были выявлены как сильные, так и слабые стороны технического проекта. В итоге следует, что данный технический проект имеет такое преимущество, как высокая безопасность производства, которое обеспечит повышение производительности, безопасности и экономичности технического производства;

2. При планировании технических работ была составлена ленточная диаграмма Гантта. Данная диаграмма позволяет оптимально спланировать время работы исполнителей проекта (руководителя и инженера).

3. В данной главе был проведен расчет затрат на выполнение научноисследовательской работы. Сумма, затраченная на комплексное исследование, составила 97617,85 рублей. Данная оценка коммерческой ценности необходима, чтобы представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований. На основе расчета бюджета этого научно технического исследования, видно, что изучение нанесения покрытия на титановый сплав обладает большой перспективой и прекрасной экономической эффективностью. В последнее время больше и больше внимания уделено этой области исследования. Это исследование может иметь хорошие экономические перспективы.

ГЛАВА 6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Данная выпускная квалификационная работа выполнялась в отделении экспериментальной физики Томского Политехнического Университета. Работа представляет собою научно-исследовательскую работу и выполняется с целью расширения, углубления, систематизации знаний по определенной научной проблеме и создания научного задела. Объектом исследований являлся титановый сплав Ti-6Al-4V, изготовленный методом электронно-лучевого сплавления (ЭЛС), с покрытием TiN. Проведено исследование изменений микроструктуры и свойств титанового сплава Ti-6Al-4V в результате нанесения покрытия, исследовано влияние покрытия на поглощение водорода титановым сплавом.

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

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

6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

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

При исследовании в лаборатории существуют много вредных и опасных факторов производства. При работах с вредными и опасными условиями труда, а также выполняемых в особых температурных условиях или связанных с

загрязнением, работникам бесплатно выдаются прошедшие обязательную, сертификацию или декларирование соответствия специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты, а также смывающие и (или) обезвреживающие средства в соответствии с типовыми нормами. Исследователи допускаются к работе только в спецодежде и средствах индивидуальной защиты. Приобретение и выдачу за счет собственных средств специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты, смывающих и обезвреживающих средств, прошедших обязательную сертификацию или декларирование соответствия в установленном законодательством Российской Федерации о техническом регулировании порядке, в соответствии с установленными нормами работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением.

6.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

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

Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПЭВМ, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной - не менее 500 мм, глубиной на уровне колен - не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног - не менее 650 мм. Конструкция рабочего стула должна обеспечивать: - ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; - поверхность сиденья с

закругленным передним краем; - регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400-550 мм и углам наклона вперед до 15 град, и назад до 5 град.; - высоту опорной поверхности спинки 300 ± 20 мм, ширину - не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости - 400 мм; - угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах ± 30 градусов; - регулировку расстояния спинки от переднего края сиденья в пределах 260-400 мм; - стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной - 50-70 мм; - регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230 ± 30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350-500 мм. Рабочее место пользователя ПЭВМ следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20° . Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращенного к пользователю или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

6.2. Производственная безопасность

6.2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды

Анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды:

- Отклонение показателей микроклимата
- Превышение уровня шума
- Недостаточная освещенность рабочей зоны
- Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Таблица 6.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96[2]. Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-0595*[3]. Повышенное значение напряжения в электрической цепи устанавливаются ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ[4].
2. Превышение уровня шума		+	+	
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека		+		

В условиях химических лабораторий в задачи производственной санитарии входит предупреждение профессиональных отравлений, предотвращение воздействия на работающих ядовитых и раздражающих веществ, производственной пыли, шума и других вредных факторов, определение предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в воздухе производственных помещений, разработка и эксплуатация средств индивидуальной защиты, система вентиляции и отопления, рационального освещения и т.п. [27].

Метеоусловия тоже важно для создания образцов.

Метеоусловия производственной среды регламентируются [26].

Температура воздуха в лаборатории поддерживается:

1) в холодный и переходный периоды 16 – 22 °С;

2) в теплый период 18 – 25 °С.

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

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

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

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

Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат производственных помещений – климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также интенсивности теплового излучения от нагретых поверхностей.

Влажность воздуха – содержание в воздухе водяного пара. Абсолютная влажность W – масса водяного пара в 1 м³ воздуха. Максимальная влажность F – масса водяного пара, который может насытить 1 м³ воздуха при данной температуре. Относительная влажность R – это отношение абсолютной влажности к максимальной.

Указанные параметры – каждый в отдельности и в совокупности – оказывают значительное влияние на работоспособность человека, его

самочувствие и здоровье. При определенных их значениях человек испытывает состояние теплового комфорта, что способствует повышению производительности труда, предупреждению простудных заболеваний. И, наоборот, неблагоприятные значения микроклиматических показателей могут стать причиной снижения производственных показателей в работе, привести к таким заболеваниям работающих как различные формы простуды, радикулит, хронический бронхит, тонзиллит и др. Мероприятия по доведению микроклиматических показателей до нормативных значений включаются в комплексные планы предприятий по охране труда.

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

Температура наружных поверхностей технологических установок, ограждающих устройств, с которыми соприкасается в процессе труда человек, не должен превышать 45 °С [29].

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Перепады температуры воздуха по высоте и по горизонтали, а также изменения температуры воздуха в течение смены при обеспечении оптимальных величин микроклимата на рабочих местах не должны превышать 2 °С.

Таблица 6.2 – Температура

Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Ia (до 139)	22 - 24	21 - 25	60 - 40	0,1

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Допустимые величины показателей микроклимата устанавливаются в случаях, когда по технологическим требованиям, техническим и экономически обоснованным причинам не могут быть обеспечены оптимальные величины.

Таблица 6.3 – Показатели микроклимата

Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Ia (до 139)	20,0 - 21,9	24,1 - 25,0	19,0 - 26,0	15 - 75	0,1	0,1

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

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

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Освещение рабочих мест должно отвечать условиям и характеру работы, оно должно быть оптимальным по величине, а его спектр должен быть максимально приближен к дневному (солнечному), лучше всего соответствующему физиологии человека. Чрезмерно высокая освещенность так же, как и недостаточная, вызывает быстрое утомление глаз, снижение видимости. Освещение должно быть достаточно равномерным по площади, так как при переводе взгляда с менее освещенных на ярко освещенные поверхности и наоборот происходит снижение остроты зрения на некоторый период времени, связанный с переадаптацией глаз. В связи с этим СП 52.13330.2016 [2] ограничивает неравномерность освещения на рабочих местах (отношение максимальной освещенности к минимальной) от 1,5 до 3 для различных видов работ. По этой же причине в комбинированном искусственном освещении доля общего освещения должна составлять не менее 10% [5]. Нормы освещенности: средняя освещенность ($E_{ср}$) не менее 400 лк.

Превышение уровня шума

Изготовление титана осуществлялась на установке «Электронно-лучевая сплавка», одними из основных частей которой являются форвакуумный и турбомолекулярный насосы, создающие производственный шум. Воздействие шума в первую очередь влияет на органы слуха, нервную и сердечнососудистую системы. В соответствии с ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ допустимый уровень шума при сосредоточенной умственной работе составляет 75 дБ. По ГОСТ 12.4.026, уровень или эквивалентный уровень звука в зоне не должен превышать 80 дБ чтобы обеспечить нормальные работы в данный в данном месте. Рекомендуются следующие средства коллективной защиты:

акустические экраны, выгородки, объемные поглотители звука, виброизолирующие опоры; средства индивидуальной защиты: специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противо- шумные каски[31].

6.3 Экологическая безопасность.

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

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

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

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

Все отходы, пригодные для сбора отходов местного правительства, называются «контролируемыми отходами». Предметы этой категории, включая грязную бумагу, пластик, резину и дерево, обычно помещают в мусорные баки, имеющиеся в каждой лаборатории, и собирают с помощью чистящих средств. Однако в каждой лаборатории также должен быть контейнер для некоторых предметов, которые нельзя поместить в обычный мусорный бак.

6.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В данном пункте рассмотрены вероятные ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований, соответствующие мероприятия по их предотвращению и порядка действия в случае их возникновения. Рассмотрим следующие наиболее вероятные ЧС – пожар и затопления, и возможные ЧС– эпидемия.

Пожар

Существуют много возможных факторов, которые могут вызвать пожар, в них включаются перегрев приборов, электрическая утечка и т. д. По ГОСТ 12.0.003-2015, объекты, пожары на которых могут привести к массовому поражению людей, находящихся на этих объектах, и окружающей территории опасными и вредными производственными факторами, а также опасными факторами пожара и их вторичными проявлениями. [32] Используемое помещение относится к категории Г согласно пожарной и взрывопожарной опасности, так в данном помещении расположены горючие легко воспламеняемые материалы, также баллоны с газами. Помещение, в котором находится установка, оснащено аварийными выходами, обеспечено средствами пожаротушения, сигнализацией оповещения пожара. План эвакуации представлен на рисунке 1.

Работники допускаются к работе только после прохождения инструктажа о мерах пожарной безопасности, во всех помещениях вывешены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны и таблички с направлением пути эвакуации и план эвакуации. В лаборатории расположены огнетушители порошковые ОП-4(з)- АВСЕ-02 (предназначен для тушения твердых, жидких и газообразных веществ и электроустановок до 1000 вольт). Причинами возникновения пожара могут быть:

1. Курение в запрещённых местах;
2. Неправильное хранение возгорающихся веществ.

3. Перегрузка электрических сетей;

4. Нарушение правил эксплуатации электрического оборудования;

Нарушение правил пожарной безопасности;

Эксплуатация электрооборудования без заземления не допускается.

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

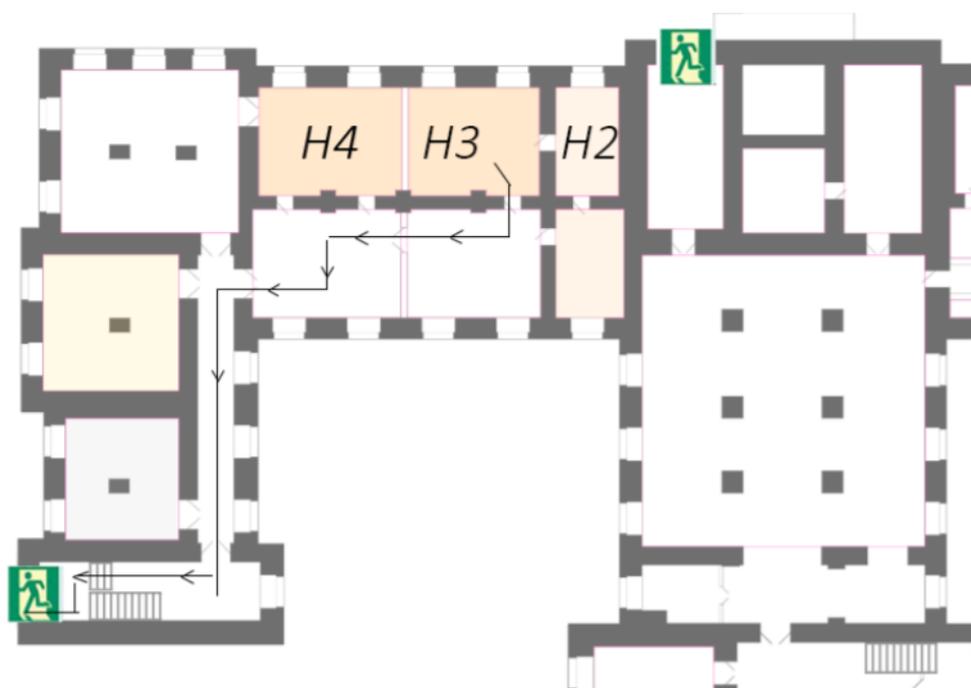


Рисунок 16 – План эвакуации рабочих помещений.

Затопление

Томская область имеет влажный климат с большим количеством осадков.

В течение этого возможно возникать наводнения. Лаборатория находится в цокольном этаже, что сильно увеличивает риск затопления.

В лаборатории размещено много ценных экспериментальных приборов, образцов и документов. Затопления лаборатории может приводит к серьёзному материальному ущербу. Кроме этого, поскольку в лаборатории существует высоковольтное электрическое питание, наводнение может привести к электрической утечке и соответственно привести к жертвам. Более того, утечка химических и радиоактивных веществ из лаборатории может также вызвать серьёзное экологическое загрязнение[35].

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

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

Эпидемия

Эпидемия: Массовое, прогрессирующее во времени и пространстве в пределах определенного региона распространение инфекционной болезни людей.

Из-за пандемии коронавируса Томский политехнический университет перевел 12 000 студентов и аспирантов на дистанционное обучение 17 марта.

В период риска распространения ОРВИ, гриппа и коронавирусной инфекции (COVID-19) находясь на рабочих местах, соблюдайте следующие рекомендации и правила:

- Обеспечьте регулярное проветривание (каждые 2 часа) рабочих помещений, исключите использование в служебных помещениях систем кондиционирования и технических систем вентиляции.

- Временно ограничьте личный прием граждан. Пришедшим на личный прием рекомендуем обращаться в письменной форме.

- Максимально сократите количество проводимых семинаров, совещаний, выездных совещаний, иных деловых массовых мероприятий, работу различных рабочих групп и комиссий переводите в дистанционный режим (аудио, видеоформат).

- Измеряйте температуру тела при входе в служебное здание (при температуре 37,2 и выше отстранитесь от работы и отправляйтесь домой для вызова врача). После посещения врача на дому проинформируйте своего непосредственного руководителя о результатах осмотра. В дальнейшем, по возможности информируйте непосредственного руководителя о своем состоянии здоровья и местонахождении.

Выводы

При рассмотрении вопросов безопасности и гигиены труда при выполнении работ были определены опасные и опасные факторы рабочей силы, причины и средства защиты, и на этом объекте были рассмотрены случаи, чтобы обеспечить безопасность жизни. В лаборатории могут возникать чрезвычайные ситуации, как пожар, затопление. Для предотвращения возникновения следует принимать систему противопожарной защиты, водонепроницаемые меры и системы защиты от молнии. При возникновении ЧС особое внимание требуется для правильного размещения химических и радиоактивных веществ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрено влияние водорода на свойства титановых сплавов, представлен обзор методов исследования титановых сплавов. В работе исследована микроструктура и твердость образцов, изготовленных методом электронно-лучевого сплавления до и после нанесения покрытий.

1. Микроструктура сплава Ti-6Al-4V характеризуется наличием крупных β -зерен. Внутренний объем β -зерен разделен α -пластинами. Средний размер пластин составляет 0,4-0,6 мкм. Доля бета фазы составляет 6%. После нанесения покрытий в поверхностном слое происходит образование нитрида титана TiN.

2. Установлено, что покрытие на основе нитрида титана повышает микротвердость сплава ЭЛС Ti-6Al-4V на 30%, снижает коэффициент трения на 10%.

3. Нанесение покрытия TiN приводит к снижению скорости поглощения водорода сплавом ЭЛС Ti-6Al-4V при газофазном наводороживании при температуре 650 °С.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Murr L. E. Metallurgy of additive manufacturing: Examples from electron beam melting //Additive Manufacturing. – 2015. – Т. 5. – С. 40-53.
2. Andrey Koptioug, Lars Erik Rännar, Mikael Bäckström, Zhi Jian Shen, New Metallurgy of Additive Manufacturing in Metal: Experiences from the Material and Process Development with Electron Beam Melting Technology (ЭЛС), Materials Science Forum. – 2016. – Т. 879.– С. 996-1001.
3. A. Mohammadhosseini, D. Fraser, S. H. Masood & M. Jahedi// Microstructure and mechanical properties of Ti–6Al–4V manufactured by electron beam melting process, Materials Research Innovations – 2013. – Т. 2. – С. 106-112.
4. Jae Joong Ryu, Sliding Contact Wear Damage of ЭЛС built Ti6Al4V: Influence of Process Induced Anisotropic Microstructure, 2018.-13с.
5. Susan L., Materials Characterization of Electron Beam Melted Ti-6Al-4V, 2016г.-14 с.
6. Charlotte de Formanoir, Electron beam melted Ti–6Al–4V: Microstructure, texture and mechanical behavior of the as-built and heat-treated material//Materials Science and Engineering – 2016. – Т. 652.– С. 105-119.
7. A.A. Antonysamy, J. Meyer, P.B. Prangnell, Effect of build geometry on the β -grain structure and texture in additive manufacture of Ti6Al4V by selective electron beam melting//Materials Characterization. – Т. 84– 2013 – С 153-168,
8. G.M. Bilgin, Z. Esen, Ş.K. Akın, A.F. Dericioglu, Optimization of the mechanical properties of Ti-6Al-4V alloy fabricated by selective laser melting using thermohydrogen processes //Materials Science and Engineering: A. – 2017. – Т. 700. – С. 574-582.
- 9.Venkata Naga Vamsi Munagala, Tyler B. Torgerson, Thomas W. Scharf, Richard R. Chromik, High temperature friction and wear behavior of cold-sprayed Ti6Al4V and Ti6Al4V-TiC composite coatings //Wear. – 2019. – Т. 426–427. – С. 357-369.

10. Yun-Shao Cho, Li-Kai Liao, Chia-Hsun Hsu, Yu-Hsuan Hsu, Wan-Yu Wu, Shu-Chuan Liao, Kun-Hui Chen, Ping-Wing Lui, Sam Zhang, Shui-Yang Lien. Effect of substrate bias on biocompatibility of amorphous carbon coatings deposited on Ti6Al4V by PECVD // *Surface and Coatings Technology* – 2019. – T. 357. – C. 212-217.
11. G. M. Tavaréz-Martínez, E. Onofre-Bustamante, E. C. De La Cruz-Terrazas, M. L. Escudero Rincón, M. A. Domínguez-Crespo. Evaluation of TiO₂/CeO₂ coating on Ti6Al4V alloy in PBS physiological medium using conventional and near field electrochemical techniques // *Applied Surface Science* – 2019. – T. 494. – C. 1109-1118.
12. Jiang Xu, Wei Hu, Zong-Han Xie, Paul Munroe. Reactive-sputter-deposited β-Ta₂O₅ and TaON nanoceramic coatings on Ti–6Al–4V alloy against wear and corrosion damage // *Surface and Coatings Technology*. – 2016. – T. 296. – C. 171-184.
13. Elham Mahlooji, Masoud Atapour, Sheyda Labbaf. Electrophoretic deposition of Bioactive glass – Chitosan nanocomposite coatings on Ti-6Al-4V for orthopedic applications // *Carbohydrate Polymers*. – 2019. – T. 226. – 115299.
14. Guoqiang Li, Yaping Wang, Shufang Zhang, Rongfang Zhao, Chunmei Chen. Investigation on entrance mechanism of calcium and magnesium into micro-arc oxidation coatings developed on Ti-6Al-4V alloys // *Surface and Coatings Technology*. – 2019. – T. 378. – 124951.
15. Dipak Tanaji Waghmare, Chinmaya Kumar Padhee, Ritesh Prasad, Manoj Masanta. NiTi coating on Ti-6Al-4V alloy by TIG cladding process for improvement of wear resistance: Microstructure evolution and mechanical performances // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2018. – T. 262. – C. 551-561.
16. F. Oukati Sadeq, M. Sharifitabar, M. Shafiee Afarani. Синтез покрытий Ti – Si – Al на поверхности сплава Ti – 6Al – 4V методом горячей силиконизации // *Surface and Coatings Technology*. – 2018. – T. 337. – C. 349-356.

17. R. Azari, H. R. Rezaie, A. Khavandi. Investigation of functionally graded HA-TiO₂ coating on Ti-6Al-4V substrate fabricated by sol-gel method // *Ceramics International*. – 2019. – Т. 45. – С. 17545-17555.

18. Chonggui Li, Ming Zeng, Chuanming Liu, Feifei Wang, You Wang. Microstructure and tribological behavior of laser cladding TiAlSi composite coatings reinforced by alumina-titania ceramics on Ti-6Al-4V alloys // *Materials Chemistry and Physics*. – 2020. – Т. 240. – 122271.

19. Jing-wei ZHAO, Hua DING, Wen-juan ZHAO, Xue-feng TIAN, Hong-liang HOU, Yao-qi WANG, Influence of hydrogenation on microstructures and microhardness of Ti6Al4V alloy// *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. – 2008. – Т. 18. – С. 506-511.

20. Лучинский, Г.П. Химия титана. – М.: Химия, 1971. - 471 С.

21. Гаранин Г. В. Ультразвуковой стенд контроля физико-механических свойств металлов и сплавов (на примере системы титан-водород) : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук; Национальный исследовательский Томский политехнический университет — 2016. — 20 с.

22. Goltsov, V.A. History, ideology and prospects of the hydrogen treatment of materials – opening address // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 1997. – Т. 22. – С. 115-117.

23. Молчанова, Е.К. Атлас диаграмм состояния титановых сплавов. – М.: Машиностроение, 1964. - 392 С.

24. Колобов Ю.Р. Торганчук В.И. Влияние водорода на структуру и свойства титановых сплавов медицинского назначения//*Структура и свойства металлов при различных энергетических воздействиях и технологических обработках*. – 2014. –312С.

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

26. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
27. Оценка условий труда на рабочем месте инженера-электронщика/Уфа 2007г.
28. Санитарные нормы микроклимата производственных помещений*(утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 31 марта 1986 г. № 4088-86)
29. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений.
30. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
31. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
32. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования
33. ГОСТ Р 57552-2017 Техника пожарная. Извещатели пожарные мультикритериальные. Общие технические требования и методы испытаний
34. ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.
35. ГОСТ Р 22.0.03-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения