

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

Институт международного образования и языковой коммуникации
Направление подготовки 03.03.02 Физика
Кафедра Общей физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Влияние водорода, отжига и облучения электронным пучком на структуру и механические свойства титанового сплава

УДК 669.295.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б20	Лю Цан		

Руководитель

Должность	ФИО	Учебная степень	Подпись	Дата
Доцент	Степанова Е.Н.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Учебная степень	Подпись	Дата
Доцент, Кафедра менеджмента	Конотопский В. Ю.	к.э.н.		

По разделу «социальная ответственность»

Должность	ФИО	Учебная степень	Подпись	Дата
Доцент	Пустовойтова М. И.	к.х.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень	Подпись	Дата
ОФ	Лидер А.М.	к.ф.-м.н., Доцент		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по основной образовательной программе высшего профессионального образования,
направление подготовки 03.03.02 Физика,
квалификация - бакалавр

Код результата	Результат обучения (компетенции выпускника)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные (универсальные) компетенции</i>		
P1	Способен самостоятельно приобретать новые знания, использовать современные образовательные и информационные технологии, совершенствовать и развивать свой профессиональный уровень, поддерживать здоровый образ жизни	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-7, ОК-8, ОК-11, ОК-19) [2], Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Способен к поиску, обработке и интерпретации с использованием современных информационных технологий данных, необходимых для формирования суждений по соответствующим социальным, научным и этическим проблемам как в коллективе, так и индивидуально (на родном и иностранном языке)	Требования ФГОС (ОК-3, ОК-4, ОК-8, ОК-14, ОК-15, ПК-10, ПК-12, ПК-13), Критерий 5 АИОР (пп. 2.1, 2.2, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Способен критически переосмысливать свой накопленный социальный и профессиональный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, следовать этическим и правовым нормам и нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-9, ОК-10, ПК-5, ПК-18), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P4	Способен к овладению и применению базовых знаний в области естественных наук и математики для решения профессиональных задач, к усвоению основных педагогических моделей, форм и приемов педагогического воздействия на личность; закономерностей педагогического	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-9, ОК-10, ОК-11, ПК-1, ПК-2, ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, экспериментальные методы исследования конденсированного состояния вещества, методы анализа поверхности твердых тел и тонких пленок	Требования ФГОС (ОК-12, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-14), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 2.2, 2.6), согласованный с требованиями международных

		стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, современную электронику в электрофизических и плазменных установках, а также учесть взаимодействие излучения и плазмы с веществом, современные достижения водородной энергетики и плазменных технологий	Требования ФГОС (<i>ОК-10, ОК-11, ПК-1, ПК-2</i>), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, базовые естественнонаучные и математические знания при получении и исследовании наноматериалов	Требования ФГОС (<i>ОК-12, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-14</i>), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 2.2, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Способен понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, к применению на практике полученных знаний при обработке, анализе и синтезе полученных физических данных в соответствии с профилем профессиональной деятельности	Требования ФГОС (<i>ОК-12, ОК-16, ОК-21.ПК-1, ПК-2, ПК-5, ПК-6, ПК-7</i>), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Способен понимать и использовать на практике теоретические основы планирования и организации физических исследований, представлять результаты и применять на практике методы управления в сфере природопользования	Требования ФГОС (<i>ОК-12, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-14</i>), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 2.2, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Способен формировать суждения о значении и последствиях своей профессиональной деятельности с учетом социальных, правовых, этических и природоохранных аспектов, при необходимости применить ресурсо- и энергосберегающие технологии	Требования ФГОС (<i>ОК-10, ОК-11, ПК-1, ПК-2, ПК-7, ПК-9</i>), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

Институт – Институт международного образования и языковой коммуникации
 Специальность – 03.03.02 Физика
 Кафедра – Общей физики

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

 (Подпись) _____ Лидер А.М.
 (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
150Б20	Лю Цан

Тема работы: Влияние водорода, отжига и облучения электронным пучком на структуру и механические свойства титанового сплава
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

14.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	- образцы сплава титана ВТ6 в МЗ и УМЗ состояниях
---	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	- литературный обзор; - методы исследования и подготовки образцов сплава титана ВТ6; - проведение насыщения образцов сплава титана ВТ6 в мелкозернистом и ультрамелкозернистом состояниях из газовой фазы по методу Сивертса; - исследование влияния водорода, отжига и облучения на структурно-фазовое состояние сплава титана ВТ6 в мелкозернистом и ультрамелкозернистом состояниях; - исследования влияния водорода и облучения на механические свойства сплава ВТ6 в мелкозернистом и ультрамелкозернистом состояниях; - обсуждение результатов; - заключение
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Доцент к.х.н. Пустовойтова М.И.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент к.э.н. Конотопский В.Ю.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском языке:	
обзор литературы; объект и методы исследования; экспериментальная часть; финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность; заключение	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Доцент	Степанова Е.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б20	Лю Цан		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТ И РЕСУРСОБЪЕКТ»**

Студенту:

Группа	ФИО
150620	Лю Цан

Институт	Международного образования и языковой коммуникации	Кафедра	Общей физики
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	...
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	...
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	...

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	...
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	...

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. 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, Кафедра менеджмента	Конотопский В. Ю.	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150620	Лю Цан		

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
150Б20	Лю Цан

Институт	Международного образования и языковой коммуникации	Кафедра	Общей физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 Физика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Прибор: установка GasReactionController; Рабочая зона: лабораторная аудитория; Материал: титановый сплав ВТ6
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).	1. Техногенная безопасность: 1.1. Анализ выявленных вредных факторов и методы защиты: а) отклонение показателей микроклимата в помещении; б) превышение уровней шума; в) превышение уровней электромагнитных и ионизирующих излучений; г) недостаточная освещенность рабочей зоны. Анализ микроклимата 1.2. Анализ выявленных опасных факторов и методы защиты: электрический ток.
2. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению	2. Региональная безопасность: – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); методы решения.

экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	
3. Организационные мероприятия обеспечения безопасности – расположение и компоновка рабочего места; – окраска и размеры органов управления (маркировка опасных зон); – технологические перерывы, проветривание помещения и комнаты психологической разгрузки.	3. Организационные мероприятия обеспечения безопасности: – расположение и компоновка рабочего места; – инструментальная подготовка; – контроль оборудования; – организация рабочего места.
4. 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.	4. Особенности законодательного регулирования проектных решений.
5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – средства избежания опасности пожара и взрыва; – план эвакуации людей.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пустовойтова М.И.	к.х.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б20	Лю Цан		

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

Институт – Институт международного образования и языковой коммуникации
 Специальность – 03.03.02 Физика
 Кафедра – Общей физики

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)
15.05.2016	Обзор литературы	30
20.05.2016	Экспериментальная часть	30
04.06.2016	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	15
04.06.2016	Раздел «Социальная ответственность»	15
04.06.2016	Приложение на иностранном языке	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Доцент	Степанова Е.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Общей физики	Лидер А.М.	К.ф.-м.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 84 с., 24 рис., 20 табл., 24 источника литературы.

Ключевые слова: титановый сплав, водород, облучение, структура, механические свойства.

Объектом исследования являются образцы сплава ВТ6 в мелко- и ультрамелкозернистом состояниях.

Цель работы – исследование влияния водорода, отжига и облучения электронным пучком на структуру и механические свойства титанового сплава ВТ6.

Для исследований были использованы методы оптической и электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, измерения микротвердости. Насыщение образцов водородом проводилось методом Сиверста на установке Gas Reaction Controller.

В результате исследования было обнаружено, что сплав ВТ6 в ультрамелкозернистом состоянии после получения методом прессования со сменой оси деформации, средний размер зерна равен 0.29 мкм, а сплав ВТ6 в мелкозернистом состоянии – около 12 мкм.

В первой главе рассмотрено взаимодействие водорода с субмикрокристаллическими материалами.

Во второй главе описаны материал и методы исследования.

В третьей главе описаны экспериментальные результаты и их обсуждение.

В четвертой главе описан финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение данной работы.

В пятой главе описана социальная ответственность проведенного исследования.

Содержание

Введение	13
1. Взаимодействие водорода с субмикроструктурными материалами	15
1.1. Основные методы формирования СМК состояния	15
1.2. Изменения свойств сплавов титана после ИПД	17
1.3. Взаимодействие водорода с титаном и его сплавами	21
2. Материал и методы исследования	23
2.1. Механическое шлифование	24
2.2. Механическое полирование	25
2.3. Травление	25
2.4. Полирование	27
2.5. Рентгеноструктурный анализ	29
2.6. Метод Сиверста	31
2.7. Изменение концентрации водорода	32
2.8. Методика измерения и расчёта микротвердости материала	35
3. Экспериментальные результаты и их обсуждение	37
3.1. Влияние водорода на структуру титанового сплава Ti-6Al-4V	37
3.2. Влияние водорода на микротвердость титанового сплава Ti-6Al-4V ...	47
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ..	54
4.1. Составление перечня работ	54
4.2. Определение трудоемкости работ	55
4.3. Построение графика работ	59
4.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	62
4.4.1. Расчет материальных затрат НТИ	62
4.4.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных	

Введение

Данная работа посвящена исследованию влияние водорода на структурно-фазовое состояние и механические свойства сплава Ti-6Al-4V. Этот сплав относится к двухфазных ($\alpha+\beta$) титановым сплавам.

В настоящее время такие сплавы составляют около 90% используемых в промышленности сплавов титана. Например, в области медицины и аэрокосмической промышленности, сплав титана является очень важным материалом [1]. Титан также применяется в газотурбинных двигателях, а именно в турбовентиляторных двигателях. Титановый сплав используется в основном для производства авиационных двигателей корпуса, воздухозаборники и другие части. В других районах страны, титановый сплав используется в основном для промышленных химических веществ, транспорте, машиностроении, а также производстве некоторых бытовых приборов. В области автомобилестроения сплавы титана применяются для изготовления шатунов, впускных клапанов и выходных клапанов. Титан обладает средней твердостью и высокими температурными свойствами, поэтому он также может быть использован для автомобильных двигателей. Титан и его могут также быть совместимы с живой тканью, а значит, что титановые сплавы также могут быть использованы в медицине. Титан обладает высокой прочностью и может быть полностью совместимы с человеческим телом, что означает, что титан может быть использован для изготовления протезов и человеческие зубы [2].

Сплав титана плохо проводит тепло, потому что он имеет низкий коэффициент теплопроводности, но он является значительным электросопротивлением. Коэффициент линейного расширения титана ниже, чем магний, алюминий, медь, железо, никель. Титан и его сплавы не имеют ферромагнитные свойства, он имеет парамагнитный свойство. Титан высокой чистоты, имеет низкую прочность и высокую пластичность [3-4]. Для того, чтобы сформировать необходимые механические свойства сплава получают

сплав титана с Al, V, Mn, Cr, Fe и некоторыми другими элементами. Составляющие элементы и их количество будут сильно влиять на свойства сплава. Сопротивление разрыву титановых сплавов, используемых в промышленности изменяется в диапазоне от 400 МПа (малолегированные мягкие сплавы) до 1600 МПа (высоколегированные термически упрочненные сплавы) [5].

Механические свойства этих сплавов существенно зависят от микроструктуры и фазового состава. Эффективным способом повышения механических свойств титановых сплавов указанного типа, в том числе и сверхпластичных, является измельчение зерна [6]. Известно [7–11], что формирование в титановых сплавах методами интенсивной пластической деформации (ИПД) ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры приводит к повышению их механических свойств при комнатной температуре и снижению температурного и повышению скоростного интервалов проявления сверхпластичности.

Таким образом, целью работы было исследование влияния наводороживания и дегазации на структурно-фазовое состояние и механические свойства титанового сплава Ti-6Al-4V.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. подготовить образцов титанового сплава Ti-6Al-4V в мелкозернистом и ультрамелкозернистом состояниях.
2. провести анализ структуры образцов титанового сплава Ti-6Al-4V в мелкозернистом и ультрамелкозернистом состояниях после наводороживания с помощью метода рентгеноструктурного анализа.
3. выполнить измерение микротвердости образцов титанового сплава Ti-6Al-4V в мелкозернистом и ультрамелкозернистом состояниях до и после наводороживания с помощью методом Виккерса.

1. Взаимодействие водорода с субмикроструктурными материалами

1.1. Основные методы формирования СМК состояния

В настоящее время существует достаточно большое количество методов получения УМЗ материалов [5, 8, 9], таких как методы быстрой закалки, электроосаждения, методы интенсивной пластической деформации (ИПД), газовой конденсации в атмосфере инертного газа, а также аэрозольного и химического синтеза и другие. Методы ИПД представляют наибольший интерес с практической точки зрения, т.к. с помощью этих методов можно получить в объемных материалах УМЗ состояния. Эти состояния являются структурами зеренного типа, которые содержат в основном зерна с большеугловыми границами.

Основными методами ИПД, используемыми для получения ультрамелкозернистых состояний в металлических материалах являются кручение под высоким давлением (КВД), равноканальное угловое (РКУ) прессование и всестороннее прессование с многократной сменой оси прессования.

Деформация методом РКУ прессования. В этом методе деформация массивных образцов осуществляется посредством простого сдвига (рис. 2). Данный способ был впервые разработан для получения УМЗ состояний в начале 1990-х гг. [12]. В процессе РКУ прессования заготовки необходимо неоднократно продавить в специальной оснастке через пересекающимися под углами 90° и 120° два канала с равными поперечными сечениями. Для труднодеформируемых материалов деформацию необходимо осуществлять при повышенных температурах.

При РКУ прессовании для образования структуры весьма весомыми являются направление и количество проходов заготовки через каналы. Различают следующие маршруты заготовок (рис.1):

а) маршрут А: заготовка должна быть ориентирована одинаково при каждом проходе;

б) маршрут В: после каждого прохода заготовка должна быть повернута вокруг продольной оси на 90° ;

в) маршрут С: после каждого прохода заготовка должна быть повернута вокруг продольной оси на 180° .

Различие в этих маршрутах заключается в направлениях сдвига при повторных проходах заготовки через пересекающиеся каналы. Маршрут В наиболее распространен, т.к. позволяет получить в заготовках наиболее однородную УМЗ структуру. В качестве основных недостатков данного метода следует отметить многократное повторение операции продавливания и загрязнение материала из-за наличия смазки в канале оснастки.

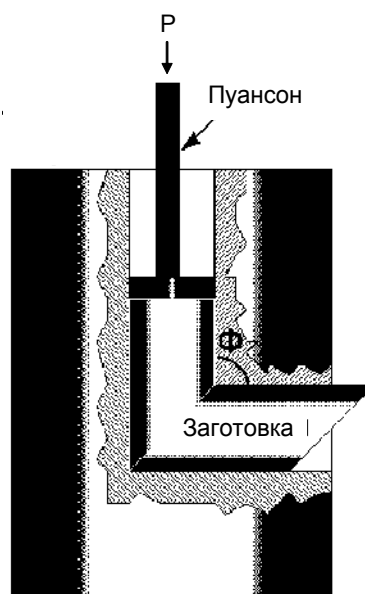


Рис.1. ИПД посредством применения метода РКУ-прессования

Деформация кручением под высоким давлением [13] впервые была реализована с помощью установок. В основе их конструкции лежит идея наковальни Бриджмена. Помещенный между бойками образец под приложенным давлением (в несколько гигапаскалей) сжимается (рис. 2) и при вращении нижнего бойка силы поверхностного трения заставляют образец деформироваться путем сдвига. В основном материал деформируется при

гидростатическом сжатии, когда прикладывается приложенное давление и давление со стороны внешних слоев образца благодаря особенной геометрической форме образцов. В результате, несмотря на большие степени деформации, не происходит разрушения образца.

Полученные данным методом ИПД образцы обычно получаются в форме дисков с размерами: диаметр – 10–20 мм и толщина – 0.2–0.5 мм. Структура будет измельчена уже после деформации на пол-оборота, но для формирования УМЗ структуры необходимо несколько вращательных оборотов. Метод КВД позволяет получать в титане и титановых сплавах УМЗ структуру, средний размер зерен которой равен (0.1–0.5) мкм. Недостатками этого метода является неоднородность УМЗ структуры по диаметру образца и небольшой объем материала, в котором она может быть получена.

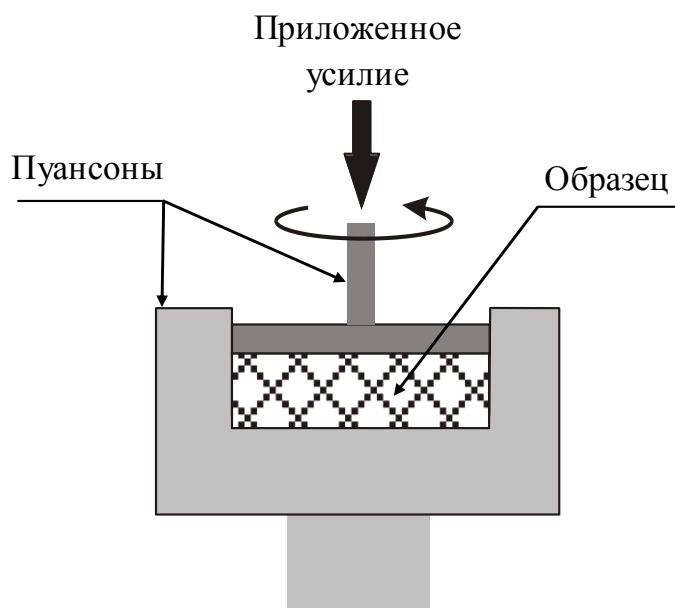


Рис. 2. ИПД, осуществляемая методом КВД

Из формулы (1) видно, что чем ближе к центру диска, тем меньше деформация ϵ и, следовательно, крупнее зерна.

1.2. Изменения свойств сплавов титана после ИПД

В результате экспериментальных исследований [14] показано, что однородность пластинчатой микроструктуры сплава титана ВТ9 в МЗ

состоянии в рабочей части изменяется после интенсивной пластической деформации. Структура мелкозернистой сплава титана наблюдается в зоне образования шейки, и для сплава после кручения можно наблюдать в зоне периферии. Установлено, что однородность пластинчатой микроструктуры сплава титана BT9 в МЗ состоянии повышается после горячей деформации цилиндрических образцов. Объем деформирования выравнивается в коэффициенте формы и толщине, и количество частиц на каждые площади шлифа будет увеличиваться.

С помощью термомеханической обработки всесторонней изотермическойковки (ВИК), прочностные свойства сплава повышаются. Так, после ВИК при температуре 960 °С с последующим старением при температуре 480°С достигаются высокие значения предела прочности и условного предела текучести при удовлетворительном уровне относительного удлинения и относительном сужении. После ВИК, в ходе производите глобулярную микроструктуру, и таким образом, механические свойства сплава повышаются, сплав после ВИК имеет высокие прочностные характеристики. Размер макро зерна макроструктуры сплава в исходном состоянии, равен 2-5 мкм. А после ВИК – соответствует 0-1 мкм.

В [14] были проведены исследования эволюции структуры сплава Ti-6Al-4V в процессе ВИК. В исходном образце сплава титана микроструктура имеют пластинчатую структуру: внутри равноосных зерен β фазы размерами 5–6 мкм располагаются удлиненные пластины α фазы толщиной 2–5 мкм (рис. 3, а).

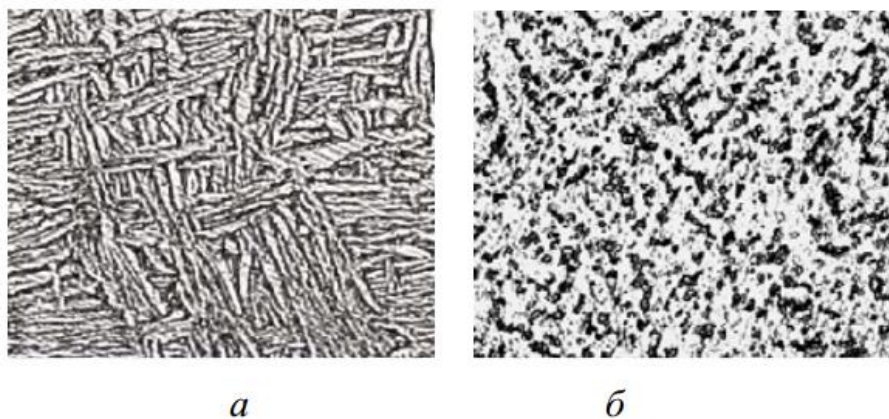


Рис. 3. Микроструктура сплава Ti-6Al-4V: а – в исходном состоянии, б – в состоянии после ВИК

Всесторонняя ковка будет сильно влиять на существенно изменение исходной микроструктуры. И поэтому в результате происходит деление и обособление. Размер зерен α -фазы соответствует 2–3 мкм (рис. 3, б). При температуре 860, 890 и 920 °С, микроструктура титанового сплава почти одинаково, существенно α -фазы и мартенсит, и мартенсит оптической металлографией не идентифицируется (рис. 4, а).

После закалки при температуре 860, 890 и 920 °С, средний размер частиц α -фазы равен 2.5 мкм, и объемная доля равна 40%.

Старение приводит к трансформации микроструктуры глобулярную, со средним размером частиц α фазы 2 мкм (рис. 4, б). Осадка была проведена после закалки от 460 °С (рис.4, в). Изменения мартенсита в структуре с помощью оптической микроскопией описать невозможно из-за высокой дисперсности продуктов распада.

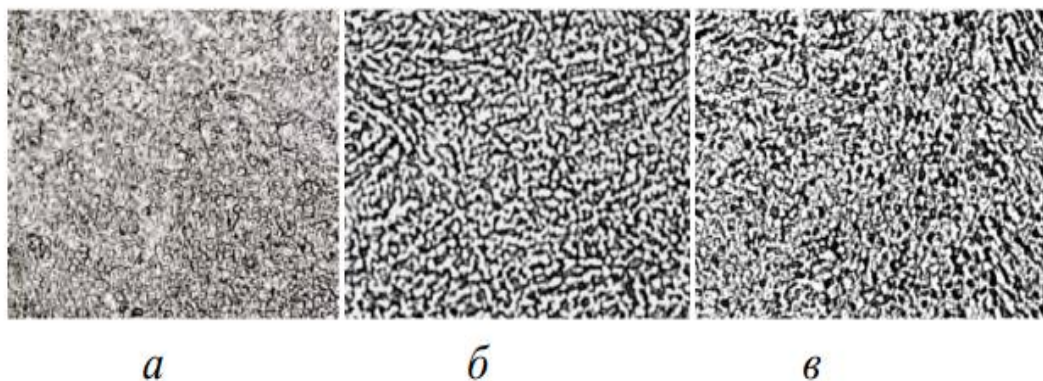


Рис. 4. Микроструктура сплава Ti-6Al-4V после ВИК, закалки и старения: а – закалка с температуры 920 °С, б – старение при 460 °С, в – осадка до 20% и старение при 460 °С

Таким образом, при использовании методов ИПД можно получить в титановых сплавах однородное УМЗ состояние со средним размером элементов зеренной-субзеренной структуры менее 1 мкм. Также отмечается существенное улучшение их прочностных и пластических свойств.

Еще одним методом формирования в титановых сплавах однородной УМЗ структуры со средним размером зерен $d < 0.3$ мкм является метод, в котором сочетают предварительное наводороживание и горячую пластическую деформацию [15]. Водородная технология обработки титановых сплавов является одним из перспективных направлений материаловедения [16]. К настоящему времени накоплен большой опыт по использованию водорода как постоянного или временного легирующего элемента в сплавах на основе титана, развиты представления о влиянии водорода на фазовые и структурные превращения, что в конечном итоге позволило выработать обобщенный теоретико-практический подход к водородной обработке титановых сплавов.

Кроме того, экспериментально было установлено, что имеющиеся технологии удаления водорода из титановых сплавов путем отжига в вакууме при 873-973 К могут привести к изменениям в фазовом составе, рекристаллизации и росту зерен УМЗ структуры, получаемом в

наводороженном сплаве в процессе горячего прессования, что приводит к снижению его прочностных и пластических свойств. Поэтому важной задачей является исследование особенностей взаимодействия водорода со сплавами титана.

1.3. Взаимодействие водорода с титаном и его сплавами

Систему Ti-H описывает диаграмма состояния эвтектоидного типа, на которой также указаны изобары равновесного давления водорода, приведенная на рис. 5 [17, 18].

Водород образует в α и β фазах титана и титановых сплавов твердые растворы внедрения. При этом область β фазы расширяется, а область α фазы сужается водородом. С наибольшей вероятностью квазиинтерстициальный водород будет располагаться в тетраэдрических пустотах в ГПУ решетке α фазы титана. В результате изменений в электронном строении α фазы, которые вызываются ионизацией атома водорода, происходит уменьшение соотношения осей c/a ГПУ-решетки и ее термодинамической неустойчивости. Благодаря этому растворимость водорода в α фазе является достаточно низкой (0,002 мас.%) [19].

Растворенный в β фазе водород может находиться в тетраэдрических пустотах ОЦК решетки, как квазиинтерстициальный с близким к единице эффективным зарядом. Однако при повышении температуры величина эффективного заряда квазиинтерстициального водорода в β фазе будет уменьшаться в меньшей степени, чем в α фазе. Ионизация атомов водорода является причиной изменений электронного строения β фазы, которые, в свою очередь, будут вызывать увеличение термодинамической стабильности β фазы и выступать причиной большой растворимости водорода в β фазе (до 2.1 мас.%) [19].

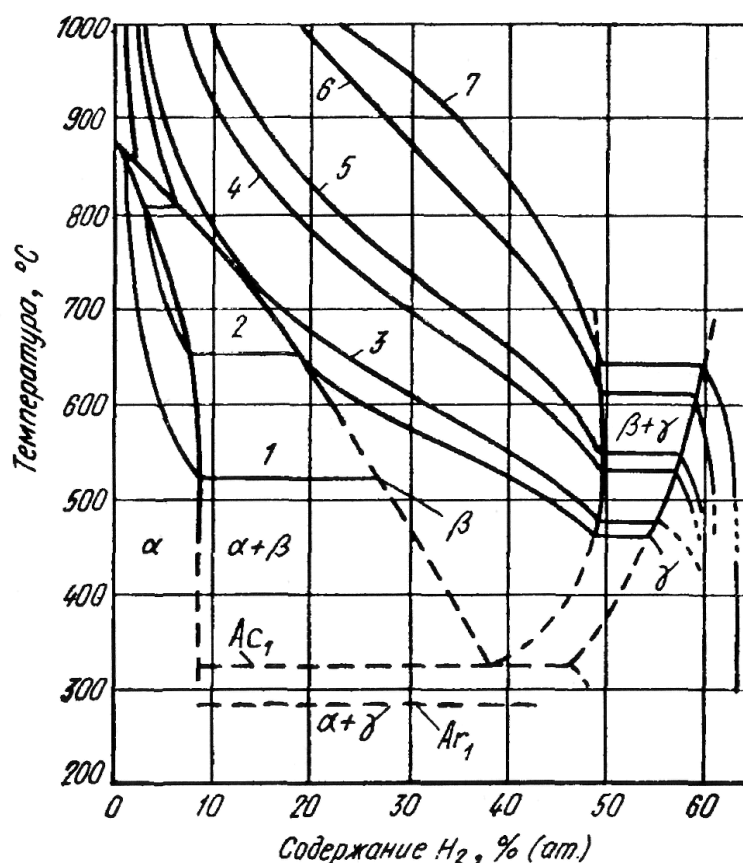


Рис. 5. Диаграмма состояния системы титан – водород и
изобары равновесного давления водорода, атм.:

1 – 0,001; 2 – 0,005; 3 – 0,01; 4 – 0,05; 5 – 0,1; 6 – 0,5; 7 – 1 [17]

Фазы α и β – это твердые растворы внедрения водорода в α и β титане, соответственно. В свою очередь, γ фаза является твердым раствором на основе гидрида титана TiH_2 .

Две линии эвтектоидного распада β фазы на α и γ , соответствующие ее положению при нагреве (A_{c1}) и охлаждении (A_{r1}), приведены на диаграмме состояния. Для гидрида титана характерна тетрагональная решетка. При введении 1,0 мас.% водорода можно наблюдать снижение температуры A_{c3} ($\alpha + \beta$) $\rightarrow$ β перехода с 1273 до 973 К.

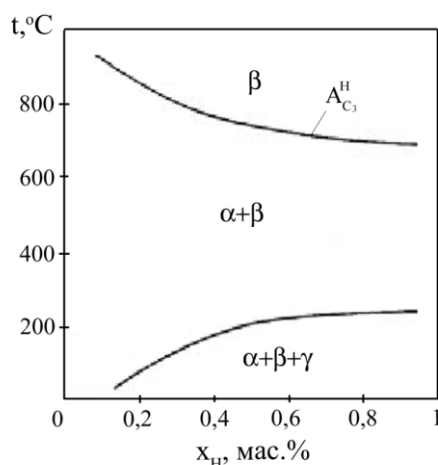


Рис. 6. Температурно-концентрационная фазовая диаграмма титанового сплава Ti-6Al-4V, содержащего водород [20]

Водород, находясь в β твердом растворе, будет оказывать при закалке на формирование фазового состава титановых сплавов такое же влияние, как и другие β стабилизаторы.

В результате повышения стабильности β фазы по отношению к α фазе при наводороживании наблюдается уменьшение температур, при которых начинается и заканчивается мартенситное превращение, а также происходит увеличение интервала температур, при которых происходит прямое и обратное превращения. В присутствии водорода будет уменьшаться диффузионная подвижность основных легирующих элементов [21].

Таким образом, наводороживание титана и его сплавов может быть причиной изменения фазового состава или инициировать новые фазовые и структурные превращения, поэтому изучения влияния водорода на структурно-фазовые превращения в титане и его сплавах в различных структурных состояниях является важным.

2. Материал и методы исследования

В качестве материала исследования был выбран сплав титана Ti-6Al-4V,

состав которого был приведен в таблице 1.

Таблица 1

Состав исследуемого титанового сплава Ti-6Al-4V

Ti	Al	V	Zr	Si	Fe	C	O	N	H	Cr+Mn	Cu+Ni
основа	6,1	3,9	0,05	0,04	0,18	0,02	0,17	0,01	0,002	<0,07	<0,1

2.1. Механическое шлифование

Перед проведением различных испытаний поверхность образцов необходимо подвергать механической шлифовке [22].

Процесс шлифования заключается в механическом снятии тонкого поверхностного слоя металла. Главным образом уменьшение шероховатости происходит за счет того, что абразивные зерна срезают высоты микровыступов. Обычно шлифование шкуркой осуществляют с помощью вращающегося круга или с использованием плоского основания.

Необходимо последовательно переходить от одной шкурки с большими размерами абразивных частиц к другой с меньшими размерами для получения качественной поверхности микрошлифа. Движение образца при шлифовании вручную необходимо производить, меняя угол к направлению царапин от предшествовавшей обработки на 90°. При уменьшении шероховатости шкурки глубина риска на поверхности снижается и уменьшается толщина поверхностного слоя деформированного при шлифовании.

Считается, что толщина такого слоя в 10 - 15 раз больше размера абразивных частиц. Деформация поверхностного слоя оказывается менее значительной при увеличении твердости образца. Шлифовку необходимо производить до тех пор, пока все следы риска от предыдущей шкурки полностью не исчезнут. Затем образец нужно очистить и перейти к шлифованию шкуркой с более мелким абразивом. После окончания шлифования образец необходимо тщательно промыть. Процесс шлифования поверхности образца завершает полирование, устраняющее риски, оставшиеся от воздействия абразивных частиц.

Существуют такие способы полировки, как механический, химико-механический и электрохимический.

2.2. Механическое полирование обычно проводят на станках с вращающимся кругом. На круге располагают такие полировальные материалы, как фетр, сукно и др. На них наносятся мелкие частицы абразивных материалов (оксиды алюминия, железа или хрома в виде водной суспензии).

Для полирования часто могут использовать алмазные пасты, которые наносят на лист бумаги, помещенный на вращающийся круг полировального станка. Введено следующее условное обозначение пасты из синтетических алмазных порошков:

АСМ 7/5 НВМ ГОСТ 25593-83

где АСМ - марка порошка, 7/5 - зернистость, Н - нормальная массовая доля алмазов, В - смываемых водой, М - мажеобразной консистенции.

Процесс полирования сопровождается весьма небольшим съемом металла. Полирование необходимо закончить после достижения поверхностью шлифа зеркального блеска. Затем образец нужно промыть водой и быстро высушить с помощью фильтровальной бумаги.

Полированная поверхность образца необходимо протравить для того, чтобы выявить микроструктуру образца.

2.3. Травление

Для выявления микроструктуры необходимо создать на полированной поверхности образца неглубокий рельеф. В этом рельефе, создаваемом обычно путем химического или электрохимического травления, расположение и очертания отдельных кристаллитов можно определить по конфигурации неровностей. В этом случае на границах между зернами будут образовываться канавки и возникать разная шероховатость поверхности

зерен разных фаз или одной фазы. Такие канавки на границах возникают из-за повышенной энергии атомов в этих участках, за счет чего они более легко будут вступать в химические реакции растворения. Разная шероховатость на поверхности зерен также вызывается за счет неодинаковой химической активности, возникающей из-за различия свойств фаз или разной плотности упаковки атомов на разных плоскостях кристаллической решетки зерен в одной фазе. Максимальный оптический контраст будет создаваться между участками рельефа, имеющими разную глубину (например, между границей и зерном). Границы зерен будут травиться сильнее, т.к. в них расположено наибольшее количество примесей и искажений решётки. При наблюдении в микроскоп такую структуру можно видеть, как структуру с зёрнами различной окраски и отчетливо видными границами.

В случае травления многофазных структур зёрна чистых металлов, твёрдых растворов или химических соединений под воздействием травителя будут растворяться по-разному. Соответственно, эти различно протравленные фазовые составляющие будут давать в микроскопе разное изображение.

Несильно протравленные фазовые составляющие будут казаться более светлыми из-за большего количества отраженных лучей; сильно протравленные фазовые составляющие, наоборот, будут казаться тёмными из-за меньшего отражения лучей вследствие рассеяния света.

Иногда выявить структуру металлов, имеющих высокую химическую стойкость путем химического травления не удаётся. Тогда необходимо использовать электролитическое травление, которое проводят на следующей установке. Шлиф, выступающий анодом, нужно поместить в электролит. В качестве катода выступает нержавеющая сталь. Напряжение необходимо брать от 2 до 6 В.

Шлиф необходимо предварительно протереть спиртом для того, чтобы удалить поверхностные загрязнения. Затем шлиф помещают в ванну с

реактивом так, чтобы не было соприкосновения шлифованной поверхности со стенками. Ванна находится в вытяжном шкафу и подогревается.

2.4 Полирование

Полирование является следующим этапом обработки поверхности образца после шлифования. Полирование должно устранить риски, оставшиеся от воздействия абразивных частиц. Существуют разные виды «полировки»: химико-механический, электрохимический способы полировки и механический (описан выше, в параграфе 1.6) [22].

1) Электрохимическое полирование (ЭХП). При этом полировании происходит преимущественно анодное растворение шероховатостей поверхности - электрохимическое сглаживание или появляется зеркальный блеск поверхности - глянецвание. При электрохимическом полировании удаляется деформированный слой, который образовывается на поверхности образца при шлифовании. Этот вид полирования положительно влияет на детали, улучшая эксплуатационные свойства изделия. Это связано со следующими фактами:

- удаляется дефектный поверхностный слой, образовавшийся при различных видах обработок изделия ого;
- уменьшается шероховатость и сглаживается профиль поверхности;
- образуется тонкая поверхностная оксидная пленка, которая предохраняет металл от коррозии.

В то же время электрополирование имеет ряд недостатков:

- ускоренное растворение металла вблизи неметаллических включений;
- возникновение скруглений у кромок образца.

В результате электрополирования удаляют слой металла, толщина которого меняется от 2,5 до 80 мкм. Конечная шероховатость поверхности зависит от исходной шероховатости, продолжительности электрополирования, условий при которых проводится электрополирование

(температура, плотность тока) и состава электролита. Производительность электрополирования определяется электрохимическими свойствами электролита, обрабатываемого материала и плотности тока. Процессы электрохимического полирования протекают в весьма агрессивных средах при высоких значениях потенциала и плотности тока. В том случае, когда на аноде образуется пассивная пленка повышается электрохимическая однородность поверхности металла. Это связано с преимущественным растворением химических, структурных и микрогеометрических неоднородностей на тех участках, где пассивный слой менее совершенен. В результате чего улучшается блеск поверхности металла.

Степень сглаживания шероховатости поверхности зависит от количества электричества, которое пропускается через электролит. При этом при электролизе уменьшается высота микровыступов и округляются их вершины.

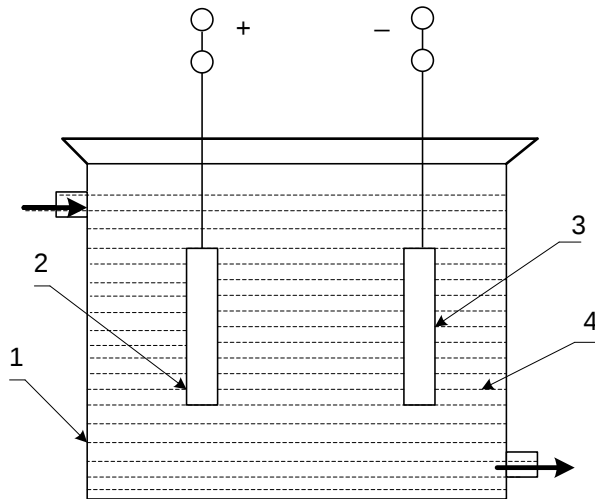


Рис.7. Схема электрохимического полирования: 1 – ванна; 2 – обрабатываемая заготовка; 3 – пластина-электрод; 4 – электролит

Электрохимическое полирование осуществляют в емкости, в которую помещают образец, выступающий анод и заполняют электролитом. В качестве катода используют металлическую пластинку. Подавая напряжение,

начинают процесс растворения металла образца. При электролитическом полировании преимущественно растворяются выступы микронеровностей, и обрабатываемая поверхность образца начинает металлически блестеть.

2.5. Рентгеноструктурный анализ

Фаза – это часть вещества, которую от других его частей отделяет граница раздела. Переход через нее приводит к скачкообразному изменению свойств. Для каждой твердой кристаллической фазы характерна собственная, присущая ей кристаллическая решетка. Для сложных веществ фазовый состав, как правило, отличается от их химического состава.

Понятие кристаллической решетки введено в физике для анализа строения кристалла. Кристаллическая решетка – это совокупность точек, образующих определенную структуру. Часто эти точки решетки для удобства анализа могут совмещать или с центрами молекул, или с центрами атомов из числа входящих в кристалл. Главным свойством кристаллического состояния вещества является закономерность в расположении атомов в кристаллической решётке. Аллотропия (в случае простых веществ) – это способность одного вещества кристаллизоваться в разных кристаллических решётках и, соответственно, иметь весьма разные свойства. А для любых химических соединений это явление называется полиморфизмом. В то же время, разные вещества могут образовывать однотипные, или изоморфные, решётки.

Основой рентгенофазового анализа (РФА) является такое физическое явление, как дифракция. Дифракция - это явление сильного рассеяния волн на периодической решётке, которое может происходить при определенных углах падения и длине волны. Простейшим случаем этого явления является рассеяние видимого света на дифракционной решётке. В рентгеноструктурном анализе при рассеянии рентгеновского излучения на кристаллических структурах наблюдается аналогичное явление. При

выполнении условия Вульфа-Брэггов наблюдаются интенсивные пики рассеяния (рис.8):

$$2d \cdot \sin 2\theta = n\lambda \quad (2)$$

где d – межплоскостное расстояние между соседними кристаллографическими плоскостями, м;

θ – угол скольжения, град.;

λ – длина волны монохроматического рентгеновского излучения, падающего на кристалл, м;

n – порядок дифракции.

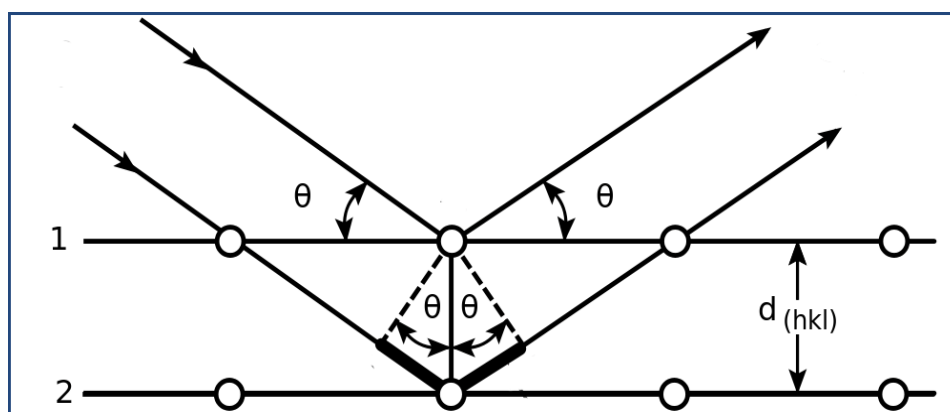


Рис. 8. Схематическое изображение падения и отражения рентгеновского излучения на вещество

При взаимодействии монохроматического рентгеновского излучения с порошком (или мелкокристаллическом материалом) каждому сорту плоскостей всегда будет соответствовать определенное число кристаллитов, попавших в «отражающее» положение. В этом случае мы будем для данного сорта плоскостей под углом θ наблюдать максимум дифракции, имеющий разную интенсивность. Угловое положение максимума можно определять значением d , а d будет зависеть от геометрии кристаллической решетки.

2.6. Метод Сиверста

Автоматизированный комплекс GRC [22, 23] используется для измерения количества водорода, поглощенного материалами. Принцип работы GRC описан ниже (рис. 9 и 10).

В резервуар напускают заданное количество водорода и по давлению и температуре определяют его молярный объем. После открытия клапана между резервуаром и реакционной камерой водород будет передаваться из резервуара в реакционную камеру. Реакция будет завершена после поглощения водорода образцом. После чего необходимо рассчитать общее молярное количество водорода в камере с образцом и в резервуаре.

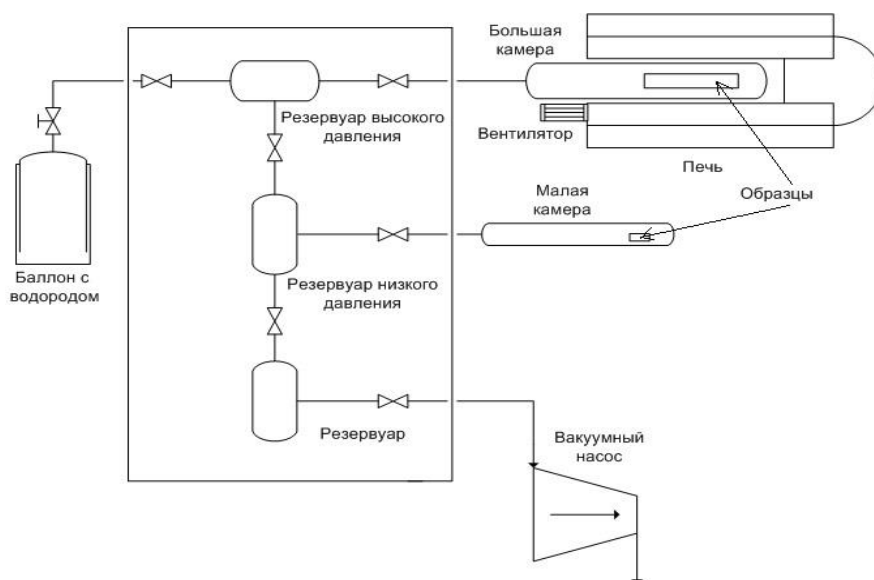


Рис.9. Схема работы Gas Reaction Controller

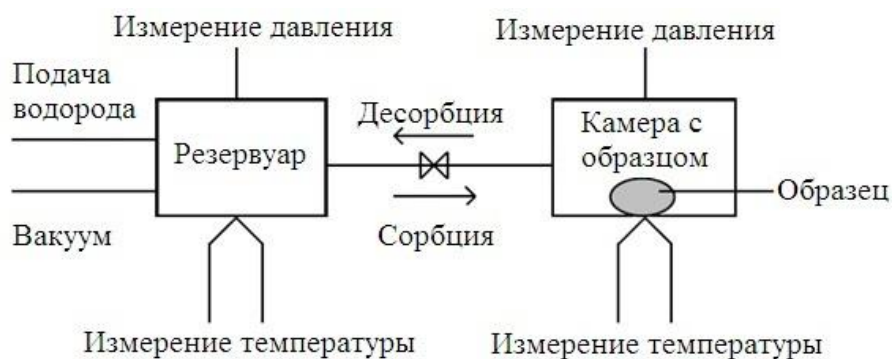


Рис. 10. Принцип работы автоматизированного комплекса GRC.

Количество поглощенного водорода можно определять и в абсолютных единицах (см³), и в относительных (массовые %). Относительное значение количества поглощенного в массовых процентах (wt) определяется по формуле (1)

$$wt = \frac{N_S \cdot M_G}{m \cdot 100} \quad (1)$$

где m – масса образца и M_G – молярная масса газа. Если известна молярная масса для образца, то соотношение (x) атомов газа к атомам образца определяется по формуле (2)

$$x = \frac{2N_S}{n/M} = \frac{2M}{M_G} \frac{wt}{100} = \frac{M \cdot wt}{100.79} \quad (2)$$

2.7. Изменение концентрации водорода

RHEN602 – это инструмент на платформе Windows, используемый для определения содержания водорода в образце методом нагрева или плавления в автономной электродной печи в среде инертного газа (рис. 11) [20].



Рис. 11. Анализатор водорода RHEN602

Измерение концентрации водорода происходит путем регистрирования

изменения теплопроводности газа-носителя в термокондуктометрической (ТК) ячейке. Блок-схема RHEN602 приведена на рисунке 12.

После того, как пустой графитовый тигель помещается на нижний электрод и загружается, начинается анализ. При закрывании электродов выполняется дегазирование - очистка тигля от атмосферных газов (при прохождении тока через тигель происходит его разогрев до высокой температуры, способствующей высвобождению находящихся в графите газов). Далее образец вносится из загрузочного устройства в тигель, на который для разогрева тигля и образца снова подается высокий ток. В результате из образца высвобождаются газы. Для предотвращения дальнейшей дегазации тигля во время анализа необходимо подать ток с меньшей силой тока (ниже силы тока дегазации).

Газ-носитель из газового баллона сначала проходит через нагретую медь для очистки от кислорода. Потом он проходит через реагенты Lecosorb и Ангидрон, для удаления CO_2 и влаги соответственно. Этот процесс подготавливает транспортирующий газ перед тем он пройдет через опорную часть ТК ячейки и попадет в печь.

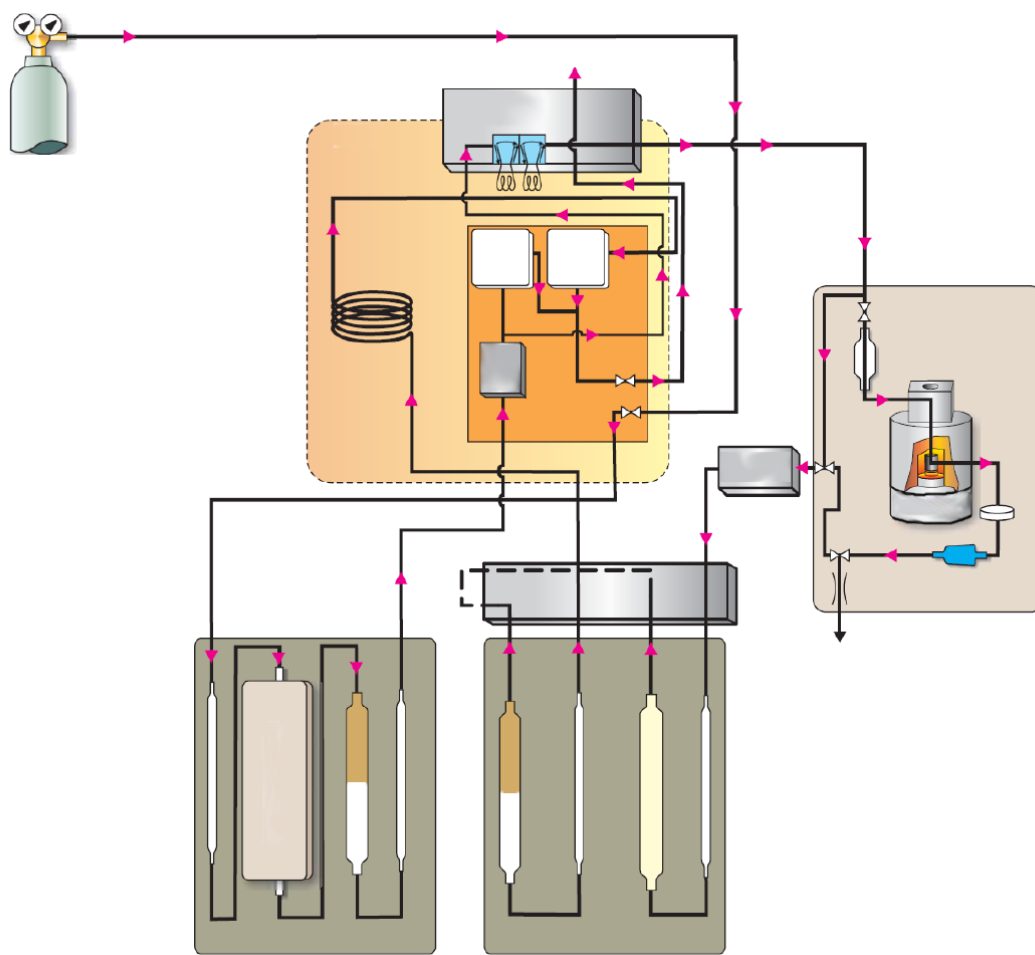


Рис. 12. Блок-схема анализатора RHEN602 [22]

При нагревании образца происходит выделение водорода в транспортирующий газовый поток, который проходит через участок измерения потока системы. Выделившийся из печи газ проходит через контроллер потока массы и реагент Schutze, преобразовывающий CO в CO₂. Потом газ должен пройти через удаляющие CO₂ и влагу реагенты Lecsorb и Ангидрон. Оставшийся газ затем передается на колонну молекулярного фильтра, разделяющую в зависимости от размера молекулы компоненты газа. Затем газ образца проходит через измерительную часть ТК ячейки, где измеряется содержание водорода. Вырабатываемый сигнал передается на аналогово-цифровой преобразователь, затем на ПК и при помощи программы определяется концентрация водорода.

2.8. Методика измерения и расчёта микротвердости материала

Для исследования влияния водорода на механические свойства сплава Ti-6Al-4V в различных состояниях (после отжига, наводороживания, облучения электронным пучком и отжига, происходящего с дегазацией водорода) можно использовать метод измерения микротвердости по Виккерсу. Поскольку гладкость поверхности образца может влиять на точность измерения необходимо провести наиболее тщательную обработку поверхности металлических поверхностей. Для обработки поверхности используются методики, описанные выше.

Твердость – это особенность поверхностного слоя материала сопротивляться пластической и упругой деформации, когда происходит местное контактное воздействие со стороны другого тела, являющегося более твердым и не получающего остаточной деформации. Такое твердое тело называется индентором, оно имеет установленную форму (это может быть игла, шарик, пирамидка или конус) и размеры. Численно твердость оценивают, находя отношение нагрузки к величине отпечатка индентора. По величине нагрузки твердость делят на макротвердость (нагрузки больше 49 Н) и микротвердость (нагрузки от 0,019 до 1,9 Н).

Твердость имеет большое практическое значение, поскольку характеризует такие рабочие свойства металлов и сплавов, как режущие свойства, износостойкость и др. Поскольку измерения твердости можно производить непосредственно на готовых деталях, не разрушая их, этот метод широко применяют также при контроле качества готовых деталей. Величина твердости зависит от подготовки поверхности образца и продолжительности испытания. После шлифовки твердость может увеличиваться из-за упрочнения поверхности (в отличие от электролитической полировки).

Измерение твердости по методу Виккерса заключается во вдавливании в поверхность образца алмазного индентора, имеющего форму правильной четырехгранной пирамиды. После того, как нагрузка снимается, необходимо

измерить диагональ отпечатка, который остается на поверхности образца (рис.13) [22].

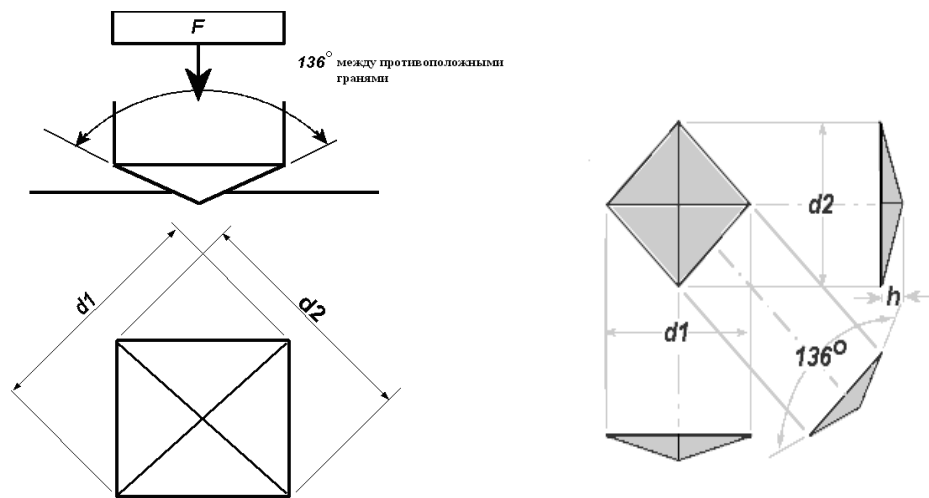


Рис.13. Отпечаток индентора в методе Виккерса

Твердость (HV) находят по формуле:

$$HV = \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 1.854 \frac{F}{d^2} \quad (1)$$

где F – нагрузка, Н; d – среднее арифметическое значение длины обеих диагоналей отпечатка, мм.

Используя этот метод, можно измерять твердость как мягких, так и высокотвердых металлов, деталей сложной конфигурации с упрочненной поверхностью.

3. Экспериментальные результаты и их обсуждение

3.1. Влияние водорода на структуру титанового сплава Ti-6Al-4V

В исходном мелкозернистом (МЗ) состоянии сплав Ti-6Al-4V имеет неомогенную структуру, состоящую из однофазных α и двухфазных $\alpha + \beta$ областей. В основном однофазные области α фазы, имеющие размеры 10–40 мкм, окружены двухфазными $\alpha + \beta$ областями. Зерна размерами 7–10 мкм наблюдаются в однофазных областях.

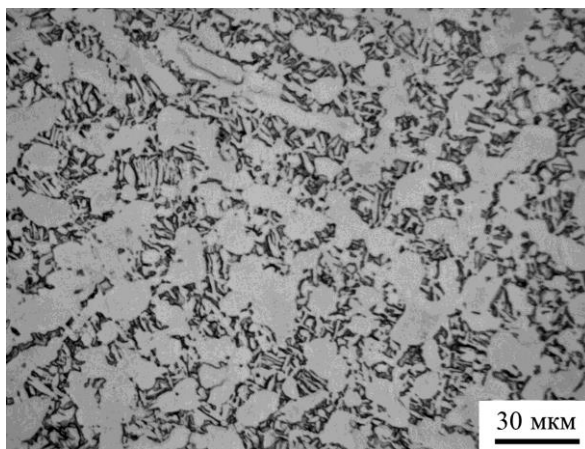


Рис. 14. Микроструктура сплава Ti-6Al-4V в исходном МЗ состоянии

Рентгеноструктурный анализ был проведен с помощью дифрактометра Shimadzu XRD 7000S. Участок типичной дифрактограммы образца сплава Ti-6Al-4V в исходном состоянии приведен на рис. 14 и табл. 2. Из приведенных данных видно, что в исходном состоянии сплав содержит α фазу с объемной долей 97,8 % и β фазу с объемной долей 2,2 %. Параметры решетки α фазы: $a = 0,29263$ нм, $c = 0,46833$ нм, а в β фазе $a = 0,31516$ нм (табл. 2). В сплаве наблюдается текстура в направлении $[002]$ с коэффициентом Марча-Долласа 0,6741.

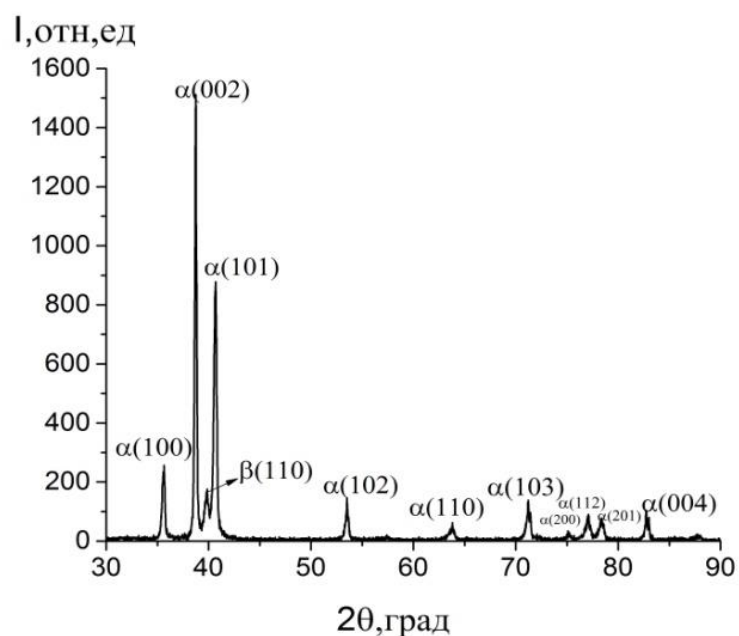


Рис. 15. Участок дифрактограммы образца сплава Ti-6Al-4V в исходном мелкозернистом состоянии

Таблица 2

Фазовый состав и параметры решетки сплава Ti-6Al-4V в исходных МЗ и УМЗ состояниях

Состояние сплава Ti-6Al-4V	Фазовый состав	Параметры решетки		
		a_α , нм	c_α , нм	a_β , нм
МЗ	97,8 об.% α + 2,2 об.% β	0,29263	0,46833	0,31516
УМЗ	95 об.% α + 5 об.% β	0,29207	0,46555	0,31836
МЗ +0,0215Н	98 об.% α + 2 об.% β	0,28786	0,46891	0,31558
УМЗ +0,035Н	93 об.% α + 7 об.% β	0,29223	0,46601	0,32527
УМЗ +1,72Н	49,4 об.% α + + 50,6 об.% TiH _{1,5}	0,29144	0,46633	—

На рис. 16 представлено электронно-микроскопическое изображение структуры сплава Ti-6Al-4V после деформации прессованием со сменой оси деформации, типичное для данных материалов. Особенности микроструктуры на светлопольном снимке (рис. 16, а) нельзя выявить из-за сложного деформационного контраста. На темнопольном снимке (рис. 16, б) можно увидеть отдельные зерна и субзерна.

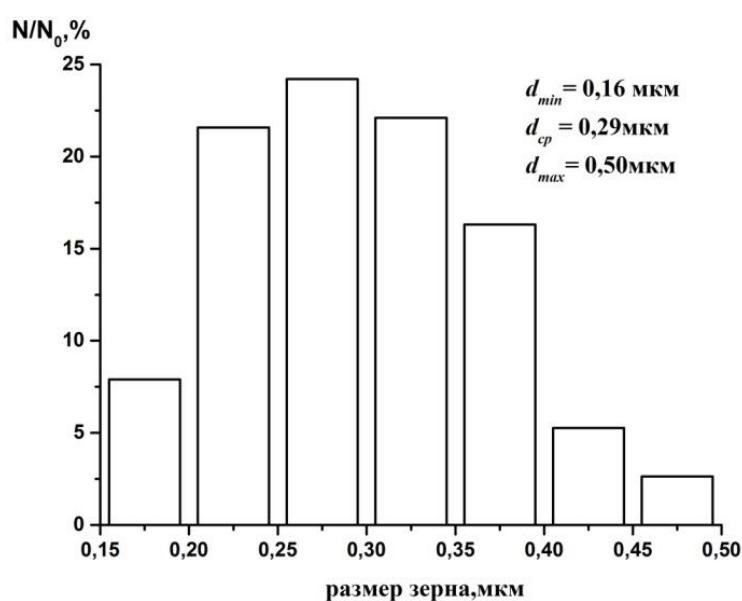
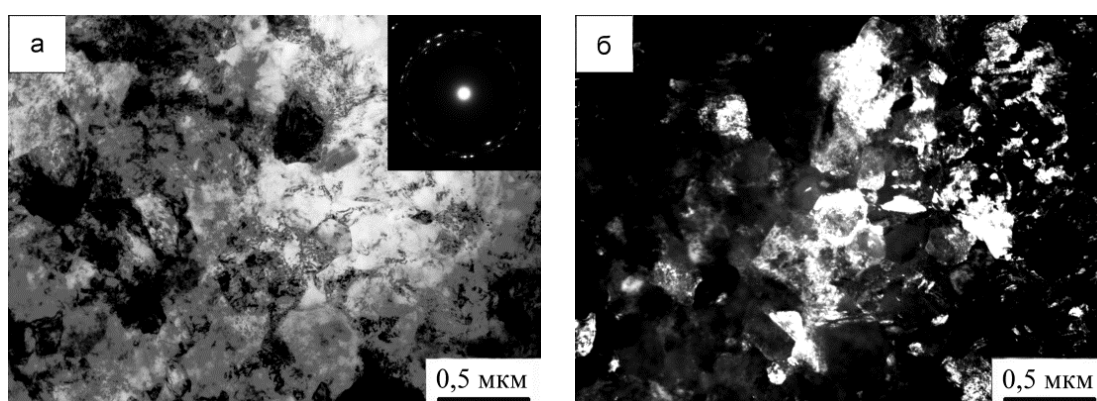


Рис. 16. Электронно-микроскопическое изображение структуры (а, б) и гистограмма распределения зерен по размерам (в) титанового сплава Ti-6Al-4V в УМЗ состоянии: (а) светлопольное изображение и картина микродифракции; (б) темнопольное изображение

Из гистограммы видно, что средний размер составляет около 0,29 мкм. Почти сплошные дифракционные кольца можно видеть на

электроннограммах (рис. 15, а), снятых с площади $1,4 \text{ мкм}^2$. Такие кольца образуются рефлексами от отдельных кристаллитов. Практически все рефлексы имеют азимутальное размытие, что характерно для неравновесных ультрамелкозернистых материалов, которые имеют большие разориентировки между элементами зеренной структуры и внутренние поля упругих напряжений.

На рис. 17 представлены кривые сорбции водорода в образцах сплава Ti-6Al-4V в МЗ (1) и УМЗ (2) состояниях в зависимости от времени наводороживания. Видно, что скорость сорбции водорода образцами сплава в УМЗ состоянии существенно (~ 16 раз) выше, чем для образцов сплава в МЗ состоянии. Согласно измерениям концентрации водорода равны 0,0215 и 0,035 % для МЗ и УМЗ состояния, соответственно (табл. 3). Аналогичные зависимости были получены в случае наводороживания до 1 % (рис. 17, б). В этом случае скорость сорбции водорода образцами УМЗ сплава примерно в 27 раз выше, чем образцами сплава в МЗ состоянии. Кроме того, измерения концентрации водорода показали, что при одинаковых условиях наводороживания концентрации водорода в МЗ и УМЗ состояниях сплава Ti-6Al-4V составляют 1,25 % и 1,72 %, соответственно (табл. 3).

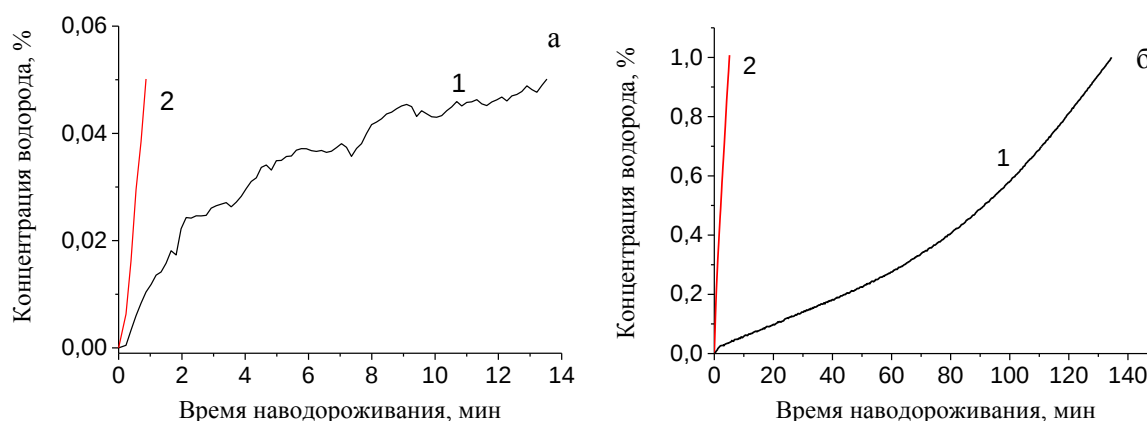


Рис.17. Кривые сорбции водорода титановым сплавом Ti-6Al-4V в МЗ (1) и УМЗ (2) состояниях (а – наводороживание до 0,05 %, б – наводороживание до 1 %)

Таблица 3

Концентрация водорода в образцах титанового сплава Ti-6Al-4V в МЗ (1) и УМЗ (2) по измерениям Лесо

Материал	Состояние	Концентрация водорода, %
МЗ Ti-6Al-4V	После наводороживания до 0,05	0,0215
УМЗ Ti-6Al-4V	мас. %	0,035
МЗ Ti-6Al-4V	После наводороживания до 1 мас.	1,25
УМЗ Ti-6Al-4V	%	1,72

Рентгеноструктурные исследования образца сплава Ti-6Al-4V в состоянии после прессования показали, что в полученном УМЗ состоянии сплав является двухфазным. Объемная доли α фазы составляет 95 %, объемная доля β фазы 5 %, соответственно. Параметры решетки α фазы: $a = 0,29207$ нм, $c = 0,46555$ нм, в β фазе – $a = 0,31836$ нм. Кроме того, в результате формирования УМЗ состояния происходит перераспределение интенсивности рефлексов (101) и (002) α фазы. Это свидетельствует о том, что при прессовании со сменой оси деформации и постепенным снижением температуры текстура в направлении [002] исчезает.

Электронномикроскопические исследования показали, что наводороживание незначительно изменяет структурное состояние сплава в обоих состояниях. В то же время, согласно данным рентгеноструктурного анализа (табл. 2) наводороживание МЗ сплава до концентрации 0,05 % приводит к увеличению параметра решетки β фазы. При этом текстура в направлении [002] сохраняется. В результате наводороживания УМЗ сплава до концентрации 0,05 % увеличивается объемная доля β фазы. Параметр решетки β фазы из-за наводороживания становится значительно больше соответствующего значения для исходного УМЗ сплава.

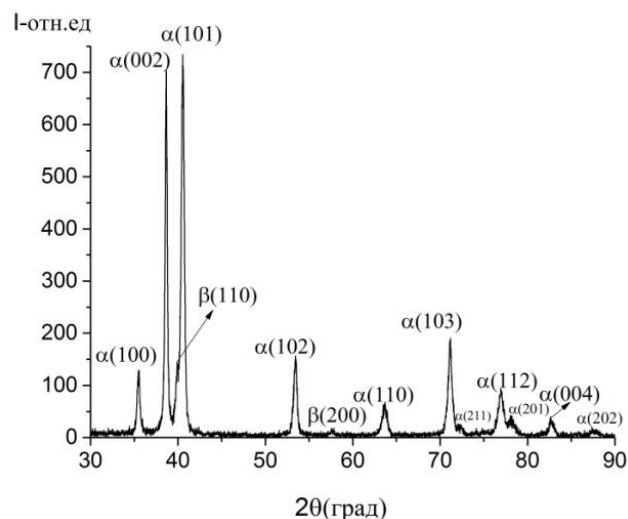


Рис.18 – Участок дифрактограммы образца УМЗ сплава Ti-6Al-4V

Согласно данным рентгеноструктурного анализа при наводороживании МЗ сплава Ti-6Al-4V до концентраций 0,0215 и 1,25 % текстура в направлении [002] сохраняется. При наводороживании до концентрации ~1 % в образцах сплава в обоих состояниях наблюдаются выделения гидридов (табл. 2). Например, в УМЗ сплаве Ti-6Al-4V обнаруживаются гидриды $TiH_{1.5}$, рефлексы которых (111), (200) и (311) накладываются на рефлексы (100), (101) и (103) α фазы титана, соответственно (рис. 18). В то же время часть водорода находится в твердом растворе в β фазе титана. На это указывает увеличение параметра решетки β фазы в сплаве Ti-6Al-4V-1,72H после прессования по сравнению с исходным УМЗ состоянием (табл. 4).

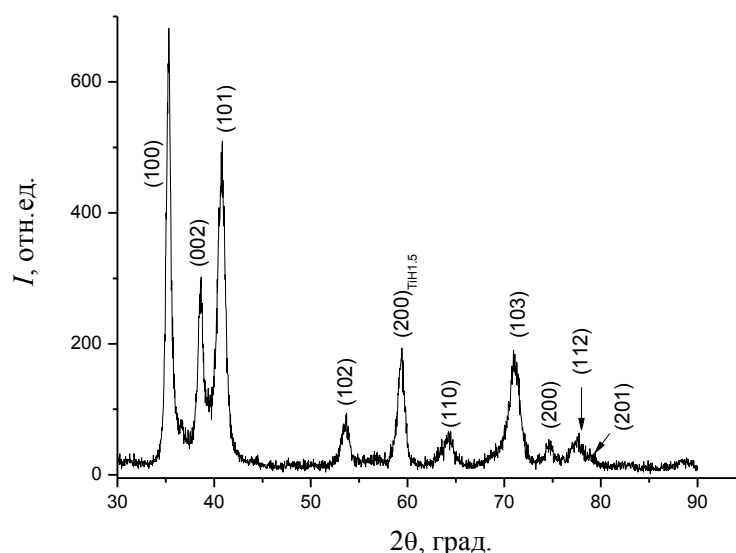


Рис. 19. Участок дифрактограммы образца УМЗ сплава ВТ6 после наводороживания до концентрации 1,72 %

Таблица 4 – Фазовый состав и параметры решетки сплава Ti-6Al-4V-H в УМЗ состоянии

Название образца	Обнаруженные фазы	Объемная доля фазы, %	Параметры решетки, нм
УМЗ Ti-6Al-4V-1,72H	Ti_hexagonal	49,4	$a_\alpha = 0,29144$; $c_\alpha = 0,46633$
	TiH1,5_cubic	50,6	$a = 0,44031$

Исследования влияния вакуумного отжига на содержание водорода в МЗ и УМЗ сплаве показали, что в результате использования этого метода не удастся добиться уменьшения концентрации водорода в сплаве до значений, соответствующих техническим стандартам для данного сплава. Следует также отметить, что выход водорода из сплава в УМЗ состоянии происходит более интенсивно. Поскольку путем отжига в вакууме не удастся снизить концентрацию водорода в сплаве до значений, соответствующих техническим стандартам для данного сплава, в дальнейшем для дегазации водорода предполагается использовать облучение электронным пучком.

Облучение образцов постоянным пучком электронов осуществляли в установке, описанной в [21]. Для исследования выхода водорода из образцов при облучении постоянным пучком электронов использовался метод радиационно-стимулированного газовыделения (РСГВ). Методика получения спектров РСГВ была следующей: образец крепился на нагревателе и помещался в вакуумную камеру. При достижении указанного выше вакуума образец предварительно перед облучением подогревали до температур 518–523 К (скорость нагрева составляла 1 К/с). После стабилизации выбранной температуры включали электронный пучок (энергия пучка электронов $E_{эл} = 30$ кэВ, плотность тока на образце $J = 35$ мкА/см², время облучения ~20–30 и 50–60 мин (для концентраций водорода ~0,05 и ~1 %, соответственно). Температура и ток были измерены с поверхности образца непосредственно во время радиационного воздействия. Запись интенсивности выхода водорода в зависимости от времени облучения проводили с помощью программного комплекса, позволяющего управлять разверткой масс-спектрометра MX-7304 и проводить линейный нагрев образцов.

Перед облучением электронным пучком образцов сплава ВТ6 в МЗ и УМЗ состояниях образцы предварительно подогревали до температуры 523 К. При достижении указанной температуры на образец направлялся электронный пучок, в результате чего начинался интенсивный выход водорода. В процессе облучения под действием электронного пучка температура разогрева образца во всех случаях не превышала 597 К.

Результаты измерения остаточной концентрации водорода в образцах титанового сплава Ti-6Al-4V после применения различных методов дегазации представлены в табл. 5.

Таблица 5

Концентрация водорода в образцах сплава ВТ6 после вакуумного отжига и облучения электронным пучком

Состояние	Условия дегазации сплавов Ti-6Al-4V-H	Концентрация водорода, %
УМЗ Ti-6Al-4V-0,035H	Воздействие электронного пучка в течение ~23 мин	0,00151
МЗ Ti-6Al-4V-0,0215H	Воздействие электронного пучка (с предварительным подогревом образца) в течение 20–33 мин	0,0002
УМЗ Ti-6Al-4V-0,035H		0,0004
МЗ Ti-6Al-4V-1,25H	Вакуумный отжиг при 723 К, 500 мин	1,1
УМЗ Ti-6Al-4V-1,72H		1,11
МЗ Ti-6Al-4V-1,25H	Воздействие электронного пучка (с предварительным подогревом образца) в течение 50–60 мин	0,00032
УМЗ Ti-6Al-4V-1,72H		0,00292

Из данных таблицы 5 видно, что концентрация водорода в сплаве ВТ6 в обоих состояниях после вакуумного отжига уменьшается незначительно и остается выше значений, соответствующих технических стандартам для данного сплава (0,002–0,001 %). Следует также отметить, что содержание водорода в сплаве в УМЗ состоянии уменьшается значительно в большей степени в сравнении со сплавом в МЗ состоянии.

Значения остаточной концентрации в УМЗ ВТ6 сплаве после дегазации посредством воздействия электронного пучка также зависят от структурного состояния. Использование для дегазации водорода воздействия электронным пучком с предварительным нагревом позволяет существенно (~10 раз) уменьшить время дегазации водорода из сплава титана по сравнению с отжигом в вакууме (табл. 5). Содержание водорода в сплаве в обоих

состояниях после указанного воздействия уменьшается до значений, соответствующих техническим стандартам для сплава ВТ6.

В то же время, рентгеноструктурные исследования показали, что в процессе используемых методов дегазации изменяется не только содержание водорода в образцах сплава ВТ6 в МЗ и УМЗ состояниях, но также фазовый состав и параметры решеток (табл. 4). Так, после облучения электронным пучком УМЗ сплава Ti-6Al-4V-1,72H, содержащего 0,00292 % водорода, методом рентгеноструктурного анализа обнаруживаются только α и β фазы. При этом объемная доля β фазы составляет ~8 %. При этом по сравнению с исходным УМЗ состоянием параметр a решетки β фазы уменьшается.

Таблица 6

Фазовый состав и параметры решетки сплава Ti-6Al-4V-H в МЗ и УМЗ состояниях после дегазации водорода

Название образца	Обнаруженные фазы	Объемная доля фазы, %	Параметры решетки, нм
УМЗ Ti-6Al-4V-1,72H	Ti_hexagonal	49,4	$a_\alpha = 0,29144$; $c_\alpha = 0,46633$
	TiH1,5_cubic	50,6	$a = 0,44031$
УМЗ Ti-6Al-4V-1,72H + облучение электронным пучком	Ti_hexagonal	91,8	$a_\alpha = 0,29244$; $c_\alpha = 0,46672$
	Ti_cubic	8,2	$a_\beta = 0,32200$

3.2. Влияние водорода на микротвердость титанового сплава Ti-6Al-4V

В качестве материала исследования был использован сплав Ti-6Al-4V в МЗ и УМЗ состоянии.

Для изучения механических свойств сплава в различных состояниях были подготовлены следующие образцы.

- 1) Отжиг образцов в мелкозернистом состоянии при температуре 750 °С, 1 час.
- 2) наводороживание отожжённых мелкозернистых образцов и образцов в субмикrokристаллическом состоянии до низких (0.05 мас.%) и высоких (1.25 мас.%) концентраций.
- 3) Облучение электронным пучком с энергией 30 кэВ, ток на образце 113 мкА, температура на образце ~550 °С.

Микротвердость полученных образцов измеряли с помощью микротвердомера HV1000 методом Виккерса.

Результаты измерения микротвердости представлены в табл. 7 – 10.

Таблица 7

Микротвердость мелкозернистых образцов сплава Ti-6Al-4V в различных состояниях

№ п/п	Ti-6Al-4V исходный	Ti-6Al-4V исходный + наводороживание до 0,05 мас. %	Ti-6Al-4V исходный + наводороживание до 0,05 мас. % + облучение
1	1,255	1,504	1,541
2	1,3	1,5	1,55
3	1,29	1,48	1,51
4	1,265	1,492	1,535
5	1,239	1,485	1,5
6	1,3	1,54	1,52
7	1,29	1,49	1,5
8	1,278	1,495	1,508
9	1,287	1,5	1,519
10	1,265	1,51	1,497
11	1,297	1,47	1,54
12	1,28	1,49	1,55
13	1,3	1,5	1,5
14	1,24	1,504	1,5
15	1,235	1,5	1,51
16	1,24	1,495	1,508
17	1,271	1,5	1,531
18	1,28	1,487	1,527
19	1,296	1,49	1,5
20	1,288	1,498	1,5
21	1,301	1,498	1,525
22	1,27	1,5	1,501
23	1,25	1,47	1,55
24	1,262	1,49	1,54
25	1,26	1,49	1,5
d, мм	1,27356	1,49512	1,51848
HV, ГПа	5,38	3,9	3,78

Таблица 8

Микротвердость мелкозернистых образцов сплава Ti-6Al-4V в различных

№ п/п	Ti-6Al-4V исходный + наводорожива ние до 1 мас.% + облучение	Ti-6Al-4V исходный + наводороживание до 1 мас. %	Ti-6Al-4V исходный после отжига
1	1,461	1,6	1,425
2	1,43	1,585	1,469
3	1,4	1,598	1,45
4	1,41	1,6	1,42
5	1,4	1,581	1,42
6	1,42	1,59	1,421
7	1,46	1,57	1,415
8	1,453	1,58	1,434
9	1,45	1,575	1,428
10	1,445	1,577	1,435
11	1,45	1,582	1,43
12	1,481	1,601	1,413
13	1,476	1,595	1,4
14	1,451	1,58	1,426
15	1,43	1,58	1,415
16	1,487	1,578	1,42
17	1,477	1,589	1,433
18	1,455	1,595	1,427
19	1,46	1,57	1,42
20	1,448	1,582	1,415
21	1,47	1,605	1,425
22	1,47	1,585	1,43
23	1,465	1,595	1,46
24	1,467	1,59	1,435
25	1,47	1,59	1,451
d, мм	1,45144	1,58692	1,42868
HV, ГПа	4,14	3,47	4,28

Таблица 9

Микротвердость субмикрокристаллических образцов сплава Ti-6Al-4V в
различных состояниях

	Ti-6Al-4V СМК+ наводороживание до 1,25 мас.% + облучение	Ti-6Al-4V СМК + наводороживание до 1,25 мас.%	Ti-6Al-4V СМК
1	1,65	1,416	1,555
2	1,652	1,42	1,553
3	1,65	1,415	1,53
4	1,65	1,421	1,53
5	1,641	1,44	1,55
6	1,63	1,41	1,561
7	1,65	1,425	1,56
8	1,645	1,417	1,55
9	1,637	1,43	1,555
10	1,64	1,462	1,548
11	1,653	1,45	1,55
12	1,629	1,416	1,551
13	1,63	1,438	1,545
14	1,64	1,415	1,56
15	1,644	1,42	1,555
16	1,65	1,441	1,539
17	1,654	1,432	1,557
18	1,66	1,41	1,564
19	1,645	1,455	1,55
20	1,637	1,42	1,53
21	1,645	1,451	1,521
22	1,64	1,425	1,53
23	1,652	1,438	1,545
24	1,648	1,435	1,531
25	1,636	1,443	1,54
d,мм	1,64432	1,4298	1,5464
HV,ГПа	3,23	4,24	3,65

Микротвердость субмикрокристаллических образцов сплава Ti-6Al-4V в
различных состояниях

№ п/п	Ti-6Al-4V СМК+ наводороживание до 0,05 мас. %	Ti-6Al-4V СМК+ наводороживание до 0,05 мас. % + облучение
1	1,43	1,64
2	1,471	1,638
3	1,475	1,61
4	1,45	1,64
5	1,445	1,639
6	1,43	1,646
7	1,41	1,611
8	1,46	1,66
9	1,458	1,645
10	1,47	1,64
11	1,463	1,61
12	1,48	1,631
13	1,45	1,622
14	1,42	1,635
15	1,478	1,613
16	1,43	1,641
17	1,425	1,64
18	1,477	1,634
19	1,44	1,62
20	1,445	1,61
21	1,44	1,645
22	1,398	1,62
23	1,47	1,625
24	1,45	1,64
25	1,48	1,645
d, мм	1,4498	1,632
HV, ГПа	4,15	3,28

Анализ полученных данных



Рис. 20. Микротвердость сплава ВТ6: 1 – образец сплава МЗ в исходном состоянии, 2 – образец сплава МЗ после отжига при 750 °С, 3 – образец сплава МЗ после отжига и наводороживания до 0,05 мас.%, 4 – образец сплава МЗ после облучения и наводороживания до 0,05 мас.%

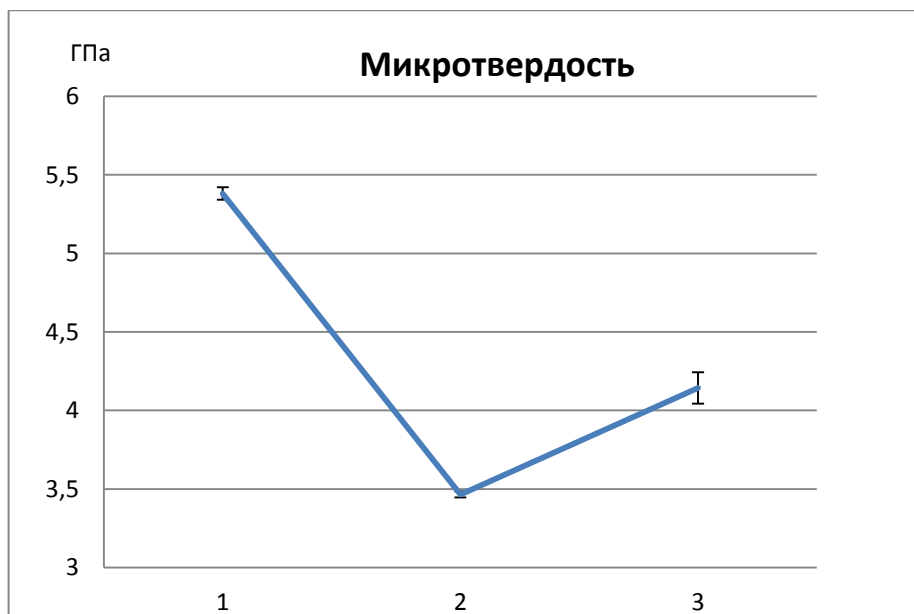


Рис. 21. Микротвердость сплава ВТ6: 1 – образец сплава МЗ в исходном состоянии, 2 – образец сплава МЗ после наводороживания до 1 мас.%, 3 – образец сплава МЗ после облучения и наводороживания до 1 мас.%

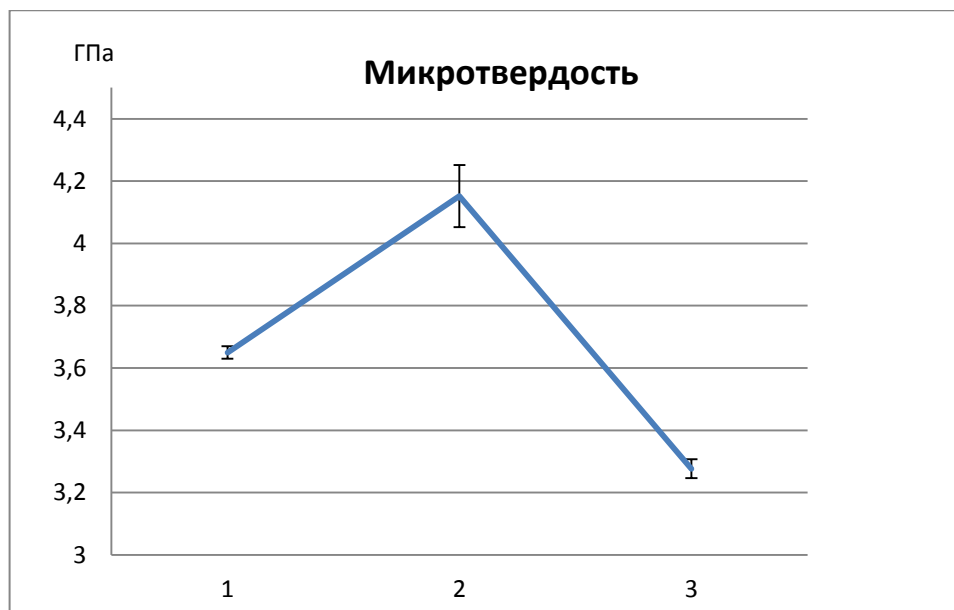


Рис. 22. Микротвердость сплава ВТ6: 1 – образец сплава УМЗ в исходном состоянии, 2 – образец сплава УМЗ после наводороживания до 0,05 мас.%, 3 – образец сплава УМЗ после наводороживания до 0,05 мас.% и облучения

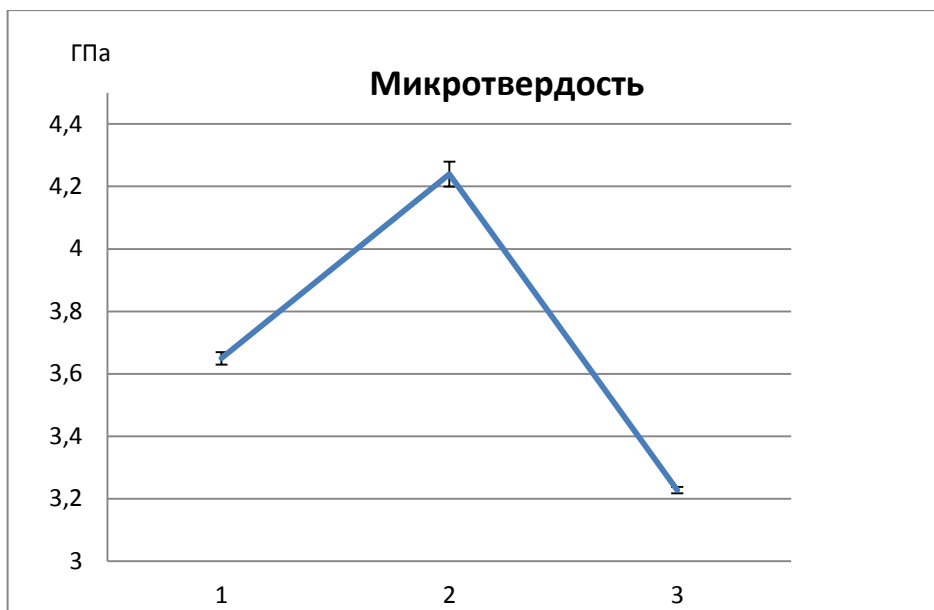


Рис. 23. Микротвердость сплава ВТ6: 1 – образец сплава УМЗ в исходном состоянии, 2 – образец сплава УМЗ после наводороживания до 1,25 мас.%, 3 – образец сплава УМЗ после наводороживания до 1,25 мас.% и облучения

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Планирование комплекса работ на создание проекта.

4.1. Составление перечня работ

Трудоемкость выполнения ВКР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Разделим выполнение дипломной работы на этапы, представленные в таблице 11:

Таблица 11. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение задания НИР	Научный руководитель
Проведение НИР			
Выбор направления исследования	2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Научный руководитель Студент-дипломник,
	3	Выбор моделей и способов анализа	Научный руководитель
	4	Календарное планирование работ	Научный руководитель
Теоретические и экспериментальные	5	Разработка моделей для	Руководитель, консультант,

исследования		исследования	студент-дипломник
	6	Поиск методов решения	Студент-дипломник
	7	Реализация моделей	Студент-дипломник
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов, выводы	студент-дипломник, консультант
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, консультант, студент-дипломник
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник

4.2. Определение трудоемкости работ

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (2.1)$$

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

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

t_{maxi} - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее

неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Рассчитаем значение ожидаемой трудоемкости работы:

работа 1:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 10}{5} = 7$$

работа 2:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{3 \cdot 15 + 2 \cdot 20}{5} = 17$$

работа 3:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 6}{5} = 4,2$$

работа 4:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 7}{5} = 5,2$$

работа 5:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 15}{5} = 10,2$$

работа 6:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 7}{5} = 7,8$$

работа 7:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{3 \cdot 8 + 2 \cdot 11}{5} = 9,2$$

работа 8:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 9}{5} = 7,8$$

работа 9:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 10}{5} = 3,6$$

работа 10:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{3 \cdot 8 + 2 \cdot 12}{5} = 9,6$$

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i}, \quad (2.2)$$

где T_{pi} - продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

работа 1:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{7}{1} = 7$$

работа 2:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{17}{2} = 8,5$$

работа 3:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{4,2}{1} = 4,2$$

работа 4:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{5,2}{1} = 5,2$$

работа 5:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{10,2}{3} = 3,4$$

работа 6:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{7,8}{1} = 7,8$$

работа 7:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{9,2}{1} = 9,2$$

работа 8:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{7,8}{2} = 3,9$$

работа 9:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{3,6}{3} = 1,2$$

работа 10:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} = \frac{9,6}{1} = 9,6$$

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k, \quad (2.3)$$

где T_{ki} - продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;

T_{pi} - продолжительность одной работы, раб. дн.;

k - коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}}, \quad (2.4)$$

где $T_{кг}$ - количество календарных дней в году;

$T_{вд}$ - количество выходных дней в году;

$T_{пд}$ - количество праздничных дней в году.

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48,$$

тогда длительность этапов в рабочих днях, следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ T_k нужно округлить до целых чисел.

Результаты расчетов приведены в таблице 12.

Таблица 12. Временные показатели проведения ВКР

№ раб.	Исполнители	Продолжительность работ						
		t_{min} чел-дн	t_{max} чел-дн	$t_{ож}$ чел-дн	T_p раб-дн	T_k кал-дн	$y_i, \%$	$\Gamma_i, \%$
1	Научный руководитель	5	10	7	7	11	11,45	11.45
2	Научный руководитель, Студент-дипломник	15	20	17	8,5	13	13,54	25

3	Научный руководитель	3	6	4	4,2	7	7,29	32.29
4	Научный руководитель	4	7	5	5,2	8	8,33	40.63
5	Руководитель, консультант, студент- дипломник	7	15	10	3,4	5	5,21	45.83
6	Студент- дипломник,	5	7	8	7,8	12	12,50	58.33
7	студент- дипломник,	8	11	9	9,2	14	14,58	72.92
8	Студент- Дипломник консультант,	7	9	8	5,9	9	9,38	82.29
9	Руководитель, консультант, студент- дипломник	2	10	4	1,2	2	2,08	84.38
10	Студент- дипломник,	8	12	10	9,6	15	15,62	100,00
ИТОГО						96		

4.3. Построение графика работ

Наиболее удобным и наглядным видом календарного плана работ является построение ленточного графика проведения НИР в форме диаграмм Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками,

характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в рамках таблицы 12 с разбивкой по месяцам и неделям (7 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяются различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 13. Календарный план проведения НИР

Этап	Вид работы	Исполнители	t _к	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение задания НИР	Научный руководитель	11					
2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов и поиск материалов по теме	Научный руководитель, Студент-дипломник	13	 				
3	Выбор моделей и способов анализа	Научный руководитель	7					
4	Календарное	Научный	8					

Таблица 14. Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы, (Зм), руб.		
		Исп. .1	Исп. 2	Исп. .3	Исп. .1	Ис п.2	Исп. .3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Бумага	лист	150	100	130	2	2	2	345	230	169
Интернет	М/бит (пакет)	1	1	1	350	350	350	402,5	402,5	402,5
Ручка	шт.	1	1	1	20	20	20	23	23	23
Тетрадь	шт.	1	1	1	10	10	10	11,5	11,5	11,5
Сплав Ti-6Al-4V	Шт.	12	12	12	0,6	0,6	0,6	7,2	7,2	7,2
Наждачная бумага	Шт.	20	20	20	11	11	11	220	220	220
алкоголь	Л	1,25	1,25	1,25	500	500	500	625	625	625
Итого								1634,2	1634,2	1634,2

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

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его

доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 15. Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/ п	Наименован ие оборудовани я	Время использования оборудования, час			Цена использования оборудования, тыс. руб/час			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Анализатор RHEN 602	2	3	1	0.5	0.5	0.5	1	1.5	0.5
2	Электрo- микроскоп	0,8	0,8	0,8	0,00 6	0,00 6	0,00 6	0,04 8	0,04 8	0,04 8
3	Миротвердо сть HV 1000	33	33	33	0.01	0.01	0.01	0.33	0.33	0.33
Итого:								1.37 8	1.42 8	1.32 8

4.4.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл.16.

Таблица 16. Расчет основной заработной платы

№ п/ п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.- дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб		
			Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Составление и утверждение задания НИР	Научный руководитель	7	7	7	1,1			8,67	8,67	8,67
2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Научный руководитель, Студент-дипломник	17	17	17	1,4			26,78	26,78	26,78
3	Выбор моделей и способов анализа	Научный руководитель	4	4	4	1,1			4,95	4,95	4,95
4	Календарное планирование работ	Научный руководитель	5	5	5	1,1			6,19	6,19	6,19
5	Разработка моделей	Научный	10	10	10	2,5			28,13	28,13	28,13

	для исследован ия	руковод итель, консульт ант, студент- дипломн ик							
6	Поиск методов решения	Студент- дипломн ик	8	8	8	0,3	2,7	2,7	2,7
7	Реализация моделей	Студент- дипломн ик	9	9	9	0,3	3,03	3,03	3,03
8	Анализ полученны х результатов , выводы	студент- дипломн ик, консульт ант	8	8	8	1,4	12,6	12,6	12,6
9	Оценка эффективно сти полученны х результатов	Руковод итель, консульт ант, студент- дипломн ик	4	4	4	2,5	12,5	12,5	12,5
10	Составлени е пояснитель	Студент- дипломн ик	10	10	10	0,3	3,38	3,38	3,38

	ной записки								
Итого							108,9	108,9	108,9

$$З_{\text{зн}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}, \quad (4.4.3)$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{\text{осн}}$).

4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (4.4.4)$$

где $K_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Таким образом, $З_{\text{внеб}} = 30\% \cdot (108,9 + 16,3) = 37,6$ тыс.руб.

4.4.5 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \cdot K_{\text{нр}}, \quad (4.4.5)$$

где $K_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

4.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 17. Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
Материальные затраты НТИ	1634,2	1634,2	1634,2	Пункт 4.1
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	1378	1428	1328	Пункт 4.2
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	108900	108900	108900	Пункт 4.3
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	16300	16300	16300	Пункт 4.4
Отчисления во внебюджетные фонды	37600	37600	37600	Пункт 4.5
Накладные расходы	26530,0	26538,0	26522,0	16 % от суммы ст. 1-5
Бюджет затрат НТИ	192342,2	192400,2	192284,2	Сумма ст. 1- 6

4.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, социальной и экономической эффективности исследования.

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (5.1)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{237373,7}{244200,88} = 0,97;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{244200,88}{244200,88} = 1;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{230210,12}{244200,88} = 0,94;$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (5.2)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a^i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a \cdot b_i^p$ – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 18).

Таблица 18. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Надежность	0.2	5	5	4
2. Универсальность	0.2	4	4	5
3. Уровень материалоемкости.	0.15	4	4	5
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0.2	5	5	4
5. Ремонтопригодность	0.1	5	5	5
6. Энергосбережение	0.15	4	4	5
ИТОГО	1	4.5	4,5	4,55

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 = 4,5;$$

$$I_{p-исп2} = 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 = 4,5;$$

$$I_{p-исп3} = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 = 4,55.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{испi} = \frac{I_{p-испи}}{I_{финр.i}}, \quad (5.3)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,5}{0,97} = 4,64; I_{исп2} = \frac{4,5}{1} = 4,5; I_{исп3} = \frac{4,55}{0,94} = 4,84.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.19) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп } i}}{I_{\text{исп } \text{max}}}, \quad (5.4)$$

Таблица 19. Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,97	1	0,94
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,5	4,55
3	Интегральный показатель эффективности	4,64	4,5	4,84
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,95	0,93	1

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в третьем исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

5. Социальная ответственность

Введение

Работа проводилась в кафедре Общей физики на физико-техническом институте Национального исследовательского Томского политехнического университета. Для выполнения выпускной квалификационной работы на тему «Разработка методики насыщения водородом углеродного материала, содержащего нанотрубки» проводилось исследование метода получения протонпроводящей мембраны путем радиационно-химической прививки стирола с последующим сульфированием. Основная работа заключается в определении влияния времени облучения и поглощенной дозы α частиц на степень прививки и сульфирования полученной мембраны. Следовательно, для разработки комплекса мероприятий технического, организационного, режимного и правового характера, минимизирующих негативные последствия проектируемой деятельности, особое внимание было уделено безопасности и гигиенам труда при осуществлении работ на циклотроне Р-7М.

5.1 Техногенная безопасность

Радиационно-химическая прививка проводилась с помощью циклотрона Р-7М), работа которого производится за счет питания от сети переменного тока напряжением 220 В. В процессе проведения работы на циклотроне Р-7М, следовательно, возможно воздействие вредных факторов таких, а именно :

- а) отклонение показателей микроклимата в помещении;
- б) превышение уровней шума;
- в) превышение уровней электромагнитных и ионизирующих излучений;
- г) недостаточная освещенность рабочей зоны.

Для удобства работы в помещении необходима нормировка параметров микроклимата [СанПиН 2.2.4.548–96]. Необходимо применение защитных

мероприятий по способам и средствам защиты от высоких и низких температур, системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха и т.п.

Оптимальные нормы микроклимата, соответствующих Категории работ по уровню энергозатрат в лаборатории (меньше 139Вт) показаны на таблице 20.

Таблица 20 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22–24	21–25	60–40	0,1
Теплый	23–25	22–26	60–40	0,1

В связи с работой насоса в лаборатории возникло превышение уровней шума. Проявление вредного воздействия шума на организм человека весьма разнообразно. Воздействия шума может происходить чувствительности органов слуха, а при большой длительности и интенсивности шума происходят необратимые потери слуха [СН 2.2.4/2.1.8.562–96]. По санитарным нормам, допустимым уровнем шума принято считать: 55 децибел (дБ) в дневное время и 40 децибел (дБ) ночью. Одним из средств защита от шума балансировка вращающихся деталей, уменьшение зазоров в зацеплениях механических передач, применение соответствующей смазки.

Одной из условий, препятствующих работе в лаборатории, является недостаточная освещенность рабочей зон. Для промышленных предприятий оптимальная освещенность территории и помещений является важной и непростой технической задачей, решение которой обеспечивает нормальные гигиенические условия для работающего персонала [СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03]. В России норма освещения помещений лаборатории научно-технические устанавливает следующее: **средняя горизонтальная**

освещенность примерно 400лк. Чтобы улучшить условие освещения можно использовать искусственное освещение.

При воздействии компьютера и циклотрона Р-7М в лаборатории на человека еще воздействует электромагнитное и ионизирующее излучения. Их могут разрушать здоровье человека. Защита расстоянием от ионизирующего и электромагнитного излучения – достаточно простой и надежный способ защиты.

При работе с компьютером допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП) указаны в СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03: временный допустимый уровень ЭМП, соответствующий напряженности электрического поля в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц, равно 25 В/м.

А также существует воздействие следующего опасного производственного фактора – электрический ток.

Действие электрического тока на живую ткань носит разносторонний и своеобразный характер. Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и повреждение различных органов. Пороговый неотпускающий ток составляет 50 Гц (6–16мА). Основные коллективные способы и средства электрозащиты: изоляция токопроводящих частей (проводов) и ее непрерывный контроль; установка оградительных устройств. Индивидуальные основные изолирующие электрозащитные средства способны длительно выдерживать рабочее напряжение электроустановок.

5.2 Региональная безопасность

При выполнении проектных работ или эксплуатации оборудования действующим природоохранным законодательством предусмотрены мероприятия по охране окружающей среды.

В процессе выполнения работы могут возникать отходы некоторых химических веществ, такие как: стирола, толуола, хлорсульфоновой кислоты и соляной кислоты, которые могут вызвать загрязнение гидросферы и травление литосферы. Стирол, толуол и хлорсульфоновая кислота

используют для модификации мембран ПВДФ и соляная кислота используют для измерения обменной емкости модифицированной мембраны.

Для охраны поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения, можно обработать отходы стирола и толуола методом экстракция. Полученный стирол и толуол после процесса экстракция можно использовать повторно.

Для охраны литосферы можно проводить эксперимент в пластиковом чулане.

5.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

Также обосновываются организационные мероприятия, обеспечивающие безопасную эксплуатацию циклотроне Р-7М. При напряженности не выше 5 кВ/м присутствие людей в рабочей зоне разрешается в течение 8 часов.

Для обеспечения безопасности перед началом работы необходимо правильно надеть спецодежду, подготовить для работы необходимый инструмент и приспособления, приготовить рабочий стол. Также необходимо проверить отсутствие внешних повреждений электрооборудования, наличие и исправность контрольных, измерительных и сигнальных приборов, компьютера, тумблеров, переключателей и т.п. При выявлении неисправностей, не допускается проводить ремонт самостоятельно, необходимо доложить руководителю лаборатории. Наладка прибора и его ремонт осуществляется только сервис – инженерами.

Также перед проведением работ на циклотроне Р-7М проверить целостность газовых баллонов, прочность их крепления, герметичность насоса, отсутствие утечки газа. Вентиль и резьба должны быть исправны.

Запрещается приступать к работе, если не выявлены неисправности любого используемого оборудования, если истек срок очередного освидетельствования баллона, истек срок проверки манометра, если персонал не прошел в установленном порядке обучение и проверку знаний

безопасности труда.

Работа с циклотроном Р-7М должна производиться в чистом помещении, свободном от пыли, паров, кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей, вызывающих коррозию. Недопустимо наличие открытого огня около прибора.

После окончания работы с установкой необходимо:

- Закрыть вентили газовых баллонов;
- Убедиться, что все клапаны контроллера закрыты;
- Выйти из программы, отключить питание компьютера;
- Отключить циклотрон Р-7М и насос от электросети;
- Проверить целостность газовых баллонов, их закрепление, отсутствие утечки газа.

5.4. Особенности законодательного регулирования проектных решений

Инженер должен знать и вести комплексную инженерную деятельность в бизнесе, учитывая 3 уровня социальной ответственности. Он должен нести социальную ответственность за принимаемые решения по исполнению федерального законодательства и нормативных правовых актов в области безопасности жизнедеятельности, защиты окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.

Первый уровень – требование общества, нижний, базовый – обязательная составляющая социальной ответственности – это соблюдение законов (налоговое законодательство, трудовой и гражданский кодексы). Будущий руководитель берёт на себя обязательства по исполнению федерального законодательства и нормативных правовых актов, регулирующих управление в области безопасности жизнедеятельности, защиты окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.

Второй уровень, добровольный, представляет собой реализацию социально ответственного поведения ради экономической выгоды.

Третий уровень охватывает те виды социально ответственного поведения, которые не имеют своей целью получение экономических выгод. Это более высокий уровень осознания положения и роли организации в обществе.

В этой работе к использованию установки циклотрона Р-7М допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинские противопоказания, прошедшие обучение безопасности труда и инструктаж на рабочем месте.

К самостоятельной работе допускаются работники после специального обучения и проверки знаний норма и правил работы с электроустановками, правил безопасности работы с газовыми баллонами, приобретенных навыков и безопасных способов выполнения работы на циклотроне Р-7М, имеющие не менее II группы по электробезопасности и получившие допуск к работе с газовыми баллонами.

Повторная проверка знаний норм и правил электробезопасности, правил безопасной работы с газовыми баллонами проводится с работниками не реже 1 раза в 12 месяцев, повторный инструктаж на рабочем месте – не реже 1 раза в 3 месяца.

По данной теме рассматриваются законодательные и нормативные документы:

- а) инструкция номера 2–07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением;
- б) инструкция номера 2–14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В;
- в) СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;
- г) СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
- д) ГОСТ 12.1.006–84.ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля

е) ГОСТ 12.1.045–84 Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля;

ж) СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий;

з) СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Одними из наиболее вероятных и разрушительных видов ЧС являются пожар или взрыв. Пожарная безопасность представляет собой единый комплекс организационных, технических, режимных и эксплуатационных мероприятий по предупреждению пожаров и взрывов [СП 12.13130.2009].

В связи с присутствия трения электронов высокой скорости со стеной циклотрона возникает большое число теплоты, которые являются потенциальным пожарным фактором. Кроме того, в процессе выполнения работы в циклотроне высокий вакуум, который может вызывать взрыв при непрочности материала стены циклотрона.

Чтобы избежать опасности пожара и взрыва, можно принять следующие мероприятия:

1) планирование защиты населения и территорий от пожара и взрыва на уровне предприятия;

2) эвакуация работающих;

3) создание запасов средств индивидуальной защиты и поддержание их в готовности;

4) проектирование, размещение, строительство и эксплуатация объектов инфраструктуры, в том числе и потенциально опасных;

5) инженерное обеспечение защиты населения – строительство защитных сооружений (средств коллективной защиты);

В лаборатории обязательно показан план эвакуации: Заранее разработанный план (схема), в котором указаны пути эвакуации, эвакуационные и аварийные выходы, установлены правила поведения людей, порядок и последовательность действий в условиях чрезвычайной ситуации (Рис.20).



Рис. 24. План эвакуации при пожаре

5.6. Выводы

В данной работе рассмотрены безопасность и гигиена труда при осуществлении разработка методики насыщения водородом углеродного материала, содержащего нанотрубки с помощью автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller. Были выявлены вредные и опасные факторы рабочей зоны, причины и средства защиты, рассмотрены чрезвычайные ситуации и поведение в них.

Социальная ответственность представляет диалектическую взаимосвязь между лицом (работодателем) и обществом (работником), характеризующаяся взаимными правами и обязанностями по выполнению социальных норм и наложением воздействия в случае ее нарушения. На основе рассмотрения безопасности в процессе выполнения работы, было ясно, что студенты будущий руководитель должен нести социальную ответственность за принимаемые решения.

Заключение

Сплав ВТ6 в УМЗ состоянии после получения методом прессования со сменной осью деформации, средний размер зерна равно 0.29 мкм, а сплав ВТ6 в МЗ состоянии – около 12 мкм. Скорость сорбции водорода образцами сплава в УМЗ состоянии существенно (~16 раз) выше, чем для образцов сплава в МЗ состоянии. Формирование УМЗ структуры приводит к изменению объемных долей α и β фаз, уменьшению параметров решетки α фазы. Это свидетельствует о том, что в результате прессования текстура в направлении [002] исчезает. Согласно данным рентгеноструктурного анализа при наводороживании МЗ сплава Ti-6Al-4V до концентраций 0,0215 и 1,25 % текстура в направлении [002] сохраняется.

При наводороживании сплава до низкой концентрации, для сплава в МЗ состоянии, объемная доля α фазы уменьшается, а β фазы увеличивается по сравнению с исходным состоянием. Для УМЗ сплава, объемная доля α фазы увеличивается, а β фазы - уменьшается. После насыщения водородом в УМЗ сплаве наблюдается значительное увеличение параметра решетки β фазы.

Микротвердость сплава Ti-6Al-4V в МЗ состоянии после отжига меньше, чем образца сплава Ti-6Al-4V в исходном МЗ состоянии. Облучение и наводороживание до низкой концентрации приводит к уменьшению микротвердости, в то время как после наводороживания до высокой концентрации микротвердость увеличивается. Это может быть связано с изменением соотношения объемных долей α и β фаз при наводороживании до различных концентраций, а также выделением гидридов.

Наводороживания сплава Ti-6Al-4V в УМЗ состоянии до низкой и высокой концентрации приводит к увеличению микротвердости по сравнению со сплавом Ti-6Al-4V в исходном УМЗ состоянии. Однако после облучения микротвердость УМЗ сплава Ti-6Al-4V уменьшается. Это может быть обусловлено уменьшением в процессе облучения концентрации

водорода до значений, близких к техническим стандартам для данного сплава, и изменением объемных долей α и β фаз.

Социальная ответственность представляет диалектическую взаимосвязь между лицом (работодателем) и обществом (работником), характеризующаяся взаимными правами и обязанностями по выполнению социальных норм и наложением воздействия в случае ее нарушения. На основе рассмотрения безопасности в процессе выполнения работы, было ясно, что студент-будущий руководитель должен нести социальную ответственность за принимаемые решения.

Список использованных источников

1. Давыденко Л.В., Давыденко Р.А., Егорова Ю.Б., Белова С.Б. О возможности применения титановых сплавов в автомобилестроении. - Московский государственный технический университет «МАМИ» и Российский государственный технологический университет - «МАТИ».
2. Трофимов В.В., Федчишин О.В., Клименов В.А., титан, сплавы титана и их применение в стоматологии // трофимов в.в., федчишин о.в., клименов в.а. , 2009. – с. 10-12.
3. С.Ф.Елустенко, А.Н.Первышин. Формирование структуры и свойств титановых сплавов по механическим свойствам в процессах обработки металлов давлением // вестник самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета) , 2011. - №1(25) . – с.110-119.
4. Жеребцов С.В. Формирование субмикроструктурной структуры в титане и титановых сплавах тепловой интенсивной пластической деформацией и их механические свойства, 2002.
5. Колобов Ю.Р., Валиев Р.З., Грабовецкая Г.П., Жилиев А. П., Дударев Е.Ф., Иванов К.В., Иванов М.Б., Кашин О.А., Найденкин Е.В. Зернограничная диффузия и свойства наноструктурных материалов. – Новосибирск: Наука, 2001. – 213 с.
6. Жорин В.А., Шашкин Д.П., Ениколопан Н.С. Дробление кристаллов в процессе пластического течения при высоком давлении // Доклады АН СССР. – 1984. – Т. 278. – №1. – С. 144–147
7. Кузнецов Р.И., Быков В.И., Чернышев В.П. и др. Пластическая деформация твердых тел под давлением. – Свердловск: ИФМ УНЦ РАН, 1982. – Препринт 4/85.
8. Valiev R.Z. and Langdon T.G. The art and science of tailoring materials by

-
- nanostructuring for advanced properties using SPD techniques // Adv. Eng. Mater. Vol. 12(8), 2010. – P. 677–691
9. R.Z. Valiev, R.K. Islamgaliev, and I.V. Alexandrov. Bulk Nanostructured Materials from Severe Plastic Deformation// Progress in Materials Science, 2000, Vol. 45, pp. 103-189.
10. J. Fu, H. Ding, Y. Huang, P.H.R. Pereira, W. Zhang, T.G. Langdon. Измельчение зерен в сплаве Ti-6Al-4V кручением под высоким давлением и низкотемпературная сверхпластичность // Письма о материалах. – 2015. – Т.5. – №3. – С.281-286.
11. Патент №2115759 RU C1 6C 22F 1/18. Способ получения полуфабрикатов с мелкокристаллической глобулярной структурой в α - и $\alpha + \beta$ титановых сплавах / Мазурский М.И., Мурзинова М.А., Афоничев Д.Д., Салищев Г.А. 29.04.96
12. Валиев Р. З. Развитие равноканального углового прессования для получения ультрамелкозернистых металлов и сплавов // Металлы. 2004. №1. С. 15–22.
13. Патент № 2547984. Способ интенсивной пластической деформации кручением под высоким циклическим давлением/
14. Зарипова Р. Г., Шундалов В.А., Шарафутдинов А.В., Ситдинов В. Д., Кандаров И.В., Латыш В.В., Зарипов Н.Г., Александров И.В. Влияние интенсивной пластической деформации и режимов обработки на структуру и механические свойства титанового сплава ВТ6 // Уфа: УГАТУ, 2012 г. Т.16, № 7 (52). С. 17–24.
15. Грабовецкая Г.П., Степанова Е.Н., Колобов Ю.Р., Чернов И.П., Найденкин Е.В., Никитенков Н.Н., Мишин И.П. Эволюция структурно-фазового состояния сплава Ti-6Al-4V в процессе формирования субмикрокристаллической структуры с использованием обратимого легирования водородом // Известия высших учебных заведений. Физика, Т. 49. – № 4. – 2006. – С. 86–91.
16. Ильин А.А., Гольцова М.В. Некоторые аспекты обработки материалов//

-
- Технология лёгких сплавов. 2008. № 1. С. 5-8.
17. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Буханова А.А. Механические свойства титана и его сплавов. – М.: Металлургия, 1974. – 544 с.
18. Гидридные системы: Справочник / Колачев Б.А., Ильин А.А., Лавренко В.А., Левинский Ю.В. – М.: Металлургия, 1992. – 352 с.
19. Цвиккер У. Титан и его сплавы. – М.: Металлургия, 1979. – 511 с.
20. Ильин А.А., Мамонов А.М. Температурно-концентрационные диаграммы фазового состава водородсодержащих многокомпонентных сплавов на основе титана // Металлы. – 1994. – №5. – С. 71–78.
21. Ильин А.А., Мамонтов А.М., Носов В.К., Майстров В.М. О влиянии водорода на диффузионную подвижность атомов металлической подрешетки β -фазы титановых сплавов // Металлы. – 1994. – №5. – С. 99–103.
22. И.П. Чернов, Ю.П. Черданцев, Лидер А.М., Гаранин Г.В. Специализированный физический практикум: физические свойства насыщенных водородом металлов и сплавов. Методы исследования систем металл-водород: Методические указания. – Изд. ТПУ, 2008. 250 с.
23. V. Kudiiarov, L. Gulidova, N. Pushilina, and A. Lider. Application of Automated Complex Gas Reaction Controller for Hydrogen Storage Materials Investigation // Advanced Materials Research. – 740. – 2013. - P. 690–693.
24. Никитенков Н.Н., Хашхаш А.М., Шулепов И.А., Хоружий В.Д., Тюрии Ю.И., Чернов И.П., Кудрявцева Е.Н. Установка для исследования радиационного и термического выделения газов из неорганических материалов // Приборы и техника эксперимента. – 2009. – №6. – С. 110–115.