

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

Физико-технический институт
Направление подготовки - физика
Кафедра общей физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДНОЙ АТМОСФЕРЫ НА СВОЙСТВА ПЛЁНКИ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ НА ТИТАНЕ ВТ1-0

УДК 539.216.2:669.716:661.88

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б30	Ван Цайлунь		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сыпченко Владимир Сергеевич	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Екатерина Валентиновна	К.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волков Юрий Викторович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой общей физики	Лидер Андрей Маркович	к.ф.-м.н.		

Томск – 2017 г.

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

Физико-технический институт
 Направление подготовки (специальность) - 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
150Б30	Ван Цайлунь

Тема работы:

Влияние водородной атмосферы на свойства плёнки оксида алюминия на титане Вt1-0	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

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>Титановый сплав ВТ1-0, условия насыщения водородом из газовой среды, автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller LPB, анализатор водорода RHEN602 фирмы LECO, высокочастотная газоразрядная оптическая спектрометрия.</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>	<ul style="list-style-type: none"> – Обзор литературных источников; – Подготовка образцов; – Получение распределения химических элементов в системе Al_2O_3/Ti. – Исследование влияния водорода на механические и электрические свойства тонкой пленки Al_2O_3. – Анализ полученных результатов; – Социальная ответственность; – Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение; – Заключение.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Волков Юрий Викторович, доцент ЭБЖ ИНК
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Екатерина Валентиновна, доцент МЕН ИСГТ
Иностранный язык	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОФ ФТИ	Сыпченко Владимир Сергеевич	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б30	Ван Цайлунь		

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

Студенту:

Группа	ФИО
150Б30	Ван Цайлунь

Институт	Физико-технический	Кафедра	Общей физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 Физика

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Определение стоимости ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых информационных и человеческих</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Знакомство и отбор норм и нормативов расходования ресурсов</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Знакомство с системой налогообложения, со ставками налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение ресурсной, финансовой, экономической составляющей</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> 2. <i>Матрица SWOT</i> 3. <i>Альтернативы проведения НИ</i> 4. <i>График проведения и бюджет НИ</i> 5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>
--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	06.03.2017
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Екатерина Валентиновна	Кандидат философских наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б30	Ван Цайлунь		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
150Б30	Ван Цайлунь

Институт	Физико-технический	Кафедра	Общей физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 Физика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – <i>вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</i> – <i>опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</i> – <i>негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</i> – <i>чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</i> 	<p>1. При работе на анализаторе RHEN602 фирмы LECO на работников возможно воздействие следующих вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Микроклимат; • Превышение уровней шума; • Вредные газы; <p>А также опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Электрическое напряжение; - Воздействие высокой температуры; - Эксплуатация газовых баллонов (аргон), работающих под давлением. <p>2. При неисправности в работе анализатора RHEN602 фирмы LECO возможна утечка газа, возгорание, поражения электрическим током.</p>
<p>2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<p>По данной теме рассматриваются законодательный и нормативные документы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - инструкция № 2-25 по охране труда при выполнении работ на установке Gas Reaction Controller; - инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В; - инструкция № 2-07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением. <p>Документы по воздействию ПЭВМ:</p> <ul style="list-style-type: none"> - инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ; - СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы; - ГОСТ Р 50948-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности; - ГОСТ Р 50949-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности;

	<ul style="list-style-type: none"> - 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.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); <ul style="list-style-type: none"> – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<p>1. Характеристика факторов изучаемой производственной среды, описывающих процесс взаимодействия человека с окружающей производственной средой:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Воздействие электрического напряжения на организм человека; – Воздействие высокой температуры на организм человека; – Воздействие химических веществ на дыхательные пути и организм человека в целом; – Утечка газа из баллона; – Микроклимат.
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<p>2. Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (непосредственное питание установки от сети постоянного тока 220 В; средства защиты, предусмотренные конструкцией установки, соблюдение правил и инструкций по электробезопасности при работе); – термическая опасность (печь нагрева образцов; защита специальной конструкцией установки, изолирующие слои, соблюдение правил безопасности и эксплуатации установки); – пожаровзрывобезопасность (баллоны с газом; соблюдение правил безопасности и эксплуатации установки).
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>3. Факторы рабочего места, влияющие на окружающую среду:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Выброс в атмосферу рабочего газа; – Выброс в атмосферу химических веществ;
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; 	<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Утечка газа из баллона; – Возникновение возгорания;

<ul style="list-style-type: none"> – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<ul style="list-style-type: none"> –Поражение оператора установки электрическим током; –разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	5. Правовые вопросы обеспечения безопасности
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	1.Схема расположения оборудования; 2. План размещения светильников на потолке рабочего помещения.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Волков Юрий Викторович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б30	Ван Цайлунь		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа _____ 89 _____ с., _____ 22 _____ рис., _____ 20 _____ табл.,
_____ 40 _____ источников, _____ 0 _____ прил.

Ключевые слова: водород, магнетронное распыление, термостимулированное газовыделение, тонкие плёнки, поверхностная электропроводность, трибология, адгезия.

Объектом исследования является выявление особенности проникновения водорода через защитные покрытия.

Цель работы – Получение закономерностей проникновения водорода в титан через покрытие оксида алюминия.

Используемые установки: установка для термостимулированного газовыделения, установка для выдержки в водородной атмосфере Gas Reaction Controller, установка «Яшма-2», анализатор водорода RHEN602, установки для измерения адгезионной прочности Micro-Scratch Tester MST-S-AX-0000, установки для измерения поверхностной электропроводности.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: режимы выдержки в водородной атмосфере: давление $P = 2$ атм, температура $T = 400$ °С в течение 1, 2, 3 и 4 часов. Толщина пленок 400 нм.

В процессе исследования проводились: работа по определению химического состава, массовой концентрации водорода, поверхностной электропроводности и определение механических свойств, эксперименты по термостимулированному газовыделению.

В результате исследования выявлено, что содержание водорода влияет на свойство пленки оксида алюминия

Область применения: область водородной энергетики и защита металлов от водородного охрупчивания.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в получении более дешевых и долговечных пленок.

В будущем планируется исследовать влияние ионизирующего излучения на свойства плёнки оксида алюминия на титане.

Содержание

Введение	12
1. ПРОНИКНОВЕНИЕ И СОСТОЯНИЕ ВОДОРОДА В МЕТАЛЛАХ	14
1.1 Взаимодействие водород с титаном	14
1.2 Диффузия водорода в металлах и сплавах	16
1.3 Способы защиты титана и его сплавов от газонасыщения.....	18
1.4. Плёнки оксида алюминия – эффективный барьер от проникновения водорода.....	19
Вывод.....	21
2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	22
2.1 Объект исследования	22
2.2 Нанесение покрытий Al_2O_3 методом магнетронного напыления.....	22
2.3 Насыщение водородом из газовой фазы при высоких температурах и давлении (метод Сивертса)	26
2.4 Приборы и методы исследования.....	28
2.4.1 Прибор для измерения поверхностной электропроводности	28
2.4.2 Спектрометр тлеющего разряда GD-PROFILER 2	30
2.4.3 Прибор для определения адгезионной прочности покрытий (Micro- Scratch Tester MST-S-AX-0000).....	32
2.4.4 Высокотемпературный трибометр.....	34
2.4.5 Установка для изучения термостимулированного выхода водорода ...	35
2.4.6 Анализатор водорода RHEN– 602	37
Вывод.....	38
3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДОРОДА С СИСТЕМОЙ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ НА ТИТАНЕ	39
3.1. Определение содержания водорода в системе Al_2O_3/Ti	39
3.2 Получение распределения химических элементов	41
3.3 Механические свойства пленки Al_2O_3	43
3.3.1 Износостойкость.....	43

3.4.2 Адгезионная прочность	44
3.5 Определение удельной электропроводимости	45
Вывод.....	50
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСНАБЖЕНИЕ	14
Введение	51
4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	52
4.2 Планирование управления научно-техническим проектом	55
4.3 Бюджет научного исследования.....	61
Вывод.....	68
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	69
Введение	69
5.1 Техногенная безопасность.....	69
5.2 Организационные мероприятия обеспечения безопасности.....	74
5.3 Особенности законодательного регулирования проектных решений.....	77
5.4 Расчет искусственного освещения	80
Заключение	69
Список литературы.....	85

Введение

Тонкоплёночные системы широко используются во многих высокотехнологичных отраслях промышленности благодаря своим многочисленным достоинствам: легкости и простоте в обработке, низкой тепло и электропроводимости.

Для титана характерна хорошая пластичность, он имеет небольшой удельный вес и сохраняет характеристики в условиях резких перепадов температур. Механическая прочность почти вдвое превышает прочность чистого железа и в шесть раз – алюминия. Сплав титан способен активно поглощать кислород, водород и азот, что приводит к изменению его пластических характеристик.

Есть необходимость защищать поверхность металла, соприкасающегося с водородом, от водородного охрупчивания и коррозии при любом способе хранения водорода. В случае металл-гидридных накопителей стоит задача защиты от потерь водорода при самопроизвольном распаде гидридов и выходе растворенного водорода за пределы накопителя. Обе эти задачи могут быть решены с помощью нанесения тонких пленок на соответствующие поверхности: на внутреннюю поверхность контейнера с водородом при его хранении в газообразном состоянии или на внешнюю поверхность при хранении в виде металл гидрида. В литературе имеются данные [1], указывающие на то, что плёнка Al_2O_3 является эффективным барьером для водорода.

В связи выше изложенным, в данной работе проведены исследования взаимодействия водорода с плёнкой Al_2O_3 , нанесённой на титан методом магнетронного распыления, где пленка выступает в качестве «барьера» препятствующего проникновению водорода в титана. Получены результаты по влиянию водорода на адгезионные и прочностные свойства пленки оксида алюминия, а также получена закономерность влияния водорода на поверхностную электропроводимость пленки. Таким образом, исследования

взаимодействия водорода с тонкими пленками на функциональных и конструкционных материалах являются актуальными.

В связи с этим целью настоящей работой является получение закономерностей проникновения водорода в титан через покрытие оксида алюминия.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

1. Проведение литературного обзора по теме выпускной квалификационной работе;
2. Подготовка исследуемых образцов;
3. Получение распределения химических элементов в системе $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}$ в зависимости от времени выдержки в водородной атмосфере;
4. Исследование влияния водорода на механические и электрические свойства тонкой пленки Al_2O_3 в зависимости от времени выдержки в водородной атмосфере.

1. ПРОНИКНОВЕНИЕ И СОСТОЯНИЕ ВОДОРОДА В МЕТАЛЛАХ

1.1 Взаимодействие водород с титаном

Водород в металлах может находиться в различных состояниях: в виде гидридов или в виде положительно заряженного иона – протона (дейтерия). В случае, при водороде ионизируется до протона, атом водорода может входить в решетку металла, и не нарушать ее структур. Так тип решетки и металлические свойства металла не изменяются. Твердые растворы водорода имеют различное строение.

Одной из проблем водородной энергетики является проблема хранения водорода и его транспортировки. При испытаниях на разрыв со стандартными скоростями деформации оказаны, что водород имеет относительно малое влияние на механические свойства металлов [2].

В результате взаимодействия водорода с титаном образуется нестабильное соединение – гидрид титана (TiH_2). Помимо того, титан поглощает около 30% (ат.) водорода, для того чтобы занимать октаэдрические пустоты решетки. Накопление небольшого количества водорода приводит к незначительному расширению кристаллической решетки при это не изменяется и ее структура. Дальнейшая адсорбция водорода способствует значительному увеличению напряжений и образованию гидрид образующей TiH_2 [3].

При температуре близкой к комнатной наводороживания титана почти не происходит, в то время как при более высоких (выше 300 °C) температурах скорость сорбции водорода быстро увеличивается и продолжает расти вплоть до температуры плавления [4]. После образования на поверхности гидрида титана поглощение водорода происходит с постоянной скоростью. Объясняется это тем, в процессе образования гидрида титана, материал становится хрупкий и растрескивается вследствие возникновения в нем напряжений. Данные напряжения вызваны разностью удельных объемов гидрида и титана, в

результате этого создается пористый слой. На скорость поглощения титаном водорода влияет чистота поверхности, так наличие окисной пленки уменьшает скорость сорбции в несколько раз.

Водород при высокой температуре (более 400 °С) не только адсорбируется на поверхности, но и диффундирует в объем металла. Дальнейшее увеличение температуры приводит к усилению диффузионных процессов. Титан является обратимым поглотителем водорода, при температуре выше 900 °С водорода полностью удаляется из титана [5].

Высокое содержание водорода в титане, в первую очередь, определяется за счет высокой скорости диффузии водорода. Диффузия водорода в титан происходит через микродефекты и другие структурные нарушения металла. После завершения образования твердого раствора, значительное количество водорода может адсорбироваться на поверхности межкристаллических дефектов, что приведет к поглощению водорода в количестве, превышающем стехиометрическое количество. [2].

Конечные продукты взаимодействия водорода с титаном являются продукты переменного химического состава, которые представляются собой так называемые фазы бертоллидного типа. По результатам испытаний на ударную вязкость и задержку разрушения определяют склонность титана и его сплавов к водородному охрупчиванию.

Титан принадлежит к группе экзотермическому металлу оклюдеров. Титан имеет две полиморфные модификации:

а) Низкотемпературную модификацию α -Ti, устойчивую до 882°С, (ГП – решетка $a = 0,296$ нм, $c = 0,472$ нм)

б) Высокотемпературную β -Ti, устойчивую выше 882°С (ОЦК решетка, $a = 0,332$ нм) [7].

При термообработке гидроксидов алюминия около 400 °С получают кубическую γ -форму. При 1100-1200 °С с γ -модификацией происходит необратимое превращение в α -Al₂O₃, но в этом процессе скорость невелика, и

для завершения фазового перехода необходимо увеличение температуры до 1400-1450°C.

Растворимость водорода в α -титане зависят от чистоты металла. Растворимость водорода в α -фазе технически чистого титана ниже, чем растворимость в титане высокой чистоты [8]. При содержании водорода менее 1 % (ат.) пластичность высокая (удлинение равно $\sim 70\%$). Хотя удлинение образцов остается на уровне 40%, при увеличений концентрации водорода (до 10% ат.) пластичности резко снижал. В комнатной температуре с увеличением содержания водорода до 25% ат., пластичности может привести к катастрофическому снижению [8].

1.2 Диффузия водорода в металлах и сплавах

Будучи самым легким газом, водород обладает наибольшим коэффициентом диффузии. Особенно велика его способность к диффузии за счет увеличения давления и высокой температуре [10,10].

Различают самодиффузию и гетеродиффузию. Самодиффузия – это процесс перемещения атомов, не связанный с изменением концентрации компонентов в отдельных объемах. Гетеродиффузия сопровождается изменением концентрации. Как правило, она происходит в сплавах с повышенным содержанием примесей. Существует несколько механизмов диффузии: обменная, циклическая, вакансионная, межузельная и др.

Диффузии водорода в металлах значительно отличает от других атомов, например, кислорода, углерода и т.д. Основными особенностями водородной диффузии являются:

- 1) низкая энергия активации,
- 2) диффузии водорода проявится от комнатной температуры (бывает и ниже комнатной) и вплоть до температуры плавлению.

При создании даже простейшей теории диффузии в двухкомпонентной системе, содержащей лишь диффузионные пути и один тип дефектов, приходится учитывать плотность дефектов, энергетические характеристики, геометрию и размеры дефектов, их пространственную ориентацию. Кроме того, микроструктура существенным образом зависит от температуры образца и может изменяться при внешних воздействиях (механической деформации) или в ходе твердофазных процессов (например, фазовых переходах).

Главной особенностью диффузии водорода от диффузии других более тяжелых атомов (N, C, O), являются малая энергия активации и квантовый проявляющийся характер диффузии в широком интервале температур.

Полное описание диффузии водорода в дефектных средах сводится к решению систем нелинейных дифференциальных уравнений с координатной, временной и концентрационной зависимостями параметров диффузии. Известны подходы, рассматривающие отгибание диффузионным потоком отдельных препятствий; диффузию в микрогетерогенной среде, содержащей точечные дефекты; диффузию в дисперсных средах, составленных из включений определенных размеров и формы; диффузию по сети дефектов и др.

В рамках классической теории показано, для перехода водород из одного междоузлия к другому, он должен был иметь, чтобы преодолеть энергетический барьер. Коэффициент диффузии D водорода, в большинстве металлах, можно определить по закону Аррениуса [12]:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{KT}\right),$$

где E_a – энергия потенциального барьера при $T=0$ К.

Энергия потенциального барьера преимущественно зависит от упругости матрицы и размера атома внедренного вещества, но не зависит от массы этого атома. Тепловые колебания внутри атома также способствуют диффузионным процессам. Коэффициент D_0 прямо пропорционально зависит от частоты. И так в области низких температур за диффузионные процессы отвечают квантовые механизмы, а высоких колебания кристаллической решётки.

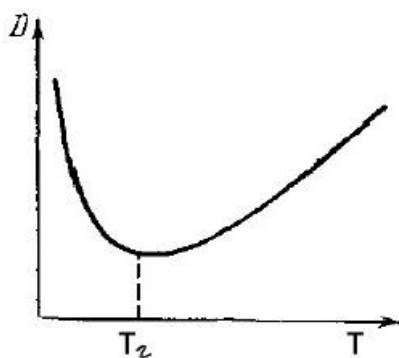


Рис. 1.1 – Зависимость коэффициента диффузии от температуры[12].

1.3 Способы защиты титана и его сплавов от газонасыщения

Для защиты рабочей поверхности титановых сплавов, как и самого титана, эксплуатирующийся в газовой атмосфере при нагреве под давлением используются различные защищающие эмали, от наводороживания. Наибольшее распространение получили такие эмали, как ЭВГ-8А, ЭВГ-8, ЭВГ-23. Эмаль марки ЭВГ-23 создает надежную защиту титановых сплавов от наводороживания до температур порядка 750-830 °С. Если же нагревать титановый сплав покрытый эмалью ЭВГ-23, до температур выше 830-850 °С, то начинается активное поглощение ими газов, хотя и значительно менее интенсивно если бы поверхность не была бы покрыта [11].

Боросиликатные и алюмосиликатные стекла образуют устойчивую и прочную защитную пленку. Последние несколько лет также широко распространено получение покрытий на основе металлов. Перспективным методом по также стоит отметить рациональный способ борьбы с наводороживанием металла. Во время технологических операций происходит удаление водорода из готовых изделий и элементов конструкций при этом поверхность сильно разогревается.

1.4. Плёнки оксида алюминия – эффективный барьер от проникновения водорода

Тонкие пленки оксида алюминия широко используются из-за их превосходных свойств, особенно с точки зрения химической, термической, абразивной и коррозионной стойкости.

В работе [13] измерили проникновение водорода через пленку Al_2O_3 под действием парциального водородного давления в пределах от 2–50 кПа и температурами в пределах от 1200–1450 °С в зависимости от толщины пленки в пределах от 50–500 нм. По результатам проведенных исследований установлено, что водородная проницаемость через пленку Al_2O_3 , оказалась на 10^4 раз меньше, чем у металлических материалов, таких как ванадий, ниобий, молибден и уран.

Такой же результат был получен в работе Forsey и др. [14], где исследовались многослойные покрытия Al_2O_3 на аустенитной нержавеющей стали и мартенситной стали методом алюминирования. Измерили прохождение водорода через покрытие с эффективной толщины в пределах от 18–44 мкм. Установлено, что при таких толщинах покрытия толщина не влияет на проницаемость водорода и защитные свойства пленки Al_2O_3 .

Каражанов К. Т. и др. [15] исследовали проникновение водорода в тонкопленочную систему Al_2O_3/Ti из сред разного агрегатного состояния. Исследование было выполнено в водородной атмосфере при низких давлениях (100 кПа), влияние же высоких давлений (выше 10 МПа) и агрегатного состояния окружающей среды на защитные свойства пленок оксида алюминия не проводились. Пленка Al_2O_3 является хорошим барьером на пути проникновения водорода в металл, особенно в условиях её эксплуатации в условиях пониженного давления.

McGuinness J. и др. [14] рассмотрели эффективность тонких, $TiAlN$ покрытий по отношению к проницаемости водорода при 400 °С. Все измерения

проницаемости проводили при 400 °С и давлении 1 бар и выше. Чувствительность установки по водороду составляет $j=4 \cdot 10^{-10}$ моль $H_2/(m^2c)$. Записанный коэффициент уменьшения проницаемости был между 5800 и 20000 лучше, чем любое значение ранее для Er_2O_3 . Сравнение расчетных и экстраполированы проницаемость коэффициентами показывает, что Er_2O_3 и Al_2O_3 покрытий может демонстрировать аналогичное снижение проницаемости при той же толщине.

Regujo A. и др. [19] наносили вакуумно-плазменным распылением многослойное покрытие Al_2O_3 (слои $Al_2O_3/Fe-Al$) на мартенситную сталь. Многослойные покрытия Al_2O_3 показали высокую стойкость к проникновению дейтерия. Зависимость скорости проникновения дейтерия от давления, полученные Regujo и др., указывает, что скоростью проникания дейтерия через поверхность можно управлять.

Legrand E. и др. [16] проанализировали комбинированное воздействие на процесс диффузии водорода и в присутствия оксидного слоя на выходной (обратной) стороне материала. Численно смоделирована диффузия водорода через толстую мартенситную стальную мембрану 1 мм, с использованием метода конечных элементов. Захват плотности принимался от 10^{-4} до 100 моль/ m^3 , для оксидного слоя толщиной 5 нм. И изучены оксидные слои с коэффициентами диффузии водорода между 10^{-21} и 10^{-10} m^2/c [17]. Оказывается, что диффузия уменьшается за счет захвата водорода слоем оксида. Однако оба параметра демонстрируют противоположное влияние на концентрацию водорода в приповерхностной области. Аналитические уравнения были предложены для исправления экспериментальных результатов, полученные с помощью электрохимических испытаний проницаемости, с использованием свойств материала. Оксидный слой понижает эффективный коэффициент диффузии водорода через мембрану, уменьшая поток водорода на выходной стороне. Медленная диффузия водорода через оксидную пленку приводит к его

накоплению в мембране. Это приводит к равномерному распределению концентрации водорода по всей толщине мембраны.

Вывод

В первой главе проведен анализ литературных данных полученных различными авторами по взаимодействию водорода с металлами (титаном). Показано, что важную роль в распределении и накоплении поглощенного водорода играет как дефекты, так и внешние окружающие условия, в частности температура и давление. Показано, что конечными продуктами взаимодействия водорода с титаном являются гидриды титана.

Указано, что большинство исследований по защитным свойствам пленки оксида алюминия от проникновения водорода были выполнены [18] в водородной атмосфере низкого давления (кПа), хотя есть некоторые исследования и при более высоких давлениях (МПа). В литературе практически отсутствуют данные по влиянию водорода на свойства пленок оксида алюминия.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Объект исследования

В качестве объекта исследования выступали образцы титана марки ВТ1-0. Образцы изготавливались методом электроискровой резки размером 20×20×1 мм³. Поверхность образцов до насыщения водородом механически шлифовали и полировали, после чего отжигали в вакууме ($\sim 10^{-6}$ торр) при температуре ~ 500 °С в течение одного часа.

2.2 Нанесение покрытий Al_2O_3 методом магнетронного напыления

Магнетронное распыление (один из методов ионного распыления, характерной особенностью которого является наличие магнитного поля у распыляемой поверхности мишени, позволяющей локализовать плазму и тем самым повысить скорость распыления). Содержание аморфной фазы в пленке достаточно велико, т.к. данный способ имеет низкую степень ионизации осаждаемых частиц.

Магнетронное напыление покрытий подразумевает, вообще говоря, два процесса:

- 1) распыление материала, из которого создается покрытие,
- 2) осаждение распыленного материала на поверхность, которую следует модифицировать.

Если необходимо создавать оксидные, нитридные или оксинитридные покрытия, то в распыленный материал добавляются еще и соответствующие газы.

В настоящее время магнетронное распыление является одним из основных широко распространенных вакуумных методов нанесения тонкопленочных покрытий. Разработка новых магнетронных источников распыления

стимулируется, в основном, требованиями новых сфер применения, где возникает острая необходимость в перспективных высококачественных пленках, а также возрастающими требованиями к промышленному производству тонких пленок, такими как: высокая производительность, надежная работа, широкие функциональные и технологические возможности установок для нанесения покрытий [20].

Значение технология магнетронного распыления представляет бомбардирующие поверхности катода ионы распыления.

Ионное воздействие на поверхность растущей пленки описывается следующими параметрами:

- плотностью ионного тока j_i ;
- отношением потока ионов к потоку осажденных атомов (число падающих ионов на осажденный атом) $\nu = n_i / n_a$;
- энергией ионов E_i , потенциал смещения U_{sb} (относительно плазмы).

U_{sb} определяет E_i в случаях нанесения диэлектрических пленок или электропроводящих пленок на диэлектрические подложки; при нанесении электропроводящих пленок на электропроводный материал E_i может регулироваться величиной потенциала смещения, подаваемого на подложку от внешнего источника. Повышение этих параметров соответствует увеличению интенсивности и энергетики ионного воздействия. Оптимальный уровень ионного воздействия, необходимый для получения высококачественных покрытий, различен в зависимости от вида осаждаемых пленок.

Отличаться от других способов нанесения тонкопленочных покрытий, методом магнетронного распыления позволяет достаточно точно регулировать толщину металлического слоя, то есть, его сопротивление, что очень важно при создании структур с определенной проводимостью.

Метод магнетронного распыления позволяет получать тонкие пленки высокого качества с рекордными физическими характеристиками (толщина,

пористость, адгезия и пр.), а также проводить послойный синтез новых структур, создавая пленку буквально на уровне атомных плоскостей.

Для нанесения тонкопленочных покрытий использовалась многоцелевая лабораторная установка “Яшма-2”, позволяющая напылять многослойные модифицирующие покрытия на поверхность твердотельных образцов для научных исследований, а также оптимизации параметров технологического процесса плазменной обработки в условиях промышленного производства. Основным элементом установки – охлаждаемая рабочая камера (поз. 1 на рис. 2.1) [21], выполненная из нержавеющей стали. В ней расположен: ионный источник с замкнутым дрейфом электронов (20), револьверная головка с тремя магнетронами (13), дополнительные магнетроны (10), тип которых определяется в зависимости от поставленной задачи, источник ионов высоких энергий (11), который предназначен для перемешивания (миксинга) атомов вблизи границы раздела “покрытие-подложка” с целью улучшения адгезии покрытия по отношению к подложке. Источник обеспечивает пучок ионов аргона диаметром ~300 мм с энергией до 50 кэВ и током до 40 мА. К рабочей камере примыкает шлюзовая камера (7), отделённая от неё специально разработанным высоковакуумным затвором (14), а также системы вакуумирования, напуска рабочего газа, контроля толщины наносимых покрытий, устройство сканирования обрабатываемых образцов и другие элементы [21].

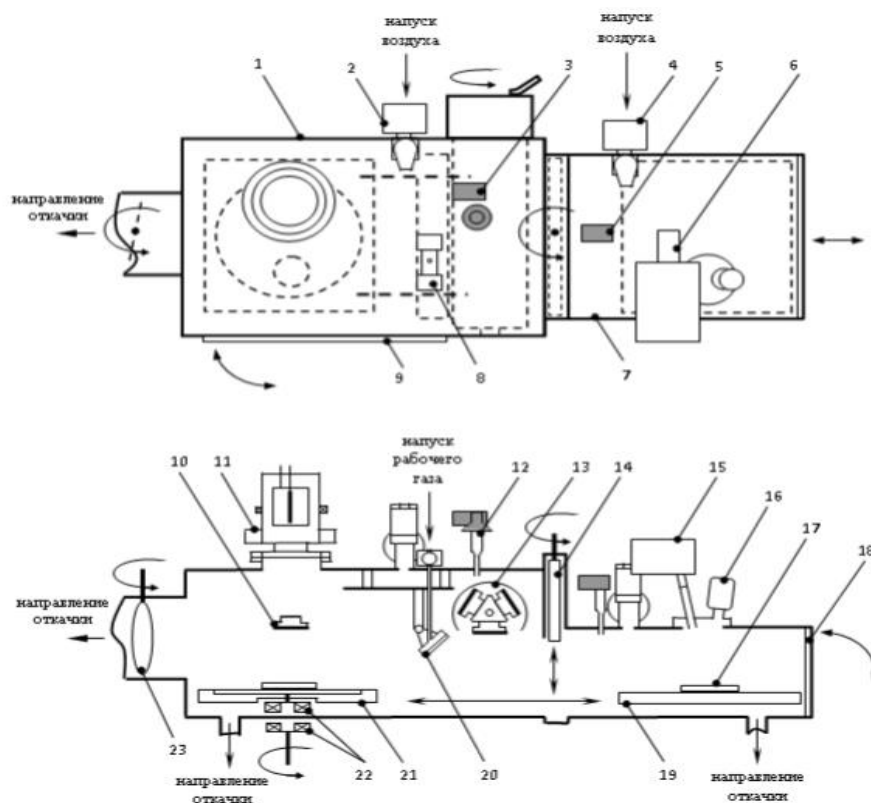


Рис. 2.1 – Схема оборудования рабочей камеры установки «Яшма-2»: 1 - рабочая камера; 2, 4 – клапаны напуска воздуха; 3, 5 – терморпанные вакуумметры; 6 – фотоэлектронный умножитель; 7 – шлюзовая камера; 8 – управляемый натекагель системы напуска газа; 9 - дверь рабочей камеры; 10 – дополнительная МРС; 11 – источник высокоэнергетических ионов; 12 – ионизационный вакуумметр; 13 – револьверная головка с тремя МРС; 14 – высоковакуумный затвор; 15 – монохроматор; 16 – источник света, 17 – образец; 18 – дверь шлюзовой камеры; 19 – предметный стол в положении загрузки; 20 – источник ионов с замкнутым дрейфом электронов; 21 – предметный стол с вращающимся диском; 22 – магнитная муфта; 23 – дроссельная заслонка. Стрелками указаны газовые потоки и направления движения механизмов [20].

В исходном состоянии шлюзовая камера откачивается вместе с рабочей камерой до давления 10^{-5} торр. Затем высоковакуумный затвор (14) закрывается и в шлюзовую камеру напускается воздух. Подложки, предназначенные для обработки, помещаются на предметный стол (19). После этого шлюзовая камера вакуумируется, затвор (14) открывается.

Для очистки поверхности предусмотрен ионный источник с замкнутым дрейфом электронов (20) под потенциалом 1–5 кВ расположенным на расстоянии 70–120 мм от поверхности образца. В него подаётся рабочий газ (аргон $0,1 - 0,5 \text{ см}^3/\text{с}$). Средняя скорость перемещения предметного стола составляет 2–4 см/с. Поэтому с флюенсом $(1-2) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ достигается за 1–3

прохода (с поправкой на то, что в ускоряющем промежутке имеют встречные потоки электронов и нейтралов, образовавшихся в результате рекомбинации ионов). Длина ионного источника составляет ~ 700 мм, что позволяет обрабатывать всю поверхность образца, расположенные на предметном столе.

Затем предметный стол с образцами удаляется в шлюзовую камеру, а в рабочую камеру через систему напуска газов (8) подаётся рабочий газ (кислород) до оптимального давления, необходимого для нормального функционирования магнетронов ($\sim 10^{-1}$ торр). Скорость откачки газов регулируется с помощью дроссельной заслонкой (23), а контроль давления в рабочей камере осуществляется по показаниям термопарных (3, 5) и ионизационного (12) вакуумметров. После этого производится тренировка мишеней магнетронов и установка готова к работе [26].

Нанесение пленки производилось методом магнетронного реактивного распыления. Технология нанесения покрытий была следующей: образцы из титана помещались на подвижный столик, и камера откачивалась до предварительного вакуума $P=7 \cdot 10^{-5}$ торр. Очистка производилась при следующих режимах работы установки: $U=2,5$ кВ, $I=0,2$ А. Когда мишень очищалась от ненужной оксидной пленки, в камеру добавлялся кислород и магнетронная система переводилась в рабочий режим: $P=2 \cdot 10^{-3}$ торр, $U=0,8$ кВ, $I=10$ мА. После стабилизации параметров разряда производилось магнетронное напыление пленки оксида алюминия. Толщина покрытий ~ 400 нм.

2.3 Насыщение водородом из газовой фазы при высоких температурах и давлении (метод Сивертса)

Насыщение образцов водородом методом Сивертса (из газовой атмосферы при повышенных температуре и давлении) осуществлялось на установке РСІ «GasReactionController»

Если титан нагревается в водородной атмосфере, он поглощает водород до тех пор, пока не будет установлено равновесие, которое будет зависеть от давления водорода в атмосфере. Когда этот вакуум достигнут, вакуумная перекачка останавливается и рабочий объем заполняется чистым водородом, а затем нагревается рабочая камера, что приводит к увеличению давления водорода. Показано, что равновесное распределение водорода между газовой фазой и металлом достигается при

$$[Hx]_{Ti} = K \sqrt{P_{H_2}} \quad (1)$$

где $[Hx]_{Ti}$ – концентрация водорода в твердом растворе; P_{H_2} – давление водорода в газовой фазе; K – коэффициент распределения водорода [22].

На рис. 2.2 представлена установка для насыщения водородом из газовой фазы, которая состоит из: печи для нагрева образцов (1), блока управления системой нагрева, получения вакуума и подачи водорода (2) и камеры для нагрева и насыщения образцов водородом (3).



Рисунок 2.2 – Установка для насыщения водородом из газовой фазы (по методу Сивертса): 1 – печь, для нагрева образца; 2 – блок управления системой нагрева, получения вакуума и подачи водорода из баллона, 3 – камера для нагрева и насыщения образца водородом.

Скорость поглощения водорода становится значительной, когда температура выше 300 °С. При этих температурах на поверхности титана образуется гидрид титана, после образования на поверхности гидрида титана поглощение водорода происходит с постоянной скоростью. Скорость поглощения титаном водорода резко уменьшается (но не устраняется совершенно), если на поверхности имеется окисная пленка. После образования

на поверхности гидрида титана поглощение водорода происходит с постоянной скоростью.

Выдерживание в водородной атмосфере титана ВТ1-0 и системы пленка Al_2O_3 на титане ВТ 1-0 производилось на установке «Gas Reaction Controller». Режимы были следующие: давление водорода в камере $P = 2$ атм, температура $T = 400$ °С в течение 1, 2, 3 и 4 часов.

2.4 Приборы и методы исследования

В данном разделе представлены приборы и установки, с помощью которых получены результаты, представленные в настоящей работе.

2.4.1 Прибор для измерения поверхностной электропроводности

Измерительная ячейка выполнена из стали. Нагревательный элемент размещен на стержне, который соединяется с изолятором через тепловую развязку. Вводы напряжения в ячейку и выходы сигналов осуществляются через изолятор, являющийся основанием ячейки. Нагреватель выполнен из нихромовой спирали (6-15 Ом), вставленной в корпус нагревателя, и закреплен изолирующей алюмосиликатной керамикой [23]. Питание нагревательного элемента осуществляется с помощью блоков Б 5-47 (46). В верхней части ячейки имеется окно для синхронной регистрации термолюминесценции.

Контрольно-измерительная аппаратура обеспечивает измерение тока проводимости или термостимулированного тока в образце от 20 до 400 °С при давлении 760–1 мм.рт.ст. и контроль температуры образца. В систему входит газопровод, форвакуумный насос 2НВР-5Д и коммутационные вентили. В приборной стойке расположены:

- вакуумметр ионизационно-термопарный ВИТ -2 П;
- источники питания постоянного тока Б 5-46 и Б 5-50;
- вольтметры В 7-28 и В 7-38;
- усилитель электрометрический У 5-11;

- прибор комбинированный цифровой Щ 301-1;
- вольтметр-электрометр универсальный В 7-30.



Рис 2.3 Установка измерения поверхностной электропроводности по вакууме.

Вакуумная система предназначена для создания в измерительной ячейке давления 760-1 мм.рт.ст. В систему входит газопровод, форвакуумный насос 2НВР-5Д и коммутационные вентили.

Схема измерения поверхностной электропроводности приведена на рис. 2.4:

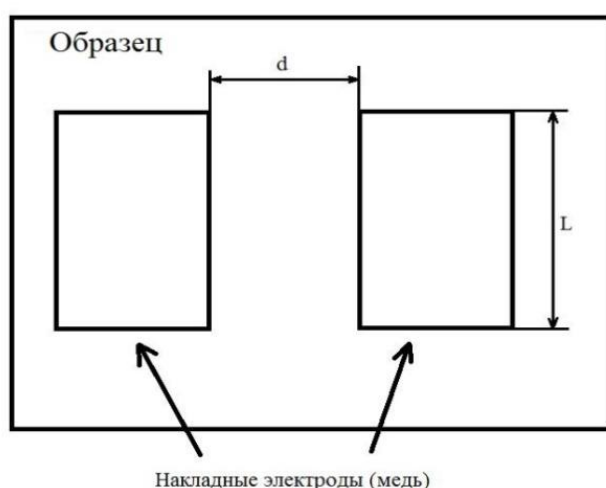


Рис 2.4 Схема измерения поверхностной электропроводности

Измерение проводилось методом накладных электродов (изготовлены из меди), образцы предварительно не очищались. Было произведено снятие

вольтамперной характеристики (ВАХ) путем приложения напряжения и регистрации соответствующего тока.

В данном случае величина напряжения менялась в диапазоне 0,01 – 0,09 В. Нижний предел выбран из возможности генератора, верхний предел – с целью того, чтобы не допустить пробоя пленки из-за высокой напряженности электрического поля. Расчет поверхностной электропроводности произведен по формуле

$$\sigma = \frac{I}{U} \cdot \frac{L}{d} \quad (2)$$

где σ – поверхностная электропроводность (в сименсах), U – значение приложенного напряжения, I – измеренная сила тока, d – расстояние между электродами, L – размер электрода (см. рис. 2.4). В данном случае $d = 2$ мм, $L = 7$ мм.

2.4.2 Спектрометр тлеющего разряда GD-PROFILER 2

Для решения многих материаловедческих задач важно знать химический состав материала, как на поверхности, так и в граничных слоях и внутренних структурах.

Высокочастотная газоразрядная оптическая спектрометрия является единственной технологией, которая предоставляет возможность быстрого анализа композиционного состава и распределения поверхностных слоев с высокой чувствительностью ко всем элементам для почти всех твердотельных материалов, включая полупроводники, металлы, полимеры, покрытия, стекло, керамику, и т.д.

GD-Profiler 2 представляет собой оптический эмиссионный спектрометр радиочастотного тлеющего разряда (RF GD-OES). Оборудование делится на две части: тлеющий разряд и спектрометр оптической эмиссии [27]. Это позволяет осуществлять быстрый анализ поверхности и профиля глубины так же, как объемный анализ.

Главное то, что положительный электрод (анод) – это полая металлическая трубка, сделанная из меди, с отверстием в центре напротив образца. Внутренний диаметр трубки – обычно 4 мм, но может меняться от 1 до 8 мм.

Поверхность пробы располагается напротив керамического корпуса вблизи наконечника трубки, как правило, на расстоянии 0,1-0,2 мм [27]. Точное расстояние между керамикой и трубкой является критическим: оно обеспечивает расположение анода в темной области плазмы и что распыление образца произойдет только в области пробы, противоположной полой трубке.

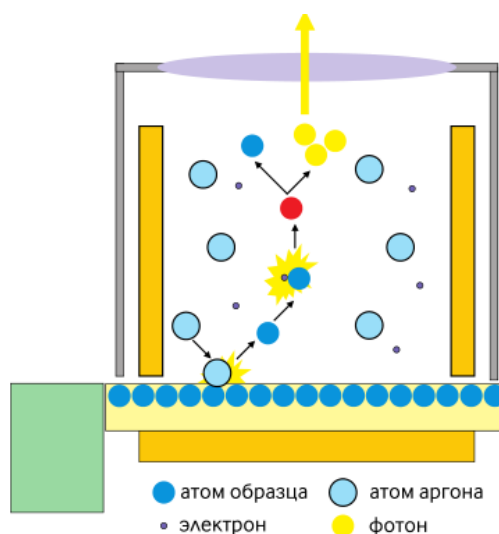


Рис. 2.5. Процессы, происходящие при тлеющем разряде, используемый в GD-Profilier 2.

Анод представляет собой медную трубку диаметром, как правило, 4 мм. Располагаемый перед анодом и отделенный от анода керамикой с кольцевым уплотнением образец является катодом. Образец устанавливается на источнике прикладыванием к кольцевому уплотнению. Пространство внутри анода и из полости между образцом и керамикой вакуумируется, после чего в трубку поступает аргон. Под воздействием электрического поля ионы аргона ускоряются к образцу, обладая достаточной энергией для распыления поверхности образца. Распыленные частицы, в свою очередь, поступают в плазму и возбуждаются через соударения. Возникающая оптическая эмиссия характеризует элементный состав образца. Регистрация спектра осуществляется на оптическом спектрометре.

В нормальном режиме генератор обеспечивает RF мощность 50 Ом, и соответствующая коробка приспособляется к пробе (проводящей или нет) на GD лампе, чтобы передать эту мощность пробе, автоматически вращая 2 конденсатора, чтобы минимизировать отраженную мощность.

2.4.3 Прибор для определения адгезионной прочности покрытий (*Micro-Scratch Tester MST-S-AX-0000*)

Прибор широко используется для характеристики практической адгезионной недостаточности тонких пленок и покрытий с типичной толщиной менее 5 мкм. Он также используется при анализе органических и неорганических мягких и твердых покрытий. В процессе испытаний определяет различные физические параметры в зависимости от приложенной нагрузки. В процессе можно определять различные параметры системы пленка/подложки, таких как [28]:

- акустическая эмиссия;
- коэффициент трения;
- глубина проникновения индентора;
- остаточная глубина царапины (см. рис. 2.6).

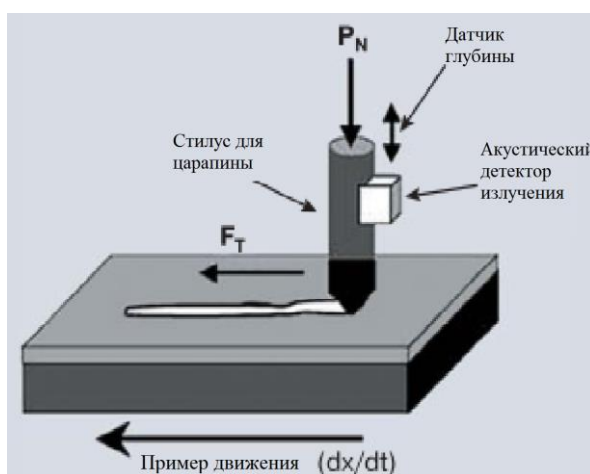


Рис. 2.6 Схема остаточной глубины царапины.

Так L_{c1} – момент появления первой трещины, L_{c2} – отслаивание участков покрытия и L_{c3} – пластичное истирание покрытия до подложки. [28].



Рис. 2.7. Установка для измерения адгезионной прочности покрытий

Когда измерили адгезионную прочность покрытия, покрытий царапины применяется на образец с помощью алмазного индентора. При постоянной или изменяемой нагрузке индентор проходит по поверхности покрытия. Когда достигнет определенной критической нагрузки, покрытие начинает разрушаться.

Установка представляет собой лучшее решение для проверки качества адгезии тонких пленок и тонких поверхностных слоев толщиной до 10 Нм. Установка (рис. 2.7) предназначена для тестирования адгезии тонких слоев по методике микро «царапания», позволяет измерять как горизонтальные, так и вертикальные вибрации зонда на поверхности слоя. Модель имеет визуальный контроль тестирования, чтобы определить прочность сцепления не только по сигналу, но и по следу от наконечника зонда.

Микроскратч-тестер предназначен для измерения силы адгезии тонких пленок и тонких поверхностных слоев толщиной 1 мкм и меньше, а также оптическое исследование их поверхностей. Установка позволяет проводить измерение тонких пленок и покрытий оптических изделий, таких как линзы и светоделители, включая DLC, TiN, ITO пленки. Для «царапания» пленок используется вибрирующая алмазная игла-алмазный индентор. Нагрузка на иглу контролируется и увеличивается до тех пор, пока не начнется разрушение пленки.

Адгезионная прочность тонких плёнки оксида алюминия производилось методом микро «царапания». Режимы испытания были следующие: нагрузка $F = 20\text{Н}$, скорость загрузки $v = 19,99\text{ Н/мин}$, длина царапины $L = 10\text{ мм}$.

2.4.4 Высокотемпературный трибометр

Исследуемый образец закрепляется на вращающемся диске. Коэффициент трения в процессе измерения определяется путем измерения прогиба эластичного рычага [27].

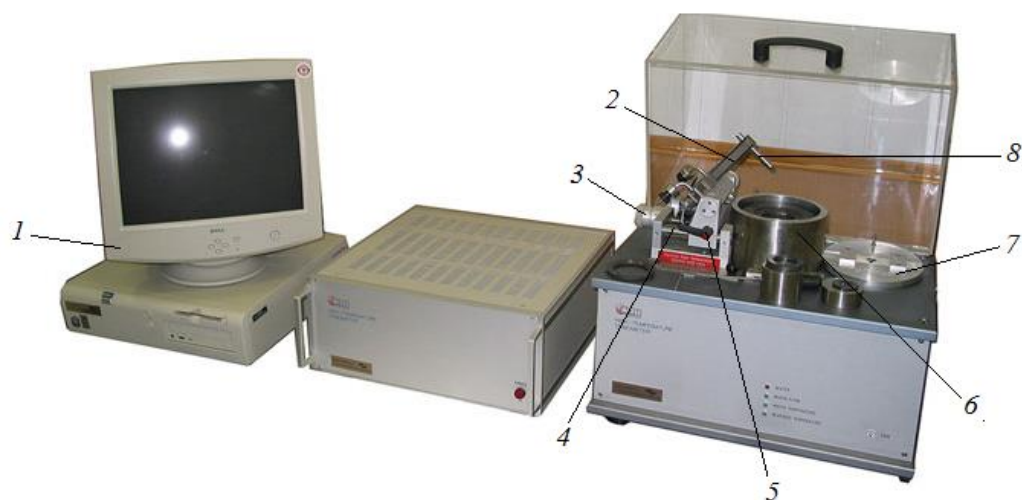


Рис. 2.8 Блок измерения на ГНТ. 1 – компьютер; 2 – противовесы; 3 - поворотная ручка настройки радиуса следа; 4 - миллиметровая шкала; 5 - фиксатор; 6 - печь; 7 - крышка печи; 8 - держатель шара с грузом.

В трибометрии, шар, штифт или образец плоского сечения опускается на тестируемый образец с точно заданной нагрузкой. Образец монтируется на прочной раме, сопряженной с датчиком силы (без трения). Коэффициент трения определяется в процессе измерения посредством измерения отклонения гибкого рычага. Коэффициент износа для штифта и материала диска вычисляется из объема материала, удаленного во время теста.

Этот простой метод позволяет изучить трение и износ твердых тел при нагреве на воздухе. Контроль и регистрация параметров теста: скорость вращения, частота, контактное давление, время, температура, позволяет симулировать реальные практические условия эксплуатации образцов.

Трибометры это уникальные инструменты, разработанные для высокоточного измерения силы.

Отличительная особенность трибометров Anton Paar такова, что эксперимент на приборе останавливается при достижении заранее заданного предельного значения коэффициента трения или заданного числа рабочих циклов. Также трибометр можно разместить в камере с контролируемой атмосферой, влажностью. Специальные версии трибометров разработаны для работы в высоком вакууме.

Измерение коэффициента трения системы пленка Al_2O_3 на титане ВТ 1-0 производилось на трибометрии. Режимы испытания были следующие: радиус шарика $d=2,98$ мм, линейная скорость 3 см/с, нормальная нагрузка $N=1$ Н, температура $T=25$ °С (комнатная).

2.4.5 Установка для изучения термостимулированного выхода водорода

На рисунке 2.9 представлены установка для изучения термостимулированного газоваделения (ТСГВ), состоящая из вакуумной системы, позволяющей получать высокий вакуум, масс-спектрометра и системы линейного нагрева образца (от 1 до 10 К/с).

Для получения высокого вакуума (до 10^{-6} торр) используются два насосы: форвакуумный насос 9 (ISP-500 С) и турбомолекулярный (ТМН) 4 (АТН 300) откачать воздух до 10^{-6} торр [34, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Это система можно достигнуть предельного (минимального) давления, равного 10^{-8} торр., во всех аналитических камерах. Контроль вакуума осуществляется вакуумметрами ВИТ-2 и Stabil-Ion фирмы Granville-Philips.

В установке, в зависимости от поставленной задачи может использоваться один из двух масс-спектрометров: либо монополь производства Украины (МХ-7304), либо один из самых совершенных на сегодняшний день квадрупольный масс-спектрометров – анализатор остаточной атмосферы (RGA) серии Micro Vision Plus [24].

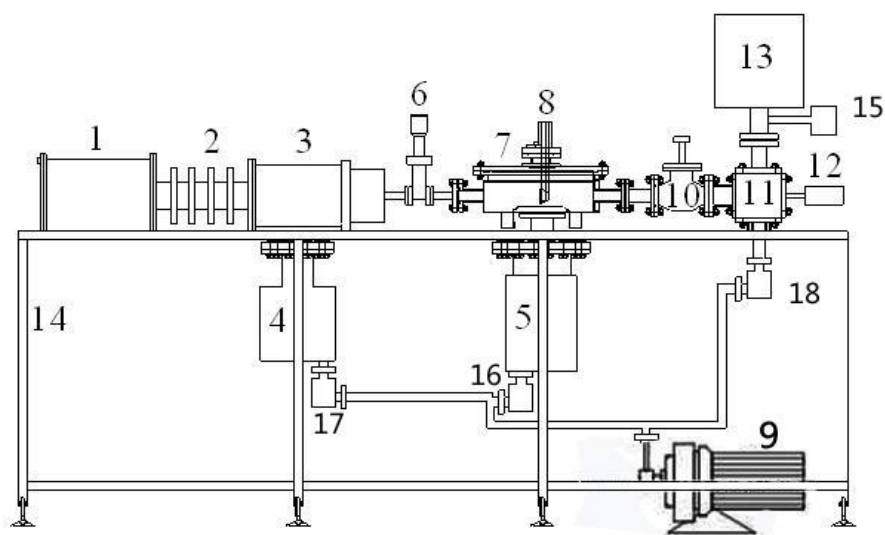


Рис. 2.9 – Схема установки для исследования термо- и радиационно - стимулированного газовыделения: 1 – блок питания электронной пушки; 2 – изолятор электронной пушки; 3 – фокусирующая система электронной пушки; 4–ТМН (Shimadzu EISO4M); 5 – гибридный турбомолекулярный насос (ATH 300); 6 – высоковакуумный затвор; 7 – камера; 8 – ячейка для электронного и рентгеновского облучения образцов; 9 – форвакуумный насос (ISP-250 C); 10 – высоковакуумный вентиль; 11 – камера внутреннего нагрева образца; 12 – камера внешнего нагрева образца; 13 – масс-спектрометр; 14–цельносварная станина. 15 – вакуумметр, 16–вентиль, 17–вентиль, 18–вентиль [24].

При исследовании газовыделения в системе линейного нагрева, можно проводить, как с помощью внешнего нагревателя 12, (нагрев до температуры ~ 900 °С). Внешний нагреватель на рис. 2.9 представляет собой кварцевую печь, состоящую из кварцевой трубки намотана спираль из нихрома и закрытая теплоизолятором (асбест); кварцевая печь надевается на камеру нагрева образца 14, представляющую собой цилиндрическую трубку из нержавеющей стали [29], присоединенную (вакуумно-плотно) к вакуумной системе. Для определения температуры используется термopара 23. Подвод тока для нагрева образца осуществляется через токовводы в керамических изоляторах [34].

Установка оснащена системой автоматизации. Компьютерная программа Project управляет систему автоматизации и производить линейный нагрев образцов от 20 до 1000 °С (и от 20 до 2000 °С) с заданной скоростью от 0,1 до 5

°C/с., и одновременно, термопар фиксировать скоростью температуру и данные газовой выделении с помощью масс-спектрометра.

2.4.6 Анализатор водорода RHEN– 602

Анализатор RHEN602 используется для измерения водорода в большом количестве металлов и неорганических материалов, используя принцип плавления в инертной атмосфере. Прибор использует программу, работающую под управлением Windows®.



Рис. 2.10 – Анализатор водорода RHEN-602

Подготовку образцов к анализу осуществляют согласно нормативной документации – МВИ (методика выполнения измерений), ТУ, ГОСТам, но общими минимальными условиями являются следующие: компактные образцы должны иметь чистую без цветов побежалости поверхность, без раковин, пор и заусенцев обработки на металлорежущих станках, надфилем [2930].

Принцип работы прибора является плавлением образца в атмосфере инертного газа [33]. Проба с известной массой, помещается в шлюзовую камеру и после обезгаживания графитового тигля образец помещается в него. В качестве газаносителя выступает аргон, который протекает вокруг графитового тигля.

Тигель и образец разогревается высокочастотным генератором до температуры плавления образца. Выделившийся водород в газ-носитель, проходит очистку в газовом потоке сорбента с последующим анализом в ячейке тепло-проводности. Для осуществления нагрева и плавки образцов используется импульсная печь мощностью 7,5 кВт с автоматической регулировкой тока [32], мощности и температуры.

Анализируемые материалы: стали, медь и медные сплавы, никель, кобальт и их сплавы, титан и титановые сплавы. Для алюминия и алюминиевых сплавов систем алюминий–магний–марганец сотрудниками фирмы LECO и ОАО "ВИЛС" разработана и аттестована методика фракционного анализа водорода. Метрологические характеристики соответствуют требованиям ГОСТ Р 50965-96.

Вывод

Во второй главе описаны технологические параметры и метод получения покрытий оксида алюминия, осажденных методом реактивного магнетронного распыления. Представлены приборы и методы исследования, которые позволяют качественно оценить влияние содержания водорода на свойства покрытий оксида алюминия, а также, определить адгезионную прочность, коэффициента трения и удельной электропроводности пленок, учитывая особенности их электромеханических свойств.

3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДОРОДА С СИСТЕМОЙ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ НА ТИТАНЕ ВТ1-0

3.1. Определение содержания водорода в системе Al_2O_3/Ti

На рисунке 3.1 представлены, в качестве примеры, кривые сорбции водорода получены на «Gas Reaction Controller» при 1 и 2 часах выдержки водородной среде. Из зависимостей можно видеть, что увеличение времени выдержки приводит к росту массового содержания водорода в системе Al_2O_3/Ti . В таб. 3.1 приведены значения массового содержания водорода в зависимости от времени. С увеличением времени выдержки в водородной атмосфере то 1 до 2 часов содержание водорода в образцах возрастает не значительно, а после 3 и 4 увеличивается более чем на порядок, это может быть связано с тем, что с увеличением времени выдержки в водородной атмосфере пленка начинает разрушаться под действием водорода.

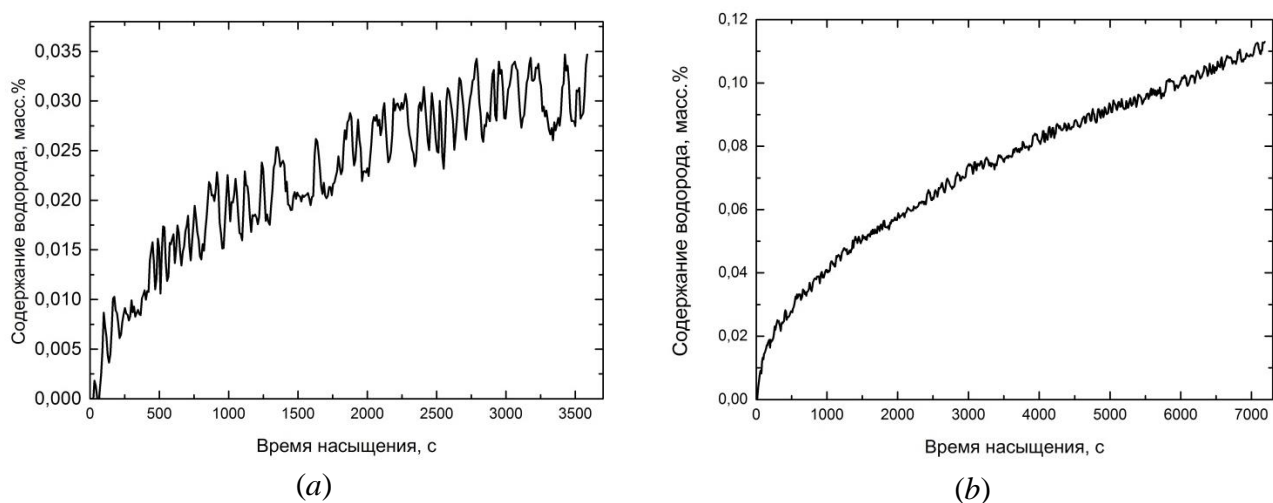


Рис. 3.1 – Кривые сорбции водорода в системе Al_2O_3/Ti : a) – 1 ч, b) – 2ч.

Таб. 3.1. Массовое содержание водорода в системе Al_2O_3/Ti

Время выдержки в водородной атмосфере, ч	1	2	3	4
Содержание водорода в масс. %	0,032	0,113	0,610	0,750

На рисунке 3.6. представлены зависимости интенсивностей выделения H_2 из системы Al_2O_3/Ti выдержанной в водородной среде в течение 1, 2, 3 и 4 часа. Скорость нагрева составляла 1 град./с

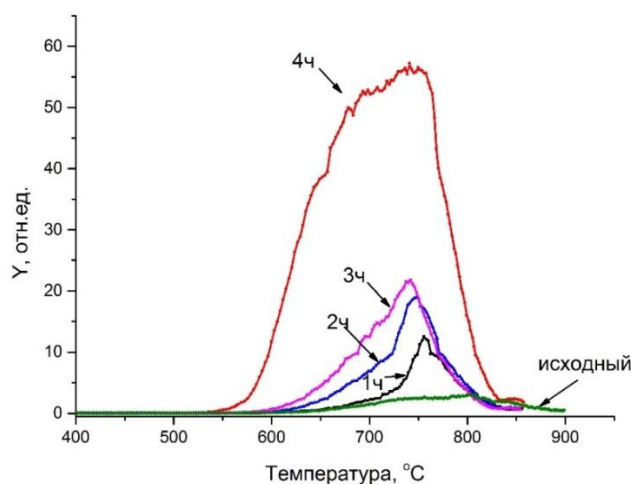


Рис. 3.2 – Зависимость интенсивности выделения водорода от температуры, в зависимости от времени выдержки в водородной атмосфере (1 – 4 ч).

Из зависимостей можно видеть, что при увеличении времени выдержки в водородной атмосфере, возрастает концентрация водорода в пленке, и после 4-х часов наблюдается резкое увеличение содержания водорода. Стоит обратить внимание, что при увеличении времени выдержки наблюдается смещение температурного пика в область более низких температур [31]. Такое смещение обусловлено разными энергиями активации десорбции.

Данные показывающие увеличение содержания водорода от времени выдержки в водород содержащей атмосфере получены на анализаторе водорода RHEN-602 и представлены в таб. 3.2.

Таблица 3.2. Массовое содержание водорода в системе Al_2O_3/Ti

Атмосфера	Исходная система Al_2O_3/Ti	Водородная атмосфера			
Время выдержки, ч	–	1	2	3	4
Массовое содержание водорода, ppm	85,5	140,3	212,8	344,3	1030,8

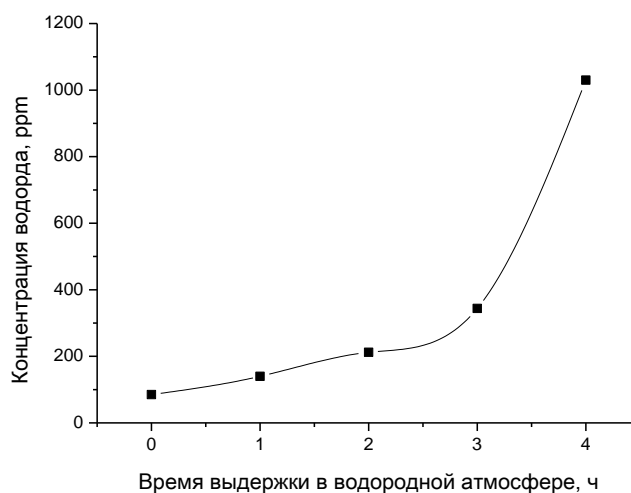


Рис. 3.3 – Массовое содержание водорода в системе Al_2O_3/Ti в зависимости от времен выдержки в водородной атмосфере.

Для наглядности по данным из таб. 3.2 построен график (рис. 3.3) иллюстрирующий, что при увеличении времени выдержки системы Al_2O_3/Ti в водородной атмосфере от 1 до 3 часов пленка препятствует проникновению водорода в титан, а после 4-х часов наблюдается резкое увеличение содержания водорода, что свидетельствует о модификации пленки. В работах было показано [35], что после насыщения в водородной среде пленок оксида алюминия пленка растрескивается, но при этом ей защитные свойства по проникновению водорода сохраняются.

3.2 Получение распределения химических элементов

На рис. 3.4 представлены результаты распределения химических элементов пленки и подложки по глубине полученные на спектрометре тлеющего разряда GD-PROFILER 2.

Откуда видно, что в исходной пленке (рис. 3.4а) изначально содержится водород, что не противоречит данным полученным в разделе 3.1. Наличие водорода в пленке связано с его проникновением в процессе нанесения и формирования пленки. Сравнивая содержания Н на рис. 3.4 а – е, можно видеть, что по мере увеличения времени выдержки (от 1 до 4 ч) в водород содержащей

атмосфере концентрация водорода возрастает. Низкое содержание кислорода в пленке связано с низкой чувствительность прибора по данному газу.

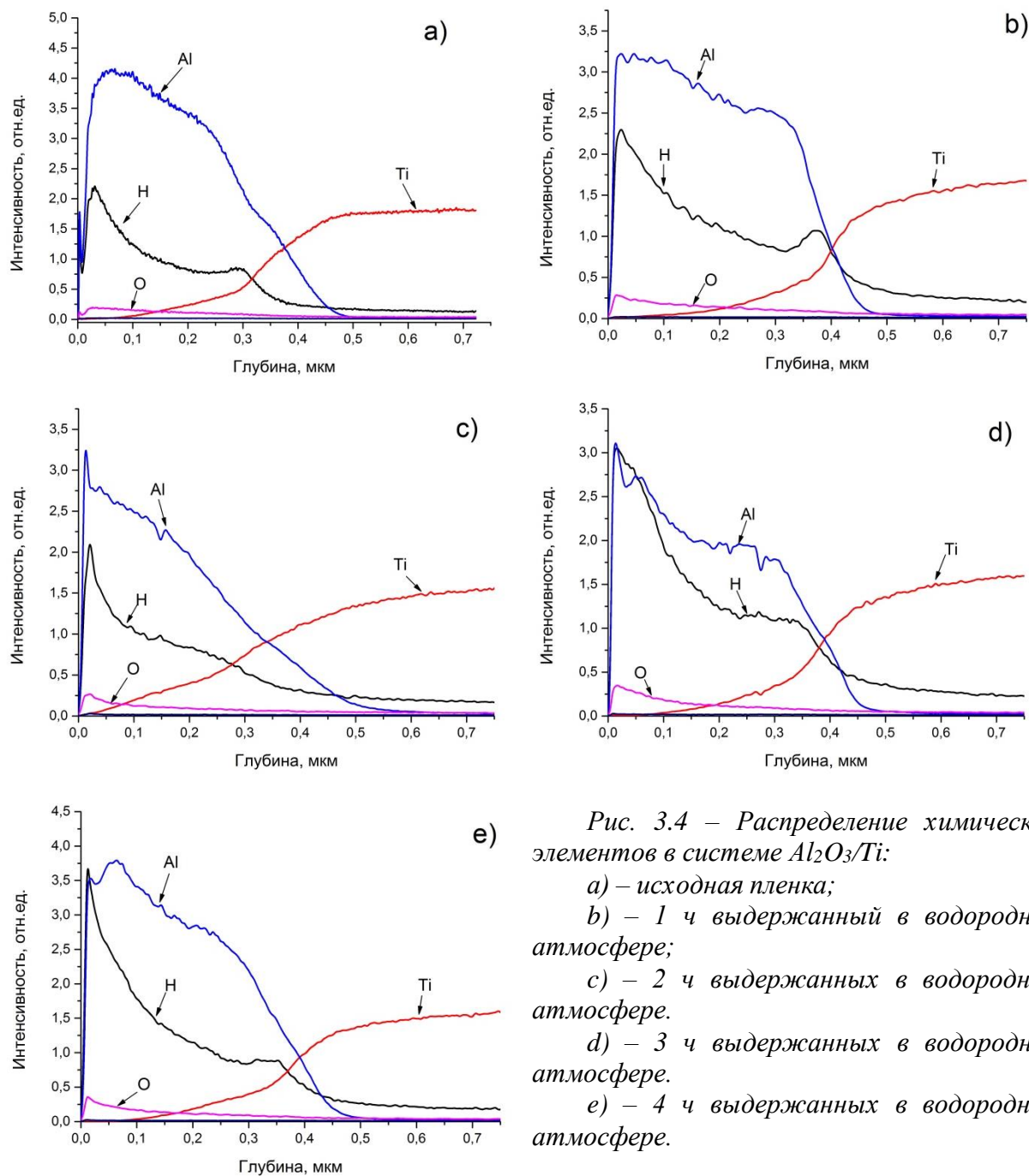


Рис. 3.4 – Распределение химических элементов в системе Al_2O_3/Ti :

- a) – исходная пленка;
- b) – 1 ч выдержанный в водородной атмосфере;
- c) – 2 ч выдержанных в водородной атмосфере.
- d) – 3 ч выдержанных в водородной атмосфере.
- e) – 4 ч выдержанных в водородной атмосфере.

3.3 Механические свойства пленки Al_2O_3

3.3.1 Износостойкость

Трибометры CSM Instruments предназначены для определения времени жизни покрытий при трении скольжения, эффективности смазки, коэффициента трения и износа защитных покрытий со временем, при заданном давлении в зоне контакта, скорости, температуре, влажности и наличию смазки.

Коэффициент трения определяли в процессе измерения, путем измерения прогиба эластичного рычага. На рис. 3.5 представлены результаты трибологических испытаний для покрытий Al_2O_3 на подложке титана.

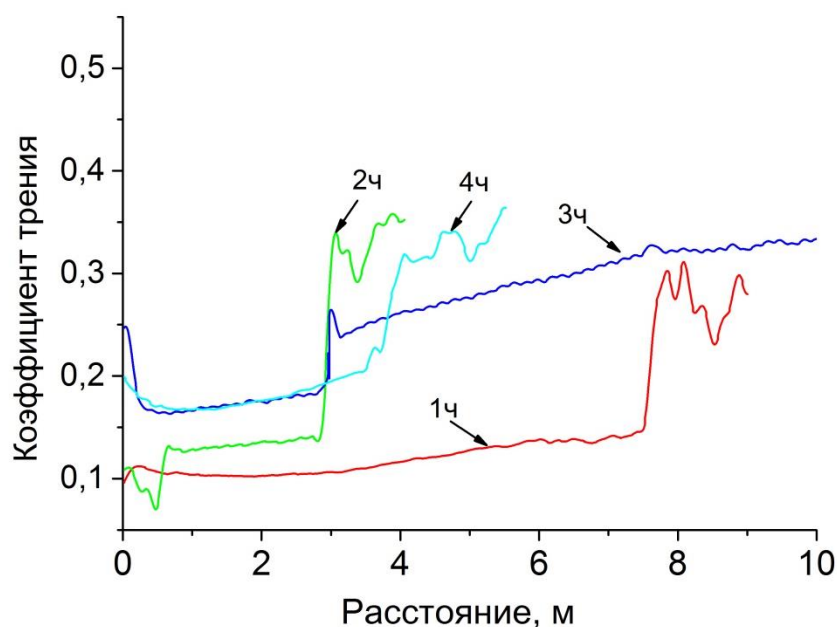


Рис. 3.5 – Зависимость коэффициента трения пленки оксида алюминия на титане от времени выдержки в водородной атмосфере.

Изменение свойств пленки связано с диффузией атомарного водорода через неё. Свободные атомы водорода адсорбируются на поверхности пленки и диффундируют в ее приповерхностные слои, что приводит, к первой стадии модификации покрытия. На этом этапе наблюдается усиление водородного диспергирования (разрыхление и фрагментированные пленки) причем поверхностность, как правило, не имеет видимого повреждения. При увеличении времени выдержки, водород, через эти модифицированные слои,

начинает легко проникать к участкам поверхности подложки, при этом скорость его диффузии возрастает. На этом этапе наступает вторая стадия разрушения пленки – мгновенное разрушение поверхностного слоя пленки. Водород проникает вглубь пленки, в микропустоты, где он соединяется в молекулы [38]. Пустоты «закрываются» и это приводит к повышению давления водорода в «пустоте», под давлением молекулярного водорода, на стенки микротрещин, происходит мгновенное разрушение пленки по всем ранее возникшим микротрещинам.

Из представленной зависимости видно, что наименьшим коэффициентом трения ($\sim 0,1$) обладают образцы после 1 часа выдержки в водородной атмосфере и с увеличением времени выдержки он возрастает вплоть до 3 часов. На 3 и 4 часах выдержки в водородной среде наблюдаются равные коэффициенты трения ($\sim 0,16$), что свидетельствует о том, что водород накопился в пленке.

3.3.2 Адгезионная прочность

Конечной целью любого процесса нанесения покрытий является получение свойств всего обрабатываемого объекта, которые наилучшим образом соответствуют именно той конкретной среде, для работы в которой он и сконструирован.

Выбор материала покрытия следует признать неудачным, если после воздействия внешней среды поверхностный слой полностью или частично отслаивается от поверхности, на которую он был нанесен. Это может происходить либо вследствие взаимодействия поверхности с внешней средой в процессе эксплуатации, либо из-за недостаточно хорошего контакта между подложкой и покрытием [36].

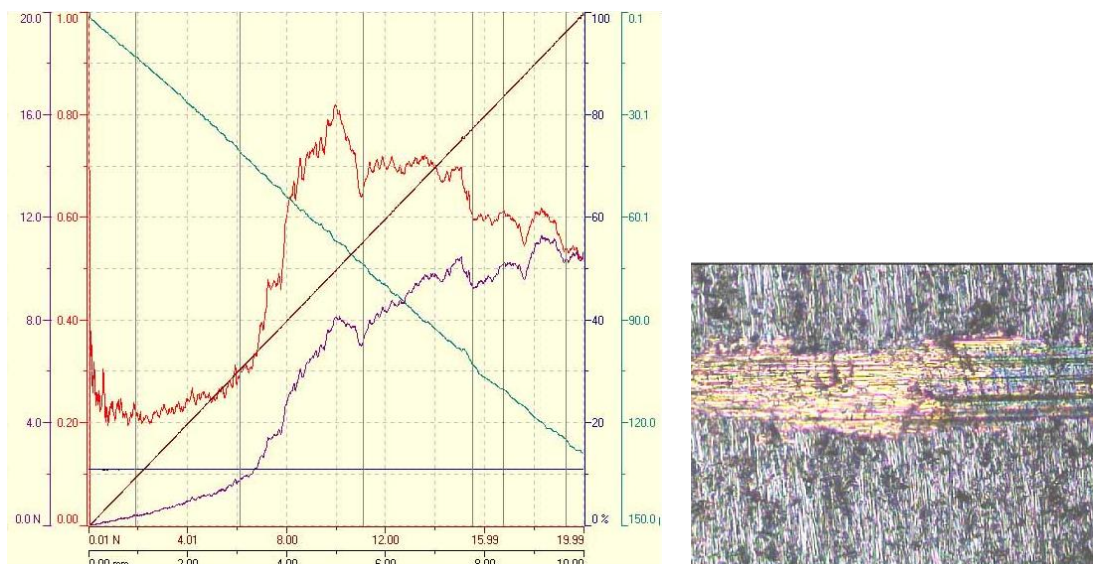


Рис.3.6. Зависимость коэффициента трения, силы сопротивления и глубины проникновения эндентора в зависимости от приложенной нагрузки

На рис. 3.6 приведена кривая зависимости коэффициента трения, силы сопротивления и глубины проникновения эндентора в зависимости от приложенной нагрузки, а в таб. 3.3 представлена адгезионная прочность пленки оксида алюминия на титане ВТ1-0. Из представленных данных следует, что после 4-х часов выдержки в водородной атмосфере пленка начинает отслаиваться (падает адгезионная прочность), что связано с накоплением водорода на границе раздела пленка-подложка и, возможно, образованию гидридов в титане. В случае исходной пленки и после выдержки в течение от 1 до 3 часов сила сцепления пленки с подложкой возрастают, очевидно, за счет образования водородных связей пленка подложка.

Таблица 3.3. Расчет адгезионной прочности пленки оксида алюминия на титане

Время выдержки в водородной атмосфере, ч	0	1	2	3	4
Адгезионная прочность, Н	1,2±0,3	4,9±0,1	5,5±0,4	7,8±0,7	3,1±0,7

3.4 Определение удельной электропроводимости

В таб. 3.4 представлены результаты тока и напряжения, полученные с пленки Al_2O_3 на титане ВТ1-0, после разных времен наводороживания. На

основании этих полученных результатов построены вольт-амперные характеристики (ВАХ) рис. 3.7. Откуда видно, что ВАХ смещаются вверх в зависимости от времени выдержки в водородной атмосфере.

Таблица 3.4 Результаты ВАХ

Напряжение, В	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
Ток(источник), $A \cdot 10^{-8}$	1,3	2,23	3,14	4,05	4,9	5,85	6,74	7,66	8,56
Ток(1 час), $A \cdot 10^{-8}$	1,37	2,28	3,18	4,09	4,99	5,89	6,77	7,62	8,59
Ток(2 часа), $A \cdot 10^{-8}$	1,47	2,37	3,26	4,16	5,06	5,96	6,85	7,46	8,66
Ток(3 часа), $A \cdot 10^{-8}$	1,53	2,43	3,32	4,23	5,12	6,02	6,9	7,8	8,7
Ток(4 часа), $A \cdot 10^{-8}$	1,6	2,5	3,4	4,3	5,2	6,1	7	7,9	8,8

Используя формулу (2) рассчитана поверхностная удельная электропроводимость пленки Al_2O_3 . Стоит отметить, что данный метод дает качественную зависимость, так как при расчёте не учитываются геометрические размеры пластинок и краевые эффекты, возникающие на пластинках-электродах.

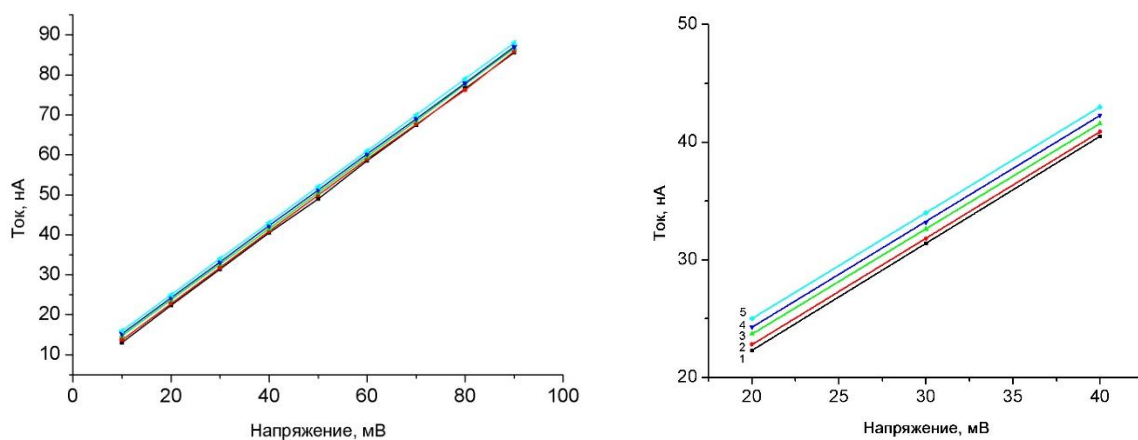


Рис. 3.7 – ВАХ пленки Al_2O_3 на титане после насыщения водородом от напряжения, на рисунке справа увеличенная часть рисунка слева.

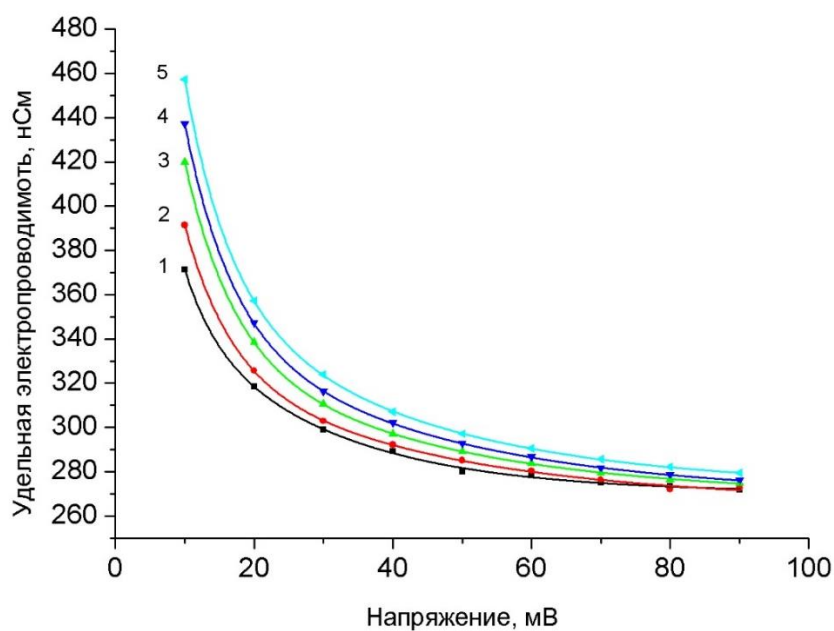


Рис.3.8 График зависимости поверхностной проводимости пленки Al_2O_3 на титане после разных времен насыщения водородом.

Из рис. 3.8 можно видеть, что адсорбция атомов водорода на поверхности пленки Al_2O_3 сопровождается увеличением ее электропроводности и с увеличением времени наводороживания, поверхностная электропроводимость пленки Al_2O_3 растёт. В качестве примера была построена зависимость поверхностной электропроводимости пленки Al_2O_3 на титане при 0,02 В после разных времен наводороживания.

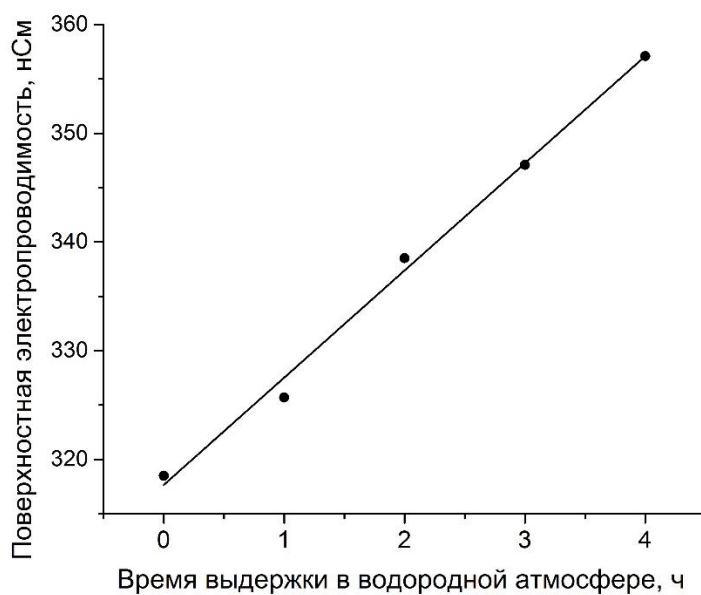


Рис.3.9. График зависимости поверхностной электропроводимости пленки Al_2O_3 на титане при 0,02 В после разных времен наводороживания.

Такое изменение электропроводимости пленки Al_2O_3 может быть объяснено со стороны зонной структуры.

Тонкие оксидные пленки могут обладать сплошной односторонней проводимостью, в случае же если пленка толстая (от 0,5 мкм и выше), то говорить об однородной проводимости нельзя. Так объёмные и пористые оксидные пленки, благодаря тонкому сплошному оксидному слою, который всегда присутствует на дне пор, очень слабо проявляют вентильные свойства.

Объяснить одностороннюю проводимость оксидного слоя можно следующим образом. В процессе формирования и роста, при напылении оксидной пленки, возникает градиент концентраций ионов алюминия и кислорода по всей толщине формируемого оксида. В этом слое, вблизи к его наружной приповерхностной области, концентрация ионов кислорода выше и по мере приближения к подложке оксидной пленки в глубину концентрация ионов кислорода снижается, но при этом начинает возрастать концентрация ионов алюминия и достигает максимума у поверхности металла-подложки. И потому в приповерхностных областях должно наблюдаться отклонение химических составов оксида алюминия (Al_2O_3), в сторону с высоким содержанием кислорода ($\text{Al}_2\text{O}_{3+m}$), с наружной стороны, а со стороны подложки в сторону с большим содержанием алюминия ($\text{Al}_{2+n}\text{O}_3$).

Если изменение концентрации кислорода и алюминия происходит по одному закону, то слой со строго с помощью стехиометрическим составом должен располагаться середине оксидной пленки симметрично. Размеры ионов кислорода, почти в 2 раза меньше размера иона алюминия [37], через слой оксида в связи с этим ионы алюминия диффундируют диффузно, чем ионы кислорода, а слой со стехиометрическим составом расположен асимметрично относительно середины пленки и более близко к поверхности.

$\text{Al}_2\text{O}_{3+m}$ является дырочным полупроводником p -типа, а с недостающим электронном $\text{Al}_{2+n}\text{O}_3$ n -типа. Таким образом, в процессе образования пленки

оксида алюминия создается переход *p-n*-типа с промежуточным слоем диэлектрика.

Известно, что при длительном пропускании электрического тока через оксидную пленку ионы перераспределяются, что приводит к частичному разрушению *p-n*-перехода. Пленка Al_2O_{3+m} превращается в электронный полупроводник, который содержит избыток или дефицит ионов алюминия, что также зависит от условий.

Аналогичное разрушение *p-n*-перехода наблюдается при нагревании оксидной пленки, в этом случае наблюдается обратная зависимость, то есть концентрация ионов кислорода уменьшается, что приводит к увеличению избыточного количества ионов алюминия. В случае же взаимодействия водорода с оксидной пленкой, связывающего кислород, приводит к превращению окиси алюминия в электронный полупроводник.

В опытах Кесселя [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**] по оксидированию алюминиевых образцов, выступающих в качестве анода, они помещались в вакууме перед нагретым катодом. Было установлено, что при температурах 100-300 °С и при длительном пропускании электрического тока через пленку, величина сила тока растет, что свидетельствует об уменьшении содержания кислорода в пленке. Если же образец поместить в атмосферу кислорода, то через какое-то время (согласно работе [39] от 0,5 до 1 часа), пленка восстановится и ток через нее уменьшится. Таким образом, в пленке оксида алюминия, помещенной в атмосферу водорода, увеличивается электропроводимость.

Часто при нанесении пленок образуются дефектные места, которые обладают высокой проводимостью. Причиной появления дефектов может служить неоднородная поверхность оксида, наличие пор с диаметром менее 5 нм, что также влияют на электропроводимость в пленках.

Вывод

Проведенный комплекс исследований позволяет выделить следующие основные результаты:

1. Пленка препятствует проникновению водорода в титан с увеличением времени выдержки системы Al_2O_3/Ti в водородной атмосфере от 1 до 3 часов, а после 4-х часов наблюдается резкое увеличение содержания водорода, что свидетельствует о модификации пленки.

2. С увеличением времени выдержки в водородной атмосфере коэффициент трения пленки Al_2O_3 возрастает.

3. С увеличением времени выдержки в водородной атмосфере то 1 до 3 часов адгезионные свойства пленки возрастают, а после 4-х часов подаются, что приводит к накоплению водорода.

4. С увеличением времени выдержки в водородной атмосфере поверхностная электропроводность пленки повышается, это различие объясняется, тем что при пропускании тока через оксидную пленку ионы в пленке перераспределяются и частично разрушается p-n-переход.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСНАБЖЕНИЕ

Введение

В настоящее время перспективы научных исследований определяются не только масштабами открытия, которые трудно оценить на первых этапах жизненного цикла высокотехнологичного и ресурсоэффективного продукта, а скорее как коммерческая ценность развитие. Оценка коммерческой ценности (потенциала) развития является предпосылкой для поиска источников финансирования для научных исследований и коммерциализации его результатов.

Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы текущих исследований. Благодаря такой оценке ученый может найти партнера для дальнейших исследований, коммерциализации результатов таких исследований и открытия бизнеса.

Целью данной главы является расчет затрат, необходимых для проведения эксперименты:

1. Насыщении водорода в титане методом Сиверта (*Gas Reaction Controller*).
2. Термостимулированный газ выделении.
3. Определить массовой содержание водород в образце с помощью анализатором водорода *RHEN-602*.

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

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Для введения результатов выпускной квалификационной работы на тему «Влияние водородной атмосфере на свойства плёнки оксида алюминия на титане ВТ1-0» на целевой рынок, в первую очередь необходимо проанализировать потребительские группы, результаты исследований, а затем определить сегменты рынка.

Существование некоторых общих чертов, реализация суб необходимости, что существует необходимость формирования определенных групп этого продукта для того, чтобы определить конкретную часть рынка или клиентов групп,

В зависимости от категории потребителей (коммерческие организации, физические лица) необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Например, для коммерческих критериев сегмента агентства: расположение, промышленность, производство продукции, размера.

4.1.2 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

Для упрощения процедуры проведения QuaD рекомендуется оценку проводить в табличной форме (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
Показатели оценки качества разработки					
1. Время производства	0,1	85	100	0,85	0,085
2. Энергоэффективность	0,1	93	100	0,93	0,093
3. Надежность	0,05	86	100	0,86	0,043
4. Простота эксплуатации	0,15	88	100	0,88	0,132
5. Безопасность	0,15	96	100	0,96	0,144
6. Ремонтопригодность	0,05	94	100	0,94	0,047
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
7. Цена	0,05	79	100	0,79	0,0395
8. Финансовая эффективность научной разработки	0,1	95	100	0,95	0,095
9. Срок выхода на рынок	0,05	84	100	0,84	0,042
10. Наличие сертификации разработки	0,20	96	100	0,96	0,048
Итого	1	89,6	100	0,896	0,077

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum V_i B_i, \quad (4.1)$$

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

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Полученное значение P_{cp} говорит о том, что перспективность данного производства выше среднего.

4.1.3. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов.

В рамках должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в бакалаврской работе (таб. 4.2.)

Таблица 4.2 – Итоговая матрица SWOT-анализ

	Сильные стороны научно - исследовательского проекта: С1. Наличие бюджетного финансирования С2. Актуальность тематики С3. Использование современных программ С4. Использование собственной разработки программного обеспечения С5. Оригинальность решения поставленной задачи С6. Наличие всех материалов для исследования	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Отсутствие потенциальных потребителей Сл3. Отсутствие финансовых ресурсов Сл4. Большая трудоёмкость работы Сл5. Долгое ожидание результатов эксперимента Сл6. Слабая маркетинговая политика
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на результаты исследования В3. Возможность появления новых методов анализа	Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. Наличие бюджетного финансирования. Появление дополнительного спроса на новый продукт и повышение стоимости конкурентных работ.	Инфраструктура ТПУ позволяет снизить срок поставок, продолжительность стадий и повысить уровень проникновения на рынок. Снижение таможенных пошлин позволяет снизить срок поставок материалов

<p>В4. Расширение лаборатории</p> <p>В5. Возможность улучшения программного обеспечения</p>	<p>Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p>Экологичность технологии.</p> <p>Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p>	
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на результаты исследования</p> <p>У2. Развитая конкуренция других научных центров</p> <p>У3. Задержки финансирования</p> <p>У4. Ограничение точности эксперимента</p> <p>У5. Повышение издержек</p>	<p>Отсутствие спроса может привести к утечке квалифицированных кадров и прекращению бюджетного финансирования.</p> <p>Развитая конкуренция может не дать продукту удержаться на рынке.</p> <p>Ограничение на экспорт может способствовать уменьшению бюджетному финансированию.</p> <p>Введение дополнительных требований к сертификации продукта и несвоевременное финансовое обеспечение влияет на экономичность и цену продукта.</p>	<p>Отсутствие спроса, развитая конкуренция и ограничения на экспорт приведут к низкому уровню проникновения на рынок.</p> <p>Введение дополнительных требований к сертификации приводит в сочетании с отсутствием квалифицированных кадров значительно усложняет вывод продукции на рынок.</p>

4.2 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процесса планирования состоит из процессов, выполняемых для определения общего содержания работы, уточнения целей и разработки последовательности действий, необходимых для достижения этих целей.

Планирование комплекса перспективных работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работы в рамках научных исследований;
- определить участников каждой работы;
- определение продолжительности работы;
- Построение графика научных исследований.

Для проведения научных исследований формируется рабочая группа, которая может включать исследователей и преподавателей, инженеров, техников и лаборантов, число групп может быть различным. Для каждого типа планируемой работы создается соответствующий пост исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 4.3.

Таблица 4.3 –Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, студент
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований и способов решения задач	Руководитель, студент
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, студент
	4	Сбор и изучение литературы	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Разработка методики экспериментальных исследований	Руководитель, студент
	6	Проведение экспериментальных исследований	Руководитель, студент
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ и обработка полученных результатов	Руководитель, студент
	8	Оформление вывода	Руководитель, студент
Оформление комплекта документации	9	Составление пояснительной записки	Студент

	10	Подготовка к защите	Руководитель, студент
--	----	---------------------	--------------------------

В рамках планирования научного проекта необходимо составить расписание календаря для проекта. Для планирования диаграммы Ганта было выбрано, который является гистограммой (гистограмма), который используется для иллюстрации хода выполнения работающей проекта, чтобы увеличить продолжительность времени предмета представлен, в котором начало и эти работы конец даты реализации.

В большинстве случаев затраты на рабочую силу составляли основную часть затрат на разработку, поэтому важно определить загруженность каждого участника исследования. Сложность исследования заключалась в оценке реализации на экспертных человеко-дней, а вероятностный характер, так как это зависит от многих факторов, рассматриваемых трудно.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости определяется следующей формулой:

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

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; $t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы чел.-дн.; $t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы чел.-дн.

Рассчитав ожидаемую трудоемкости работ, определим продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, по следующему соотношения:

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{C_i} \quad (4.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для проведения научного исследования, представленного в выпускной квалификационной работе, выбирают специальную узко направленную научную тему. Для этого строится специальный ленточный график проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Для построения графика необходимо перевести рабочие дни в календарные дни, для чего воспользуемся следующим соотношением:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} , \quad (4.3)$$

где T_{ki} - продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} - продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{кал}$ – коэффициент календарности, определяющийся выражением:

$$K_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} , \quad (4.4)$$

где $T_{кал}$ - количество календарных дней в году; $T_{вых}$ - количество выходных дней в году; $T_{пр}$ - количество праздничных в году.

Пример расчета:

- идаемое значение трудоемкости:

$$t_{ожсi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 6}{5} = 5,4ч,4ч - дн.$$

- Продолжительности работы выполнения научного исследования:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожсi}}{Ч_i} = \frac{5,4}{2} = 2,7$$

- Коэффициент календарности:

$$K_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22$$

- Продолжительность работы в календарные дни:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 2,7 \cdot 1,22 = 3,294 \sim 4 \text{ кал.дн.}$$

В таблице 4.4 представлены временные показатели проведения научного исследования, рассчитанные по данным формулам.

Таблица 4.4 – Временные показатели проведения научного исследования

Название Работы (Этапы)	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длит-ть работ в рабочих днях T_{pi}	Длит-ть работ в календарных днях T_{ki}
	T_{min} ,	T_{max} ,	$T_{ож}$			
Составление и утверждение технического задания	5	6	5,4	Руководитель, студент	2,7	4
Выбор направления исследований и способов решения задач	1	2	1,4	Руководитель, студент	0,7	1
Подбор и изучение материалов по теме	12	20	15,2	Руководитель, студент	7,6	10
Сбор и изучение литературы	14	23	17,6	студент	17,6	16
Разработка методики экспериментальных исследований	2	4	2,8	Руководитель, студент	1,4	2
Проведение экспериментальных исследований	20	25	22	Руководитель, студент	13,5	16
Анализ и обработка полученных результатов	7	13	9,4	Руководитель, студент	4,7	7
Оформление вывода	2	3	2,4	Руководитель, студент	1,2	2
Составление пояснительной записки	2,5	8	4,7	Студент	4,7	7
Подготовка к защите	5	8	6,2	студент	6,2	10

График строится в виде таблицы 4.5 с разбивкой по месяцам за период времени выполнения научного проекта.

Таблица 4.5 – Календарный план-график проведения эксперименты по теме

№ раб	Вид работ	Исп.	Т _к , кал.дн.	Время выполнения работ, месяц.												
				мар.			апр.			Май			Июн.			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Составление и утверждение технического задания	Р,С	4		■											
2	Выбор направления исследований и способов решения задач	Р,С	1		■											
3	Подбор и изучение материалов по теме	Р,С	10		■	■										
4	Сбор и изучение литературы	С	16			■	■	■	■							
5	Разработка методики экспериментальных исследований	Р,С	2					■	■							
6	Проведение экспериментальных исследований	Р,С	15					■	■	■	■	■	■			
7	Анализ и обработка полученных результатов	Р,С	7									■	■			
8	Оформление вывода	Р,С	2									■	■			
9	Составление пояснительной записки	С	7										■	■	■	
10	Подготовка к защите	С	10												■	■
Итого дней			75		■	■	■				■	■	■		■	■

При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

4.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научно-технических исследований (НТИ) должно быть обеспечено полное и надежное отражение всех видов затрат, связанных с его реализацией. В процессе формирования бюджета НТИ в соответствии со статьями используются следующие группировки затрат:

- Материальные затраты на НТИ;
- расходы на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- Основная зарплата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые взносы);
- Накладные расходы.

4.3.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

Проект охватывает покупку различных материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов из темы стоимости работ. Количество значений определяется требуемыми правилами потока материала.

В материальные затраты, помимо выше указанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае, они применяются для определения соответствующей скорости установленной базы. Во втором случае, их значение записывается как доля определенной доли от стоимости.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{расхi} \quad (4.5)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов

i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.); C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.); k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

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

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 4.6

Таблица 4.6 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Титан BT1-0	20*20*1мм	10	30,00	300,00
Спирт	500мл	1	200	200,00
наждачная бумага	Радиус 15см	10	60	600
Всего за материалы				2300
Транспортно-заготовительные расходы (15-25%)				800
Итого по статье C_m				3100

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

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

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования

1. Насыщении водорода в титане методом Сиверса (*Gas Reaction Controller*).
2. Термостимулированный газ выделения.
3. Определить массовой содержание водород в образце с помощью анализатором водорода *RHEN-602*.

Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье заносится в табл. 4.7.

Таблица 4.7- Затраты на специальное оборудование

Статьи				
Вид работ	Виды установки	Сырье, материалы покупные изделия и полуфабрикаты	Цена оборудования	Амортизации на оборудование
1	Установка (<i>Gas Reaction Controller</i>)	-	428000	3570
2	Установка термостимулированный газ выделения	турбомолекулярный насос (НВТ 100 ФО)	70632	5087,6
3		гибридный турбомолекулярный насос (АТН 300)	74480	
4		форвакуумный насос (ISP-250 С)	41240	
5		масс-спектрометр	103166	
6		камера внешнего нагрева образца	12736	
7	анализатором водорода <i>RHEN-602</i>	-	6614784	110246,4
итого	7345038 (руб.)			118904

Можно видеть, оборудование для цены очень дорого, но мы не были в использовании этих экспериментов оборудования, так что там будет амортизация проблема.

Посчитать амортизацию на оборудование

$428000/10=42800/12=3570$ за время проекта (1 мес.)

$305254/10=30525,4/6=5087,6$ за время проекта (2 мес.)

$6614784/5=1322956,8/12=110246,4$ за время проекта (1 мес.)

При покупке специального оборудования необходимо учитывать затраты на его доставку и установку в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного ИППИ и доступного в этой научно-технической организации, учитывается при расчете в виде амортизационных отчислений. Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в табл. 4.7.

4.3.3 Основная заработная плата

Статья включает основную заработную плату установки, работники непосредственно занято выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату. Основная заработная плата рассчитывается по формуле 1:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.6)$$

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

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по формуле 4.2:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} \quad (4.7)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (4.8)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (При отпуске в 48 раб.дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя).

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (4.9)$$

где $Z_{мс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{мс}$); k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5; k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 4.8 Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент	Лаборант
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней			
- выходные дни	52	52	52
- праздничные дни	14	14	14
Потери рабочего времени			
- отпуск	48	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251	251

Таблица 4.9 Расчёт основной заработной платы

Исполнители	k_T	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	1	26300	0,3	0,2	1,3	35532	1472	42	61824
Студент	1	9893	0,3	0,2	1,3	19291	799	75	59925

Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии.

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (4.10)$$

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

На 2017 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Таблица 4.10 – Отчисления во внебюджетные фонды.

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.
руководитель проекта	61824
Студент	59925
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3
Итого	36524,7 руб.

4.3.5 Накладные расходы

Сетевая потеря мощности (называемая потери линии), является потерей потребления электроэнергии и электросетевых предприятий от электростанций до выпускной метр клиента в процессе передачи электроэнергии и маркетинга только не генерируется. Коэффициент потерь линии является показателем уровня показателей потерь линии, которые отражают и планирование интегрированной системы питания и проектирование, производство и эксплуатацию и уровень управления электросетевых предприятия экономических и технические индикаторы.

В этих расходах нужно посчитать затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием. Для этого нужно узнать мощность, время использования оборудования и рассчитать затраты. Стоимость 1 кВт/час – составляет 5,8 руб.

Таблица 4.11 затраты на электроэнергию для оборудования

Виды установки	Время исп. (ч)	Мощность (кВт)	Основная плата, руб
Установка (Gas Reaction Controller)	360	0,4	835,2
Установка ТСГВ	150	0,4	600
Анализатором водорода <i>RHEN-602</i>	216	7,5	9396
Итого			10831,2 руб.

4.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Расчетная стоимость затрат на исследовательскую работу (тема) является основой для формирования бюджетного бюджета проекта, который при формировании контракта с клиентом защищается научной организацией как нижний предел затрат на разработку научных и технические продукты.

Изучаются выше пунктов, чтобы определить ход исследования, мы в конечном итоге расходы.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 4.12.

Таблица 4.12. Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Руководитель	Студент	
Материальные затраты НИИ	-	3100	Таблица 4.6
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	-	118904	Таблица 4.7
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	61824	59925	Таблица 4.9
Отчисления во внебюджетные фонды	18547,2	17977,5	Таблица 4.10
Накладные расходы		10831,2	Таблица 4.11
Бюджет затрат НИИ	291108,9		—

Вывод

Проведенный комплекс исследований позволяет выделить следующие основные результаты работы:

Результаты показывают, что для того, чтобы проводить эксперименты (т.е. выдержка в водородной атмосфере и измерение содержания водорода), нам нужно 291108,9 рублей инвестиций, из которых цена инструмента амортизируется в течение долгого времени по-прежнему очень дорого.

Эта работа имеет большое практическое значение, с помощью этого исследования, мы можем понять использование стоимости и спрос на рынке, с практической помощью для будущего развития.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Исследование влияния водорода на электропроводности тонкой пленки оксида алюминия на титане предполагает проведение работ на различных установках. Проводятся исследования десорбция водорода из системы $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}$ методом ТСГВ в зависимости от температуры; проводятся исследования содержания водорода в пленки оксида алюминий.

Основой работы является получение закономерностей проникновения водорода в титан через покрытие оксида алюминия. Таким образом, особенно важным при проведении данного исследования является исследование использование установки насыщении водорода в системе $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ti}$. Установка термостимулированные газы выделения и анализатор водорода *RHEN-602* определяет массовое содержание водорода в образцах. Расчёт параметров, построение диаграмм происходит с помощью ПЭВМ.

5.1 Техногенная безопасность

Питание всех установки осуществляется благодаря питания от сети переменного тока напряжением 220 В, экспериментальные исследования проводятся в газовой среде (водород). Также для осуществления экспериментов необходим нагрев установки до очень высоких температур.

При проведении работ на работников возможно воздействие следующих вредных факторов:

- Микроклимат;
- Превышение уровней шума;
- Вредные газы;

Опасных производственных факторов:

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

Электрическая энергия широко используется в жизни, производстве, обеспечивает электрический контакт с вероятностью значительно улучшилось, электрооборудование и приборы в проектировании, изготовлении, монтаже, эксплуатации во время использования, если нет безопасного использования знаний электричества, легко поражения электрическим током, пожары, взрывы и другие электрические аварии, а также влияет на производство, угрожающие жизни.

Основные вредные последствия:

- Электрический огонь нанес ущерб и потери;
- Человек, который пострадал поражение электрическим током может вызвать спазмы, боль, затруднение дыхания, нарушение артериального давления, кома, нерегулярные сердцебиения, тяжело приведет к смерти;
- На человеческом теле приведет к ожоге.

Пороговый неотпускающий ток составляет 50 Гц (6-16мА). Защита от воздействия электрического тока осуществляется путем проведения организационных, инженерно-технических и лечебной-профилактических мероприятий.

Во избежание получения термических ожогов из-за высокой температуры запрещается открывать крышку нагретой печи, дотрагиваться до камеры, в которую помещен исследуемый образец.

Из-за утечки газа из баллона возможно возгорание. Относится к горючему газу равномерно с воздухом (или кислородом) в диапазоне концентраций, смешанных с образованием предварительной смеси газа, столкнулся с источником зажигания взрывается, и газообразные продукты сгорания высвобождается в течение большого количества энергии. Необходимо перед

началом работы проверить целостность 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.

Вредные вещества при определенных условиях может привести к повреждению нормальной физиологии и метаболические функции человеческого организма, разрушают эффективность оборудования и товаров, а также самые основные факторы риска.

Так, например, на рабочем месте из-за присутствие токсичных веществ, вредные веществами, агрессивные вещества, вредная пыль, удушающие газы и т.д., когда они находятся прямо, косвенно, приводит в контакт с телом человека и объектом, может привести к смерти, профессиональные заболевания, травмы, повреждения или персонал ущерб окружающей среде, являются факторами риска.

При вредном воздействии ПЭВМ на организм человека происходит нагрузка на зрение, заболевание кожи лица, нервные и психические заболевания и т.д.. Для защиты от электромагнитных полей используются различные фильтры. Биологические эффекты электромагнитного излучения на современном понимании радиочастотного нагрева являются наиболее ясно, что эффект нагрева электромагнитной мощности излучения и частот, в частности, прочность скорости поглощения излучения доступно (SAR) для измерения, которое Вт/кг.

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 кондиционировании воздуха, искусственное освещение и т.п.

В таблице 5.1 . Представлены предельно допустимые значения напряжений при работе согласно ГОСТ 12.1.038-82

Таблица 5.1-Допустимые значения напряжений

Ток рода	U,В	I, мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

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. Соответствие общим эргономическим требованиям и требованию к безопасности;
- ГОСТ Р 50923-96. Рабочее место оператора. Соответствие эргономическим требованиям и требованию к производственной среде. Методы измерения.

Шумовое загрязнение механических характеристик источника звука можно разделить на: шумовые возмущения генерируемого газа, шум и электромагнитный шум электромагнитна твердый вибрационный шум, генерируемый от воздействия жидкости.

Частота звукового шума можно разделить на: <400Гц низкочастотного шума, частота шума 400 ~ 1000 Гц и >1000 Гц от высокочастотного шума.

Время Шума изменение свойства можно разделить на: стационарный шум, нестационарный шум, подвижный шум, импульсные помехи, а также интервал шума.

Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих места согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Таблица 5.2-параметры магнит-электронное поле.

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора	500 В	

Микроклимат:

- СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- Оптимальные параметры микроклимата помещений с ПЭВМ должны соответствовать СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, оптимальные параметры представлены в таблице 5.3. После окончания работы прибора рекомендуется производить проветривание помещения и влажную уборку.

Таблица 5.3 Оптимальные параметры микроклимата

Температура, °С	Относительная влажность, %	Абсолютная влажность, г/м ³	Скорость движения воздуха, м/с
19	62	10	Менее 0,1
20	58		
21	55		

По характеру спектра шум следует подразделять на [40]:

1. По временным характеристикам шум следует подразделять на:

Постоянный, уровень звука изменяющегося за 8-часовой рабочий день во времени не более чем на 5 дБ А при измерениях на временной характеристике “медленно” шумомера по ГОСТ 17187; А непостоянный более чем на 5 дБ А

2. Непостоянный шум следует подразделять на:

Колеблющийся во времени, уровень звука которого непрерывно изменяется во времени;

Прерывистый, уровень звука которого ступенчато изменяется (на 5 дБ *A* и более), причем длительность интервалов, в течение которых уровень остается постоянным, составляет 1 с и более;

Импульсный, состоящий из одного или нескольких звуковых сигналов, каждый длительностью менее 1 с, при этом уровни звука, измеренные в дБ *AI* и дБ *A* соответственно на временных характеристиках “импульс” и “медленно” шумомера по ГОСТ 17187, отличаются не менее чем на 7 дБ.

Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах с учетом напряженности и тяжести трудовой деятельности представлены в табл. 4.

Измерение уровня звука и уровней звукового давления проводится на расстоянии 50 см от поверхности оборудования и на высоте расположения источника(ков) звука

Шум:

СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

Таблица 5.4 Оптимальные параметры звука

Уровни звукового давления в октавных полосах со средне-геометрическими частотами									Уровни звука в дБА
31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	
86 дБ	71 дБ	61 дБ	54 дБ	49 дБ	45 дБ	42 дБ	40 дБ	38 дБ	50

5.2 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

Меры безопасности в целях обеспечения защиты жизни и имущества людей, поддержание общественного порядка и социальной стабильности, для

предотвращения несчастных случаев, таких как цель инициативы в области безопасности производства и действий.

Для обеспечения личной безопасности, электрооборудования в процессе эксплуатации, используются инструменты технического обслуживания. Изолированный и неизолированный делятся на два типа, известные как производство безопасности и охраны труда продукции.

Некоторые инструменты могут выдержать долгосрочную безопасность изоляции электрооборудования рабочее напряжение, непосредственный контакт с токоведущими частями, такими как изолирующий стержень, изолирующий зажимов, и портативного напряжения/тока электроскопа индикатора и тому подобное. Некоторая низкая диэлектрическая прочность самого инструмента защиты изоляции, не гарантирует безопасность, но при использовании в сочетании с бывшими работниками гарантии от напряжения прикосновения (см электрического шока) или опасного напряжения ступени, использовать его при работе на оборудовании низкого напряжения виды инструментов безопасности может обеспечить безопасность, такие как резиновые изолирующие перчатки, изолирующей прокладки, изолированные сапоги изолированных станций и так далее.

Неизолированный инструмент безопасности является безопасным инструментом не имеет изоляционные свойства. Оборудование предназначено для предотвращения внезапного вызова или рабочая мощность наведенного напряжения происходит, устройство зарядки, чтобы предотвратить случайное столкновение, предотвратить дуга горит и тому подобное. Переносная линия заземления, изоляционные панели, временная маскировка, карты безопасности и подобные очки.

Электрический изолирующий зажим дерева, изготовлены из бакелита или льняным маслом, пропитанной древесины. Для установки или снятия предохранителя высокого давления или делать другую подобную работу. Обычно используется только для напряжений 35 кВ и следующих этапов.

Утепленные перчатки и сапоги, изготовленные из специальной резины, и строгое испытание под давлением. Для удобства, полевое устройство подготовлено по меньшей мере, в больших количествах и изолируются перчатки и сапоги, каждую пару.

Изоляция колодка и изоляция со специальными станциями изолирующей прокладкой из резины, устройство распределения при укладке пола, оператор могут стоять на изолирующей мате и повесить изоляцию, и шаг напряжение для предотвращения контакта повреждений человеческого тела. Когда лежали на земле рядом с низковольтным, оператором, стоящий над операцией, без изолирующих перчаток и обуви. Тайвань прямой участок без изоляции полосок дерева делает с дерева, ножки столов, выполненных из изоляционного фарфора. Он может использоваться в помещении или на открытом воздухе, а не изолирующих прокладок или изолированные сапоги.

Для того, чтобы принять меры по защите климата, для предотвращения негативных последствий:

- внедрение современных технологий производства, в дополнение к воздействию на организм человека неблагоприятных погодных условий;
- ткани в соответствии с регулирующими требованиями (воздух, шторы и т.д.), механической вентиляции;
- компенсации неблагоприятных последствий изменений параметров;
- Защитная одежда и средства индивидуальной защиты и специальная организация использует динамические параметры (нагрев, охлаждение и т.д.), микро-климат;

Физическая работа база и механизм регулировки сиденья (для уменьшения рабочего времени, путем регулировки времени нагрева и тому подобное);

- Отопление защиты прав вентиляции;
- регулирование рабочего времени в воздухе, решить проблему температуры для борьбы с изменением климата на рабочем месте. Выше или ниже допустимого значения, когда безопасность.

Используйте защиту компьютера от неблагоприятных воздействий:

- При необходимости, рекомендуется ВДТ стресс (набор символов или в качестве входного сигнала и т.д.). Напряжение и тщательно избегать других видов работ, концентрацию ткани, чтобы разорвать операцию переключения, продолжая взаимодействовать с каждым 45-60 минут 10-15 минут.
- ВДТ работа без перерыва, она должна быть не больше одного часа.
- Рекомендуется заменить ПЭВМ, организацию, это не мешает преждевременной усталости пользователей ПЭВМ.

В случае возникновения у работающих с ПЭВМ зрительного дискомфорта, несмотря на соблюдение санитарно-гигиенических и эргономических требований, рекомендуется применять индивидуальный подход с ограничением времени работы с ПЭВМ. Во время регламентированных перерывов целесообразно выполнять комплекс упражнений, изложенный в Приложениях СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 других нормативных документах или рекомендованный врачом.

Перед начинания: вы должны носить защитную одежду, необходимые инструменты и оборудование для подготовки полностью готовы на рабочем столе. Вы должны также проверить внешние повреждения электрического оборудования, доступность и удобство обслуживания можно контролировать, и устройство измерения сигнала, компьютер, тумблер, переключатель и тому подобное. Если поиск неисправности не допускается ремонтировать их самостоятельно, должно быть сообщено ответственным лицом лаборатории. Настройка устройства и выполнять техническое обслуживание только сервисные инженеры.

Важно, чтобы работать в системе, в реакторе газ, чтобы проверить целостность цилиндра, что прочность крепления, отсутствие утечки газа. Клапаны и является ли нить нетронутыми. Редуктор датчик должен быть проверен и определен. Редуктор должен соответствовать газовому баллону.

Запрещено начинать работу, если устройство обнаруживает неисправность, если проверка истечения следующего бака, истек осмотр прибора, если работник не в предписанном обучения и проверки знаний по технике безопасности.

Во время работы, обработки контроллера установки реакционный газа должен быть свободны от пыли, паров воды, кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей вызывают коррозию чистые помещения. Он должен быть свободным инструментом вблизи открытого огня. Все работы выполняются в соответствии с инструкциями изготовителя строго. Во время контакта с открытой топочной камеры, в котором регулирующий колпачке помещенного запрещенные образцов. Необходимо следить за состоянием цилиндра, прикрепленное к манометру. При обнаружении опасной ситуации немедленно принять меры, чтобы отключить параметр. В ходе эксперимента, не выполняет гайку крепления коробки передач.

После окончания работы с установкой необходимо:

- Закреть 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 закрепление, отсутствие утечки газа.

Также необходимо проверить общее состояние помещения, убедится в отсутствии возможности возгорания.

5.3 Особенности законодательного регулирования проектных решений

До восемнадцати лет не тренировались систематическая безопасность и инструктаж людей не может работать на установке Gas Reactoin Controller независимо друг от друга инструментов на рабочем месте.

После прохождения профессиональной подготовки и тестирования, что работникам можно самостоятельно работать на электроустановке, проверять знания норма, с газовыми баллонами править безопасности работы, которые приобретут навыки и безопасные способы выполнения работы на приборе 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

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.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Газовый детектор должен быть закрыт реактором неправильной работы устройства, закройте, выключите компьютер, уведомляет приточную установку администратора и удаление из реактора газового насоса.

В случае утечки газа из баллона, немедленно прекратить подачу газа из баллона, и мониторинг сообщить о чрезвычайной ситуации.

В случае возникновения пожара необходимо немедленно прекратить работу, выключить газовый баллон, выключите электрооборудование, телефон 01010 или позвонить в отдел пожарной охраны, люди, ответственные за проблемы в докладе, и начал стрелять и противопожарную технологию.

5.4 Расчет искусственного освещения

Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение производственных помещений оказывает положительное воздействие на работающих, способствует повышению эффективности и безопасности труда, снижает утомление и травматизм, сохраняет высокую работоспособность.

Основной задачей светотехнических расчётов для искусственного освещения является определение требуемой мощности электрической осветительной установки для создания заданной освещённости.

Для производственных помещений всех назначений применяются системы общего (равномерного или локализованного) освещения и комбинированного (общего и местного) освещения. При учете особенностей процесса работ на установке Gas Reaction Controller (не требует освещения для работ высокой точности) допускается применение системы общего равномерно освещения.

Существует несколько стратегий, позволяющих свести к минимуму потребности в энергии для освещения здания:

- Спецификация требований к освещению для каждой данной области использования.
- Анализ качества освещения для обеспечения того, чтобы неблагоприятные компоненты освещения (например, блики или неправильный цветовой спектр) не смещали дизайн.
- Интеграция пространственного планирования и внутренней архитектуры (включая выбор внутренних поверхностей и геометрии помещения) к дизайну освещения.
- Дизайн времени суток, который не расходует лишнюю энергию.
- Выбор приборов и типов ламп, которые отражают наилучшие имеющиеся технологии энергосбережения.

- Подготовка строителей для использования осветительного оборудования наиболее эффективным образом.

- Обслуживание систем освещения для минимизации потерь энергии.

- Отбрасывание нагрузки может помочь уменьшить мощность, требуемую отдельными лицами, к основному источнику питания. Отбрасывание нагрузки может осуществляться на индивидуальном уровне, на уровне здания или даже на региональном уровне.

Для общего освещения применяются газоразрядные лампы: дневной (ЛД), холодно-белой (ЛХБ), тепло-белой (ЛТБ) и белой цветности (ЛБ).

Для освещения при работе с установкой Gas Reaction Controller используются светильники для ламп ЛХБ типа ОД (мощность 30 Вт).

Параметры размещения светильников в помещении:

Высота помещения: $H = 370$ см;

Расстояние светильников от перекрытия: $h_c = 30$ см;

Высота светильника над полом, высота подвеса:

$$h_n = H - h_c = 370 - 30 = 340 \text{ (см)} \quad (5.1)$$

Высота рабочей поверхности над полом: $h_{pp} = 80$ см;

Расчетная высота, высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = h_n - h_{pp} = 340 - 80 = 260 \text{ (см)} \quad (5.2)$$

Для двухламповых светильников ОД при одиночной установке или при непрерывных рядах из одиночных светильников в соответствии с требованиями наименьшая допустимая высота подвеса над полом составляет 3,5 м. Рассчитанная величина $h = 2,6$ м не соответствует требованиям.

Расстояние между соседними светильниками: $L = 3,6$ см;

Расстояние от крайних светильников до стены: $l = 1,2$ см.

Расстояние от крайних светильников до стены является оптимальным, так как рекомендуемая величина равна $L/3 = 3,6/3 = 1,2$ см.

Интегральный критерий оптимальности расположения светильников является величина $\lambda = L/h$. При наивыгоднейшем расположении светильников ОД величина λ должна составлять 1,4.

Оптимальное расстояние между светильниками L должно составлять:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,6 = 3,64 \text{ (м)} \quad (5.3)$$

что соответствует настоящему расположению светильников.

Расчет общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 25 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{4 \cdot 0,49} = 4209 \text{ Лм} \quad (5.4)$$

где:

Нормируемая минимальная освещенность (по СНиП 23-05-95): $E_n=200$ лк (разряд зрительной работы VI: очень малой точности);

Площадь освещаемого освещения: $S = 25 \text{ м}^2$;

Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, наличие в атмосфере дыма, пыли: $K_3 = 1,5$ (помещение с малым выделением пыли);

Коэффициент неравномерности освещения: $Z = 1,1$ (для люминесцентных ламп);

Число ламп в помещении: $N = 4$;

Коэффициент использования светового потока: $z = 49$;

Индекс помещения:

$$i = S/h(A+B) = 25/2,6 \cdot 10 = 0,96 \quad (5.5)$$

Коэффициент отражения стен (свежепобеленное состояние стен с окнами без штор): $c_c=50\%$;

Коэффициент отражения потолка (свежепобеленное состояние потолка): $c_n = 70 \%$;

В соответствии со значением рассчитанного светового потока $\Phi = 4209$ лм, ближайшей световой люминесцентной лампой является лампа типа ЛХБ с электрической мощностью осветительной системы 65 Вт.

Вывод

В ходе нашего эксперимента с большим количеством правил безопасности вы должны понимать необходимость соблюдения. В обеспечении завершения эксперимента, и быть более высокий уровень защиты своей жизни и имущества.

Эта статья из аспектов опасных веществ, шумового загрязнения, электробезопасности, радиационной опасности, а также другие вопросы, требующие внимания и решения, практические вопросы, изложенные в процессе эксперимента, мы должны знать.

Заключение

Проведенный комплекс исследований позволяет выделить следующие основные результаты работы:

Проведен литературный обзор по теме ВКР: показано, что важную роль при захвате водорода металлами играют дефекты и условия окружающей среды; указано, что большинство исследований по защитным свойствам пленки оксида алюминия от проникновения водорода были выполнены в водородной атмосфере низкого давления (кПа), хотя есть некоторые исследования и при более высоких давлениях (МПа). В литературе практически отсутствуют данные по влиянию водорода на свойства пленок.

На основании проведенной работы были выявлены следующие закономерности:

1. пленка препятствует проникновению водорода в титан, если время выдержки системы Al_2O_3/Ti в водородной атмосфере, не превышает 3 часов при давлении 1550 торр (2 атм) и температуре 400 °С, а после 4-х часов (при неизменных параметрах) наблюдается резкое увеличение содержания водорода;

2. с увеличением времени выдержки в водородной атмосфере коэффициент трения пленки Al_2O_3 возрастает;

3. с увеличением времени выдержки в водородной атмосфере то 1 до 3 часов адгезионные свойства пленки возрастают, а после 4-х часов подаются, что приводит к накоплению водорода.

4. с увеличением времени выдержки в водородной атмосфере поверхностная электропроводность пленки повышается, это различие объясняется, тем что при пропускании тока через оксидную пленку ионы в пленки перераспределяются и частично разрушается р-n-переход. При этом пленка оксида алюминия превращается в электронный полупроводник, содержащий большее или меньшее избыточное количество ионов алюминия. Воздействие на оксидную пленку водорода, связывающего кислород, приводит оксид алюминия в электронный полупроводник.

Список литературы

1. Тарасов Б.П., Лотоцкий М.В., Яртысь В.А.. Проблема хранения водорода и перспективы использования гидридов для аккумулялирования водорода. // Рос.хим. журн. 2006. Т. L. – № 6. – С. 34.
2. Nikitenkov N.N., Vilkhivskaya O.V., Nikitenkov A.N., Tyurin Yu.I., Sypchenko V.S., Shulepov I.A.. Interaction of Al₂O₃ thin films deposited on nanocrystalline titanium with hydrogen// Thin Solid Films. – 2015. – V. 591. – P. 169–173.
3. Свойства титана и его соединений [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <http://www.bestreferat.ru/referat-196802.html>, свободный. – Загл. с экрана.
4. Глинка. Н.Л. Титан и его свойства// Глинка. Н.Л. – Л.: Химия, 1981, – 720 с.;
5. Кузнецов Ю. А. Восстановление и упрочнение деталей машин и оборудования АПК микродуговым оксидированием: диссертация доктора технических наук: 2003. – Москва, 2006. – 401 с.: ил. РГБ ОД, 71 06-5/354.
6. Самарова И.Н., Водородное охрупчивание титана и его сплавов/ Москва. – 2010. - 8 с.
7. Балезин С.А., Ученые записи Моск. гос. пед. ин-та. 1957. №5. Т. 99. - с. 3-22
8. Колачев. Б.А., Ливанов. В.А., Елагин. В.И., Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов// Колачев. Б.А. - Л.: Химия, 1981, - 720 с.;
9. Самарова. И. Н., Скакова Т. Ю. Водородное охрупчивание титана и его сплавов: диссертация доктора технических наук Москва, 2010. – 300 с.
10. Степанова Е.Н., Грабовецкая Г.П., Мишин И.П., Сыпченко В.С., Мельникова Т.Н., Мазыкин А.А. Формирование ультрамелкозернистого состояния в сплаве Zr–1Nb методом, сочетающим обратимое легирование

водородом и горячую пластическую деформацию // Известия высших учебных заведений «Физика», 2014. – Т. 57. – № 11/2. – С. 140–145.

11. Чабак А.Ф. Создание аккумуляторов с высоким содержанием водорода и мобильной подачей его к топливным элементам // Междунар. научн. журн. Водородная энергетика и экология. 2006. №4(36). С.11–14.

12. Меркулова Г.А., *Металловедение и термическая обработка цветных сплавов*// Сибирский федеральный университет. - 2008. -182 с.

13. Гапонцев А.В., Кондратьев В.В., Диффузия водорода в неупорядоченных металлах и сплавах//Успехи физических наук Том 173.№10.

14. Roberts R.M., Elleman T.S, Ralmour I. H, Verghese K. Hydrogen permeability of sintered aluminum oxide. J. Am. Ceram. Soc. 1979. – V. 62. –p.

15. Forcey K.S., Ross D.K., Wu C.H. The formation of hydrogen permeation barriers on steels by aluminizing // J Nucl Mater, 1991. – V.182. – P. 36 – 51.

16. Perujo A., Forcey K.S., Sample T. Reduction of deuterium permeation through DIN 1.4914 stainless steel (MANET) by plasma-spray deposited aluminum. J Nucl Mater 1993. – V.207. – 86-91 с.

17. Legrand E., Bouhattate J., Feaugas X., Garmestani H., Computational analysis of geometrical factors affecting experimental data extracted from hydrogen permeation tests: II e Consequences of trapping and an oxide layer. – 2012. –37 с.

18. Serra E, Benamati G, Ogorodnikova OV. Hydrogen isotopes transport parameters in fusion reactor materials // J Nucl Mater, 1998. – V. 255. – P. 105 – 115

19. Serra E, Glasbrenner H, Perujo A. Hot-dip aluminium deposit as a permeation barrier for MANET steel // Fusion Eng Des., 1998. – V.41. – P. 149 – 155.

20. Ананьин П.С., Баинов Д.Д., Косицын Л.Г., Кривобоков В.П. , Легостаев В.Н., Юдаков С.В. Плазменная установка для нанесения покрытий на поверхность твердых тел «Яшма-2». // Приборы и техника эксперимента, – 2004. – №4. –С.137 – 141.

21. Никитенков Н.Н., Сыпченко В.С. Взаимодействие водорода с тонкой плёнкой Al_2O_3 на нанокристаллическом сплаве титане. // Специальность 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».
22. Черданцев Ю. П. Поведение систем металл-водород при радиационном воздействии: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук/ Томский политехнический университет; науч. конс. И. П. Чернов. — Томск, 2005. — 38 с.
23. Павлов Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов: Учебник для вузов. – М.: Высш. шк., чч – 1987. – 239 с.
24. Bony A. Study of nano-roughness for silica-on-silicon technology by Scanning Electron Microscopy and light scattering, Doctorate degree thesis, Université Louis Pasteur, – 2004.
25. Залогина А.С., Оптический спектрометр высокочастотного тлеющего разряда profile2 для послойного анализа твердых тел. // Перспективы развития фундаментальных наук, 2012. – С.110–112
26. Соловьев А.А., Устройства со скрещенными электрическим и магнитным полями для нанесения тонкопленочных покрытий на подложки большой площади// Томском Политехническом Университете – 2007 – 212 с.
27. Степанов И. Б. Оборудование и методы импульсно-периодической ионной и плазменной обработки материалов: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: спец. 01.04.20/ Томский политехнический университет (ТПУ); науч. конс. А. И. Рябчиков. — Томск, 2010. — 44 с.
28. Скретч-тестер Scratch Tester REVETEST (CSM Instruments) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ich.dvo.ru/~lnpp/revetest.htm> , свободный. – Загл. с экрана.
29. Адель Мохаммед Али Хашхаш. Исследование поведения водорода в нержавеющей стали при температурном и радиационном воздействии:

диссертация кандидата технических наук/ Томский политехнический университет (ТПУ); Томск, – 2010. – 127 с.

30. Лидер А. М. Динамика накопления водорода и дефектов в титане и нержавеющей стали при электролитическом насыщении водородом: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / А. М. Лидер; – Томск, 2002. – 18 с. : ил.

31. Ван Я. -. Исследование влияния параметров водородной плазмы на накопление водорода в титане. / Я. -. Ван; – Томск, – 2013, – 87 с.

32. Пушилина Н. С. Исследование модификации поверхности циркониевого сплава импульсным электронным пучком: диссертация / Пушилина Н. С.; – Томск, 2011. – 107 с.

33. Башкова И. А. Разработка многокомпонентных биоактивных наноструктурных покрытий на основе карбида титана для имплантатов / Башкова И. А.; – Москва, 2008. – 160 с.

34. Никитенков Н.Н., Хоружий В.Д., Хашхаш А.М., Чернов И.П., Тюрин Ю.И. Термостимулированная десорбция из образцов, насыщенных атомарным и молекулярным водородом // Труды XIX Междунар. конф. Взаимодействие ионов с поверхностью. ВИП-2009, Звенигород, 2009. М: 2009, Т.1. – С. 152– 154.

35. Nikitenkov N.N., Hashhash A.M., Shoulepov I.A., Khoruzhii V.D., Tyurin Yu.I., Chernov I.P., Kudryavtseva E. N. A Plant for Study Radiation and Thermal Desorption of Gases from Inorganic Materials // Instruments and Experimental Techniques, 2009. – V. 52. – № 6. –P. 865-870.

36. Башкова И. А. Разработка многокомпонентных биоактивных наноструктурных покрытий на основе карбида титана для имплантатов: дис. канд. техн. наук/ Башкова Ирина Александровна – М., 2008. - 160 с.: ил. – Библиогр: с. 121-133.

37. Новиков Г.Ф. Явления переноса, электропроводность в изэлектриках: Учебник для вузов. – 2000 г. – с. 125 –127.

38. Колобов Ю.Р., Валиев Р.З., Грабовецкая Г.П. и др. Зернограничная диффузия и свойства наноструктурных материалов. Новосибирск. Наука. – 2001. – 232 с.
39. Schlapbach L. Ed. Hydrogen in Intermetallic Compounds // Topics in Applied Physics. – Berlin: Springer-Verlag, 1992. – V. 67.–P. 197.
40. Ю Ц. -. Исследование накопления водорода в сплаве никелида титана при электролитическом наводороживании: дипломный проект / Ц. -. Ю; – Томск, –2016, – 89 с.