

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы	
Исследование влияния термоводородной обработки на структуру и свойства титанового сплава Ti-6Al-4V изготовленного методом электронно-лучевой наплавки	
УДК 669.295.5:621.7.048.7	

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б51	Павельева Александра Андреевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭФ ИЯТШ	Лидер Андрей Маркович	д.т.н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кудияров Виктор Николаевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник способен)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P1	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)
P2	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>		
P3	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)
P4	Понимать сущность и значение информации, соблюдать основные требования информационной безопасности, использовать методы, способы, средства получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6)
P5	Получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах, критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-8, ОПК-9)

<i>Профессиональные компетенции</i>		
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 последовательностью изложения материала с использованием междисциплинарных связей физики с другими дисциплинами, участвовать в информационно-образовательных мероприятиях по пропаганде и распространению научных знаний	Требования ФГОСЗ+ (ПК-9)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

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

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) Лидер А.М.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
0Б51	Павельева Александра Андреевна

Тема работы:

Исследование влияния термоводородной обработки на структуру и свойства титанового сплава Ti-6Al-4V изготовленного методом электронно-лучевой наплавки

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

В

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	Образцы титанового сплава Ti-6Al-4V, полученные методом электронно-лучевого сплавления, экспериментальная установка Gas Reaction Controller
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (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).	– Обзор литературных источников; – Подготовка образцов; – Электронная микроскопия; – Рентгенофазовый анализ; – Проведение термоводородной обработки; – Одноосное растяжение; – Анализ полученных результатов; – Заключение.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кудияров Виктор Николаевич	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б51	Павельева Александра Андреевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОБ51	Павельевой Александре Андреевне

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭФ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 Физика

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Принять по действующим ценам
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	-
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Социальный налог – 30%; НДС – 20%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	-
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Составление календарного плана исследования. Определение бюджета НИР
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График проведения и бюджет НИ
2. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБ51	Павельева Александра Андреевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
ОБ51	Павельевой Александре Андреевне

Школа	ИШЯТ	Отделение (НОЦ)	ОЭФ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 «Физика»

Тема ВКР:

Исследование влияния термоводородной обработки на структуру и свойства титанового сплава Ti-6Al-4V изготовленного методом электронно-лучевого сплавления	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	1. При работе на комплексе Gas Reaction Controller LP на работников возможно воздействие следующих вредных факторов: - Микроклимат; - Опасность поражения электрическим током; - Воздействие высокой температуры; - Эксплуатация газовых баллонов (аргон), работающих под давлением. 2. При неисправности в работе комплекса Gas Reaction Controller LP возможна утечка газа, возгорание.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: — специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; — организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	По данной теме рассматриваются законодательные и нормативные документы: - инструкция № 2-25 по охране труда при выполнении работ на установке Gas Reaction Controller; - инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В; - инструкция № 2-07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением. Документы по воздействию ПЭВМ: - инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ; - СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы; - ГОСТ Р 50948-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности; - ГОСТ Р 50949-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности; - ГОСТ Р 50923-96. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. Микроклимат: - ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные помещения. Параметры микроклимата в помещении;

	- ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны; СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Характеристика факторов изучаемой производственной среды, описывающих процесс взаимодействия человека с окружающей производственной средой: – Воздействие электрического напряжения на организм человека; – Воздействие высокой температуры на организм человека; – Воздействие химических веществ на дыхательные пути и организм человека в целом; – Утечка газа из баллона; Микроклимат. 2. Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды: – электробезопасность (непосредственное питание установки от сети постоянного тока 220 В; средства защиты, предусмотренные конструкцией установки, соблюдение правил и инструкций по электробезопасности при работе); – термическая опасность (печь нагрева образцов; защита специальной конструкцией установки, изолирующие слои, соблюдение правил безопасности и эксплуатации установки); пожаровзрывобезопасность (баллоны с газом; соблюдение правил безопасности и эксплуатации установки).
3. Экологическая безопасность:	3. Факторы рабочего места, влияющие на окружающую среду: – Выброс в атмосферу рабочего газа; – Выброс в атмосферу химических веществ;
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – Утечка газа из баллона; – Возникновение возгорания; – Поражение оператора установки электрическим током; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБ51	Павельева Александра Андреевна		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Уровень образования бакалавриат

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

Период выполнения _____

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.09.2018	Аналитический обзор литературы	10
01.12.2018	Термоводородная обработка титанового сплава Ti-6Al-4V	20
25.04.2019	Структурный и элементный состав титанового сплава Ti-6Al-4V до и после термоводородной обработки	20
30.04.2019	Анализ результатов	15
25.05.2019	Социальная ответственность	15
25.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2019	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кудияров Виктор Николаевич	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭФ	Лидер А.М.	Д.Т.Н., профессор		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 90 страницы, 22 рисунка, 3 таблицы, 42 литературных источников, 0 приложений.

Ключевые слова: титановый сплав Ti-6Al-4V, термоводородная обработка, микроструктура, электронно-лучевое сплавление.

Объектами исследований являлись образцы титанового сплава Ti-6Al-4V, полученные методом электронно-лучевого сплавления.

Целью данной работы является исследование влияния термоводородной обработки (ТВО) на структуру и свойства титанового сплава Ti-6Al-4V изготовленного методом электронно-лучевого сплавления.

Для достижения данной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- На основе литературного обзора разработать режим ТВО;
- Провести апробацию режима;
- Изучить микроструктуру и свойства образцов титанового сплава Ti-6Al-4V, не проходивших ТВО, с помощью следующих этапов:
 - Проведение микроскопии поверхности оптическим и электронным микроскопами;
 - Выполнение рентгенофазового анализа;
 - Измерение твердости;
 - Проведение эксперимента по одноосному растяжению для определения основных механических показателей материала.
- Оценить влияние ТВО на микроструктуру и свойства образцов титанового сплава Ti-6Al-4V с помощью повтора этапов эксперимента указанных выше;
- Провести сравнительный анализ влияния ТВО на микроструктуру и механические свойства образцов титанового сплава Ti-6Al-4V до и после ТВО.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	13
ГЛАВА I. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЕ СПЛАВЛЕНИЕ И ТЕРМОВОДОРОДНАЯ ОБРАБОТКА	15
1.1. Основы метода электронно-лучевого сплавления	15
1.2. Основы термоводородной обработки.....	17
ГЛАВА II. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	37
2.1. Титановый сплав Ti-6Al-4V	37
2.2. Система для насыщения водородом из газовой среды Gas Reaction Controller LP.....	39
ГЛАВА III. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	43
ГЛАВА IV. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	52
4.1. Организация и планирование работ	52
4.2. Продолжительность этапов работ.....	53
4.1. Расчет сметы на выполнение проекта	59
4.1.1. Расчет затрат на материалы.....	59
4.1.2. Расчет заработной платы	60
4.1.3. Расчет затрат на социальный налог.....	61
4.1.4. Расчет затрат на электроэнергию	61
4.1.5. Расчет амортизационных расходов	62
4.1.6. Расчет прочих расходов.....	64
4.2. Расчет общей себестоимости разработки.....	64
4.3. Расчет прибыли.....	65
4.4. Расчет НДС	65
4.5. Цена разработки ВКР	65
4.6. Оценка экономической эффективности проекта.....	65
ГЛАВА V. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	66
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	66
5.3. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	70

5.3.1. Метеоусловия	71
5.3.3. Производственный шум	76
5.3.4. Освещенность.....	77
5.4. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	81
5.4.1. Факторы электрической природы	81
5.4.2. Факторы пожарной и взрывоопасной природы.....	82
5.5. Охрана окружающей среды	84
5.6. Защита в ЧС	84
Заключение.....	87
Список литературы	88

ВВЕДЕНИЕ

Очередной всплеск интереса в мире технической науки, связан с возникновением аддитивных методов производства. Аддитивные методы (АМ) позволяют получать изделия сложных форм, что особенно актуально для титана и сплавов на его основе, применяемых в таких промышленности, как судостроение, ракетостроение, авиастроение и биомедицина [1-3].

Одним из самых используемых материалов для данного производства является титановый сплав Ti-6Al-4V (Ti64). Так как является одним из самых распространенных сплавов в промышленности указанных выше [2-6].

Одно из важных условий в аддитивном производстве - подобие механических свойств изделий полученных с помощью АМ и изделий, полученных традиционных технологий.

Но на сегодняшний день современный уровень развития данных технологий позволяет производить изделия, которые обладают недостаточными прочностными свойствами [1-4].

Изучив процесс производства, сделано предположение, что основной причиной низких прочностных свойств может являться крупнозернистая структура полученных изделий. Которая образована посредством низкой скорости отвода тепла в процессе создания изделий [1-4].

К сожалению, измельчение зерен всегда связано с механической деформацией, что недопустимо для данного типа изделий, так как это приведет к нарушению требуемых форм и размеров. Поэтому в данной отрасли возникает вопрос об уменьшении размеров зерен микроструктуры без использования методов механической деформации [2-7].

Изменения размеров зерен можно добиться с помощью совмещения таких процессов, как насыщение изделия водородом, некоторый α/β -фазовый переход и последующее дегидрирование. Для чего необходимо определить параметры температуры, давления и концентрации водорода, с

помощью которых возможно добиться измельчения зерен, и соответственно, улучшении механических характеристик изделия [2,4,5,7-10].

Из всего вышесказанного следует цель данной работы - исследовать влияние термоводородной обработки (ТВО) на структуру и свойства титанового сплава Ti-6Al-4V изготовленного методом электронно-лучевого сплавления.

Для достижения данной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- На основе литературного обзора разработать режим ТВО;
- Провести апробацию режима;
- Изучить микроструктуру и свойства образцов титанового сплава Ti-6Al-4V, не проходивших ТВО, с помощью следующих этапов:
 - Проведение микроскопии поверхности оптическим и электронным микроскопами;
 - Выполнение рентгенофазового анализа;
 - Измерение твердости;
 - Проведение эксперимента по одноосному растяжению для определения основных механических показателей материала.
- Оценить влияние ТВО на микроструктуру и свойства образцов титанового сплава Ti-6Al-4V с помощью повтора этапов эксперимента указанных выше;
- Провести сравнительный анализ влияния ТВО на микроструктуру и механические свойства образцов титанового сплава Ti-6Al-4V до и после ТВО.

ГЛАВА I. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЕ СПЛАВЛЕНИЕ И ТЕРМОВОДОРОДНАЯ ОБРАБОТКА

Титановые сплавы, благодаря своим высоким механическим свойствам: теплостойкости, высокой коррозионной стойкости, удельной плотности являются важными конструкционными материалами в авиационной, космической и судостроительной промышленности [4-8].

Но, титановые сплавы сложны в обработке, что делает процесс создания изделий сложных форм с помощью традиционных методов производства не простым [5-9].

Данная проблема нашла решение благодаря АМ производства. АМ используют лазерный или электронный луч в качестве источника энергии, при этом исходным сырьем являются порошок или проволока металлические и нет [8-11]. Одним из данных методов является метод электронно-лучевого сплавления (ЭЛС) [2-5].

1.1. Основы метода электронно-лучевого сплавления

В методе ЭЛС в качестве источника тепла и энергии используется электронный пучок для расплавления порошка перед его осаждением на опорный столик [8-10, 12-13]. После распределения тонкого слоя металлического порошка на опорном столике, порошок избирательно расплавляется электронным пучком. Далее, опорный столик опускается, и следующий слой металлического порошка распределяется поверх предыдущего. Таким образом, слой за слоем происходит «рост» изделия. Сам пучок является статичным, изменение его положения относительно изделия происходит за счет движения опорного столика в трех взаимно перпендикулярных плоскостях [14-15].

Так же, для электронно-лучевого сплавления требуются опорные конструкции, которые фиксируют детали и нависающие участки изделия

относительно опорного столика. Это обеспечивает передачу тепла от места расплава порошка. Следовательно, это снижает тепловые напряжения и предотвращает обвал нависающих участков [14-15]. Упрощенная схема установки для метода ЭЛС представлена на рисунке 1.

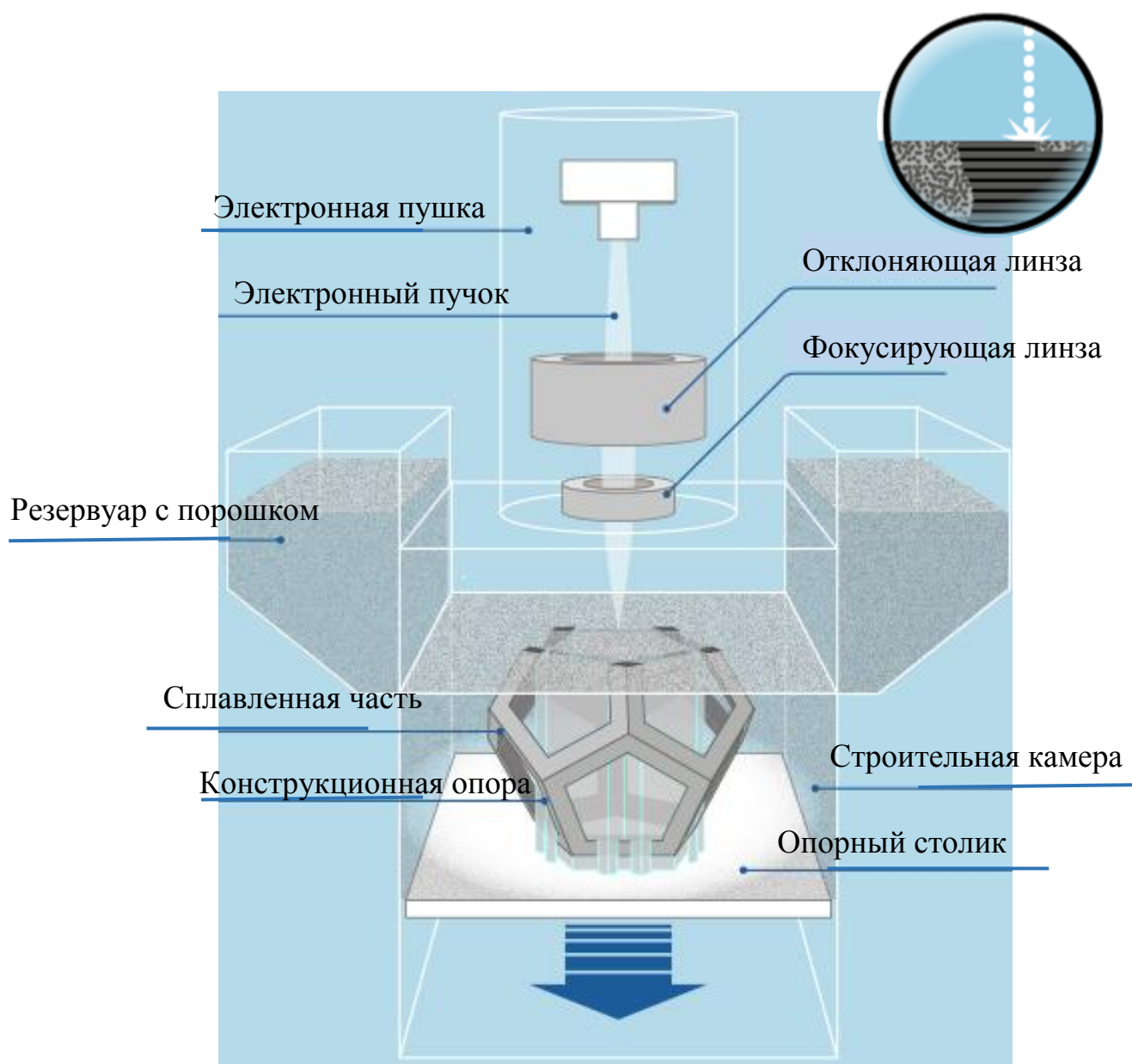


РИСУНОК 1.1- Упрощенная схема установки для создания изделий методом ЭЛС [14].

Процесс создания происходит в вакууме, что необходимо для исключения влияния внешней среды. Так же, некоторой особенностью данного метода является то, что сырьем для производства могут являться

только проводящие материалы, то есть металлические порошки или проволока [14-17].

После того, как изделие готово, как правило, необходима дальнейшая постобработка, а опорные конструкции необходимо механически удалять. Постобработка поверхности необходима для удаления избытка рассыпного порошка, для этой задачи, как правило, используются пескоструйная обработка, а так же, шлифовка и полировка. Объемная постобработка производится для снятия остаточных напряжений, улучшения механических характеристик и микроструктуры изделия [14]. В качестве объемной постобработки предлагается использовать ТВО. Водород, используемый в данном методе, при определенных концентрациях, способен изменять микроструктуру изделия. А для дальнейшего исключения деградации механических свойств под действием водорода, в метод ТВО включается стадия дегидрирования [16-19].

1.2. Основы термоводородной обработки

Метод ТВО позволяет влиять на микроструктуру и механические свойства изделий, изготовленных методом ЭЛС. Для осуществления влияния на изделия, полученные методом ЭЛС из титана и его сплавов, ТВО является последовательным совмещением таких процессов, как насыщение изделия водородом, некоторый α/β - фазовый переход и последующее дегидрирование [17-19].

Так, например, авторы работы [16] исследовали микроструктуру сплава Ti-6Al-4V после гидрирования.

Гидрирование образцов сплава Ti6Al4V проводили при различных температурах, времени выдержки и давлении водорода в рабочей камере. Так же, изучалось распределение водорода по объемам образцов.

Результаты показали, что содержание водорода в сплаве Ti-6Al-4V напрямую зависит от всех трех показателей: температура гидрирования, давление водорода и время выдержки. Концентрация водорода сначала увеличивается, а затем начинает уменьшаться с увеличением температуры гидрирования, но линейно растет с увеличением давления водорода в камере [16, 20-23].

Процесс гидрирования представляет собой диффузию водорода в образце, а распределение водорода по объему становится равномерным с увеличением времени выдержки [17-19].

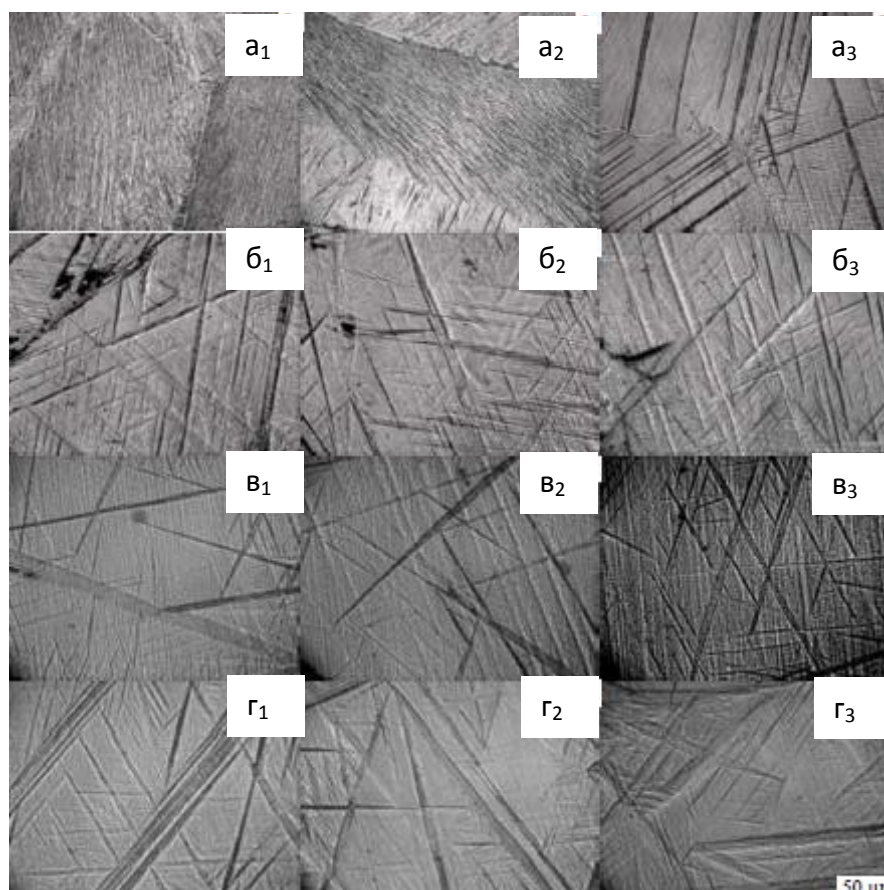


Рисунок 1.2-Микроструктуры поперечного сечения образцов сплава Ti-6Al-4V, гидрированных с различным временем выдержки из центра к кромке (1 → 2 → 3): (а) 1 мин, (б) 10 мин, (в) 30 мин и (г) 120 мин [16].

Как показано на рисунке 1.2, когда время выдержки составляет 1 мин, микроструктура заметно отличается между центром и поверхностью образца,

что указывает на то, что распределение водорода в объеме не равномерно, а микроструктура в центральной области аналогична исходной. На краю образца полностью мартенситная структура, состоящая из α - и α' - фаз (где α - фаза с ГПУ структурой, а α' - гидрид).

Когда время выдержки составляет 10 минут, неравномерная область становится меньше, содержание водорода в центральной области увеличивается, а разница микроструктур между центром и краем образца постепенно уменьшается.

Микроструктура становится однородной, когда время выдержки превышает 30 мин, что указывает на то, что водород равномерно распределен в образце.

Итоги данной работы:

1) Когда температура гидрирования ниже 550°C , содержание водорода в сплаве Ti6Al4V не велико и возрастает с низкой скоростью. Содержание водорода достигает своего максимального значения, когда температура гидрирования составляет около 550°C .

2) Если температура гидрирования выше 550°C , итоговое содержание водорода в объеме снижается и продолжает уменьшаться с увеличением температуры.

3) Содержание водорода в сплаве Ti-6Al-4V линейно возрастает с увеличением давления водорода.

4) Равномерное распределение водорода по объему во время процесса гидрирования не наблюдается, когда время выдержки составляет менее 10 мин. Что изменяется, когда время выдержки превышает 10 мин.

5) Гидрирование представляет собой процесс диффузии водорода в объем образцов титанового сплава. Когда время выдержки не велико, объем водорода в сплаве Ti-6Al-4V низкий, и микроструктура сильно отличается между центром и краями образца. Когда время выдержки превышает 30 мин, содержание водорода в объеме образцов сплава Ti-6Al-4V становится равномерным, и микроструктура становится однородной.

Авторы статьи [17] отслеживают влияние концентрации водорода и типа гидрида титана на уточнение зерна и механические свойства образцов титанового сплава Ti-6Al-4V.

В данной работе рассматривается воздействие гидрирования до 0,1-0,9 масс.% при 600°C и типов гидрида титана (β H и δ) на микроструктуру и механические свойства титанового сплава Ti-6Al-4V.

Было обнаружено, что объемная плотность однородных зерен размера 50-100 нм, вызванных β H обработкой, возрастала при увеличении концентрации водорода до 0,6 масс.%.

В результате микротвердость и предел текучести для дегидрированного Ti-6Al-4V постепенно повышался с 308 Hv и 810 МПа до 394 Hv и 1125 МПа.

Тем не менее, образцы в результате насыщения, содержащие δ -гидрид, при загрузке водородом до 0,7 масс.% имели трещины в микроструктуре. Основываясь на фазовой диаграмме системы Ti-6Al-4V -H, в данной работе, был сделан вывод, что обработка водородным насыщением до 0,66 масс.% при 600 °C является удовлетворительным способом для повышения механических свойств данного сплава.

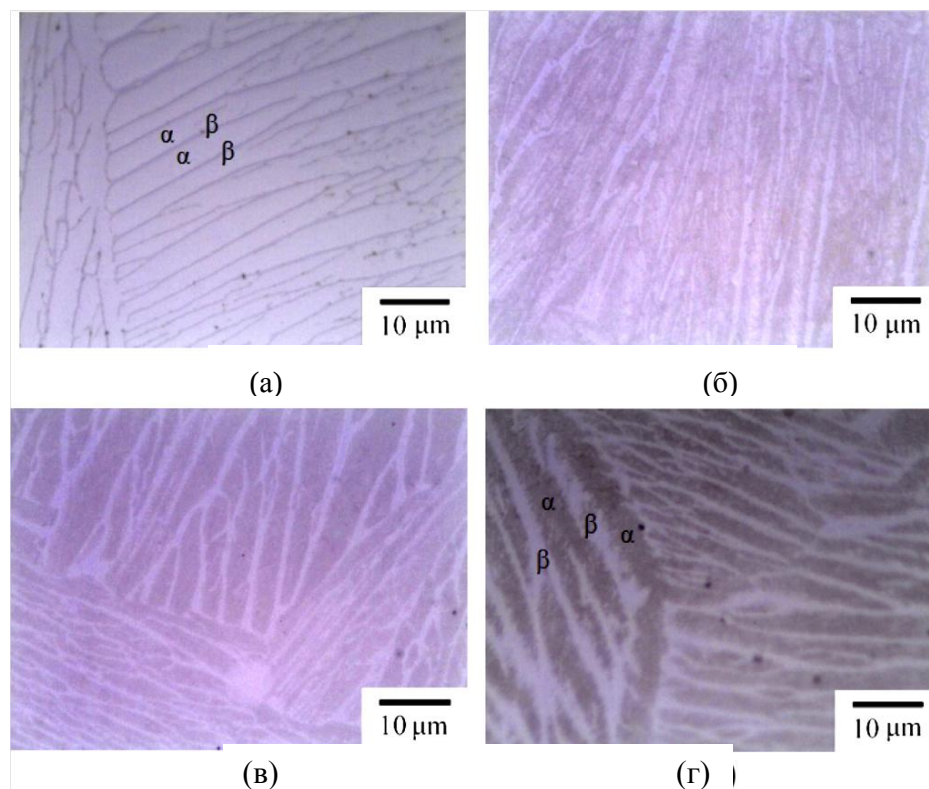


Рисунок 1.3 - Фотографии микроструктуры (а) исходного сплава Ti-6Al-4V и образцов Ti-6Al-4V, насыщенного водородом до (б) 0,3 мас.%, (в) 0,6 мас.% и (г) 0,7 мас.% [17].

На рисунке 1.3 представлены фотографии микроструктуры для исходного и нескольких гидрированных образцов сплава Ti-6Al-4V. После дегидрирования, ламеллярная микроструктура характерна для всех образцов, но цвета зерен α - и β - фаз изменяются на противоположные. Данное заключение основано на данных, полученных из оптической микроскопии, предполагается, что падающий свет рассеивается на границах между α -зернами.

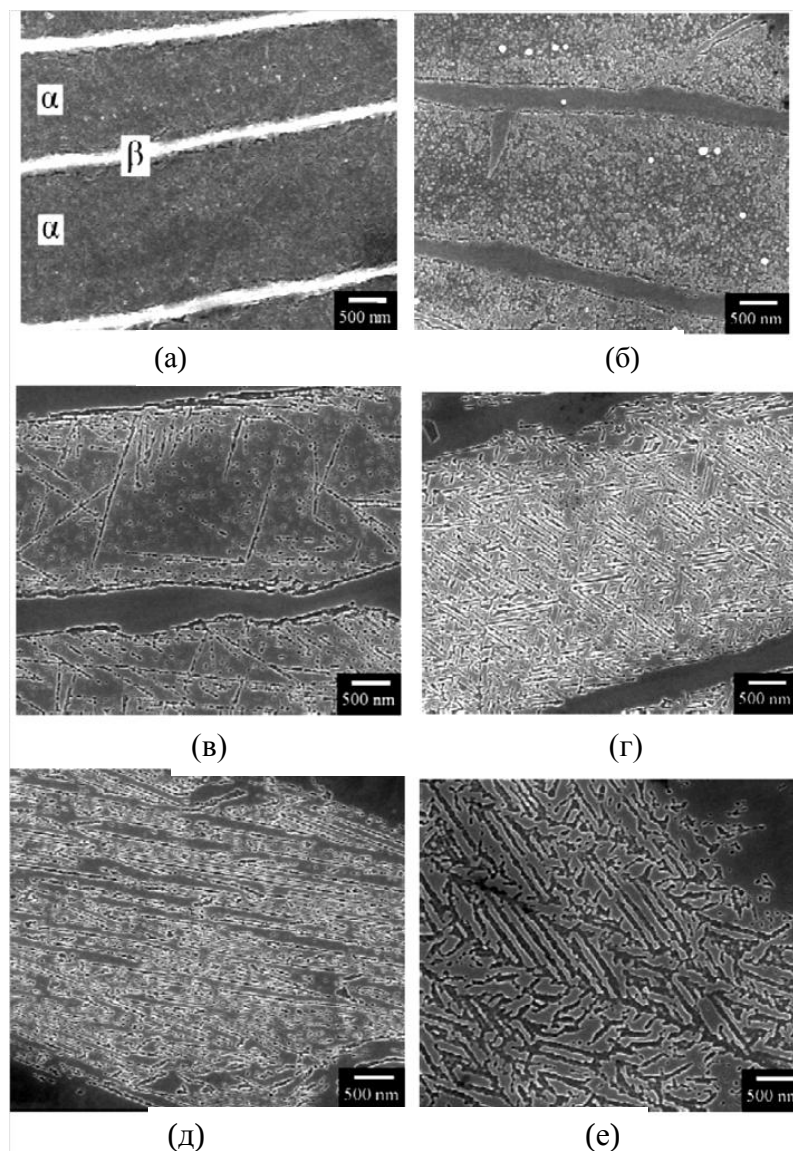


Рисунок 1.4 - Фотографии микроструктуры, полученные с помощью электронного сканирующего микроскопа, (а) исходный Ti-6Al-4V и дегидрированный Ti-6Al-4V, предварительно насыщенный водородом до (б) 0,1 , (в) 0,3, (г) 0,5, (д) 0,6 и (е) 0,7 масс.% [17]..

На рисунке 1.4 фотографии подтверждают, что новые зерна в пределах изначальных зерен являются наноструктурными пластинками, но их объемные плотности возрастают при увеличении концентрации водорода. Толщина наноструктурных пластинок изменяется в пределах от 50 до 100 нм.

Было обнаружено, что микротвердость и предел текучести при сжатии для дегидрированного Ti-6Al-4V постепенно увеличиваются с 308 Нв и 810

МПа (что соответствует исходному образцу) до 394 Нv и 1125 МПа для образца, с концентрацией водорода 0,6 масс.%. Следовательно, можно оговорить об повышении механических свойств образцов титанового сплава Ti-6Al-4V.

В [18] проводится работа по термоводородной обработке для улучшения микроструктуры и механических свойств сплава Ti-6Al-4V.

В данной работе ТВО выполнена на литом сплаве Ti-6Al-4V, включая гидрирование, обработку старения и дегидрирование, тщательно изучена эволюция микроструктуры в процессе ТВО, а роль каждого шага для микроструктуры получила тщательную оценку.

Для подтверждения эффекта измельчения зерна с помощью ТВО литой исходный образец сплава Ti-6Al-4V насыщали водородом в области β - фазы в течении 0,5 ч, с последующей выдержкой при 600 °C в течение 8 часов, что, в данном случае, являлось этапом старения материала.

Результаты этапа старения представлены на рисунке 1.4. Как можно видеть, в микроструктуре присутствуют грубые колонии, состоящий из α -ламелей длиной в сотни микрометров. Из-за роста α -фазы, вызванной нагревом, α -ламели даже более грубые, чем при литье. Кроме того, наблюдается рост в случайном направлении и слияние α -ламелей, как показано на рис.1.5 (б). Более крупная α -фаза потенциально ухудшает механическое поведение сплава Ti-6Al-4V. Таким образом, рис. 1.5 подтверждает эффект измельчения зерна с помощью ТВО.

Без добавления водорода в процессе обработки не возникает эвтектоидного разложения, что означает, что микроструктура не может быть уточнена. Напротив, нагрев, применяемый во время обработки, может укрупнить микроструктуру, полученную литьем, что приведет к ухудшению механического поведения.

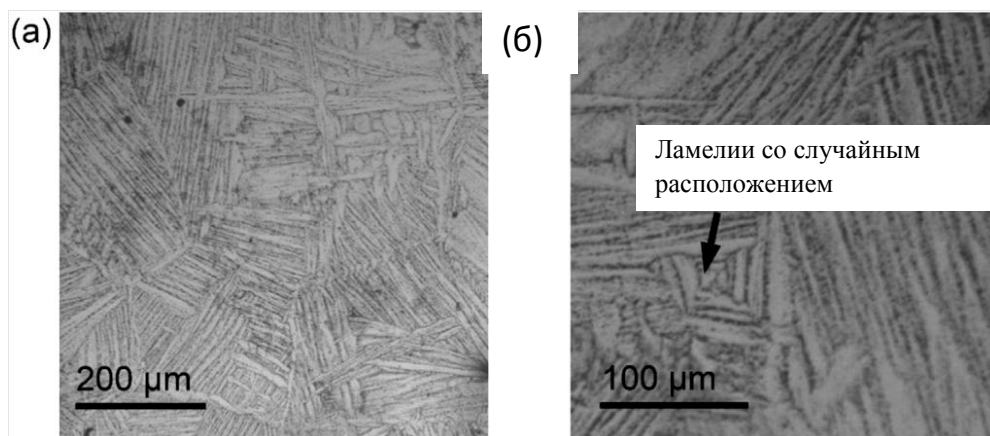


Рисунок 1.5 - Оптические изображения обрабатываемого раствора материала в одной области β в течение 0,5 ч, а затем выдерживались при 600°C в течение 8 часов [18].

В данной работе метод термоводородной обработки выполнен для утончения микроструктуры образцов титанового сплава, полученных литьем и повышения его механических свойств. Этап старения является ключевым шагом для выполнения цели - измельчения зерна при температуре старения 600 °C и концентрации водорода 0,984 мас.%, в данном случае, микроструктура соответствует эвтектоидной области.

Исследование [19] рассматривает утончение зерна и улучшение механических свойств двухфазных титановых сплавов типа $\alpha+\beta$ путем гидрирования, термической обработки и дегидрирования.

Титановые сплавы поглощают большие количества водорода и десорбируются в вакууме при повышенных температурах. В этой статье описывается равноосное зерно-измельчение и улучшение механических свойств титановых сплавов с использованием этого явления. Особое внимание было уделено контролю трех различных типов дислокационных структур, введенных следующими способами:

(1) Осаждение гидридов: по мере того, как гидрированные титановые сплавы подвергаются старению, внутри гидридов, а также в окружающем регионе вводятся высокоплотные дислокации.

(2) Формирование зеренных границ с помощью горячей обработки: температура β -перехода (рис. 1.15), понижается путем гидрирования, так что температура горячей обработки может быть снижена настолько, чтобы сохранить структуру дислокационных ячеек, сформированную во время деформации.

(3) Мартенситное превращение: при охлаждении из β -фазовой области гидрированных титановых сплавов в игольчатых мартенситах вводятся равномерно распределенные дислокации высокой плотности.

Комбинация этих факторов, таких как (3) + (1) или (3) + (2) + (1), приводит к уточнению зерен в образцах титановых сплавов $\alpha+\beta$ типа, содержащих 0,02-1,0 мас.% водорода. В сплаве Ti-6Al-4V с концентрацией водорода 0,2 мас.% были получены сверхтонкие зерна размером 1 мкм и менее. Это привело к росту прочности на растяжение, высокой усталостной прочности и отличной суперпластичной формируемости [19].

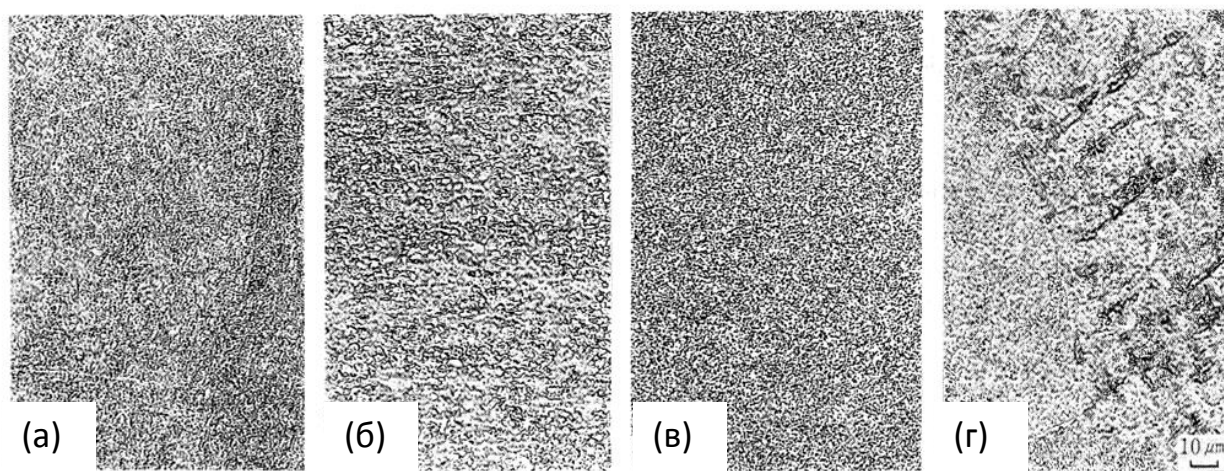


Рисунок 1.6 - Оптические микрофотографии образцов, подвергнутых термообработке и дегидрированию. Рис. (б), (в) и (г) соответствуют обработкам 1, 2 и 3 с охлаждением до температуры β -фазы, соответственно. Рис. (а) соответствует обработке 1 с охлаждением до температуры области $\alpha+\beta$ -фазы [19].

Согласно микроструктуре, наблюдаемой у гидрированных образцов (концентрация водорода 0,2 мас.%), подвергнутых обработке 2 типа, образец,

при горячей прокатке с температурой однофазной области β , не имеет ультратонких зерен. С другой стороны, образец, при горячей прокатке с температурой двухфазной области $\alpha+\beta$, показывает ультратонкие зерна, как показано на рис.1.6.

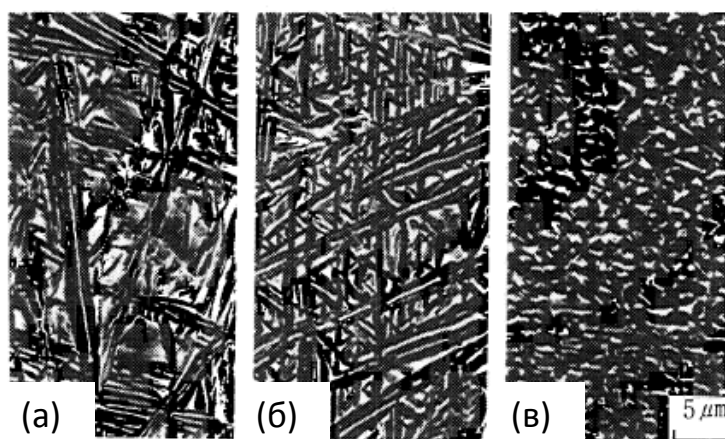


Рисунок 1.7 - Сканирующие электронные микрофотографии образцов, подвергнутых обработке 2 типа гидрированных (0,2 мас.% водорода), β -закалка, горячий прокат 0% (а), 20% (б), 60% (в) в двухфазной области ($\alpha+\beta$) и дегидрирование [19].

Образцы, охлажденные до однофазной температуры β - области без горячей прокатки, имеют резкую игольчатую структуру, как показано на рис. 1.7 (а). Исходные зерна укорачиваются в образце с 20%-ным восстановлением горячей прокаткой, как показано на рисунке 1.7 (б). Это означает, что β -фаза приводит к образованию очищенной фазы после горячей обработки. В качестве крайнего случая сверхтонкие зерна диаметром около 1 мкм могут быть получены после уменьшения на 60%, как показано на рис.2 (с).

На рисунке 1.8 показаны результаты оптической и электронной микроскопий микроструктур образцов, окончательно отожденных при дегидрировании и рекристаллизованные после горячей прокатки в двухфазной ($\alpha+\beta$) области. Видны гомогенные ультратонкие рекристаллизованные зернистые структуры размером 1 мкм или менее.

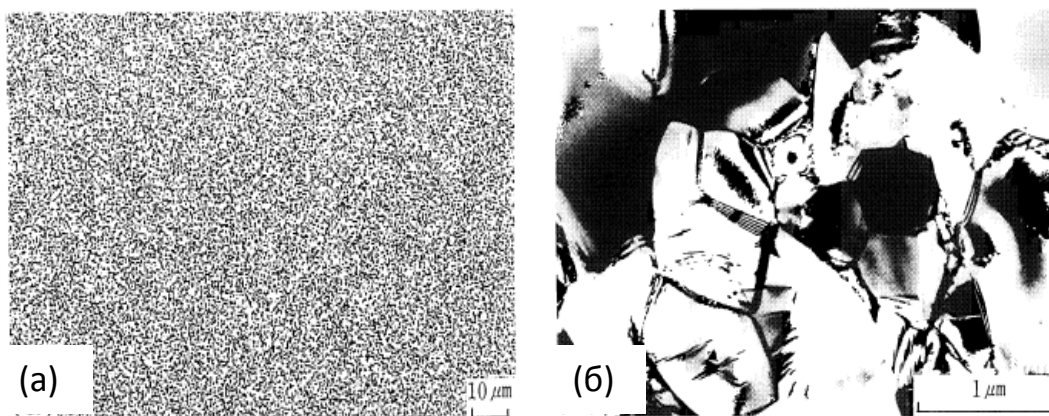


Рисунок 1.8 - Фотографии, полученные, с помощью оптического (а) и электронно-сканирующего (б) микроскопов образца, подвергнутого обработке В (гидрированный до 0,2 мас.% водорода, β - закалка, горячий прокат на 60% при температуре двухфазной ($\alpha+\beta$) области и затем дегидрированный) [19].

В данном исследовании процесс, состоящий из гидрирования, горячей обработки, термообработки, а также дегидрирования, был применен для получения ультратонкой структуры в сплавах Ti-6Al-4V. Данная работа имеет следующие выводы:

(1) Температура флуктуации уменьшается, так как β - фазовая стабильность увеличивается путем гидрирования.

(2) Сочетание операций. Горячая обработка, гидрирование и последующее дегидрирование титановых сплавов в области β -фазы приводит к ультратонко-зернистой структуре.

(3) Механизм формирования ультратонких зерен следует рассматривать следующим образом: горячая обработка 3-х фаз с небольшими количествами фазы создает дислокацию с высокой плотностью катионных структур и тонкой фазы, сформированной из деформированной β -фазы, что дает равномерное распределение дислокаций в матрице. Эти дислокационные структуры, для обеспечения возможности образования

дисперсных участков, осаждаются в виде гидридов. Плотность дислокаций, в свою очередь, обеспечивает зародышеобразование при рекристаллизации.

(4) Образцы, которые имеют наибольшее измельчение зерна, показывают более высокое растяжение [19].

В работе [20] изучался двух стадийный термо-гидридный процесс, включающий стадии гидрирования и дегидрирования, применяемый для сплава Ti-6Al-4V, изготовленного методом селективного лазерного плавления для уточнения микроструктуры и повышения пластичности сплава.

Было отмечено, что поверхность образца, полученного данным методом, состояла из оксидов титана и алюминия, которые могут влиять на процесс гидрирования.

Для оценки результатов гидрирования достаточно просмотреть и проанализировать состояние микроструктуры образцов до насыщения водородом (рис. 1.9), после насыщения (рис. 1.10) и после дегидрирования (рис. 1.11) [20].

Поверхность образцов до гидрирования, в зависимости от скорости охлаждения при производстве, представляет собой (а) относительно пластичную структуру, содержащую равновесные ламеллярные α - и β - фазы (медленное охлаждение) и (б) неравновесную микроструктуру с игольчатой формы мартенситной фазы, что связано с быстрым затвердеванием [20].

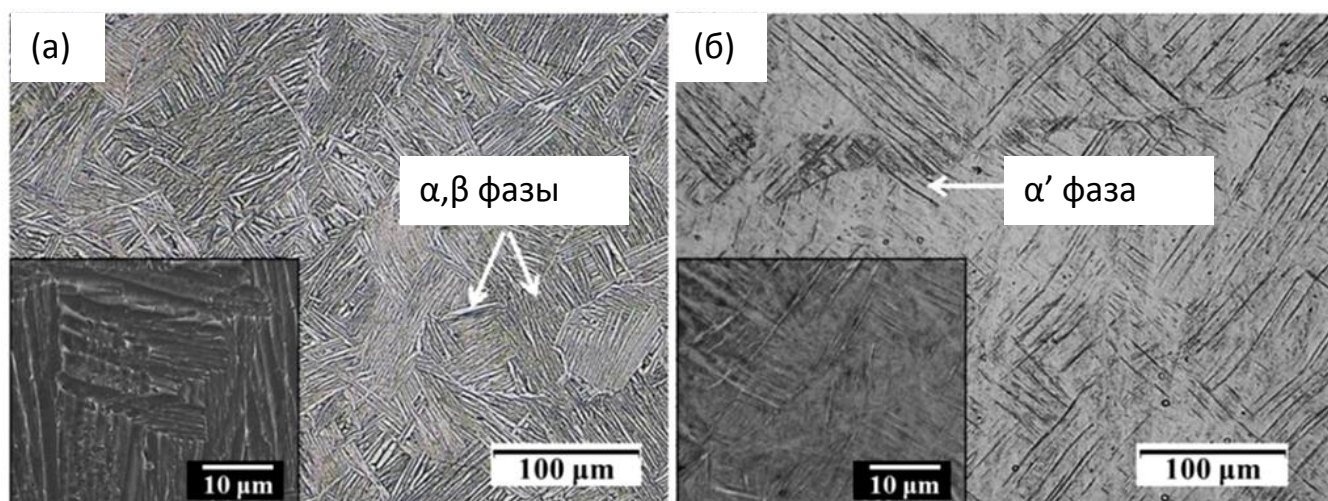


Рисунок 1.9 - Оптические микрофотографии исходных образцов, содержащих микрофотографии SEM (вставки) (а)сплав Ti-6Al-4V-ЭЛС, (б) сплав Ti-6Al-4V SLM [20].

Поскольку легирование водородом является обратимым процессом, важно рассмотреть изменение микроструктуры сплава Ti-6Al-4V при гидрировании и дегидрировании путем фазового превращения и образования новых фаз [20].

На рисунке 1.10 показано изменение микроструктуры, наблюдаемое в образцах сплава Ti-6Al-4V, прошедших насыщение водородом при 650°C, при данной температуре наблюдалась максимальная растворимость водорода в объеме образцов. Начальная микроструктура содержит мелкую α' - фазу (мартенситные иглы)- рис. 1.10 (а), как видно из рисунка тип микроструктуры значительно не изменился при гидрировании при 550 и 600 °C в течение 1 часа, рис. 1.10 (б) и (в), соответственно. С другой стороны, увеличение содержания водорода до 1,19 мас. % при 650 °C в течение 1 часа резко изменило микроструктуру и «срезало» углы в иглах мартенситной структуры [20].

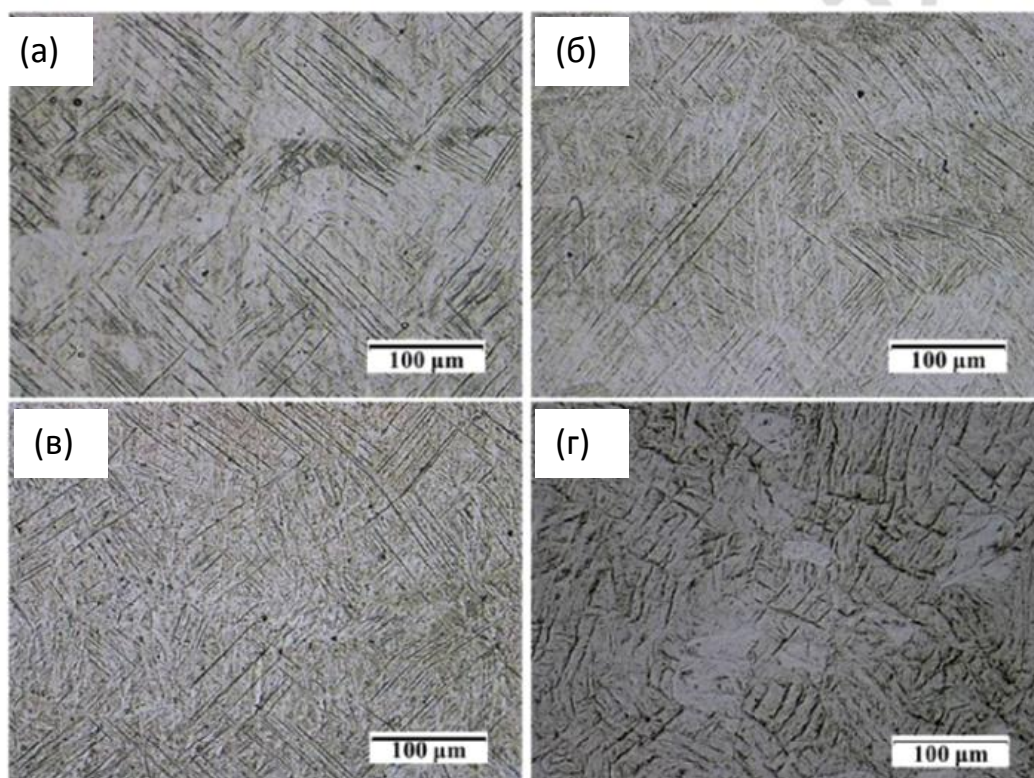


Рисунок 1.10 - Оптические микрофотографии гидрированных сплавов:
(а) без гидрирования; (б) 0,07 мас.% ; (в) 0,15 мас.% ; (г) 1,19 вес.% водорода
[20].

После дегидрирования микроструктура имела следующий вид (Рис. 1.11).

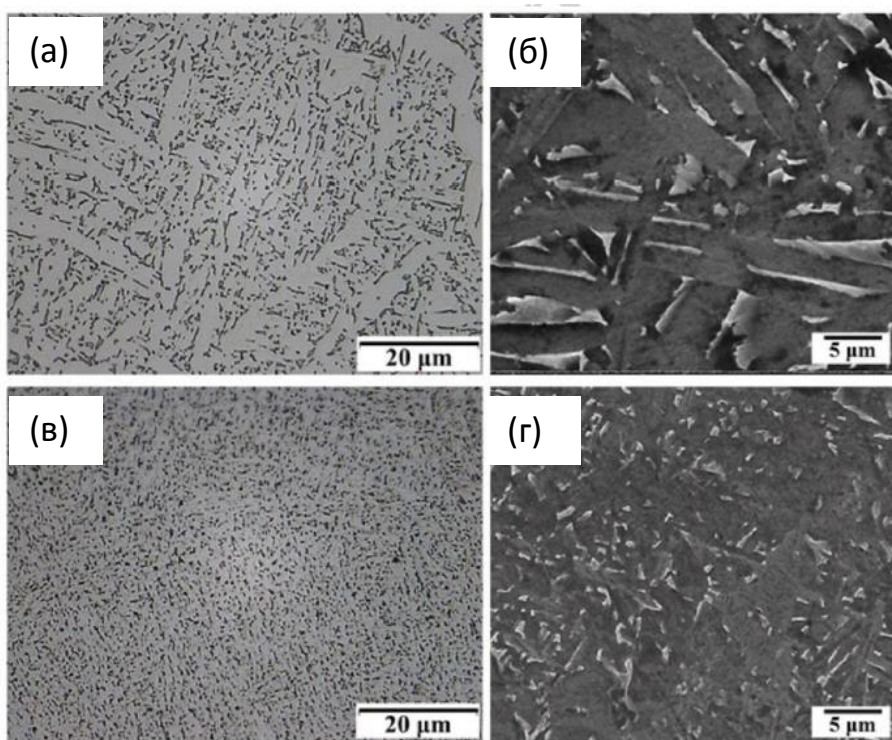


Рисунок 1.11 - (а) Фотография с оптического микроскопа структуры после обработки дегидрированием при 800 °С в течение 18 ч, (б) сканирующая электронная микроскопия образца после дегидрирования при 800 °С в течение 18 ч, (в) Оптическая микрофотография после дегидрирования при 700 °С в течение 18 ч, (г) сканирующая электронная микроскопия образца после дегидрирования при 700 °С в течение 18 ч [20].

Двухступенчатая термоводородная обработка (ТВО) была успешно применена для сплавов Ti-6Al-4V, с целью повышения пластичности.

Термоводородная обработка, примененная в данном исследовании, предотвратила образование зерен и α -фазы на границах зерен.

Максимальная концентрация водорода в течение 1 ч гидрирования достигалась при 650 °С, что, так же, зависело от поверхностного химического состава, поскольку поверхность была покрыта оксидов оксидами титана и алюминия. Кроме того, гидрирование при 650 °С и получение 1,19 мас. % водорода привело к образованию δ -фазы (гидрида), что является предпосылкой для микроструктурного изменения сплавов Ti-6Al-4V.

Было обнаружено, что обработка дегидрированием при 700 ° С в течение 18 ч является оптимальной, поскольку вызвала превращение α' -мартенситной фазы в микроструктуру, содержащую очень мелкие прерывистые α - и β - фазы и уменьшала содержание водорода до 0,0019 мас. % (концентрация водорода в исходном образце 0,0042 мас. %).

Изменение концентрации водорода и микроструктуры после термоводородной обработки также отражалось на твердости образцов. Хотя при гидрировании при 650 °С образуется гидрид (δ -фаза), уменьшение твердости объяснялось, как образование α' -мартенситной фазы, которая переходила в β -фазу с ОЦК структурой. Дальнейшее снижение твердости регистрировалось при дегидрировании, поскольку это вызвало превращение δ -фазы гидрида в α -фазу [20].

Авторы работы [21] рассматривают изменения кристаллической решетки сплава Ti-6Al-4V в зависимости от концентрации водорода в объеме образцов.

Данное исследование проводилось с помощью метода рентгеновской дифракции. Экспериментальные результаты показывают, что растворенный водород в объеме образцов титанового сплава Ti- 6Al-4V значительно влияет на параметры решеток α , β и δ -фаз, особенно сильное влияние заметно на размер ОЦК решетки, что соответствует β -фазе.

Кроме того, критическое содержание водорода для образования δ -гидридной фазы в сплаве Ti-6Al-4V составляет 0,385 мас. % [21-25]. Когда содержание водорода ниже, δ -гидрид не может осаждаться, а параметр решеток α - и β -фаз линейно возрастает с увеличением концентрации водорода в объеме. Когда содержание водорода выше критического, δ -гидрид осаждается и параметр решеток α - и β -фаз изменяется незначительно в не зависимости от изменения концентрации водорода.

В эксперименте, который описывается в данной статье, рентгенофазовый анализ используется как основной метод исследования

соотношения фаз после гидрирования. Результаты рентгенограммы представлены в таблице 1.

Таблица 1.1 - Параметры фаз в сплаве Ti-6Al-4V при разных водородных концентрациях [21]

Параметры решетки		Концентрация водорода, масс.%							
Фаза	Размер стороны, (нм)	Исх.	0,096	0,189	0,30	0,431	0,518	0,579	0,887
α	a	0,2928	0,2929	0,2921	0,2939	0,2932	0,2931	0,2915	0,2941
	c	0,4679	0,4670	0,4673	0,4699	0,4637	0,4622	0,4652	0,4675
	a/c	1,598	1,595	1,599	1,599	1,582	1,577	1,596	1,590
β	a	0,3230	0,3259	0,3292	0,3325	0,3334	0,3335	0,3336	0,3335
δ	a	-	-	-	-	0,4417	0,4423	0,4439	0,4453

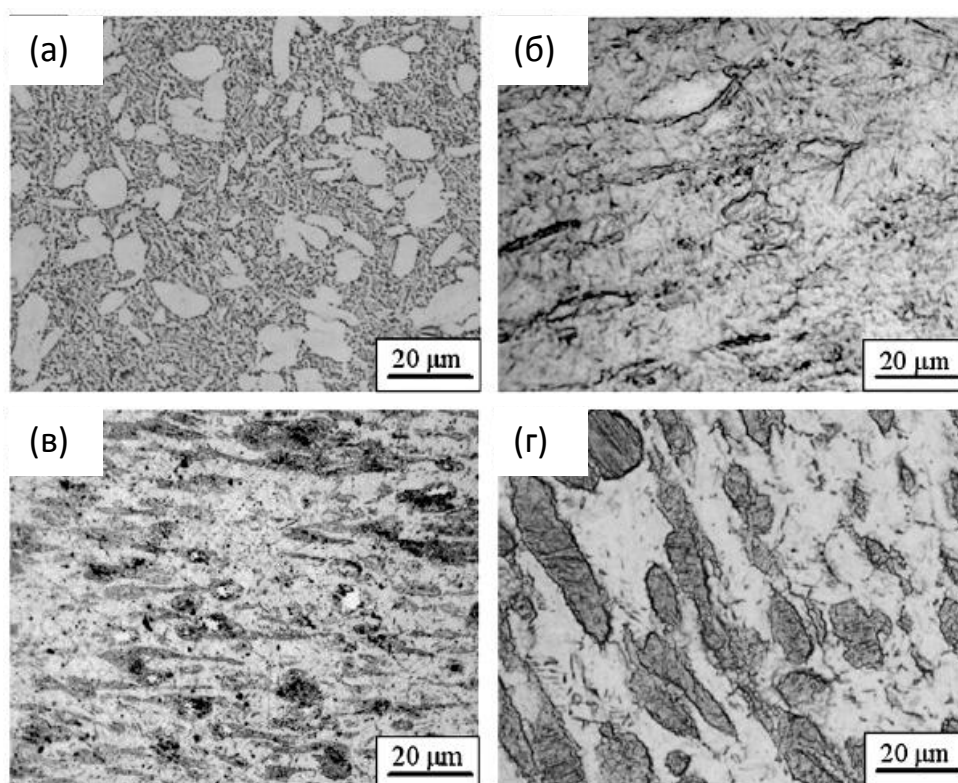


Рисунок 1.12 - Микроструктура сплава Ti-6Al-4V с различным содержанием водорода: (а) изначальная, (б) 0,30 вес.%, (в) 0,392 мас.% и (г) 0,877 мас.% [21].

Изменение контраста первичного α - зерна и трансформированного β - зерна под оптическим микроскопом в гидрированном сплаве Ti-6Al-4V обусловлено образованием δ - гидроксида [21].

Авторами статьи [22] исследовался механизм микроструктурной эволюции и гидридного осаждения в образцах сплава Ti-6Al-4V, прошедших этапы насыщения водородом.

Использование водорода в качестве временного легирующего элемента в титановых сплавах является привлекательным подходом для управления микроструктурой и улучшения механических свойств. В этом исследовании образцы двухфазного ($\alpha + \beta$) сплава Ti-6Al-4V, гидрировали до уровней концентрации водорода 0,1, 0,3 и 0,5 мас. %.

Микроструктура, фазы и фазовые превращения исследовались с помощью оптической микроскопии, рентгенофазового анализа и просвечивающей электронной микроскопии.

Результаты показали, что насыщение водородом имеет заметное влияние на микроструктуру сплава Ti-6Al-4V. Высокая концентрация водорода приводит к образованию гексагональной плотно упакованной (ГПУ) α' - фазе мартенсита и гранецентрированному кубическому (ГЦК) δ - гидриду.

В данном исследовании была выявлена микроструктурная эволюция и механизм осаждения гидроксида в сплаве Ti-6Al-4V в результате гидрирования.

Из рисунка 1.13 видно, что образец с концентрацией водорода 0,1 мас. % сохраняет исходный вид микроструктуры, но при этом увеличивается объемная доля β - фазы, тогда как микроструктуры образцов с 0,3 и 0,5 мас. %, в основном, состоят из β - фазы и α' -мартенсита. С увеличением содержания водорода, количество δ -гидрида увеличивается, и тип гидридных осадков становится неоднородным. В образец с 0,1 масс. % водорода, δ -гидрид не выпадает, имеются только α - и β -фазы. При добавлении 0,3 мас. % водорода гидрид не только осаждается на границе фаз, но также образуется в фазе [22].

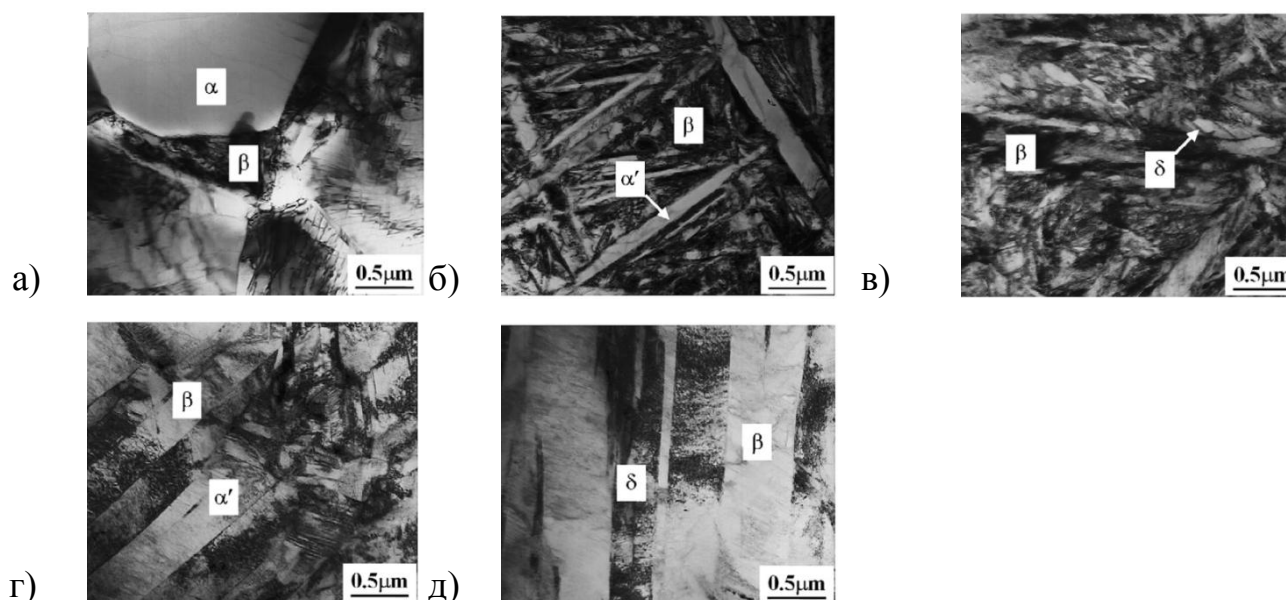


Рисунок 1.13 - Микроструктура образцов сплава Ti-6Al-4V с разными концентрациями водорода

- а) содержание водорода 0,1 мас.%, только α - и β - фазы
- б) содержание водорода 0,3 мас.% микроструктура α' мартенсита
- в) содержание водорода 0,3 мас.% микроструктура δ гидроксида
- г) содержание водорода 0,5 мас.% микроструктура α' мартенситная
- д) содержание водорода 0,5 мас.% микроструктура δ гидроксида [22].

С увеличением содержания водорода гидрид δ сначала образуется в β -фазе во время гидрирования, а затем образуется в α -фазе при охлаждении до комнатной температуры. Диффузия водорода в титановом сплаве оказывает важное влияние на формирование δ -гидрида.

Как видно из литературного обзора исследований на тему измельчения зерна в титановом сплаве Ti-6Al-4V достаточно. Наиболее распространенные методы по достижению мелкозернистой микроструктуры данного сплава это ТВО в сочетании с закалкой или старением, что в итоге повышает вероятность деформации формы изделия. Все эти методы влияют на процентное соотношение фаз и, соответственно, на микроструктуру образцов титанового сплава Ti-6Al-4V.

Но проблема заключается в том, что все эти методы по измельчению зерна рассматриваются для образцов, полученных либо классическим образом, либо с помощью лазерного спекания, что является одним из методов АМ. Метод ТВО для образцов титанового сплава Ti-6Al-4V, полученных с помощью электронно-лучевого сплавления, требует более глубокого изучения, что еще раз подчеркивает необходимость и актуальность данного исследования.

ГЛАВА IV. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Цель раздела – комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы. Необходимо оценить полные денежные затраты на исследование (проект), а также дать приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы. Раздел должен быть завершен комплексной оценкой научно-технического уровня ВКР на основе экспертных данных.

4.1. Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта.

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Для выполнения исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому

виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей. Так как число исполнителей не превышает двух, предпочтительным является линейный график. Для его построения, хронологически упорядоченные вышеуказанные данные представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя	Загрузка исполнителей
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Науч. руководитель (НР)	НР – 100%
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	НР, инженер (И)	НР – 90% И – 10%
	3	Подбор и изучение материалов по теме	НР, И	НР – 30% И – 70%
	4	Календарное планирование работ по теме	НР	НР – 90% И – 10%
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	НР, И	НР – 10% И – 90%
	6	Выбор оптимальных параметров для расчёта	НР, И	НР – 30% И – 70%
	7	Разработка методик для проведения ТВО	НР, И	НР – 10% И – 90%
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка правильности полученных результатов	И	И – 100%
	9	Обработка полученных результатов	И	И – 100%
Оформление отчета по НИР	10	Оформление графического материала	И	И – 100%
	11	Составление пояснительной записки	НР, И	НР – 60% И – 100%

4.2. Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

Первый применяется в случаях наличия достаточно развитой нормативной базы трудоемкости планируемых процессов, что в свою очередь обусловлено их высокой повторяемостью в устойчивой обстановке. Так как исполнитель работы зачастую не располагает соответствующими нормативами, то используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Аналоговый способ привлекает внешней простотой и околонулевыми затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исполнителя ВКР не устаревшего аналога, т.е. проекта в целом или хотя бы его фрагмента, который по всем значимым параметрам идентичен выполняемой ВКР. В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов.

Экспертный способ используется при отсутствии вышеуказанных информационных ресурсов и предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения вероятных значений продолжительности работ $t_{ож}$ применяется по усмотрению исполнителя одна из двух формул.

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5} \quad (4.1)$$

$$t_{ож} = \frac{t_{min} + 4t_{prob} + t_{max}}{6} \quad (4.2)$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения работы чел.-дн.;
 t_{min} – минимальная продолжительность работы, чел.-дн.;
 t_{max} – максимальная продолжительность работы, чел.-дн.;
 t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы, чел.-дн.

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

Для выполнения перечисленных в таблице 4.1 работ требуются специалисты:

- студент-инженер – в его роли действует исполнитель ВКР;
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни.

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях:

$$T_{\text{рд}} = \frac{t_{\text{ож}}}{K_{\text{вн}}} \cdot K_{\text{д}}, \quad (4.3)$$

где $K_{\text{вн}}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей;

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

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{\text{к}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}} \quad (4.4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – календарные дни;

$T_{\text{вд}}$ – выходные дни;

$T_{\text{пд}}$ – праздничные дни.

При $T_{\text{кал}} = 365$, $T_{\text{вд}} = 52$, $T_{\text{пд}} = 10$.

В таблице 4.2 приведен пример определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах 3 – 5 реализован экспертный способ по формуле 4.1, при использовании формулы 4.4 необходимо вставить в таблицу дополнительный столбец для $t_{\text{проб}}$. Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоемкости этапа для каждого из двух участников проекта, научного руководителя и студента-инженера, с учетом коэффициента $K_{\text{д}} = 1,2$.

Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{ож} \cdot K_d$. Столбцы 8 и 9 – трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на $T_K=1,212$. Итог по столбцу 5 дает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 – общие трудоемкости для каждого из участников проекта.

Таблица 4.2 – Трудозатраты на выполнение проекта

Название работы		Трудоёмкость работ			Исполнители			
		$t_{min},$ чел– дни	$t_{max},$ чел– дни	$t_{ож},$ чел– дни	Длительность в раб. днях, T_{pi}		Длительность работ в календ. днях, T_{ki}	
					НР	И	НР	И
1.	Составление и утверждение технического задания	1	3	2	2	–	3	–
2.	Выбор направления исследований	1	2	2	1	1	1	1
3.	Подбор и изучение материалов по теме	8	12	10	5	7	8	8
4.	Календарное планирование работ по теме	2	6	4	4	–	6	–
5.	Проведение теоретических расчетов и обоснований	2	5	4	–	5	–	6
6.	Выбор оптимальных параметров для расчёта	1	3	2	1	1	1	1
7.	Разработка методик для проведения ТВО	6	12	8	4	6	6	6
8.	Оценка правильности полученных результатов	2	7	4	–	6	–	6
9.	Обработка полученных результатов	9	16	12	–	15	–	18
10.	Составление пояснительной записки	7	12	9	5	7	8	8
Итого					22	48	32	68

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ, таблица 4.5. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой: $T_{ki} = T_{pi} k_{кал}$, где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; $k_{кал}$ – коэффициент календарности, T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{247} = 1,47,$$

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

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

На основе величины трудоемкости этапов по исполнителям $T_{кд}$, данные столбцов 8 и 9 кроме итогов, позволяют построить календарный график–план осуществления проекта, представленного в таблице 4.5.

График строится для максимального по длительности выполнения работ в рамках научно–исследовательского проекта (таб. 4.5.) с разбивкой по месяцам и декадам за период времени дипломирования.

Таблица 4.5. – Календарный план–график проведения работы

№	Вид работ	Т _к , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ									
			февраль		март		апрель		май		июнь	
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	3										
2	Выбор направления исследования проводимых в рамках ВКР	1										
3	Подбор и изучение материалов по теме	8										
4	Календарное планирование работ по теме	6										
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	6										
6	Выбор оптимальных параметров для расчёта	1										
7	Разработка методик для проведения ТВО	6										
8	Оценка правильности полученных результатов	6										
9	Обработка полученных результатов	18										
10	Составление пояснительной записки	8										



– студент,



– руководитель,



– совместно.

4.1. Расчет сметы на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления.

4.1.1. Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того, статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приблизительно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 – 20 %. Исполнитель работы самостоятельно выбирает их величину в границах, представленных в таблице 4.6.

Таблица 4.6. – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Баллон с водородом (10 л.)	17500	0,5 уп.	8750
Рабочая камера	300000	0,2.	60000
Итого:			68750

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны:

$$C_{\text{МАТ}} = 68750 * 1,05 = 72187,5.$$

4.1.2. Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и студента-инженера, в его роли выступает исполнитель проекта, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{20,58} \quad (4.6)$$

где 20,58 – среднее количество рабочих дней в месяце при пятидневной рабочей неделе.

Пример расчета затрат на полную заработную плату приведены в таблице 4.7. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях (с округлением до целого) взяты из таблицы 4.4. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{ПР}} = 1,1$; $K_{\text{ДОП.ЗП}} = 1,133$; $K_{\text{Р}} = 1,3$. Таким образом, для

перехода от тарифной суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку необходимо первую умножить на интегральный коэффициент:

$$K_{\text{И}} = K_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{ДОП.ЗП}} \cdot K_{\text{Р}} ; \quad (4.7)$$

$$K_{\text{И}} = 1,1 \cdot 1,133 \cdot 1,3 = 1,62.$$

Таблица 4.7. – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад руб./мес.	Среднедневная ставка руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фон з/п, руб.
НР	29568.00	1436,7	22	1,699	537001,5
И	15470	616,75	48	1,62	47900,16
Итого:					584901,7

4.1.3. Расчет затрат на социальный налог

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

$$C_{\text{СОЦ}} = C_{\text{ЗП}} \cdot 0,3; \quad (4.8)$$

$$C_{\text{СОЦ}} = 175470,51.$$

4.1.4. Расчет затрат на электроэнергию

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

$$C_{\text{ЭЛОБ}} = P_{\text{ОБ}} \cdot t_{\text{ОБ}} \cdot C_{\text{Э}}, \quad (4.9)$$

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

$C_{\text{Э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

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

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

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 4.4 для инженера ($T_{\text{РД}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$\begin{aligned} t_{\text{ОБ}} &= T_{\text{РД}} \cdot K_t = 48 \cdot 8 \cdot 0,6 = 230,4, \\ t_{\text{ОБ}} &= T_{\text{РД}} \cdot K_t = 48 \cdot 8 \cdot 0,2 = 76,8. \end{aligned} \quad (4.10)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{РД}}$, определяется исполнителем самостоятельно.

В ряде случаев возможно определение $t_{\text{ОБ}}$ путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{ОБ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot K_C, \quad (4.11)$$

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

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности.

Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Расчет затрат на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 4.8.

Таблица 4.8. – Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$, кВт	Затраты $C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$, руб.
Персональный компьютер	230,4	0,3	397,3
Gas Reaction Controller	76,6	7	3082,075
Итого:			3479,375

4.1.5. Расчет амортизационных расходов

В данной статье представлен расчёт амортизации используемого оборудования за время выполнения проекта по следующей формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot t_{OB} \cdot C_{OB} \cdot n}{F_D}, \quad (4.12)$$

где H_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

C_{OB} – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

F_D – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году;

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

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Например, для ПК в 2019 г., при 80 рабочих днях и 8-ми часовом рабочем дне, F_D равен:

$$F_D = 80 \cdot 8 = 640.$$

А для Gas Reaction Controller в 2019 F_D равен:

$$F_D = 210 \cdot 8 = 1680.$$

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

H_A определяется как величина обратная CA , в данном случае это:

$$H_A = \frac{1}{2,5} = 0,4$$

Зная значения всех коэффициентов, можно рассчитать:

$$C_{AM} = \frac{0,4 \cdot 230,4 \cdot 60000 \cdot 1}{640} + \frac{0,125 \cdot 76,6 \cdot 15000000 \cdot 1}{1680} = 94131,07.$$

4.1.6. Расчет прочих расходов

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

$$C_{\text{ПРОЧ}} = (C_{\text{МАТ}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{СОЦ}} + C_{\text{ЭЛ.ОБ}} + C_{\text{АМ}}) \cdot 0,1. \quad (4.13)$$

Прочие расходы в нашем случае:

$$C_{\text{ПРОЧ}} = (68750 + 584901,7 + 175470,51 + 3479,375 + 94131,07) \cdot 0,1 = 92673,3.$$

4.2. Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Исследование влияния термоводородной обработки на структуру и свойства титанового сплава Ti-6Al-4V изготовленного методом электронно-лучевого сплавления», представленную в таблице 4.9.

Таблица 4.9. – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{МАТ}}$	68750
Основная заработная плата	$C_{\text{ЗП}}$	584901,7
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{СОЦ}}$	175470,51
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$	3479,375
Амортизационные отчисления	$C_{\text{АМ}}$	94131,07
Прочие расходы	$C_{\text{ПРОЧ}}$	92673,3
Итого:		185346,92

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 515342,93$.

4.3. Расчет прибыли

Ввиду отсутствия данных, прибыль G рассчитана как 20 % от полной себестоимости проекта:

$$G = C \cdot 0,2 = 37069,384; \quad (4.14)$$

4.4. Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли:

$$\text{НДС} = (C + G) \cdot 0,2; \quad (4.15)$$

$$\text{НДС} = 44483,26.$$

4.5. Цена разработки ВКР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$C_{\text{НИР}} = C + G + \text{НДС}; \quad (4.16)$$

$$C_{\text{НИР}} = 266899,565.$$

4.6. Оценка экономической эффективности проекта

Оценка экономической эффективности некорректна ввиду чисто научного характера работы.

ГЛАВА V. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Для обеспечения безопасной работы и сохранения комфортных для работы условий необходимо учесть все присутствующие вредные и опасные факторы, а так же обеспечить их минимизацию с помощью мер и нормативных и правовых документов указанных в данном разделе.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

- ГОСТ 12.1.045-84 Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
- ГОСТ 7399-97 Провода и шнуры на напряжение до 450/750 В.
- ГОСТ 13109-97 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
- ГОСТ 58571.3-94 Электроустановки зданий. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током.
- СНиП 31-110-2003 Проектирование и монтаж Электроустановок жилых и общественных зданий.
- СНиП 3.05.06-85 от 01.07.1986 г. Электротехнические устройства.

Опасность действия высокой температуры:

- ГОСТ 2408.4-98 Топливо твердое минеральное. Метод определения углерода и водорода сжиганием при высокой температуре.
- ГОСТ 12.2.007.0-75 Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.
- ГОСТ 30331.4-95 Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от тепловых воздействий.

Нормативными значениями максимальных температур доступных для прикосновения частей электрооборудования при нормальных условиях работы, для ГОСТа 30331.4-95 Часть 4, приведены в таблице №23.

Таблица 5.1 – Нормативными значениями максимальных температур

Доступные для прикосновения части электрооборудования	Материал доступных частей	Максимальные температуры, °С
Ручки управления	Металл	55
	Не металл	65
Части, не предназначенные для удерживания руками	Металл	70
	Не металл	80
Части, не предназначенные для прикосновения при нормальных условиях обслуживания	Металл	80
	Не металл	90

– ГОСТ Р ИСО 6942-2007 Одежда для защиты от тепла и огня. Методы оценки материалов и пакетов материалов, подвергаемых воздействию источника теплового излучения.

Опасность поражения химическими веществами:

– ГОСТ Р ИСО 17491-4-2009 Одежда специальная для защиты от химических веществ.

– ГОСТ 12.0.004-90 ССБТ Организация обучения безопасности труда. Общие положения.

Опасность при работе с газовыми баллонами:

– инструкция № 2-07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением.

– ГОСТ Р ИСО 11439-2010 Газовые баллоны. Баллоны высокого давления для хранения природного газа. Технические условия.

– ГОСТ 9909-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба коническая вентилей и баллонов для газов.

Нормативными значениями номинальных профилей резьбы (наружной и внутренней) и размеры его, для ГОСТа 9909-81, приведены в таблице №24.

Таблица 5.2 – Нормативными значениями номинальных профилей резьбы

Шаг Р	H = 0,96 Р	H ₁ = 0,64 Р	H/6 = 0,16 Р	R = 0,13 Р
1,814	1,742	1,161	0,290	0,249

– ГОСТ Р 51982-2002 Регуляторы давления для газовых аппаратов с давлением на входе до 20 кПа. Общие технические требования и методы испытаний.

Микроклимат:

– ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные помещения. Параметры микроклимата в помещении.

– ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

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

– ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

– ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.

– СНиП 23-05-95 от 01.01.1996. Естественное и искусственное освещение.

СНиП 21-01-97 от 1998-01-01 Пожарная безопасность зданий и сооружений.

5.2. Описание рабочего места

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

В данной работе рассмотрена установка Gas Reaction Controller, для наводороживания металлических образцов при высокой температуре и высоком давлении, которая является лабораторной установкой.

При проектировании рабочих мест должны быть учтены освещенность, температура, влажность, давление, шум, наличие вредных веществ, электромагнитных полей и другие санитарно-гигиенические требования к организации рабочих мест.

При проектировании лаборатории необходимо уделить внимание и охране окружающей среды, а в частности, организации безотходного производства.

Также необходимо учитывать возможность чрезвычайных ситуаций. Так как лаборатория находится в городе Томске, наиболее типичной ЧС является мороз. Так же, в связи с неспокойной ситуацией в мире, одной из возможных ЧС может быть диверсия.

5.3. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

В лаборатории, где находятся различные электроустановки, магнетрон, а также используется метан в качестве исходного продукта, могут быть следующие вредные факторы: наличие

- а) не комфортных метеоусловий;
- б) вредных веществ;
- в) производственного шума;
- г) недостаточной освещенности;

При работе на установке Gas Reaction Controller LP на сотрудников могут воздействовать опасные и вредные факторы, приведенные в таблице 5.3.

Таблица 5.3 Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003–74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на установке Gas Reaction Controller LP	Шум; высокое напряжение; электромагнитное излучение; утечка газа; повышенная температура камеры.	—	– ГОСТ 12.1.045-84 Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. – инструкция № 2-07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением. – ГОСТ Р ИСО 11439-2010 Газовые баллоны. Баллоны высокого давления для хранения природного газа. Технические условия. – ГОСТ 30331.4-95 Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от тепловых воздействий. – Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002
	—	Электрический ток	ГОСТ Р 12.1.019–80 ССБТ электробезопасность

5.3.1. Метеоусловия

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха.

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, происходит повышенный приток крови к поверхности

тела, и выделение тепла в окружающую среду значительно увеличивается. При низкой температуре окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются, приток крови к поверхности тела замедляется, и теплоотдача конвекцией и излучением уменьшается. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Повышенная влажность воздуха ($\phi > 85\%$) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ($\phi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 5.1 [ГОСТ 12.1.005-88].

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей.

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, относящаяся к инженерам – разработчикам, относится к категории легких работ. Допустимые значения микроклимата для этого случая даны в таблице.

Таблица 5.4 – Требования к микроклимату

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	средняя	19 – 24	15 - 75	≤ 0.1

Теплый	средняя	20 - 28	15 - 75	≤ 0.2
--------	---------	---------	---------	------------

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и гидротрубопроводов.

5.3.2. Вредные вещества

Определения содержания водорода в образцах осуществлялось анализатором водорода RHEN-602 – это инструмент на платформе Windows, для определения концентрации водорода в образце, методом нагрева или плавления в автономной электродной печи в среде инертного газа, работа которого производится за счет питания от сети переменного тока напряжением 220 В. Работая на газоанализаторе RHEN-602 возможно воздействие вредных и опасных факторов, негативно влияющих на здоровье сотрудников, которыми являются:

- опасность поражения химическими веществами;
- работа с газовыми баллонами;

Работа в условиях высокой температуры сопровождается интенсивным потоотделением, что приводит к обезвоживанию организма, потере минеральных солей и водорастворимых витаминов, вызывает серьезные и стойкие изменения в деятельности сердечно-сосудистой системы, увеличивает частоту дыхания, а также оказывает влияние на функционирование других органов и систем – ослабляется внимание, ухудшается координация движений, замедляется реакция и т.д. При работе на газоанализаторе важно отметить, что запрещается прикасаться к высоко разогретым элементам экспериментального комплекса, во избежание получения термических ожогов при работе.

При работе на газоанализаторе возможно поражение химическими веществами, которые при попадании в атмосферу могут воздействовать на работников, а также заражать воздух, разные предметы и материалы. Для защиты от поражения химических веществ следует выполнять комплекс мероприятий, проводимых с целью предотвращения или ослабления воздействия на сотрудников химической обстановки, а также точное соблюдение правил технической эксплуатации.

При утечке газа из баллона возможно удушье, отравление, а также возгорание и взрыв, поэтому необходимо знать и неукоснительно соблюдать правила пользования газовыми приборами. Проверить целостность газового баллона и прочность его крепления, наличие видимых повреждений. Вентиль газового баллона и резьба должны находиться в исправленном состоянии, редуктор должен соответствовать газу в баллоне.

Водород технический газообразный должен изготавливаться в соответствии с требованиями ГОСТ 3022-80 "Водород технический. Технические условия." по технологическим регламентам, утвержденным в установленном порядке. Требования ГОСТ 3022-80 распространяются на технический водород, получаемый из азотоводородной смеси и электролизом воды. Применяемый в химической, нефтехимической, металлургической, фармацевтической, электронной и других отраслях промышленности. Формула H_2 .

Молекулярная масса (по международным атомным массам 1985 г.) - 2,016. В зависимости от назначения технический водород выпускается в сжатом и несжатом виде двух марок:

А - используется в электронной, фармацевтической, химической промышленности, в порошковой металлургии: для осаждения тугоплавких соединений из окислов металлов; при спекании изделий из порошковых материалов, содержащих хром и нержавеющие стали;

Б - используется в электронной, химической, цветной металлургии, фармацевтической промышленности, промышленности средств связи и в энергетике.

Таблица 5.5 – технические нормы

Наименование показателя	Норма для марки	
	А	В
Объемная доля водорода в пересчете на сухой газ, % не менее	99,99	99,95
Суммарная объемная доля кислорода и азота, не более	0,01	0,05
Массовая концентрация водяных паров при 20°С и 101,кПа (760 мм рт.ст.), г/см ³ , не более:		
1. в трубопроводах	0,5	0,5
2. в баллонах под давлением	0,2	0,2

Требования безопасности

Водород – бесцветный горючий газ без запаха. Плотность водорода при нормальных условиях равна 0,09 кг/м³; плотность по воздуху - 0,07 кг/м³; теплота сгорания-28670 ккал/кг; минимальная энергия зажигания - 0,017 мДж. С воздухом и кислородом образует взрывоопасную смесь. Смесь с хлором (1:1) на свету взрывается; с фтором водород соединяется со взрывом в темноте; смесь с кислородом (2:1)-гремучий газ. Пределы взрываемости: с воздухом 4 - 75 об. %, с кислородом 4,1 - 96 об. %.

Взрывоопасные смеси водорода с воздухом относятся к категории II С, группе Т1 по ГОСТ 12.1.011-78. Температура самовоспламенения водорода 510°С. Водород физиологически инертен; при высоких концентрациях вызывает удушье. Наркотическое действие проявляется при высоких давлениях.

При работе в среде водорода необходимо пользоваться изолирующим противогазом (кислородным или шланговым).

Эксплуатация баллонов, наполненных газообразным водородом, а также контейнеров-реципиентов с водородом должна проводиться в соответствии с правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, утвержденными Госгортехнадзором РФ.

5.3.3. Производственный шум

Вентиляция производственных помещений предназначена для уменьшения запыленности, задымленности и очистки воздуха от вредных выделений производства, а также для сохранности оборудования. Она служит одним из главных средств оздоровления условий труда, повышения производительности и предотвращения опасности профессиональных заболеваний. Система вентиляции обеспечивает снижение содержания в воздухе помещения пыли, газов до концентрации не превышающей ПДК. Проветривание помещения проводят, открывая форточки. Проветривание помещений в холодный период года допускается не более однократного в час, при этом нужно следить, чтобы не было снижения температуры внутри помещения ниже допустимой. Воздухообмен в помещении можно значительно сократить, если улавливать вредные вещества в местах их выделения, не допуская их распространения по помещению. Для этого используют приточно-вытяжную вентиляцию. Кратность воздухообмена не ниже 3.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА. В нашем случае этот параметр соответствовал значению 75 дБА.

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

СКЗ

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

СИЗ

- применение спецодежды, спецобуви и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

5.3.4. Освещенность

Согласно СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 200 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в

поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 6$ м, ширина $B = 4.5$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B,$$

где A – длина, м;

B – ширина, м.

$$S = 6 \times 4.5 = 27 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{II} = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_z = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{ЛД} = 2600$ Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной

решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda=1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$H = h_n - h_p,$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $H = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 0,8 - 0,5 = 2,2 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2,2 = 2,42 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{4,5}{2,42} = 2,045 \approx 2$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{6}{2,42} = 2,72 \approx 2$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 2 \cdot 2 = 4$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,42}{3} = 0,8 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 2 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

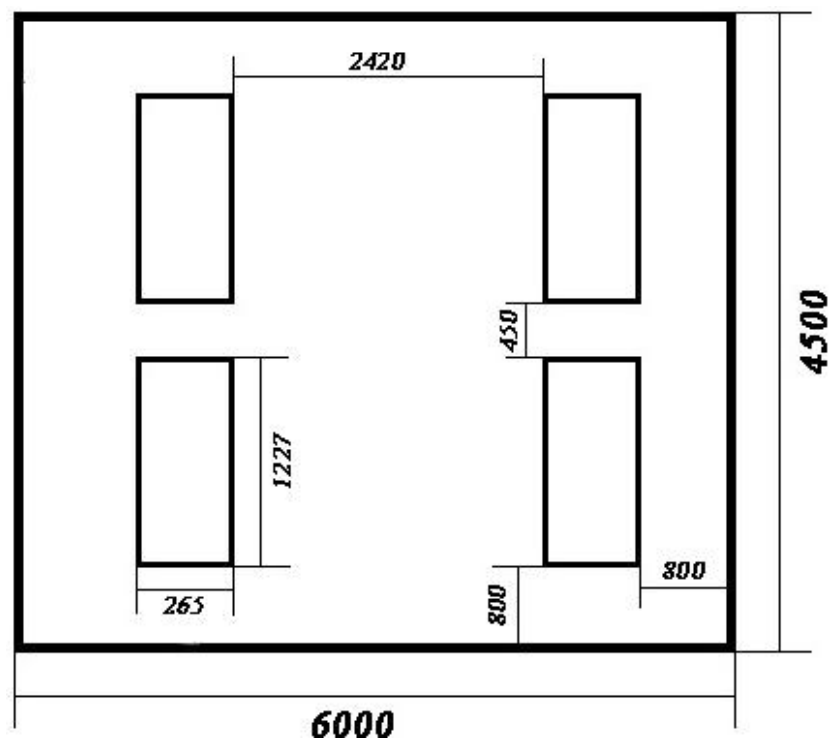


Рисунок 5.1 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{6 \cdot 4,5}{2,0 \cdot (6 + 4,5)} = 1,3$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{П}} = 70 \%$, $\rho_{\text{С}} = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,3$ равен $\eta = 0,47$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{П}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 6 \cdot 4,5 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,47} = 2369,68 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{2600 - 2369,68}{2600} \cdot 100\% = 5,5\%.$$

Таким образом: $-10\% \leq 5,5\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

5.4. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

5.4.1. Факторы электрической природы

Управление установками осуществляется с помощью ЭВМ. Дисплеи персональных компьютеров и системные блоки являются источниками электромагнитного излучения. Последствия регулярной работы с компьютером без применения защитных средств: заболевания органов зрения, болезни сердечно-сосудистой системы, заболевания желудочно-кишечного тракта, кожные заболевания, различные опухоли. Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы нормируются в соответствии с санитарными нормами и правилами СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Допустимая напряжённость электрического поля: 25 В/м (5Гц-2кГц) и 2,5 В/м (2-400 кГц). Продолжительность непрерывной работы с ПЭВМ не должна превышать 2 ч. Безопасность при работе с ПК может быть обеспечена за счет рационального размещения компьютеров в помещениях, правильной организации рабочего дня пользователей, а также за счет применения средств повышения контраста и защиты от бликов на экране, электромагнитных излучений и электростатического поля.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);

- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

5.4.2. Факторы пожарной и взрывоопасной природы

Согласно нормам пожарной безопасности, в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г, Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д.

Категории взрывопожарной и пожарной опасности помещений и зданий определяются для наиболее неблагоприятного в отношении пожара или взрыва периода исходя из вида находящихся в аппаратах и помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, особенностей технологических процессов.

Помещение лаборатории по степени пожароопасности относится к категории А, т.е. помещения, в которых находятся горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости.

При обнаружении неисправностей работы газоанализатора RHEN-602 необходимо выполнить следующие действия:

- выйти из программы;
- отключить питание компьютера;
- отключить газоанализатора RHEN-602 от электросети;
- известить об этом вышестоящего руководителя;

В случае обнаружения утечки газа из баллона немедленно прекратить подачу газа из баллона и сообщить об аварийной ситуации непосредственному руководителю.

При возникновении возгорания необходимо немедленно прекратить работу, закрыть баллон с газом, отключить электрооборудование, позвонить в подразделение пожарной охраны по телефону 01 или 010, сообщить о случившемся руководителю подразделения и приступить к тушению огня первичными средствами пожаротушения.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов.

Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (рисунок 5.2).

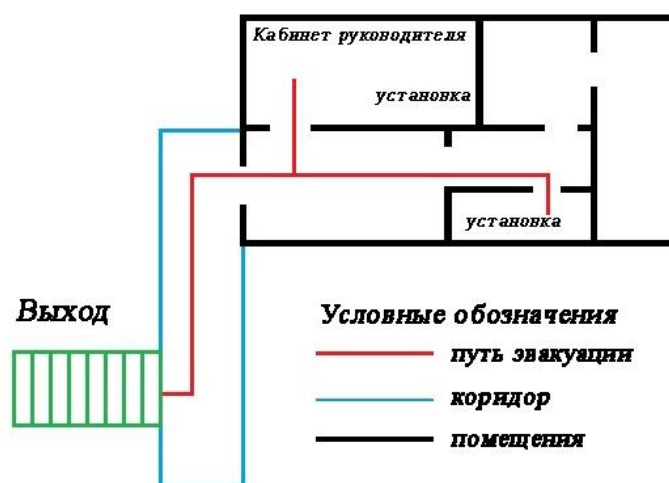


Рисунок 5.2 – План эвакуации из лаборатории.

5.5. Охрана окружающей среды

Охрана окружающей среды — это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения — это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

Для перехода к безотходным производствам в лаборатории необходимо осуществлять сбор водорода в специальные емкости (в настоящее время он выпускается в воздух).

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

5.6. Защита в ЧС

При обнаружении неисправностей работы газоанализатора RHEN-602 необходимо выполнить следующие действия:

- выйти из программы;
- отключить питание компьютера;
- отключить газоанализатора RHEN-602 от электросети;
- известить об этом вышестоящего руководителя;

В случае обнаружения утечки газа из баллона немедленно прекратить подачу газа из баллона и сообщить об аварийной ситуации непосредственному руководителю.

При возникновении возгорания необходимо немедленно прекратить работу, закрыть баллон с газом, отключить электрооборудование, позвонить

в подразделение пожарной охраны по телефону 01 или 010, сообщить о случившемся руководителю подразделения и приступить к тушению огня первичными средствами пожаротушения.

При поражении работника электрическим током необходимо как можно скорее освободить пострадавшего от воздействия электрического тока, проверить состояние пострадавшего и вызвать при необходимости скорую помощь. До приезда скорой помощи оказать пострадавшему необходимую первую помощь или, при необходимости, организовать доставку пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение, о произошедшем несчастном случае поставить в известность руководителя структурного подразделения.

Достижение критически низких температур может привести к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы оборудования. Обеспечение устойчивости теплоснабжения достигается за счет запасных автономных источников теплоснабжения, кольцевания системы, заглубления теплотрасс.

Для обеспечения безопасности работника, предотвращения хищений и проникновении посторонних лиц на предприятие следует использовать ряд мер безопасности: контрольно-пропускной пункт, системы видеонаблюдения, круглосуточная охрана, оповещающие системы безопасности при несанкционированном проникновении на предприятие в нерабочее время.

Вывод

В данном разделе были приведены необходимые нормативные и правовые документы, необходимые для сохранения безопасной обстановки при работе, а так же указаны основные возможные вредные и опасные факторы, имеющие вероятность возникновения в данном случае.

Заключение

В результате данной работы был разработан метод ТВО, заключающийся в последовательном выполнении таких этапов, как насыщение образцов водородом, некоторый α/β - фазовый переход и последующее дегидрирование. Так же было проведено исследование влияния данного метода на микроструктуру и свойства образцов титанового сплава Ti-6Al-4V, полученных с помощью метода ЭЛС.

Было выявлено, что ТВО изменяет микроструктуру и механические свойства образцов: измельчая зерна, увеличивает концентрацию β - фазы, и тем самым понижает твердость поверхности.

Список литературы

1. Besenbacher F., Myers S. M., Nørskov J. K. Interaction of hydrogen with defects in metals //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 1985. – Т. 7. – С. 55-66.
2. Агеев В. Н. и др. Взаимодействие водорода с металлами. – 1987.
3. Christmann K. Interaction of hydrogen with solid surfaces //Surface Science Reports. – 1988. – Т. 9. – №. 1-3. – С. 1-163.
4. Кудияров В. Н., Лидер А. М. Изучение процессов сорбции и десорбции водорода при помощи автоматизированного комплекса gas reaction controller LP //Фундаментальные исследования. – 2013. – Т. 15. – №. 10.
5. Ren J. et al. Current research trends and perspectives on materials-based hydrogen storage solutions: a critical review //International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – Т. 42. – №. 1. – С. 289-311.
6. Астафурова Е. Г. и др. Закономерности водородного охрупчивания аустенитных нержавеющей сталей с ультрамелкозернистой структурой разной морфологии //Физическая мезомеханика. – 2018. – Т. 21. – №. 2.
7. Киричок П. Ф. Коррозионное растрескивание алюминиевых сплавов и нержавеющей сталей: ключевые особенности и методы испытаний (обзор) //Труды ВИАМ. – 2018. – №. 7 (67).
8. Колачев Б. А. Водородная хрупкость металлов. – 1985.
9. Гареев А. Г., Насибуллина О. А., Ризванов Р. Г. Изучение коррозионного растрескивания магистральных газонефтепроводов //Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело. – 2012. – №. 6. – С. 126-146.
10. Руюцов А. Н., Олесов Ю. Г., Антонова М. М. Гидрирование титановых материалов. – Наукова думка, – 1971.
11. Mueller W. M., Blackledge J. P., Libowitz G. G. (ed.). Metal

hydrides. – Elsevier, 2013. 51-87

12. Г.М. Полетаев// Исследование процессов абсорбции и диффузии водорода в ГЦК металлах методом молекулярной динамики. – 2014

13. В.Н. Кудияров, А.М. Лидер, Н.С. Пушилина, Н.А. Тимченко// Особенности накопления и распределения водорода при насыщении титанового сплава ВТ1-0 электролитическим методом и из газовой среды. – 2013.

14. Гордиенко Ю. Н., Кульсартов Т. В., Заурбекова Ж. А., Понкратов Ю. В., Гныря В. С., Никитенков Н. Н.// Применение метода водородопроницаемости в реакторных экспериментах по исследованию взаимодействия изотопов водорода с конструкционными материалами. -2014

15. Petr Hruška, Jakub Čížek, Jan Knapp, František Lukáč, Oksana Melikhova, Silvie Mašková, Ladislav Havela, Jan Drahokoupil // Characterization of defects in titanium created by hydrogen charging, - International Journal of Hydrogen Energy, - 2017.

16. Шиховцов А. А. Влияние внутренних и внешних факторов на замедленное хрупкое разрушение стали //Фундаментальные исследования. – 2013. – Т. 9. – №. 11.

17. Арчаков Ю. И. Водородоустойчивость стали. – Metallurgia, 1978.

18. Присевок А. Ф. Механизм водородного изнашивания металлов и сплавов //НАУКА и ТЕХНИКА. – 2018. – №. 3. – С. 23-35.

19. Rivera P. C., Ramunni V. P., Bruzzoni P. Hydrogen trapping in an API 5L X60 steel //Corrosion Science. – 2012. – Т. 54. – С. 106-118.

20. Haq A. J. et al. Effect of microstructure and composition on hydrogen permeation in X70 pipeline steels //International journal of hydrogen energy. – 2013. – Т. 38. – №. 5. – С. 2544-2556.

21. Drexler E. S. et al. Fatigue crack growth rates of API X70 pipeline steel in a pressurized hydrogen gas environment //Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures. – 2014. – Т. 37. – №. 5. – С. 517-525.

22. Escobar D. P. et al. Combined thermal desorption spectroscopy, differential scanning calorimetry, scanning electron microscopy and X-ray diffraction study of hydrogen trapping in cold deformed TRIP steel //Acta Materialia. – 2012. – T. 60. – №. 6-7. – C. 2593-2605.
23. Lee S.M., Lee Y.L. Structural relaxation and hydrogen solubility in an amorphous Pd₈₀Si₂₀ alloy // Journal of Applied Physics. – 1988. – T. 63. – №. 9. –C. 4758-4760.
24. Choo W.Y., Lee J.Y. Hydrogen trapping phenomena in carbon steel //Journal of Materials Science. – 1982. – T. 17. – №. 7. – C. 1930-1938.
25. Olden V., Alvaro A., Akselsen O. M. Hydrogen diffusion and hydrogen influenced critical stress intensity in an API X70 pipeline steel welded joint–Experiments and FE simulations //International journal of hydrogen energy. – 2012. – T. 37. – №. 15. – C. 11474-11486.
26. Winzer N. et al. Hydrogen diffusion and trapping in Ti-modified advanced high strength steels //Materials & Design. – 2016. – T. 92. – C. 450-461.
27. Zhao W. et al. Determination of the critical plastic strain-induced stress of X80 steel through an electrochemical hydrogen permeation method //Electrochimica Acta. – 2016. – T. 214. – C. 336-344.
28. Kudiiarov V. N., Pushilina N. S., Harchenko S. Y. Development of Stand for Testing Electrochemical Permeation (STEP) of Hydrogen through Metal Foils //Advanced Materials Research. – 2015. – T. 1085. – C. 224.