

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

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование свойства и водородной стойкости титанового сплава ВТ1-0 с TiO₂ покрытием, полученным методом плазменно-ассистированного дугового напыления

УДК 669.295.5:621.793.74

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б20	Ли Цзяи		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Степанова Е.Н.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский В.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Общая физика	Лидер А.М.	к.ф.-м.н., доцент		

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>		
Р1	Способен самостоятельно приобретать новые знания, использовать современные образовательные и информационные технологии, совершенствовать и развивать свой профессиональный уровень, поддерживать здоровый образ жизни	Требования ФГОС (<i>ОК-1, ОК-2, ОК-7, ОК-8, ОК-11, ОК-19</i>) [2], Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	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 (<i>ОК-3, ОК-4, ОК-8, ОК-14, ОК-15, ПК-10, ПК-12, ПК-13</i>), Критерий 5 АИОР (пп. 2.1, 2.2, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	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 (<i>ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-9, ОК-10, ПК-5, ПК-18</i>), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р4	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 (<i>ОК-1, ОК-9, ОК-10, ОК-11, ПК-1, ПК-2, ПК-10</i>), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р5	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 (<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>
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
 _____ Лидер А.М.
 (Подпись) _____ (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
150Б20	Ли Цзяи

Тема работы: Исследование свойства и водородной стойкости титанового сплава ВТ1-0 с TiO₂ покрытием, полученным методом плазменно-ассистированного дугового напыления

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>- образцы титанового сплава ВТ1-0</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>- проведение литературного обзора; - нанесение покрытий на образцы сплава ВТ1-0; - исследование свойств сплава ВТ1-0 в исходном состоянии и после нанесения покрытий - измерение шероховатости поверхности - исследование твердости сплава ВТ1-0 в исходном состоянии и после нанесения покрытий - влияние насыщения водородом на свойства сплава ВТ1-0 с покрытием TiO₂</p>

	- обсуждение результатов; - заключение
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Доцент к.х.н. Пустовойтова М.И.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент к.э.н. Конопотский 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	Ли Цзяи		

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

Студенту:

Группа	ФИО
150Б20	Ли Цзяи

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»:	
<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	...
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	...
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	...
<i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	...
<i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	...
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
<i>Оценка конкурентоспособности технических решений Альтернативы проведения НИ График проведения и бюджет НИ Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский В.Ю.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б20	Ли Цзяи		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
150Б20	Ли Цзяи

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	Прибор: установка GasReactionController; Рабочая зона: лабораторная аудитория; Материал: титановый сплав BT1-0
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожар взрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p>1. Техногенная безопасность:</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов и методы защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> а) отклонение показателей микроклимата в помещении; б) превышение уровней шума; в) превышение уровней электромагнитных и ионизирующих излучений; г) недостаточная освещенность рабочей зоны. <p>Анализ микроклимата</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов и методы защиты:</p> <p>электрический ток.</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); 	<p>2. Региональная безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); <p>методы решения.</p>

<ul style="list-style-type: none"> – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	
<p>3. Организационные мероприятия обеспечения безопасности</p> <ul style="list-style-type: none"> – расположение и компоновка рабочего места; – окраска и размеры органов управления (маркировка опасных зон); – технологические перерывы, проветривание помещения и комнаты психологической разгрузки. 	<p>3. Организационные мероприятия обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – расположение и компоновка рабочего места; – инструментальная подготовка; – контроль оборудования; – организация рабочего места.
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>4. Особенности законодательного регулирования проектных решений.</p>
<p>5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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. 	<p>5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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	Ли Цзяи		

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

Институт международного образования и языковой коммуникации
 Направление подготовки 03.03.02 Физика
 Уровень образования – бакалавр
 Кафедра общей физики
 Период выполнения (весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.02.2016 г.	Обзор литературы	
20.03.2016 г.	Объект и методы исследования	
25.04.2016 г.	Экспериментальная часть	
23.05.2016 г.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
24.05.2016 г.	Социальная ответственность	
05.06.2016 г.	Заключение	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Степанова Е.Н.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Общая физика	Лидер А.М.	к.ф.-м.н., доцент		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 76 с., 18 рис., 16 табл., 25 источник, нет прил.

Ключевые слова: титан, титановый сплав ВТ1-0, водород, наводороживание, покрытия TiO_2 .

Объектом исследования являлся титановый сплав ВТ1-0 с покрытием TiO_2 .

Цель данной работы: исследование свойств покрытия TiO_2 на образцах из титанового сплава ВТ1-0. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Исследование механических свойств покрытий TiO_2 .
2. Исследование распределения элементного состава в образцах до и после нанесения покрытий TiO_2 и наводороживания.
3. Влияние обработки поверхности на поглощение водорода сплавом ВТ1-0.

В процессе исследования проводились: исследования структуры, механических свойств, водородной стойкости технически чистого титана с покрытиями TiO_2 .

В результате исследования установлено следующее:

были проведены комплексные исследования механических свойств, водородной стойкости технически чистого титана с покрытиями TiO_2 . Нанесение покрытия двуокиси титана на образцы ВТ1-0 приводит к повышению твердости (30%) исследуемого материала. Наводороживание образца сплава ВТ1-0 до концентрации 0,39 масс.% приводит к ухудшению механических свойств. Образец разрушается хрупко на упругой части кривой растяжения. В титане ВТ1-0 после нанесения покрытия оксида титана, основной фазой (68.83 %) является TiO_2 с параметрами решетки $a = 4.6024 \text{ \AA}$, $c = 2.9904 \text{ \AA}$. После насыщения водородом наблюдается увеличение параметров кристаллической решетки образцов, при этом водород находится в твердом растворе. При выбранном режиме напыления толщина покрытий составила 4 мкм. После

наводороживания титанового сплава с покрытием практически весь водород локализован в покрытии. Покрытия позволяют снизить скорость сорбции водорода титановым сплавом.

В первой главе описано взаимодействие водорода с титановыми сплавами.

Во второй главе описан материал и методы исследований.

В третьей главе описано исследование свойств сплава ВТ1-0 в исходном состоянии и после нанесения покрытий.

В четвертой главе описано влияние насыщения водородом на свойства сплава ВТ1-0 с покрытием TiO_2 .

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

В шестой главе описана социальная ответственность проведенного исследования.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	15
1 . ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДОРОДА С ТИТАНОВЫМИ СПЛАВАМИ.....	17
1.1 Водородная хрупкость титана и сплавов на его основе.....	21
1.2 Абсорбция и диффузия водорода	24
1.3 Источники попадания водорода в титан и сплавы на его основе	28
1.4 Методы борьбы с водородной хрупкостью титана и его сплавов	29
2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	32
2.1. Материал исследований	32
2.2 Этапы подготовки образцов.....	32
2.3 Нанесение покрытий.....	33
2.4 Насыщение образцов водородом.....	33
2.5 Оценка шероховатости поверхности	33
2.6 Метод измерения микротвердости материалов	34
2.7 Метод растяжения	35
2.7.1 Материал и проб подготовка	35
2.7.2 Одноосное растяжение	35
2.7.3 Испытание на одноосное растяжение.....	36
2.7.4 Предел прочности при растяжении.....	36
2.7.5 Относительное удлинение при растяжении	37
2.8 Метод спектрометра высокочастотного тлеющего разряда.....	38
2.9 Исследование структуры и фазового состава образцов.....	38
3. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СПЛАВА ВТ1-0 В ИСХОДНОМ СОСТОЯНИИ.....	40
3.1 Измерение шероховатости поверхности.....	40
3.2 Исследование твердости сплава ВТ1-0 в исходном состоянии	40
3.3 Исследование влияния водорода на механические свойства титанового сплава.....	41
3.4 Структурно-фазовое состояние сплава ВТ1-0	42

4. ВЛИЯНИЕ НАСЫЩЕНИЯ ВОДОРОДОМ НА СВОЙСТВА СПЛАВА ВТ1-0 С ПОКРЫТИЕМ TiO ₂	44
4.1 Влияние обработки поверхности на поглощение водорода сплавом ВТ1-0	44
4.2 Распределение элементов в поверхностном слое образцов.....	45
5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	47
5.1 Составление перечня работ	47
5.2 Определение трудоемкости работ	48
5.3 Построение графика работ	52
5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	53
5.4.1 Расчет материальных затрат НТИ	53
5.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	54
5.4.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы	54
5.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	56
5.4.5 Накладные расходы	56
5.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	57
5.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, социальной и экономической эффективности исследования.	57
5.6 Вывод.....	60
6. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	61
6.1 Техногенная безопасность.....	61
6.1.1 Микроклимат	62
6.1.2 Электромагнитные поля	64
6.1.3 Электрическое напряжение.....	65
6.1.4 Воздействие высокой температуры	66
6.1.5 Эксплуатация газовых баллонов, работающих под давлением	66
6.2 Региональная безопасность	66
6.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности	66
6.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений.....	68

6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	69
6.6 Вывод.....	71
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	72
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	74

Введение

Титан и его сплавы являются незаменимым материалом во многих областях промышленности [1]. Благодаря малому удельному весу и высокой прочности титан является ценным авиационным материалом. В этой отрасли промышленности титановый лист используется для изготовления винтов двигателей, корпусов, крыльев, двигателей, обшивки, трубопроводов, крепежа и многого другого. Кроме этого он широко применяется в химической промышленности из-за высокой коррозионной стойкости во многих химических средах [2]. Изделия из титана не только обеспечивают снижение эксплуатационных затрат и безаварийность работы, но и надежно противостоят агрессивным и ядовитым средам, устойчивы к высоким давлениям и температурам. Без титановых сплавов сегодня было бы невозможным эффективное производство хлора, калия, натрия, марганца, соды, мочевины, органического стекла, отбеливающих веществ, фармацевтических средств и еще десятков наименований. Из титанового сплава делают насосы, компрессоры, фильтры и трубопроводы для перекачки кислот. Чаще всего для деталей и узлов оборудования химического производства применяют титановые листы и проволоку из сплава марки ВТ1-0 с наилучшими антикоррозионными характеристиками при рабочей температуре до 350 °С [2]. Однако, при освоении производства титана и его сплавов возникли трудности, связанные с водородной хрупкостью, приводящей к преждевременному разрушению деталей [3-7]. Несмотря на определенные успехи в борьбе с водородной хрупкостью, полностью проблема титан-водород не решена. Необходимы дальнейшие всесторонние и глубокие исследования вопроса влияния водорода на свойства титана и его сплавов. Так, одним из эффективных способов повышения эксплуатационных характеристик конструкционных материалов является нанесение защитных покрытий. Защитные покрытия позволяют повысить износостойкость, увеличить коррозионную стойкость и сопротивляемость окислению, усталостной прочности и т.д. В настоящей работе в качестве покрытия на титановый сплав ВТ1-0 был выбран оксид титана. Оксид титана

является недорогим, химически стойким материалом, к тому же обладающим уникальными физическими свойствами, в частности, низким коэффициентом диффузии водорода [8].

Целью данной работы являлось – исследование свойств покрытия TiO_2 на образцах из титанового сплава ВТ1-0.

Задачи исследования:

1. Исследование механических свойств покрытий TiO_2 .
2. Исследование распределения элементного состава в образцах до и после нанесения покрытий TiO_2 и наводороживания.
3. Влияние обработки поверхности на поглощение водорода сплавом ВТ1-0.

1 . Взаимодействие водорода с титановыми сплавами

Окклюзия водорода титаном была исследована в 1929 г. Сивертсон, который нашел, что титан обладает весьма высокой абсорбционной способностью по отношению к водороду [3-9]. Титан связывает большое количество водорода даже при комнатной температуре, особенно после предварительной непродолжительной активизации путем нагрева в вакууме до 1000 – 1100°С [3]. Отмечается, что оптимальной температурой поглощения водорода титаном является 290 – 300°С. Характерно, что сорбция водорода титаном протекает без образования поверхностных пленок. В интервале температур 300 – 1100°С поглощение водорода титаном представляет собой экзотермический процесс: повышение температуры сопровождается понижением растворимости.

В таблице 1 представлены данные о растворимости водорода в титане при постоянном давлении [9].

Таблица 1 – Растворимость водорода в титане

Температура, °С	Растворимость, см ³ /100г	Температура, °С	Растворимость см ³ /100г
300	40000	800	14000
400	38400	900	9000
500	35400	1000	6500
600	32000	1100	4000
700	22000		

Изобара абсорбции водорода титаном при атмосферном давлении для температур 200 – 1000°С представлена на рисунке 1. На рисунке 2 приведены изотермы абсорбции для температур 500 – 1000°С [9].

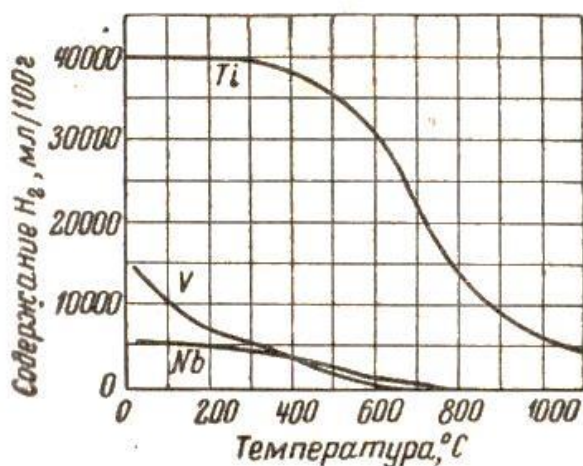


Рисунок 1 – Растворимость водорода в титане, ванадии и ниобии при 760 мм рт.ст

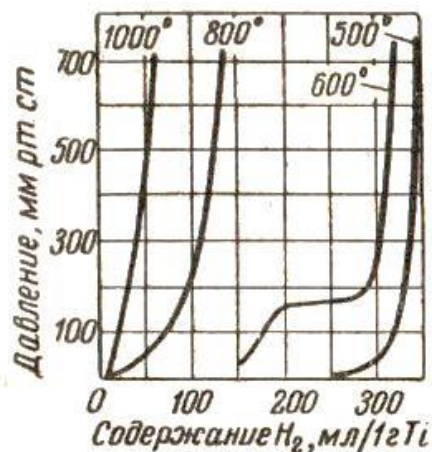


Рисунок 2 – Изотермическая зависимость абсорбции водорода титаном от давления

Исследования абсорбции водорода титаном показывают, что подчиняется закону квадратного корня лишь в узкой области низких концентраций водорода.

Растворимость водорода в α -фазе технического титана ниже, чем в титане высокой чистоты [10]. При 400 °С предел растворимости колеблется от 5,4 до 6,5% (ат.), в то время как для чистого титана эта величина составляет более 8% (ат.). Определить растворимость водорода в титане при температурах ниже эвтектоидной трудно из-за остаточной β -фазы по границам зерен. Медленное или быстрое охлаждение из области твердого раствора не приводит к выделению гидридной фазы в сплавах, содержащих 0,26% (ат.) водорода, в то время как в титане высокой чистоты при данной концентрации водорода гидридная фаза присутствовала бы обязательно. Разница в пределах растворимости и форме существования водорода в металлах различной чистоты обуславливается присутствием в менее чистом титане элементов, стабилизирующих β -фазу, так как растворимость водорода в β -фазе гораздо больше, чем в α -фазе.

Диаграмма состояния титан – водород, по современным представлениям, приведена на рисунке 3. Из нее следует, что водород резко снижает

температуру $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения. Граница твердого раствора водорода в α -титане определяется линией abc . Максимальная растворимость, равная 7,8% или 0,18% (по массе) наблюдается при температуре эвтектоидного превращения при 320° С. При понижении температуры – в интервале 320 – 125° С растворимость водорода в α -титане резко уменьшается. Форма границы между областями α и $\alpha+\gamma$. Растворимость водорода при низких температурах можно выразить формулой:

$$\lg C = 6.289 - 1.95 \times 10^3 / T \quad (1)$$

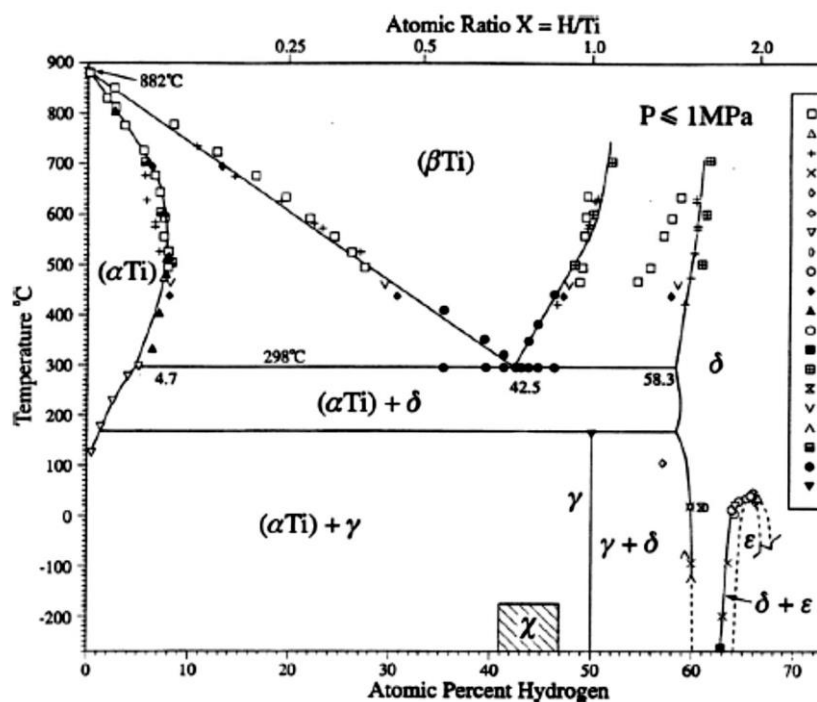


Рисунок 3 – Диаграмма состояния титан - водород [11]

Водород, находящийся в твердом растворе, не оказывает заметного влияния на параметры кристаллической решетки и, по-видимому, занимает в ней октаэдрические пустоты, находясь в атомарном состоянии.

При температурах выше эвтектоидной ($A_c = 320$ °С) с увеличением содержания водорода за область гомогенного твердого раствора появляется двухфазная область, за которой идет область β -фазы. При еще больших концентрациях появляется γ -фаза на основе гидроксида титана. При охлаждении сплавов от температур существования δ -фазы при 280° С (A_2) происходит ее

эвтектоидный распад на α - и γ -фазы. Эвтектоидная точка соответствует 38% (ат.), или 1,27% (по массе) водорода. Хотя водород – типичный β -стабилизатор, зафиксировать β -фазу в двойных сплавах Ti-H путем закалки не удастся, так как эвтектоидная реакция вследствие большой подвижности водорода в решетке титана протекает очень быстро. При охлаждении из области α -твердого раствора титан распадается с образованием α -раствора с меньшим содержанием водорода и γ -фазы (гидрида титана). Гидрид при достаточно медленном охлаждении выделяется в виде тонких пластинок, видимых под микроскопом в форме темных игл. Титан – типичный гидридообразующий металл [3-9]. Он образует с водородом гидриды переменного состава в пределах стехиометрического состава TiH–TiH₂. Область устойчивой гомогенности гидридной фазы (γ -фаза), лежит между 48 и 63,3% (ат.) или 1,89– 3,44% (по массе). По данным, γ -фаза имеет г.ц.к. решетку. Считается [5], что структуру гидридной фазы можно рассматривать как объемно-центрированную тетрагональную с параметрами: $a = 0,312$ нм (3,12 Å) и $c = 0,418$ нм (4,18 Å) при отношении $c/a = 1,34$ или как гранецентрированную тетрагональную с параметрами: $a = 0,442$ нм (4,42 Å), $c = 0,418$ нм (4,18 Å) и $c/a = 0,946$. По данным, период решетки γ -фазы с повышением содержания водорода увеличивается от 0,4395 нм (4,395 Å) до 0,445 нм (4,45 Å). Плотность γ -фазы титана равна 3,78 г/см³. Гидрид титана термически неустойчив и, как большинство гидридов переходных металлов, с повышением температуры разлагается с выделением чистого водорода.

В [12] сообщают, что в α -сплавах титана при низких температурах, то есть 40 – 60 °С, наблюдаются гидриды титана с тремя различными кристаллическими структурами и морфологией в зависимости от значений x TiH_x: гранецентрированная тетрагональная структура с низким содержанием водорода (TiH_{0,5}); ГЦК структура с промежуточной концентрацией водорода (TiH_{1,5}–1,9) и гранецентрированная тетрагональная структура с высокой концентрацией водорода (TiH_{1,9}–2,0). Так как выделение гидрида вызывает увеличение объема до 15 – 21 %, большие сжимающие напряжения, индуцированные в матрице, обеспечивают основной вклад в водородную хрупкость.

Максимальное количество абсорбированного водорода составляет приблизительно около 2 атомов водорода на 1 атом титана. Вычисленная для этого случая теплота образования продукта составляет 31,1 ккал/моль [3].

1.1 Водородная хрупкость титана и сплавов на его основе

Всестороннее исследование свойств титановых сплавов показало, что наряду с ценными качествами титан имеет и некоторые неблагоприятные свойства; в частности, для него характерно проявление хрупкости, связанной с присутствием вредных примесей, особенно газов – кислорода, азота и водорода. Если увеличение содержания кислорода и азота в титановых сплавах сразу же сказывается на их механических свойствах, что легко заметить по увеличению прочности и твердости и снижению пластичности и вязкости, то влияние водорода более сложно, хотя и не менее опасно. Первоначально считали, что водород оказывает очень незначительное влияние на механические характеристики титана, определяемые при испытании на разрыв, по крайней мере, при относительно небольшом содержании в металле (до 0,02 – 0,03% по массе). Недооценка этого влияния при первых шагах применения титана в технике привела к серьезным авариям, причины которых не сразу удалось установить. Многочисленные случаи неожиданных хрупких разрушений готовых конструкций из титановых сплавов в авиации США стали даже причиной некоторого кризиса в производстве титана порти 1954 – 1955 гг. Только после того, как причины аварии были детально изучены и были найдены возможности их устранения, производство титана в США получило дальнейшее развитие.

Водородная хрупкость титановых сплавов может проявляться в различных формах в зависимости от состава сплава, его термической обработки и условий нагружения. Поэтому избежать водородной хрупкости можно лишь при детальном ознакомлении со всеми основными формами ее проявления, а также с условиями попадания водорода в титан при технологических переделах и службе конструкций [5].

В работе [13] выделяют следующие виды водородного охрупчивания:

– Внутреннее водородное охрупчивание. Имеет место, когда водород попадает в металл во время его обработки. Это явление, которое может привести к структурной недостаточности материала, который никогда не подвергался воздействию водорода раньше. Внутренние трещины, инициируют поглощение водорода, но не более 0,1–10 ppm водорода в среднем. Эффект наблюдается в интервале температур от 173 до 373 К.

– Внешнее водородное охрупчивание. Происходит, когда материал подвергается в атмосфере водорода, например, резервуары для хранения. Поглощенный и / или адсорбированный водород изменяет механический отклик материала без формирования второй фазы. Эффект сильно зависит от напряжений, приложенных к металлу. Кроме того, максимально при комнатной температуре.

– Химическое водородное охрупчивание. Это явление, в котором водород вступает в химическую реакцию с составной частью металла с образованием новых микроструктурных элементов или фаз, таких как гидрид или для создания пузырьков метана в результате реакции с углеродом, который накапливается в границах зерен металлических компонентов, ведущих к недостаточности, вызванной ростом недействительным и при поддержке ползучести.

Добавки водорода в титан делают его типично хладноломким металлом, который охрупчивается под воздействием четырех основных внешних факторов: понижения температуры, концентраторов напряжений, скорости деформирования и линейных размеров (масштабный фактор).

В настоящее время общепризнано, что появление хладноломкости титана под влиянием водорода связано с присутствием в структуре гидридной фазы. Доказательством охрупчивающего влияния гидридов прежде всего служит тот факт, что после закалки с 400 °С образцов, содержащих ~0,03% H₂ при немедленном их испытании, хладноломкость не выявляется, поскольку содержащийся в металле водород фиксируется в твердом растворе или выделяется в первый момент в сильно диспергированном состоянии. Выдержка такого металла при комнатной температуре приводит к охрупчиванию металла

по мере выделения гидридов или роста их до опасной величины. Характерную картину представляет микроструктура областей хрупкого разрушения титана. Рисунок 4 иллюстрирует распространение трещины при таком разрушении. Легко заметить, что хрупкие трещины, проходящие по зерну, строго ориентированы по плоскостям выделения гидридов титана. С точки зрения механики прочности материалов охрупчивающее действие гидридов может быть истолковано следующим образом. Гидриды титана обладают определенной пластичностью, но имеют относительно низкое сопротивление отрыву. Если нормальные растягивающие напряжения в титане ниже сопротивления отрыву гидридов, влияние водорода на предел прочности не сказывается, что и наблюдается при растяжении гладких образцов. Если эти напряжения превышают сопротивление отрыву гидридов (под влиянием внешних факторов), то на месте гидридов образуются трещины, снижающие пластичность. Сопротивление отрыву при этом зависит от количества и длины пластинок гидридов.

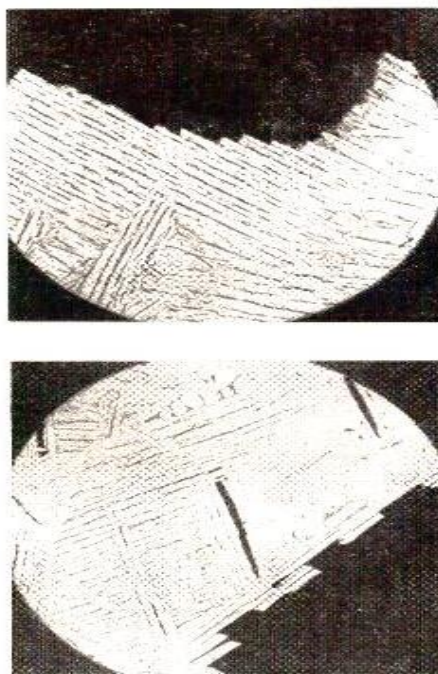


Рисунок 4 – Микрофотографии шлифа через трещинку хрупкого разрушения наводороженного титана $\times 300$

Большое значение имеет возникновение растягивающих напряжений в металле при выделении гидридов за счет разности удельных объемов маточной

α -фазы и гидридов (γ -фазы). Эти напряжения могут привести к самопроизвольному растрескиванию или облегчить распространение трещины под действием внешних нагрузок. Поскольку сопротивление отрыву водородсодержащего титана связано с гидридной фазой, естественно, что проявление водородной хрупкости в значительной степени связано со структурным состоянием гидридов и очень чувствительно к различным факторам, определяющим величину, форму и характер их выделения. Грубые и крупные гидридные выделения, естественно, имеют заметно более низкое сопротивление отрыву, и водородная хрупкость в этом случае проявляется при меньшем содержании водорода в титане.

У сплавов с чистой α -структурой водородная хрупкость в основном проявляется в той же форме, что и у чистого титана, однако количество водорода, вызывающего хрупкость, изменяется в зависимости от природы легирующего элемента. Водородная хрупкость усиливается при наличии в титане элементов внедрения: кислорода, азота и углерода. Эти элементы заметно уменьшают предельное содержание водорода, вызывающее хладноломкость титана, видимо, способствуя выделению водорода в виде гидридов.

Кроме этого, кислород, азот и углерод повышают сопротивление титана деформированию (упрочняют металл) и тем самым действуют подобно внешним охрупчивающим факторам (температуре, объемности напряженного состояния и скорости деформирования), приближая сопротивление деформированию к хрупкой прочности гидридной фазы. Усиление водородной хрупкости при повышении содержания в титане указанных элементов происходит также вследствие уменьшения пластичности α -фазы и снижения работы распространения трещин.

1.2 Абсорбция и диффузия водорода

Зависимость между давлением, температурой и равновесным составом системы Ti – H обычно выражается изобарическими, изотермическими или изоконцентратными кривыми. Кривые подобного типа были получены

Кришфельдом и Зивертсом, Випгтоном и др., Джиббом и Крушвитцем и Макквиллэном. Последний провел наиболее обстоятельное исследование.

На рисунке 5 показано изменение равновесного давления водорода на образце с 2% (ат.) водорода в зависимости от температуры. Как видно из рисунка, с повышением температуры до 830° С равновесное давление постепенно возрастает, в интервале от 836 до 858° С быстро падает и выше 858° С снова возрастает. Две ветви кривых представляют собой зависимости от температуры равновесного давления водорода для α - и β -модификаций титана. Следовательно, при одновременном существовании обеих модификаций титана водород концентрируется преимущественно в β -фазе, так как в процессе выравнивания давления он диффундирует из α -в β -фазу.

Теплота растворения газообразного водорода в обеих модификациях титана отрицательна, т. е. при растворении водорода происходит поглощению тепла. Вследствие этого равновесное давление водорода в системе Ti – H повышается с увеличением температуры (см. рис. 5). Для α -титана, по вычислениям Макквиллэна, теплота растворения водорода равна 90,5 кдж/моль (21,6 ккал/моль); для β - титана – соответственно 116,5 кдж/моль (27,8 ккал/моль).

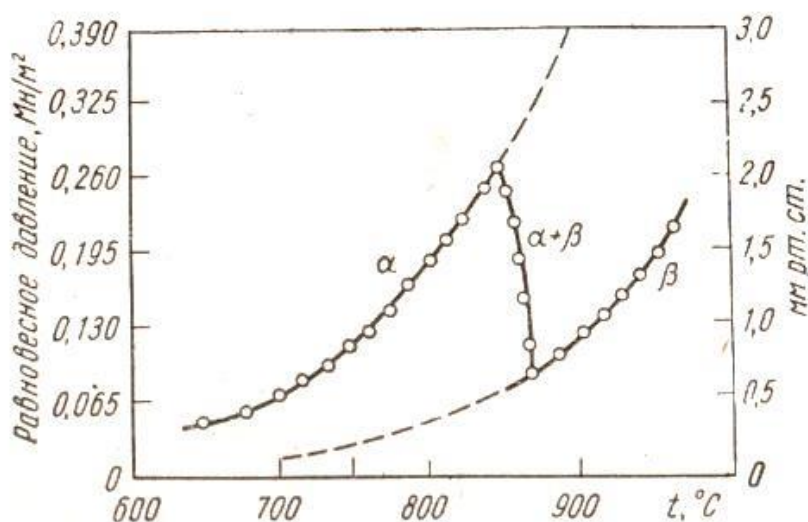


Рисунок 5 – Изменение равновесного давления водорода в зависимости от температуры в титане, содержащем 2%(ат.) H₂

Примеси, находящиеся в титане технической чистоты, несущественно изменяют равновесные условия системы Ti-H, лишь в двухфазных областях изотермы давления водорода не горизонтальны. Скорость диффузии водорода в α - и β -модификациях чистого титана изучали Василевский и Кейль и иной методикой Сомэно и Нагасаки. Результаты этих исследований графически обобщены на рисунке 6. Обобщение данных позволяет выразить зависимость коэффициентов диффузии водорода в α и титане от температуры следующими формулами:

$$D_{\alpha} = 5.5 \times 10^{-3} e^{-\frac{43200 \pm 4200}{RT}} \text{ см}^2/\text{сек} \quad (2)$$

$$D_{\beta} = 4.4 \times 10^{-3} e^{-\frac{34000 \pm 4200}{RT}} \text{ см}^2/\text{сек} \quad (3)$$

Для технически чистого титана найдена несколько иная зависимость:

$$D_{\alpha} = 2.7 \times 10^{-3} e^{-\frac{14200}{RT}} \text{ см}^2/\text{сек} \quad (4)$$

Величина энергии активации процесса диффузии водорода в титане, определенная из приведенных формул, равна: для α -титана $Q = 43200$ дж/моль (10300 кал/моль); для β -титана $Q = 34000$ дж/моль (8100 кал/моль).

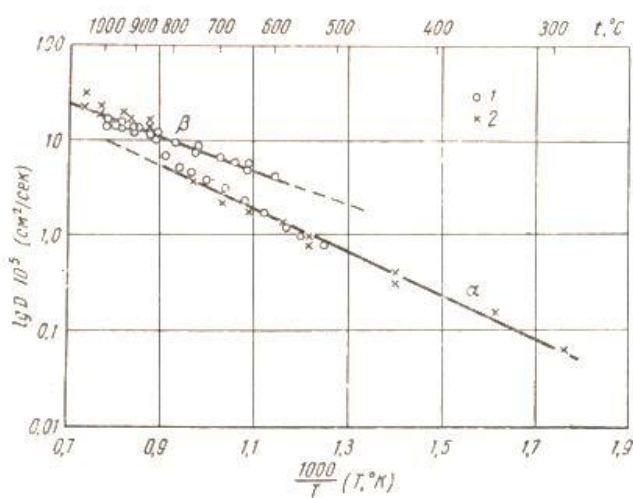


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента диффузии водорода в α -и β -фазах титана от температуры по данным: 1– Василевского и Кейля; 2– Сомэно и Нагасаки

Следует отметить необычно высокие значения коэффициентов диффузии водорода в титане, что в значительной степени определяет скорость процессов

поглощения или выделения (скорость дегазации) водорода, а также внутрискруктурных процессов растворения и обособления гидридов. При изучении кинетики поглощения водорода при различных температурах обнаружено, что скорость поглощения водорода титаном становится заметной уже при 300°C и быстро возрастает с температурой. Процесс поглощения водорода, а также скорость выделения швов в вакууме, резко уменьшаются при наличии окисных пленок, загрязнении поверхностных слоев кислородом или присутствии в газовой среде даже незначительных количеств окисляющих реагентов. Это явление имеет большое практическое значение, так как во многих случаях оно может быть решающим фактором, определяющим скорость абсорбции водорода, особенно при низких температурах. Даже при тщательном приготовлении образцов в лабораторной практике фактические данные о поглощении водорода получаются очень пестрыми, и пока не удалось найти единого аналитического выражения, которое описывало бы все результаты, несмотря на достаточно точные методы измерений. Типичные изотермические кривые скорости поглощения водорода титаном, полученные А. В. Ревякиными, В. А. Резниченко приведены на рисунке 7.

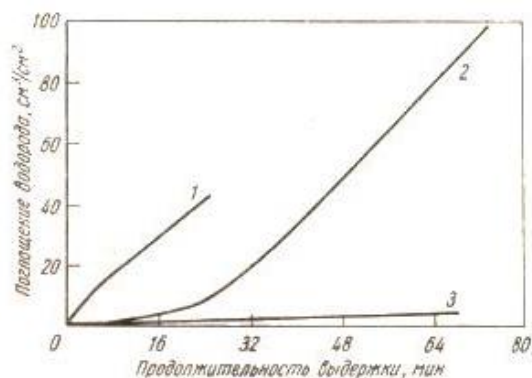


Рисунок 7. Кинетические кривые поглощения водорода титаном при различной подготовке поверхности: 1 - вакуумный отжиг при 700°C ; 2 - травление; 3 - окисление при 550°C

1.3 Источники попадания водорода в титан и сплавы на его основе

Слитки из титана и титановых сплавов выплавляют почти исключительно в вакууме, при этом если процесс плавки ведется правильно, водород из металла почти полностью удаляется. Поэтому ниже рассматриваются лишь основные факторы и технологические моменты, способствующие попаданию в титан водорода при металлургическом переделе слитков в полуфабрикаты и возможности наводороживания титановых изделий в процессе службы. Имеются три основные технологические операции, при которых возможно значительное наводороживание титана и сплавов на его основе – это нагрев металла в открытых печах, сварка и травление поверхности в различных травителях.

При нагреве заготовок из титановых сплавов в открытых электрических или пламенных печах поверхность металла непосредственно соприкасается с печными газами, которые всегда имеют в своем составе водородсодержащие реагенты, в первую очередь пары воды и реже углеводороды (при неполном сгорании топлива).

Заметное наводороживание титана происходит при нагреве в парах воды выше 500°C . При 500°C водород поглощается из паров воды очень медленно, и этот процесс можно наметить лишь после нагрева в течение более сотни часов; ниже 370°C процесс практически прекращается.

Наибольшее практическое значение имеет наводороживание титановых сплавов при нагреве под горячую пластическую обработку. Изучение скорости поглощения водорода при нагреве на воздухе различной влажности показало [4], что до $850-900^{\circ}\text{C}$ поглощение водорода из паров воды, содержащихся в воздухе, крайне незначительно и практически может не учитываться при сравнительно непродолжительных нагревах. При более высоких температурах нагрева возможно существенное наводороживание.

Окалина титана, появляющаяся на поверхности в результате высокотемпературных нагревов, исключительно химически стойкая, поэтому удаляют ее, несмотря на то, что это крайне трудоемко, часто чисто механически (дробе - и пескоструйная обработка, строжка и т. п.). Единственный

эффективный химический метод удаления окалина с титановых сплавов – травление в щелочных расплавах. В то же время уже первые опыты показали большую опасность наводороживания титановых полуфабрикатов в процессе такого травления [4].

При травлении титана и α -титановых сплавов водород концентрируется в тонком поверхностном слое толщиной 0,02 – 0,03 мм [3, 13]. В этом слое структура металла представлена α -фазой с большим количеством гидридов. Содержание водорода в этом слое может достигать до 3 % (по массе). При нагреве выше 100 °С происходит диффузия водорода в глубь металла, в результате чего концентрация водорода в объеме металла возрастает.

Титан и его сплавы, могут насыщаться водородом при сварке. При сварке титановых сплавов шов формируется при очень высоких температурах. Сильно разогревается также околошовная зона металла. Естественно поэтому, опасность наводороживания сварного соединения очень велика, несмотря на сравнительную непродолжительность процесса. Титановые сплавы сваривают почти всегда под защитой инертных газов: аргона и гелия. Насыщение водородом может происходить или за счет влажности инертного защитного газа, или в результате недостаточной защиты при сварке под флюсом. Наводороживание может также происходить при эксплуатации готовых изделий. Поэтому важнейшее условие предупреждения попадания водорода в металл шва – чистота применяемых защитных газов и, главным образом, низкая их влажность.

1.4 Методы борьбы с водородной хрупкостью титана и его сплавов

Для того чтобы судить о возможности развития водородной хрупкости в титане и его сплавах в тех или иных конкретных случаях, нужно знать минимальные концентрации водорода, приводящие к ее развитию [3, 14]. Максимально допустимые концентрации водорода к настоящему времени установлены для большинства промышленных сплавов. Так, по результатам влияния водорода на ударную вязкость для технически чистого титана

установлены следующие максимально допустимые концентрации водорода: для BT1-00 0,008 %, для BT1-0 0,010 % и для BT1-1 0,012 % [13]. Установленные в настоящее время пределы максимально допустимого содержания водорода не являются абсолютными. В том случае, когда титановые сплавы должны работать при низких температурах, содержание в них водорода должно быть ниже указанных. Для крупнозернистого материала допуски на максимальное содержание водорода в титане должны быть значительно ниже, чем для мелкозернистого материала. При применении титана и его сплавов в сварных соединениях уровень максимально допустимых содержаний водорода следует устанавливать по результатам испытаний на замедленное хрупкое разрушение сварных образцов, так как поле напряжений в шве и около шовной зоне способствует направленному перемещению атомов водорода и развитию преждевременного разрушения сварных деталей. Один из первых способов борьбы с водородной хрупкостью титана и его сплавов – уменьшение наводороживания при технологических операциях. Этот способ не всегда удается реализовать, особенно для сплавов, сильно склонных к водородной хрупкости, когда малейшее повышение содержания водорода в полуфабрикатах и изделиях по сравнению с его содержанием

Если содержание водорода в полуфабрикатах и готовых изделиях превышает максимально допустимые значения, то его можно удалить вакуумным отжигом, но это длительная и дорогая операция. Целесообразнее выбрать из имеющихся сплавов сплавы, мало склонные к водородной хрупкости, или специально разработать сплавы не склонные к хрупкости при тех концентрациях водорода, которые встречаются в данном конкретном случае.

Водородной хрупкости можно избежать, уменьшая расчетные напряжения до уровня, ниже которого она не развивается, но это вряд ли целесообразный способ, так как он ведет к увеличению веса конструкций. Последнее явно неприемлемо для авиационной и ракетной техники.

Изделия могут наводороживаться не только при технологических операциях, но и при эксплуатации. В таком случае возможными способами борьбы с водородной хрупкостью могут быть:

а) защитные покрытия, препятствующие наводороживанию; б) легирование, уменьшающее скорость взаимодействия металла с водородсодержащими средами и повышающее максимально допустимые концентрации водорода; в) периодический вакуумный отжиг изделий.

В тех случаях, когда титан и его сплавы в процессе эксплуатации или при производстве полуфабрикатов оказываются в атмосфере газов, содержащих водород, необходимо принимать меры, препятствующие проникновению водорода в титан.

В качестве одной из мер предотвращения проникновения газов в титан при высоких температурах было предложено покрывать изделия или полуфабрикаты из него слоем краски, не пропускающей газы [3]. В том случае, если покрытие нужно удалить после нагрева, необходимо, чтобы оно имело резко отличный от титана коэффициент термического расширения.

Керамическое покрытие легко снимается закалкой изделия в воде благодаря резко отличному от титана коэффициенту «шейного расширения». В случае необходимости покрытие можно также удалить в растворе каустика. Аналогичное покрытие может быть применено не только для предотвращения проникновения газов в титан во время термической обработки, но также для защиты от проникновения газов готовых изделий в условиях их эксплуатации, в частности в атмосфере газов, содержащих водород.

Для снижения интенсивности наводороживания в процессе эксплуатации при обычных для титановых сплавов рабочих температурах достаточно эффективно даже легкое окисление на воздухе.

Сублимированные в высоком вакууме пленки титана поглощают водород при комнатной температуре; отожженный в вакууме йодидный титан начинает взаимодействовать с водородом при температурах выше 250°C, а технический титан с естественной окисной пленкой на поверхности не поглощает водород в

заметной степени до 350°C. После нагрева титана на воздухе при температуре 700°C в течение 2 – 6 ч заметного взаимодействия водорода с титаном при температуре 450°C в течение 10 ч обнаружено не было. К сожалению, не было проведено специальных экспериментов, которые показали бы, как долго сохраняется защитное действие окисной пленки на поверхности титана и до какой температуры она оказывается эффективной.

Как известно, титан и его сплавы подвергают химикотермической обработке: оксидированию, азотированию, борированию, силицированию [3, 13, 8, 15]. Подобные покрытия увеличивают износостойкость титана, уменьшают коэффициент его трения в паре со многими металлами, повышают коррозионную стойкость титана и его сплавов во многих агрессивных средах.

2. Материал и методы исследований

2.1. Материал исследований

В качестве материала исследований использовался титановый сплав ВТ1-0. Образцы представляли собой прямоугольные пластины размером 20x20x1 мм. В таблице 2 представлен состав сплава ВТ1-0 [16].

Таблица 2 – Химический состав ВТ1-0 в %

Марка титана	Fe	C	Si	N	Ti	O	H	Примесей
ВТ1-0	до 0.18	до 0.07	до 0.1	до 0.04	98.61 - 99.7	до 0.12	до 0.01	прочих 0.3

2.2 Этапы подготовки образцов

Образец шлифовался на шлифовальной бумаге до полного удаления рисок, с постепенным переходом от бумаги с зернистостью абразива 150 – 50 мкм до бумаги микронной зернистости (20 – 5 мкм). При переходе с одной

бумаги на другую, более тонкую, образец очищался и менялось направление шлифовки на 90° . Шлифовка образцов производилась вручную, когда шлифовальная бумага кладется на ровную поверхность (стекло, мрамор), либо на специальных станках с закреплением шлифовальной бумаги на вращающихся дисках или лентах.

В данной работе проводилась полировка образцов алмазными пастами.

2.3 Нанесение покрытий

Нанесение покрытий TiO_2 производилось вакуумно-дуговым плазменно-ассистированным методом на ионно-плазменной установке «ТРИО-М» [17].

Образцы были промыты в ультразвуковой ванне в бензине и спирте, в каждом в течение 10 мин. Откачка рабочей камеры проводилась до давления $\sim 10^{-3}$ Па. Перед напылением покрытий поверхность образцов очищалась ионами аргона с энергией до 1 кэВ от оксидных пленок и адсорбированных газов. Скорость роста покрытий составила 6 мкм/ч.

2.4 Насыщение образцов водородом

Исследование влияния покрытий на поглощение водорода титановым сплавом проводилось на установке «Gas Reaction Controller». Наводороживание осуществлялось из газовой среды при температуре $450^{\circ}C$ и давлении 2 атм., 160 минут.

2.5 Оценка шероховатости поверхности

Шероховатость поверхности – совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами на базовой длине [18]. Шероховатость определяет многие эксплуатационные свойства изделий, такие как: износостойкость от истирания, прочность, плотность (герметичность) соединений, химическая стойкость, внешний вид. В зависимости от условий работы поверхности назначается параметр шероховатости при проектировании деталей машин, также существует связь между предельным отклонением размера и шероховатостью.

Измерение шероховатости поверхности образцов проводили на приборе HOMMEL TESTER T1000.

2.6 Метод измерения микротвёрдости материалов

Твёрдость измеряют в трёх диапазонах: макро, микро, нано. Макродиапазон регламентирует величину нагрузки на индентор от 2 Н до 30 кН. Микродиапазон регламентирует величину нагрузки на индентор до 2 Н и глубину внедрения индентора больше 0,2 мкм. Нано диапазон регламентирует только глубину внедрения индентора, которая должна быть меньше 0,2 мкм. Методы определения твёрдости по способу приложения нагрузки делятся на: 1) статические и 2) динамические (ударные). Для измерения твёрдости существует несколько шкал (методов измерения) [19, 20]: метод Бринелля, метод Роквелла, метод Виккерса.

Измерение твердости образцов проводилось на микротвердомере MICROHARDNESS TESTER HV-1000 по методу Виккерса. Испытания производится путем вдавливания алмазного индентора пирамидальной формы с определенным испытательным усилием в поверхность образца для испытаний. После определенного времени под нагрузкой индентер поднимается, величина твёрдости рассчитывается согласно формуле. Так как индентеры твёрдомеров могут обладать различной формой, расчёты соответственно проводятся согласно разным формулам. Твёрдость по методу Виккерса определяется при помощи индентера пирамидальной формы с противолежащим углом 136°, полная формула приведена ниже:

$$HV=1.8544F/d^2 \quad (5)$$

где HV – твёрдость по методу Виккерса(кг/мм²); F – испытательное усилие; d – средняя длина диагонали отпечатка(мм).

2.7 Метод растяжения

2.7.1 Материал и проб подготовка

В качестве материала исследований использовался титановый сплав ВТ1-0. Образцы для испытаний были выполнены в виде двойной лопатки с размерами, приведенными на рисунке 8.

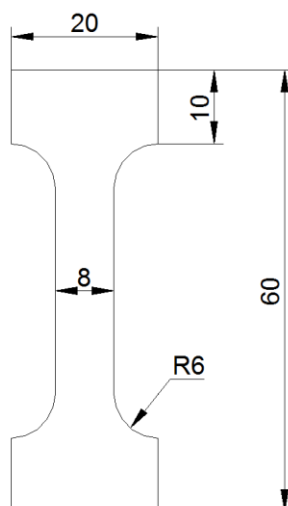


Рисунок 8 – Схема образца для механических испытаний

В данной работе образцы шлифовались на шлифовальной бумаге до полного удаления рисок, с постепенным переходом от бумаги с зернистостью абразива 150 – 50 мкм до бумаги микронной зернистости (20 – 5 мкм). В работе были исследованы два вида образца: один исходный и один с концентрации водорода 0,39 масс.%.

2.7.2 Одноосное растяжение

Одноосное растяжение–простейшая деформация, возникающая в призматическом брусе, подверженном равномерному растяжению или сжатию. Такая деформация возникает вдали от концов бруса, к торцам которого приложена система сил, приводящая к силе F , направленной вдоль оси центров тяжести поперечного сечения бруса. При растяжении поперечные сечения остаются плоскими, а нормальные напряжения σ в поперечном сечении распределены равномерно и равны [21]:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (6)$$

где S – площадь поперечного сечения.

Удлинение Dl бруса длины l при упругих деформациях определяется формулой [22]:

$$Dl = F \cdot l / ES \quad (7)$$

где ES – жёсткость при растяжении.

При удлинении бруса его поперечное сечение уменьшается. Отношение относительного уменьшения поперечного сечения – e' к относительному удлинению e упругого бруса численно равно коэффициенту Пуассона ν . Зависимость между s и e служит механической характеристикой материала; она находится из опытов на испытательных машинах. В пределах линейной упругости $s = Ee$. Если s больше предела текучести s_s , зависимость между s и e более сложная.

2.7.3 Испытание на одноосное растяжение

Испытание на растяжение заключается в деформировании образца в условиях однородного и одноосного напряженного состояния до его разрушения.

Цель испытаний – определение механических характеристик материала, полученных после обработки диаграмм, снятых при испытаниях.

2.7.4 Предел прочности при растяжении

Пределом прочности при растяжении называют величину, численно равную наибольшей нагрузке, отмеченной во время испытания образца на растяжение, разделенной на площадь первоначального поперечного сечения образца. Предел прочности при растяжении σ_b выражается в кгс/мм².

Испытанием на растяжение определяют прочность металлов, работающих на растяжение. Для этой цели отливают образец и устанавливают

его на разрывную машину. При возрастании нагрузки (разрывного усилия) наблюдается удлинение образца. Результаты испытания удобно изображать в виде диаграммы (рис. 9). По вертикальной оси откладывают нагрузку P , которую постепенно увеличивают, а по горизонтальной оси откладывают величину удлинения образца Δl [23].

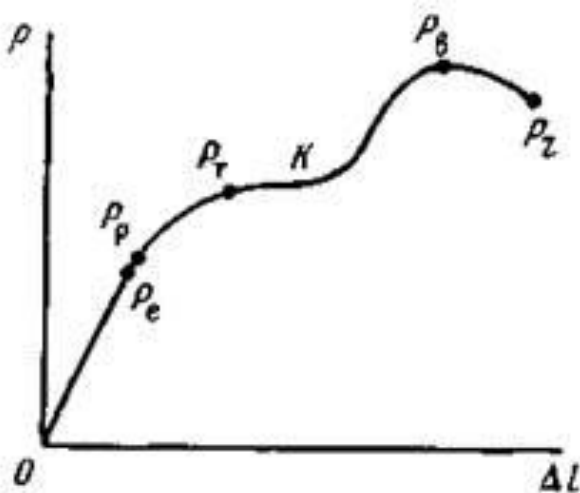


Рисунок 9 – Диаграмма растяжения стального образца

Предел прочности титана при растяжении σ_B , МПа. Прочностные свойства титана в значительной мере зависят от содержания примесей - кислорода, азота, углерода и водорода, неизбежно присутствующих в титане и образующих твердые растворы. При малых концентрациях кислорода и азота пределы прочности и текучести титана повышаются, а пластичность уменьшается.

2.7.5 Относительное удлинение при растяжении

Относительное удлинение показывает на сколько процентов изменились размеры тела.

Для расчета используется формула:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (8)$$

где ε – относительное удлинение тела; Δl – абсолютное удлинение тела; l_0 – длина тела после приложения на него силы.

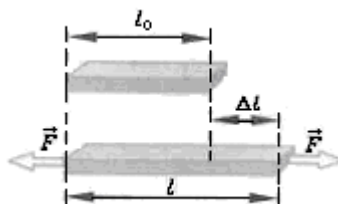


Рисунок 10 – Абсолютное удлинение тела

Относительное удлинение показывает какую часть от первоначальной длины составляет абсолютное удлинение. Часто измеряется в процентах, для этого просто надо умножить на 100%.

Относительного удлинению необходимо для определения, сможет ли материал при изменении своей длины разрушиться [24]. Например: если взять металлическую трубку 10 метров и растянуть ее на 1метр, то она может разрушиться, но растянуть резиновую 100 метровую нить на 1 метр такого же сечения как и труба, то с ней ничего не произойдет. Относительное значение в первом случае будет $1 \div 10 \times 100\% = 10\%$, а во втором $1 \div 10000 \times 100\% = 0.01\%$.

2.8 Метод спектрометра высокочастотного тлеющего разряда

Исследование элементного состава образцов проводилось методом оптической спектроскопии высокочастотного тлеющего разряда на приборе Profiler 2. Метод, основанный на контролируемом распылении атомов с поверхности образца под воздействием ионов аргона, бомбардирующих площадь диаметром несколько мм [25]. Позволяет определить элементный состав изделия и распределения элементов на поверхности и в объеме. Давление газа составляло 500 Па, мощность разряда 45 Вт.

2.9 Исследование структуры и фазового состава образцов

Структурно-фазовый состав определялся методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре Shimadzu XRD 7000.

3. Исследование свойств сплава ВТ1-0 в исходном состоянии

3.1 Измерение шероховатости поверхности

В таблице 3 представлены значения шероховатости поверхности образцов до и после шлифования.

Таблица 3 – Параметры шероховатости поверхности сплава ВТ1-0 до нанесения покрытий

	Ra, мкм	Описание
№.1	0.22	До шлифовки
№.2	0.07	После шлифовки
№.3	0.06	

3.2 Исследование твердости сплава ВТ1-0 в исходном состоянии

Результаты исследования твердости образцов в зависимости от вида обработки поверхности приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры твердости материала сплава ВТ1-0 в исходном состоянии

Образцы	Нагрузка, кг	Диагональ d ₁ , мм	Диагональ d ₂ , мм	Диагональ d ₃ , мм	НV
Исходный	0.3	0.059	0.060	0.061	154±20
После нанесения TiO ₂	0.3	0.0515	0.0505	0.0522	210±20
После нанесения TiO ₂ и насыщения водородом	0.3	0.054	0.056	0.055	184±20

Установлено, что защитные покрытия значительно повышает твердость поверхности титанового сплава. В тоже время, наводороживание практически не влияет на величину твердости.

3.3 Исследование влияния водорода на механические свойства титанового сплава

Результат растяжения титана ВТ1-0 представлен на рисунке 11.

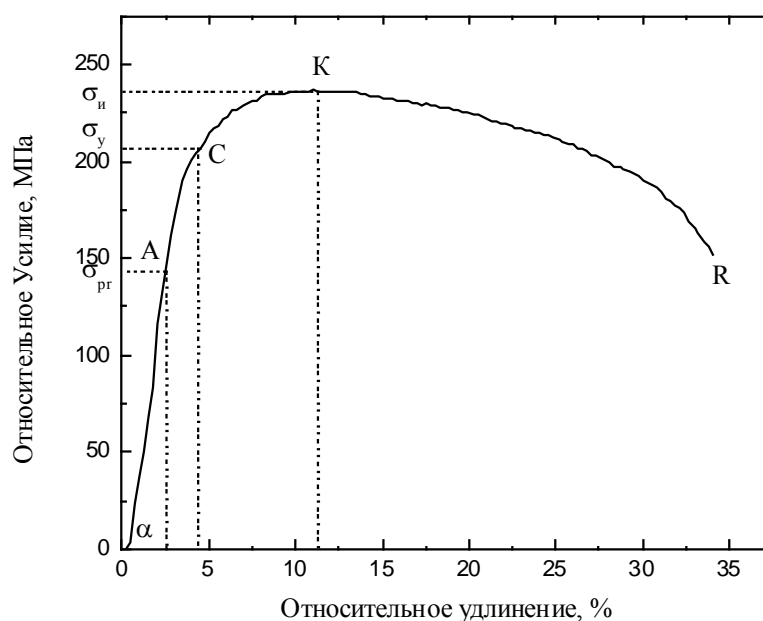


Рисунок 11 – Зависимость относительное усилия от относительного удлинения ВТ1-0.

В результате растяжения (рис.11) были определено механические свойства: $E = \tan \alpha = 5800$ МПа , $\sigma_{gr} = 145$ МПа, $\sigma_y = 205$ МПа, $\sigma_{и} = 238$ МПа. Предел прочность в эксперименте (238 МПа) ниже, чем справочное значение (345 МПа). В то же время, относительное удлинение в эксперименте выше (35 %), чем справочное значение (15 %)

Результат исследование влияние водорода на прочность титанового сплава ВТ1-0 представлен на рисунке 12.

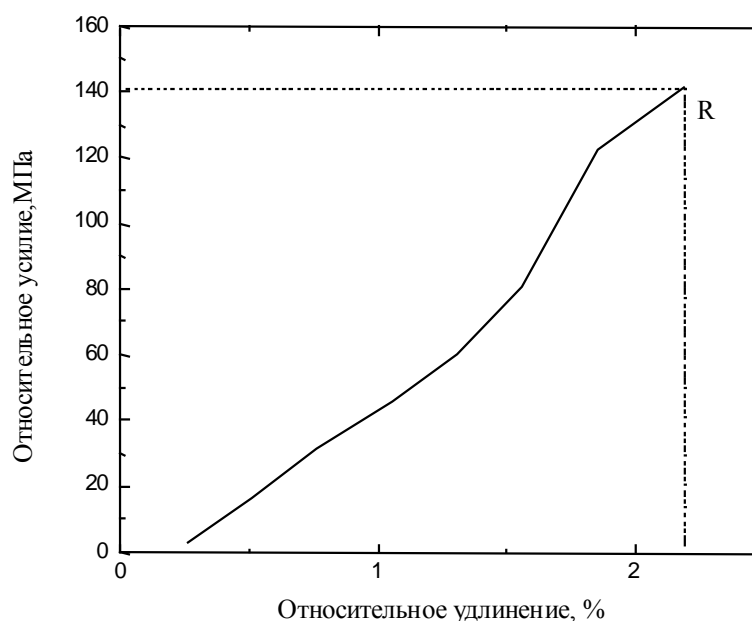


Рисунок 12 – Зависимость относительное усилия от относительное удлинения ВТ1-0 после насыщения.

Из графика видно, что наводороживание образца сплава ВТ1-0 до концентрации 0,39 масс.% приводит к ухудшению механических свойств. Образец разрушается хрупко на упругой части кривой растяжения.

3.4 Структурно-фазовое состояние сплава ВТ1-0

Результаты рентгеноструктурного анализа образцов приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Структурно-фазовое состояние сплава ВТ1- 0 в зависимости от обработки образцов

Название образца	Обнаруженные фазы	Содержание фаз, объем.%	Параметры решетки, Å
Исходный ВТ1-0	Ti_hexagonal	100	$a = 2.9541c = 4.6852$
ВТ1-0+ TiO ₂	Ti_hexagonal	10.63	$a = 2.9497c = 4.6824$
	TiO ₂ _rutile	68.83	$a = 4.6024c = 2.9904$

	TiO ₂ _anatase	20.55	a = 3.7678 c = 9.4790
BT1-0+ TiO ₂ после насыщения водородом	Ti_hexagonal	18.96	a = 2.9518 c = 4.6849
	TiO ₂ _rutile	73.64	a = 4.5945 c = 2.9532
	TiO ₂ _anatase	7.4	a = 3.7615 c = 9.4921

Согласно результатам рентгеноструктурного анализа, в титане BT1-0 после нанесения покрытия оксида титана, основной фазой (68.83 %) является TiO₂ с параметрами решетки a = 4.6024 Å, c = 2.9904 Å. После насыщения водородом наблюдается увеличение параметров кристаллической решетки образцов, при этом водород находится в твердом растворе.

4. Влияние насыщения водородом на свойства сплава ВТ1-0 с покрытием TiO₂

4.1 Влияние обработки поверхности на поглощение водорода сплавом ВТ1-0

Результаты исследования влияния покрытий на поглощения водорода титановым сплавом при наводороживании из газовой среды представлены на рисунках 13, 14.

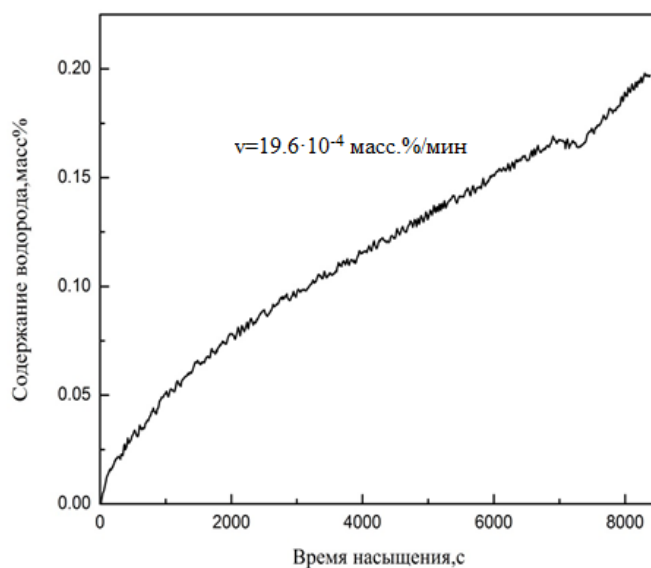


Рисунок 13 – Сорбция водорода сплава ВТ1-0 до нанесения покрытий при насыщении из газовой среды при температуре 450 °С

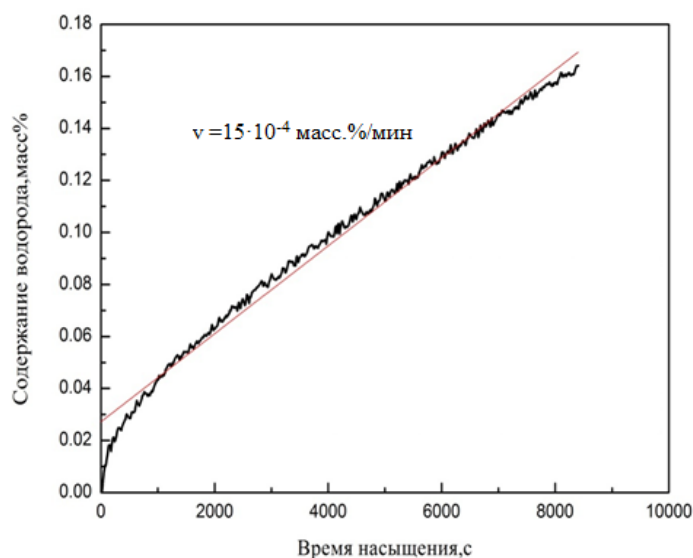


Рисунок 14 – Сорбция водорода сплава ВТ1-0 после нанесения покрытий при насыщении из газовой среды при температуре 450 °С

Как показали исследования в процессе насыщения из газовой среды при температуре 450 °С скорость сорбции исходными образцами составила $19.6 \cdot 10^{-4}$ масс.%/мин. При этом скорость сорбции водорода образцами с покрытием оксида титана $15 \cdot 10^{-4}$ масс.%/мин. Известно, что присутствие на поверхности титана оксидных пленок способствует значительному повышению энергии активации диссоциации молекулярного водорода, такие пленки в большинстве случаев служат барьером для проникновения водорода в объем материала [3-15].

4.2 Распределение элементов в поверхностном слое образцов

Распределение элементов в образцах с нанесенными защитными покрытиями представлено на рисунках 15–17. Согласно проведенным исследованиям толщина покрытий составила ~ 4 мкм.

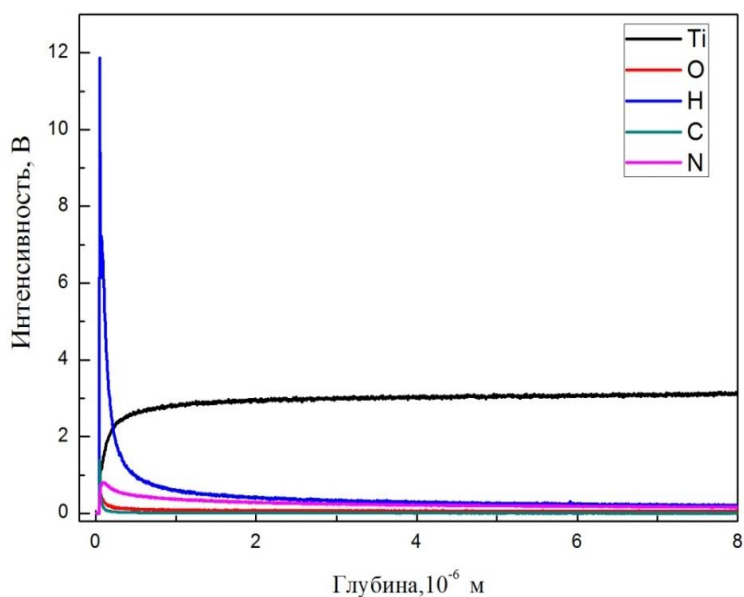


Рисунок 15 – Исследование элементного состава сплава VT1-0 до наводороживания

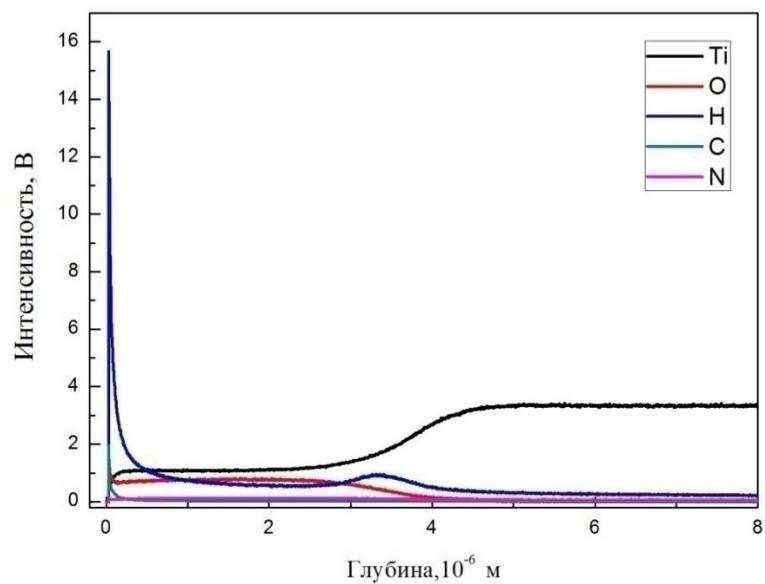


Рисунок 16 – Исследование элементного состава сплава VT1-0 после нанесения покрытия

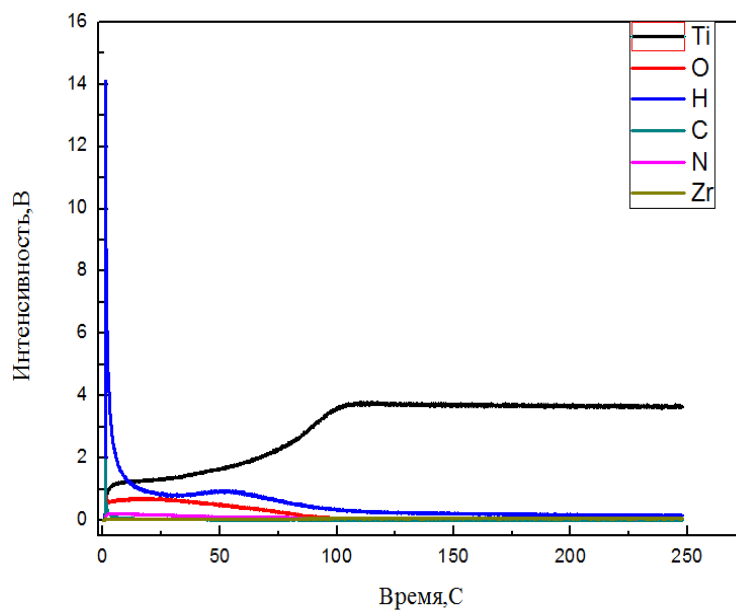


Рисунок 17 – Исследование элементного состава сплава VT1-0 после нанесения покрытия и наводороживания

После наводороживания титанового сплава с покрытием практически весь водород задерживается в покрытии.

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 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 6:

Таблица 6 – 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
Выбор направления исследования	2	Поиск и изучение материала по теме	Научный руководитель Студент-дипломник,
	3	Выбор моделей и способов анализа	Научный руководитель
	4	Календарное планирование работ	Научный руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Изучение литературы по теме	Руководитель, студент-дипломник
	6	Поиск методов решения	Студент-дипломник
	7	Систематизация и оформление информации	Студент-дипломник
Обобщение и оценка результатов	8	Измерение и получение цифры	Студент-дипломник, консультант
	9	Анализ полученных результатов	Руководитель, консультант, студент-дипломник
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Студент-дипломник

5.2 Определение трудоемкости работ

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

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (9)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – 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.;

$t_{\text{max}i}$ – 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:

$$t_{\text{ож}1} = \frac{3t_{\text{min}1} + 2t_{\text{max}1}}{5} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 8}{5} = 5.6$$

работа 2:

$$t_{\text{ож}2} = \frac{3t_{\text{min}2} + 2t_{\text{max}2}}{5} = \frac{3 \cdot 15 + 2 \cdot 18}{5} = 16.2$$

работа 3:

$$t_{\text{ож}3} = \frac{3t_{\text{min}3} + 2t_{\text{max}3}}{5} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 9}{5} = 6$$

работа 4:

$$t_{\text{ож}4} = \frac{3t_{\text{min}4} + 2t_{\text{max}4}}{5} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 8}{5} = 5.6$$

работа 5:

$$t_{\text{ож}5} = \frac{3t_{\text{min}5} + 2t_{\text{max}5}}{5} = \frac{3 \cdot 8 + 2 \cdot 15}{5} = 10.8$$

работа 6:

$$t_{\text{ож}6} = \frac{3t_{\text{min}6} + 2t_{\text{max}6}}{5} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 9}{5} = 7.8$$

работа 7:

$$t_{ож7} = \frac{3t_{min7} + 2t_{max7}}{5} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 12}{5} = 9$$

работа 8:

$$t_{ож8} = \frac{3t_{min8} + 2t_{max8}}{5} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 9}{5} = 7.2$$

работа 9:

$$t_{ож9} = \frac{3t_{min9} + 2t_{max9}}{5} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 10}{5} = 6.4$$

работа 10:

$$t_{ож10} = \frac{3t_{min10} + 2t_{max10}}{5} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 11}{5} = 8.6$$

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{ч_i}, \quad (10)$$

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

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

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

работа 1:

$$T_{p1} = \frac{t_{ож1}}{ч_1} = \frac{5.6}{1} = 5.6$$

работа 2:

$$T_{p2} = \frac{t_{ож2}}{ч_2} = \frac{16.2}{2} = 8.1$$

работа 3:

$$T_{p3} = \frac{t_{ож3}}{ч_3} = \frac{6}{1} = 6$$

работа 4:

$$T_{p4} = \frac{t_{ож4}}{ч_4} = \frac{5.6}{1} = 5.6$$

работа 5:

$$T_{p5} = \frac{t_{ож5}}{ч_5} = \frac{10,8}{2} = 5,4$$

работа 6:

$$T_{p6} = \frac{t_{ож6}}{ч_6} = \frac{7,8}{1} = 7,8$$

работа 7:

$$T_{p7} = \frac{t_{ож7}}{ч_7} = \frac{9}{1} = 9$$

работа 8:

$$T_{p8} = \frac{t_{ож8}}{ч_8} = \frac{7,2}{2} = 3,6$$

работа 9:

$$T_{p9} = \frac{t_{ож9}}{ч_9} = \frac{6,4}{3} = 2,1$$

работа 10:

$$T_{p10} = \frac{t_{ож10}}{ч_{10}} = \frac{8,6}{1} = 8,6$$

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k, \quad (11)$$

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:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}}, \quad (12)$$

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:

$$K = \frac{T_{КГ}}{T_{КГ} - T_{ВД} - T_{ПД}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22$$

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 7.

Таблица 7– 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	U_i , %	Γ_i , %
1	Научный руководитель	4	8	5.6	5.6	7	9.33	9.33
2	Научный руководитель, Студент-дипломник	15	18	16.2	8.1	10	13.3 3	22.6
3	Научный руководитель	4	9	6	6	7	9.33	32
4	Научный руководитель	4	8	5.6	5.6	7	9.33	41.3
5	Руководитель, консультант, студент-дипломник	8	15	10.8	5.4	7	9.33	50.6
6	Студент-дипломник,	7	9	7.8	7.8	9	12	62.6
7	Студент-дипломник,	7	12	9	9	11	14.6	77.33
8	Студент-Дипломник консультант,	6	9	7.2	3.6	4	5.3	82.6
9	Руководитель, консультант, студент-дипломник	4	10	6.4	2.1	3	4	86.6
10	Студент-дипломник	7	11	8.6	8.6	10	13.3 3	100,0 0
ИТОГО						75		

5.3 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 8 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 8 – Календарный план проведения НИР

Этап	Вид работы	Исполнители	t_k	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение задания НИР	Научный руководитель	9	■				
2	Поиск и изучение материала по теме	Научный руководитель, Студент-дипломник	12	■	■			
3	Выбор моделей и способов анализа	Научный руководитель	9	■				
4	Календарное планирование работ	Научный руководитель	9		■			
5	Изучение литературы по теме	Руководитель, консультант, студент-дипломник	8		■	■		
6	Поиск методов решения	Студент-дипломник,	12			■		
7	Систематизация и оформление информации	Студент-дипломник,	14			■	■	
8	Измерение и получение цифры	Студент-Дипломник, консультант,	6				■	
9	Анализ полученных результатов	Руководитель, консультант, студент-дипломник	3				■	■

Шлифовальная бумага	шт	6	5	60	60	360	300
Ручка	шт.	1	1	20	20	20	20
Тетрадь	шт.	1	1	10	10	10	10
Спирт	мл	100	100	0.09	0.09	9	9
Перчатки	шт.	2	2	2.7	2.7	5.4	5.4
Халат	шт.	1	1	459	459	459	459
Итого						965.9	905.9

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

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, 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 10 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№п/п	Наименование оборудования	Время использования оборудования, час		Цена использования оборудования, тыс. руб/час		Общая стоимость оборудования, тыс. руб.	
		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
1	TektronixTDS20204B	7	8	6	7	48.3	64.4
Итого:						48.3	64.4

5.4.3 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.11.

Таблица 11 – 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.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
1	Составление и утверждение задания НИР	Научный руководитель	5.6	5.6	1,2		7.53	7.53
2	Поиск и изучение материала по теме	Научный руководитель, Студент-дипломник	16.2	16.2	1,3		23.58	23.58
3	Выбор моделей и способов анализа	Научный руководитель	6	6	1,1		7.39	7.39
4	Календарное планирование работ	Научный руководитель	5.6	5.6	1,1		6.89	6.89
5	Изучение литературы по теме	Научный руководитель, консультант, студент-дипломник	10.8	10.8	2,4		29.03	29.03
6	Поиск методов решения	Студент-дипломник	7.8	7.8	0,4		3.49	3.49
7	Систематизация и оформление информации	Студент-дипломник	9	9	0,3		3,02	3,02
8	Измерение и получение цифры	Студент-дипломник, консультант	7.2	7.2	1,5		12,09	12,09
9	Анализ полученных результатов	Руководитель, консультант, студент-дипломник	6.4	6.4	2,6		18.63	18.63
10	Составление	Студент-дипломник	8.6	8.6	0,4		3.85	3.85

	ПОЯСНИТЕЛ ЬНОЙ записки						
Итого						115.5	115.5

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (14)$$

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

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

$$Z_{\text{осн}} = 115.5 \quad Z_{\text{доп}} = 115.2 \times 12\% = 13.824$$

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 129.36$$

Районный коэффициент: 0.3

$$\text{Суммарная заработная плата } Z = Z_{\text{зн}} \times 1.3 = 168.168$$

5.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (15)$$

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%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 30%.

$$\text{Отчисления во внебюджетные фонды} = Z \text{ (Суммарная заработная плата)} \times 30\% = 50.45$$

5.4.5 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\sum \text{статей}) \cdot K_{\text{нр}} \quad (16)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

5.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 12 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп.1	Исп.2	
Материальные затраты НИИ	965.9	905.9	Пункт 4.1
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	48300	64400	Пункт 4.2
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	115500	115500	Пункт 4.3
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	13824	13824	Пункт 4.4
Суммарная заработная плата	168168	168168	Пункт 4.4
Отчисления во внебюджетные фонды	50450	50450	Пункт 4.5
Накладные расходы	63553.3	66119.6	16 % от суммы ст. 1-5
Бюджет затрат НИИ	460761.2	479367.5	Сумма ст. 1- 6

5.5. 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:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (17)$$

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).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{188554.9}{207567} = 0,91$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{207567}{207567} = 1;$$

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

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (18)$$

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

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

b_i^a , b_i^p – балльная 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. 13).

Таблица 13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Надежность	0.2	5	5
2. Универсальность	0.2	4	4
3. Уровень материалоемкости.	0.15	4	4
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0.2	5	5

5.Ремонтопригодность	0.1	5	5
6. Энергосбережение	0.15	4	4
ИТОГО	1	4.5	4,5

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

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

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

$$I_{исп i} = \frac{I_{p-исп i}}{I_{финр i}}, \quad (19)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,5}{0,91} = 4,94; \quad I_{исп2} = \frac{4,5}{1} = 4,5;$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.14) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп i}}{I_{исп max}}, \quad (20)$$

Таблица 14 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0.91	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,5
3	Интегральный показатель эффективности	4.94	4,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,91	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.

5.6 Вывод

При планировании научно-исследовательской работы был произведен подсчет бюджета исследования. В процессе формирования бюджета были использованы группировки по материальным затратам (965,9 руб), затратам по основной заработной плате исполнителей тем (115500 руб), затратам по дополнительной заработной плате (13824 руб), затратам на научные и производственные командировки (64400 руб), отчислениям во внебюджетные фонды (50450 руб) и накладным расходам (63553,3 руб). Всего бюджет составил 64880,79 руб. Данная оценка коммерческой ценности необходима, чтобы представлять финансовое состояние и перспективы проводимых научных исследований.

6. Социальная ответственность

Для нанесения тонких пленок и покрытий применяют различные методы, большинство из которых основано на использовании жидких сред и термических процессов при давлении газов порядка атмосферного. Особое место в технологии пленок и покрытий принадлежит вакуумно-дуговым методам. Вместе с этим известно, что водород в металлах является важной технической и научной проблемой, интерес к которой растет из года в год. Техническая сторона проблемы заключается в том, что водород, растворяясь в металлах в ходе плавки, разливки, при электрохимических, ядерных и иных процессах, является одной из причин появления дефектов, трещин, ухудшения пластических свойств металлов, приводящих к разрушению изделий. Таким образом, целью моей выпускной квалификационной работы являлось исследование свойств покрытия TiO_2 на образцах из титанового сплава ВТ1-0 после наводороживания.

Исследовательская работа по изучению структуры и свойств титанового сплава ВТ1-0 насыщенного водородом предполагает проведение работ на различных установках. Таких, как вакуумная установка, установка по насыщению водородом, микротвердомер, рентгеновский спектрометр и т.д. Основой работы, выделенной в отдельную главу выпускной квалификационной работы, является изучение влияния водорода на свойства титанового сплава ВТ1-0. Поэтому рассмотрение безопасности и гигиены труда при осуществлении работ по наводороживанию с помощью установки Gas Reaction Controller особенно важно при проведении данного исследования. Установка Gas Reaction Controller используется на кафедре для исследования процессов сорбции/десорбции водорода металлическими и неметаллическими материалами при наводороживании термодиффузионным методом.

6.1 Техногенная безопасность

Работа установки Gas Reaction Controller осуществляется за счет питания от сети переменного тока напряжением 220 В, экспериментальные исследования

проводятся в газовой среде (гелий, водород). При проведении работ на установке Gas Reaction Controller возможно воздействие вредных факторов таких, как:

- Микроклимат;
- Электромагнитные поля
- Шум и вибрация
- Недостаточное освещение

Также возможно воздействие следующих опасных производственных факторов:

- Электрическое напряжение;
- Воздействие высокой температуры;
- Эксплуатация газовых баллонов (азот, аргон), работающих под давлением.

6.1.1 Микроклимат

Основными факторами, характеризующими микроклимат производственной среды, являются: температура, подвижность и влажность воздуха.

Эти параметров от нормы приводит к ухудшению самочувствия работника, снижению производительности труда и к возникновению различных заболеваний.

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

запрещается прикасаться к высоко разогретым элементам экспериментального комплекса, во избежание получения термических ожогов при работе.

Высокая относительная влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма, при низкой же температуре увеличивается теплоотдача с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению. Низкая влажность вызывает неприятные ощущения в виде сухости слизистых оболочек дыхательных путей работающего.

При нормировании метеорологических условий в производственных помещениях учитывают время года, физическую тяжесть выполняемых работ, а также количество избыточного тепла в помещении. Оптимальные и допустимые метеорологические условия температуры и влажности устанавливаются согласно СанПин 2.2.4.548-96 (Таблица 1).

Для удобства работы в помещении необходима нормирование параметров микроклимата. Необходимо применение защитных мероприятий по способам и средствам защиты от высоких и низких температур, системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, искусственное освещение и т.п.

Таблица 15 – Оптимальные показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений (СанПиН 2.2.4.548-96)

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia(до 139)	22-24	21-25	60-40	0,1
Теплый	Ia(до 139)	23-25	22-26	60-40	0,1

6.1.2 Электромагнитные поля

Дипломная работа выполнялась с применением персональных компьютеров (ПЭВМ) типа IBM PC. Основным вредным фактором, воздействию которого подвергается инженер-исследователь при работе за компьютером, является электромагнитное излучение.

Безопасные уровни излучений регламентируются нормами СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03 и представлены в таблице 2.

Таблица 16 – Временные допустимые уровни (ВДУ) электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров	Нормы в диапазоне частот	ВДУ
Напряженность электрического поля	5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

При Вредном воздействии ПЭВМ на организм человека происходит нагрузка на зрение, заболевание кожи лица, нервные и психические заболевания и т.д.. Допустимая напряжённость электрического поля: 25 В/м (5Гц-2кГц) и 2,5 В/м (2-400 кГц). Для защиты от электромагнитных полей используются различные фильтры. Ориентация свет проёмов должна быть северо-восточной или северной. Источники искусственного освещения: люминесцентные лампы типа ЛБ и ДРЛ. Оптимальные параметры микроклимата. При работе с ПЭВМ уровень звука не должен превышать значений, установленных для данных видов работ. Кроме этого, для ослабления влияния рассеянного рентгеновского излучения от монитора ПК рекомендуется использовать защитные фильтры (экраны).

6.1.3 Электрическое напряжение

Воздействие электрического напряжения на человека связано с протеканием через него тока. Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и повреждение различных органов. Пороговый не отпускающий ток составляет 50 Гц (6 –16мА). Защита от воздействия электрического тока осуществляется путем проведения организационных, инженерно-технических и лечебной-профилактических мероприятий.

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

Индивидуальные основные изолирующие электрозащитные средства способны длительно выдерживать рабочее напряжение электроустановок.

Назначение защитного отключения - обеспечение электробезопасности, что достигается за счет ограничения времени воздействия опасного тока на человека. Защита осуществляется специальным устройством защитного отключения (УЗО), которое, работая в дежурном режиме, постоянно контролирует условия поражения человека электрическим током.

Область применения: электроустановки в сетях с любым напряжением и любым режимом нейтрали.

Заземление – преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

В электротехнике при помощи заземления добиваются снижения напряжения прикосновения до безопасного для человека и животных значения.

6.1.4 Воздействие высокой температуры

Запрещается открывать крышку нагретой печи, дотрагиваться до камеры, а также необходимо одевать спецодежду, во избежание получения термических ожогов при работе с установкой, в которую помещен исследуемый образец.

6.1.5 Эксплуатация газовых баллонов, работающих под давлением

При утечке газа из баллона возможно возгорание. Перед работой необходимо проверить целостность газовых баллонов, прочность их крепления, отсутствие утечки газа. Вентиль и резьба должны быть исправно, манометр должен быть проверен и исправлен, редуктор должен соответствовать газу в баллоне.

6.2 Региональная безопасность

Лабораторная работа всегда связана с постоянным образованием различных отходов: отходы инструмента, технологической оснастки, абразивных материалов, отходы бумаги и т.д.

При работе с установкой Gas Reaction Controller возможно образование отходов: бумага и металл (титан VT1-0). Бумагу используют для записи результатов экспериментов. Эти отходы могут вызвать загрязнение литосферы. Для охраны поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения, можно использовать бумагу повторно и перерабатывать отходы металлов методом повторного изготовления.

6.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

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 установке Gas Reaction Controller необходимо проверить целостность газовых баллонов, прочность их крепления, отсутствие утечки газа. Вентиль и резьба должны быть исправны. Манометры редуктора должны быть проверены и исправны. Редуктор должен соответствовать газу в баллоне.

Запрещается приступать к работе, если 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 установкой Gas Reaction Controller должна производиться в чистом помещении, свободном от пыли, паров, кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей, вызывающий 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 установку Gas Reaction Controller и насос от электросети;
- Проверить целостность газовых баллонов, их крепление, отсутствие утечки газа.

6.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений

К работе на установке Gas Reaction Controller 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 установке Gas Reactoin Controller, 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

Проведение всех видов инструктажа должно оформляться в Журнале регистрации инструктажа установленного образца, с обязательными подписями получившего и проводившего инструктаж, с указанием даты проведения инструктажа, наименования и номеров инструкции на виды работ, по которым проводится инструктаж.

По данной теме рассматриваются законодательный и нормативные документы:

- инструкция № 2-25 по охране труда при выполнении работ на установке Gas Reaction Controller;
- инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В;
- инструкция № 2-07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением.

Документы по воздействию ПЭВМ:

- инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ;

- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы;
- ГОСТ Р 50948-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности;
- ГОСТ Р 50949-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности;
- ГОСТ Р 50923-96. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.

Микроклимат:

- ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные помещения. Параметры микроклимата в помещении;
- ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
- СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

–

6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При обнаружении неисправной работы установки Gas Reaction Controller необходимо прекратить работу, выйти из программы, отключить питание компьютера, отключить насос, установку Gas Reaction Controller от электросети и известить об этом руководителя.

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

При возникновении возгорания необходимо немедленно прекратить работу, закрыть баллон с газом, отключить электрооборудование, позвонить в подразделение пожарной охраны по телефону 01 или 010, сообщить о

случившемся руководителю подразделения и приступить к тушению огня первичными средствами пожаротушения.

По СП12 категория А, если в помещении "Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28°С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа."

Отсюда выдёргиваем "вещества и материалы, способные взрываться. При взаимодействии Друг с другом, в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа."

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;

В лаборатории обязательно показан план эвакуации. На рисунке проведен план эвакуации людей.

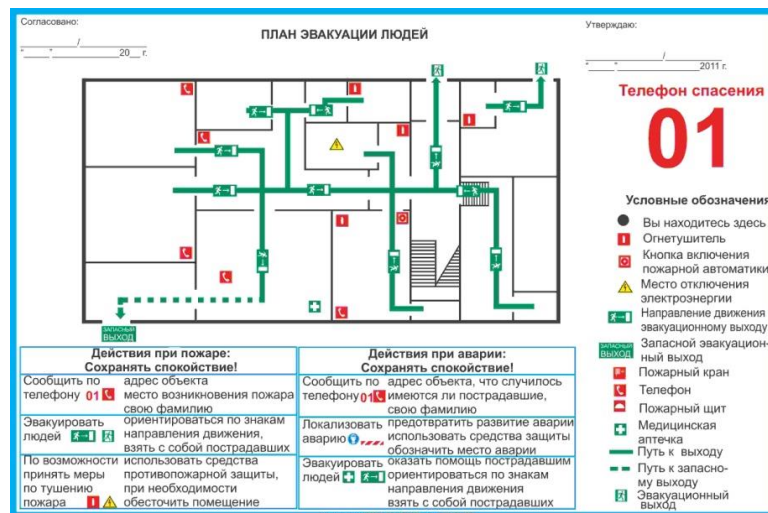


Рисунок 18 – План эвакуации людей

6.6 Вывод

В ходе рассмотрения безопасности и гигиены труда при осуществлении работ по наводороживанию с помощью установки Gas Reaction Controller, были выявлены вредные и опасные факторы рабочей зоны, причины и средства защиты, рассмотрены чрезвычайные ситуации и поведение в них.

Заключение

Титан обладает весьма высокой абсорбционной способностью по отношению к водороду. Титан связывает большое количество водорода даже при комнатной температуре, особенно после предварительной непродолжительной активизации путем нагрева в вакууме до 1000 – 1100°С. Всестороннее исследование свойств титановых сплавов показало, что наряду с ценными качествами титан имеет и некоторые неблагоприятные свойства; в частности, для него характерно проявление хрупкости, связанной с присутствием вредных примесей, особенно газов – кислорода, азота и водорода.

В настоящей работе проведены комплексные исследования структуры, механических свойств, водородной стойкости технически чистого титана с покрытиями TiO₂. Определено, что при выбранном режиме напыления толщина покрытий составила 4 мкм. Экспериментально было установлено, что нанесение покрытия двуокиси титана на образцы ВТ1-0 приводит к повышению твердости (30 %) исследуемого материала. По результатам испытаний на водородную стойкость при температуре 450°С было обнаружено, что покрытия позволяют снизить скорость сорбции водорода титановым. После наводороживания титанового сплава с покрытием практически весь водород локализован в покрытии. Наводороживание образца сплава ВТ1-0 до концентрации 0,39 масс.% приводит к ухудшению механических свойств. Образец разрушается хрупко на упругой части кривой растяжения.

При планировании научно-исследовательской работы был произведен подсчет бюджета исследования. В процессе формирования бюджета были использованы группировки по материальным затратам (965,9 руб), затратам по основной заработной плате исполнителей тем (115500 руб), затратам по дополнительной заработной плате (13824 руб), затратам на научные и производственные командировки (64400 руб), отчислениям во внебюджетные фонды (50450 руб) и накладным расходам (63553,3 руб). Всего бюджет составил 64880,79 руб. Данная оценка коммерческой ценности необходима, чтобы

представлять финансовое состояние и перспективы проводимых научных исследований.

В ходе рассмотрения безопасности и гигиены труда при осуществлении работ по наводороживанию с помощью установки Gas Reaction Controller, были выявлены вредные и опасные факторы рабочей зоны, причины и средства защиты, рассмотрены чрезвычайные ситуации и поведение в них.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рахманкулов М. М. *Металлургия стратегических металлов и сплавов* / М. М. Рахманкулов. – Москва: Теплотехник, 2008. – 504 с.
2. Применение титана и титановых сплавов в высокотехнологичных областях промышленности. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.metotech.ru/art_titan_2.htm
3. Ливанов В.А., Буханова А.А., Колачев Б.А. *Водород в титане*. – М.: Metallurgizdat, 1962. – 246 с.
4. Мороз Л. С. *Водородная хрупкость металлов* / Л. С. Мороз, Б. Б. Чечулин. – М.: Metallurgiya, 1967. – 256 с.
5. Галактионова Н.А. - Водород в металлах
6. *Водород в металлах: В 2-х т. : Пер. с англ. / Под ред. Г. Алефельда, И. Фёлькия*. – М. : Мир, 1981. –Т. 2. Прикладные аспекты. – 1981. – 430 с.
7. Madina V., Azkarate I. Compatibility of materials with hydrogen. Particular case: Hydrogen embrittlement of titanium alloys // *International journal of hydrogen energy*. – 2009. – 34. – P. 5976 – 5980.
8. Zeng Y., Nol J.J., Norton P.R., Shoesmith D.W. Hydrogen transport through thin titanium oxides // *Journal of Electroanalytical Chemistry*. – 2010. – 649. – P. 277–285.
9. Masato Ito, Daigo Setoyama, Junji Matsunaga. Electrical and thermal properties of titanium hydrides // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2006. – № 420. – P. 25–28.
10. Водородное охрупчивание титана и его сплавов. Электронный ресурс. Режим доступа: edportal.net/referaty/fizika/212227.html.
11. Luppo M.I., Politi A., Vigna G. Hydrides in α -Ti: Characterization and effect of applied external stresses // *Acta Materialia*. – 2005. – 53. – P. 4987–4996
12. Yan L., Ramamurthy S., Noel J.J., Shoesmith D.W. Hydrogen absorption into alpha titanium in acidic solutions // *Electrochimica Acta*. – 2006. – 52. – P. 1169–1181.
13. Колачев Б. А. *Водородная хрупкость металлов* / Б. А. Колачев. – М. : Metallurgiya, 1985. – 217 с.

14. Seiji Bana, Yukari Iwayab, Hiroshi Konoa, Hideo Sato. Surface modification of titanium by etching in concentrated sulfuric acid // *Dental materials*. – 2006. – 22. – P. 1115–1120.
15. Yanqing Su, Liang Wang, Liangshun Luo, Xiaohong Jiang, JingjieGuo, Hengzhi Fu Deoxidation of Titanium alloy using hydrogen // *International journal of hydrogen energy*. – 2009. – 34. – P. 8958 – 8963.
16. Химический состав ВТ1-0. Электронный ресурс. Режим доступа: http://melita.com.ua/harakteristiki_titan.html.
17. Shugurov V.V., A.A. Kalushevich, N.N. Koval, V.V. Denisov, V.V. Yakovlev. Automated vacuum ion-plasma installation // *Изв. Вузов. Физика*. – 2012. – № 12/3. – С. 118-122.
18. Франковский Б. А. Шероховатость поверхности [Электронный ресурс]: учебное пособие / Б. А. Франковский, Л. А. Скачкова; Томский политехнический университет (ТПУ). Томск: Изд-во ТПУ, 2008. Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext3/m/2009/m31.pdf>.
19. Методы исследования твёрдости поверхности материалов [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н. Н. Никитенков [и др.]; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Физико-технический институт (ФТИ), Кафедра общей физики (ОФ). Томск: Изд-во ТПУ, 2013. Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2014/m071.pdf>.
20. Методы определения твердости материалов [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие по выполнению лабораторной работы по дисциплине "Материаловедение и технология конструкционных материалов" / Томский политехнический университет; сост. А. Н. Гормаков ; В. С. Иванова. Томск: Изд-во ТПУ, 2004. Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/m/2005/m2.pdf>.
21. Физический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия. Главный редактор А. М. Прохоров. 1983. 268 с.
22. Белл Дж. Ф. Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел. Ч. 1.. Конечные деформации. М.: Наука, 1984. 432 с.
23. Волков С.Д. Проблема прочности и механика разрушения // *Проблемы*

прочности. 1978. № 7. 3–10 с.

24. Пластмассы. Метод испытания на растяжение: ГОСТ 11262–80. – Взамен ГОСТ 11262–76; введ. 01.12.1980. – М.: Изд-во стандартов, 1986.– 16 с.

25. Lider A. M., Pushilina N. S., Kudiiarov V. N. et al. Investigation of hydrogen distribution from the surface to the depth in technically pure titanium alloy with the help of Glow Discharge Optical Emission Spectroscopy // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. – 302. – P. 92-96.