

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Школа – Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки – Физика конденсированного состояния

Отделение школы (НОЦ) – Отделение экспериментальной физики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Газофазное наводораживание титанового сплава ВТ1-0 с покрытиями никеля

УДК 539.216.2:669.295.5:66.081

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ81	Лю Цзиньфэй		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ	Кудияров В.Н.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кащук И. В.	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сечин А.А.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель отделения ЭФ	Лидер А.М	Д.Т.Н., профессор		

Томск – 2020 г.

Планируемые результаты освоения

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки (специальности)		
P1	Понимает необходимость самостоятельного обучения и повышения квалификации в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС ВО (ОПК-1,ОПК-4), СУОС ТПУ (УК-5,УК- 6), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Способен эффективно работать самостоятельно в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, быть лидером в команде, консультировать по вопросам проектирования научных исследований, а также быть готовым к педагогической деятельности.	Требования ФГОС ВО (ОПК-1, ОПК-2,ОПК-7, ПК-1, ПК- 6), СУОС ТПУ (УК -3), <i>CDIO Syllabus</i> (4.7), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> ,
P3	Способен находить зарубежных и отечественных партнеров, владеет иностранным языком, позволяющим работать с зарубежными партнерами с учетом культурных, языковых и социально-экономических условий.	Требования ФГОС ВО (ОПК- 1, ОПК- 2 ,ОПК-7), СУОС ТПУ (УК-3,УК- 4, УК- 5), <i>CDIO Syllabus</i> (2.4, 3.3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> ,
P4	Проявляет понимание используемых методов, области их применения, вопросов безопасности и здравоохранения, юридических аспектов, ответственности за профессиональную деятельность и ее влияния на окружающую среду.	Требования ФГОС ВО (ОПК-1, ОПК -2), СУОС ТПУ (УК-5,УК- 6), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Способен обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию,	Требования ФГОС ВО

	передовой отечественный и зарубежный опыт в профессиональной деятельности, осуществлять презентацию научной деятельности.	(ОПК- 5, ОПК- 6 , ПК-1, ПК-2, ПК-4, ПК-5, ПК-7), СУОС ТПУ (УК- 4, УК- 5, УК- 6), <i>CDIO Syllabus</i> (2.1, 2.3, 2.4), Критерий 5 АИОР (п. 4.1, 2.2., 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Способен планировать проведение аналитических имитационных исследований по профессиональной деятельности с применением современных достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области научных исследований, умеет критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делает выводы, знает правовые основы в области интеллектуальной собственности.	Требования ФГОС ВО (ОПК-7,ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-7), СУОС ТПУ (УК- 2, УК- 6), <i>CDIO Syllabus</i> (2.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Способен применять полученные знания для решения нечетко определенных задач, в нестандартных ситуациях, использует творческий подход для разработки новых оригинальных идей и методов исследования в области физики металлов, материаловедения и термообработки.	Требования ФГОС ВО (ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-2, ПК-5), СУОС ТПУ (УК- 1, УК- 4), <i>CDIO Syllabus</i> (2.1, 2.2, 2.3, 2.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Способен планировать и проводить фундаментальные исследования в проектах в области ядерно-физических исследований, взаимодействия излучения с веществом, а также модернизация современных и создание методов изучения механических, электрических, магнитных, тепловых свойств твердых тел и критически оценивать полученные результаты	Требования ФГОС ВО (ОПК-3,ОПК- 5, ОПК- 6,ОПК- 7, ПК-2, ПК-3), СУОС ТПУ (УК- 1, УК- 2), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.1., 1.2, 1.4, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Школа – Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки – Физика конденсированного состояния
Отделение школы (НОЦ) – Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Лидер А.М.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ81	Лю Цзиньфэй

Тема работы:

Газофазное наводороживание титанового сплава VT1-0 с покрытиями никеля

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический

Образцы титанового сплава VT1-0

анализ и т. д.).	
------------------	--

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

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Сечин А.А.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук И.В.
Иностранный язык	Диденко А. В.

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ	Кудияров Виктор Николаевич	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ81	Лю Цзиньфэй		

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ81	Лю Цзиньфэй

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

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	<i>Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ</i>
<i>2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	<i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования</i>
<i>3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости НИ</i>
<i>4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	<i>Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.</i>

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИП
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта

- | |
|---|
| 4. Бюджет НИ |
| 5. Основные показатели эффективности НИ |

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	к.т.н доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ81	Лю Цзиньфэй		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ81	Лю Цзиньфэй

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

Тема ВКР:

Газофазное наводораживание титанового сплава VT1-0 с покрытиями никеля	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования – титановые сплавы VT1-0 после обработки водородом.</p> <p>Рабочая зона – 3 корпуса отделения экспериментальной физики Томского политехнического университета.</p> <p>Область применения – 3D печать.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. 2. ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. 3. ГОСТ 12.1.005-88 (с изм. №1 от 2000 г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01. 01. 89). 4. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. 5. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. 6. ГОСТ 12.1.019-79. ССБТ.

	<p>Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.</p> <p>7. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.</p> <p>8. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.</p> <p>9. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования (01. 07. 92).</p>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>1. Анализ выявленных вредных факторов:</p> <p>а) приводятся данные по оптимальным и допустимым значениям микроклимата на рабочем месте, перечисляются методы обеспечения этих значений</p> <p>б) приводятся данные по допустимым значениям шума на рабочем месте</p> <p>в) приводится расчет освещенности на рабочем месте;</p> <p>г) приводятся данные по реальным значениям электромагнитных полей на рабочем месте;</p> <p>2. Анализ выявленных опасных факторов:</p> <p>а) электробезопасность (в т.ч. статическое молниезащита-источники-средства защиты);</p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Организация безотходного производства (приводится перечень отходов при эксплуатации установки, перечисляются методы улавливания, переработки, хранения и утилизации образовавшихся на вашем производстве промышленных отходов).</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Приводятся возможные ЧС: пожар;</p> <p>разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</p> <p>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сечин А.А.	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ81	Лю Цзиньфэй		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 117 страниц, 26 рисунков, 26 таблицы, 27 литературных источников, 1 приложений.

Ключевые слова: Титановый сплав, взаимодействие водорода с титаном, наводороживание, металлическая пленка.

Объектом исследований являлись титановые сплавы ВТ1-0. С помощью Gas Reaction Controller LP, мы можем определить количество водорода, содержаемый сплавами. Из полученных значений сравнивается влияния воздействия водорода на титановый сплав.

Целью работы является исследовать влияния никелевого покрытия и режимов газофазного наводороживания на взаимодействие водорода с титановым сплавом ВТ1-0.

В первой главе представлен теоретический обзор описания взаимодействие водорода с титаном. Далее представлен принцип поглощения и десорбции титана.

Во второй главе описаны принцип работы автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller и физическое осаждение из пара и ионная очистка поверхности и нанесение слоя никеля на установке Радуга-Спектр.

В третьей главе описаны устройство для сжатого газообразного водорода

В третьей главе описаны исследование влияния толщины никелевого покрытия и параметров газофазного наводороживания на скорость сорбции водорода титановым сплавом VT1-0.

Область применения: результаты работы могут помочь нам использовать металлическое покрытие для улучшения процесса гидрирования титанового сплава VT1-0.

Оглавление

Введение	16
Глава 1 Теоретическая часть	21
1.1 Обзор принципа поглощения и десорбции водорода из металла-накопителя водорода и его термодинамических свойств.....	21
1.2 Принцип поглощения и десорбции титана	27
1.3 Связь между структурой и температурой соединения водорода с титаном	29
1.4 Распределение водорода в титане	31
1.5 Потребление энергии при поглощении водорода и выделении водорода	32
1.6 Кинетическая модель поглощения водорода тонкопленочных материалов	34
Глава 2 Материалы и методы исследования.....	36
2.1 Материал исследования	36
2.2 Автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller	36
2.3 Физическое осаждение из пара , PVD.....	40
2.4 Ионная очистка поверхности и нанесение слоя никеля на установке Радуга-Спектр	42
Глава 3 Устройство для сжатого газообразного водорода.....	44
3.1 Устройство для хранения сжатого газообразного водорода.....	44
3.2 Аккумулятор для хранения водорода в связанном состоянии и картридж для аккумулятора.....	46
ГЛАВА 4. Влияния толщины никелевого покрытия и параметров газофазного наводороживания на скорость сорбции водорода титановым сплавом марки ВТ1-0	48
4.1 Характеристика никелевого покрытия и оценка равномерности его толщины неразрушающими дифракционными методами	48
4.2. Влияние толщин никелевого покрытия на скорость сорбции водорода технически	

чистым титановым сплавом марки ВТ1-0	52
4.3. Влияние параметров газозащитного наводороживания на скорость сорбции водорода технически чистым титановым сплавом с никелевым покрытием	56
Заключение	59
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	61
5.1 SWOT-анализ	61
5.2 Планирование научно-исследовательских работ	65
5.2.1 Структура научно-исследовательских работ	65
5.2.2 Разработка графика научного исследования	66
5.2.3 Бюджет научно-технического исследования	70
5.3 Определение сравнительной эффективности исследования.....	76
6. Социальная ответственность при исследовании влияния никелевого покрытия и режимов газозащитного наводороживания на взаимодействие водорода с титановым сплавом ВТ1-0	79
6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности....	79
6.2 Производственная безопасность.....	80
6.2.1 Анализ вредных факторов производственной среды	82
6.2.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по снижению воздействия.....	93
6.3. Экологическая безопасность.....	95
6.3.1 Факторы электрической природы	97
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	98
Заключение социальной ответственности.....	101
Литературный обзор	103

Приложение	106
------------------	-----

Введение

В последние годы, в связи с быстрым развитием экономики и общества, быстрое истощение ископаемых источников энергии, таких как уголь, нефть и природный газ, заставило людей постепенно осознавать серьезность «энергетического кризиса». В то же время загрязнение окружающей среды, вызванное сжиганием этого ископаемого топлива, также серьезно повлияло на жизнедеятельность людей. В связи с этим многие страны уже начали исследования и разработки новых источников энергии. Водород является одним из самых распространенных элементов во вселенной. Его теплота сгорания высокая, а продукты сгорания не загрязняют окружающую среду [1]. Поэтому водородная энергия в будущем обществе. Очень вероятно, что он станет основным вторичным источником энергии на мировой энергетической арене. Однако водород имеет две технические проблемы, которые трудно решить по сравнению с обычными источниками энергии: 1. Трудно получить, 2. Трудно хранить [2].

Традиционные методы хранения водорода являются физическими методами. Существует два основных типа: баллоны высокого давления (водородные баллоны) для хранения водорода и хранения жидкого водорода. Однако эти методы имеют много неблагоприятных факторов. Качество водорода в стальных баллонах высокого давления составляет менее 1% от качества самого баллона, оно небезопасно и имеет опасность взрыва [3].

Резервуар для хранения жидкого водорода очень большой и должен быть изолирован с помощью превосходных изоляционных устройств. Для предотвращения кипения и кипения жидкого водорода. Стоимость хранения водорода этими методами очень велика, и она не может удовлетворить практическую целесообразность использования водорода в качестве источника энергии. С 1970-х годов постепенно развивался новый тип развития.

Метод хранения водорода использует сплавы хранения водорода (для образования гидридов металлов) для хранения водорода. Сплав для хранения водорода обладает высокой способностью к накоплению водорода. Плотность накопления водорода на единицу объема в 100 раз превышает плотность газообразного водорода при тех же условиях температуры и давления, что эквивалентно газообразному водороду высокого давления, хранящемуся при 100 атмосфер.

Атомы водорода, обладая уникально малыми массой и размерами, способны эффективно накапливаться в кристаллической решетке металлов. Таким образом, в некоторых гидридах металлов плотность упаковки атомов водорода может превышать плотность жидкого водорода. В связи с этим металлические гидриды часто рассматриваются как материалы хранения водорода. В настоящее время металлические пленочные покрытия представляют большой интерес для исследований в качестве аккумуляторов водорода для одноразового (аккумулятор) или многоразового (аккумулятор)

действия. Важными требованиями к материалам для хранения водорода являются высокая водородная емкость, хорошая циклическая стабильность, низкая температура и давление для гидрирования и дегидрирования. В то же время в настоящее время нет однозначного понимания приоритетных механизмов накопления водорода в металлических пленках. Возможными механизмами связывания водорода в металлических пленках являются гидриды, псевдогидриды, межзеренное связывание, адсорбция в порах.

Поэтому определение особенностей накопления и распределения водорода в металлических покрытиях в зависимости от условий осаждения и поглощения водорода представляет как практический, так и научный интерес.

Цель работы: Исследование влияния никелевого покрытия и режимов газофазного наводороживания на взаимодействие водорода с титановым сплавом ВТ1-0.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Отработать методику нанесения тонких слоев никеля на поверхность технически чистого титанового сплава марки ВТ1-0 методом магнетронного распыления.
2. Оценить влияние толщины никелевого покрытия на скорость сорбции водорода технически чистым титановым сплавом марки ВТ1-0.
3. Установить зависимость параметров газофазного наводороживания (температура, давление) от скорости поглощения водорода титановым сплавом

марки ВТ1-0.

4. Определить изменение микротвердости технически чистого титана в зависимости от толщины никелевого покрытия.

Методология и методы исследования:

Формирование слоя никеля на поверхности образцов осуществлялась на установке «Радуга Спектр» Томского политехнического университета. Очистка поверхности проводилась непосредственно в камере установки перед напылением покрытия, ионным пучком аргона, при параметрах, представленных в таблице 1.

Таблица 1. Параметры ионной очистки поверхности

Газ	Напряжение, В	Мощность, Вт	Сила тока, А	Давление, Па	Время, мин
Аргон	1800-2000	650	0,3	0.06	3

Нанесение никеля осуществлялось методом магнетронного распыления в режиме, представленном в таблице 2. Время распыления варьировалось для формирования слоев никеля различной толщины. В качестве мишени использовался никель марки Н0, степень чистоты 99,99%. Никель является магнитным материалом, поэтому для его распыления мишень изготавливалась толщиной не более 2 мм.

Таблица 2. Параметры магнетронного распыления никеля

Напряжени е, В	Мощность, кВт	Сила тока, А	Давление, Па	Время, мин
-------------------	------------------	-----------------	-----------------	------------

510-520	2,05	3,5	$1,2 \cdot 10^{-1}$	$10 \div 50$
---------	------	-----	---------------------	--------------

Анализ толщины покрытия проводился методом рентгеновской дифрактометрии на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-7000S (Japan). Оценка толщины никелевых покрытий производилась за счет изменения глубины проникновения рентгеновского излучения. Глубина проникновения рентгеновских лучей варьировалась изменением угла падения пучка при ассиметричном сканировании.

Положения, выносимые на защиту

1. Ионная очистка и нанесение никелевого покрытия толщиной 0,56 мкм на титановый сплав марки ВТ1-0 приводит к повышению скорости сорбции водорода на один порядок при газофазном наводороживании при постоянном давлении 2 атм. и температуре 500 °С. Газофазное наводороживание приводит к гидридному диспергированию сплава; полученный порошок характеризуется иррегулярной структурой и размером фракции 2-20 мкм.

2. Увеличение толщины никелевого покрытия с 0,56 мкм до 2,78 мкм приводит к снижению скорости сорбции водорода технически чистым титаном более чем в 5 раз при газофазном наводороживании при постоянном давлении 2 атм. и температуре 500 °С

Глава 1 Теоретическая часть

1.1 Обзор принципа поглощения и десорбции водорода из металла-накопителя водорода и его термодинамических свойств

Водородные сплавы обладают определенными свойствами хранения водорода, поскольку они имеют два основных условия в кристаллической структуре и связывании: (1) Радиус пустот в кристалле должен быть больше 0,046 нм. (2) Водород и металл должны быть ковалентно связаны, и если это ионная связь, дегидрогенизировать нелегко.

Водород реагирует с любым металлическим элементом с образованием гидроксида металла или соединения водорода, но только те, которые могут абсорбировать водород при температуре, которая не слишком высокая, не слишком высокая, а также при низкой температуре, большое количество. Эти металлы или сплавы, которые выделяют водород, вероятно, будут использоваться в качестве материалов для хранения водорода. Есть два случая, когда эти металлы реагируют с водородом: один легко реагирует с водородом, поглощает большое количество водорода и в то же время может выделять большое количество водорода, образовывая стабильный гидрид с водородом и экзотермический после реакции. Этот тип металла в основном представляет собой элемент группы IA-V B. Например, Ti, V и другие металлы. Другой металл имеет относительно низкое сродство к водороду, но как только водород входит в него, он легко протекает через него, и растворимость водорода в

кристалле мала, что затрудняет образование гидрида металла. Эти металлы являются главным образом переходными металлами VIA-VIIIВ, такими как Fe, Co, Ni, Al и тому подобное. Реакция экзотермична. Обычно принято называть первый тип экзотермических металлов, которые являются сильными связями с водородообразующими гидридами, поэтому такие элементы называются стабилизирующими факторами. Второй металл называют эндотермическим металлом, а химическая связь водорода с гидридом является слабой связью, и поэтому эти элементы называются неустойчивыми факторами [4].

Для получения сплава для хранения водорода он часто используется в комбинации: не экзотермический металл является основным телом, определяющим водородную емкость сплава, а добавление эндотермического металла может увеличить поглощение и десорбцию водорода. Количество раз больше, чем у чистого экзотермического металла, и оно может регулировать тепловыделение и давление разложения. В результате этих двух комбинаций сплавы для хранения водорода последних исследований являются результатом. Благодаря такому сочетанию могут быть получены различные сплавы для хранения водорода.

Водород в основном присутствует в виде атомов в металле, а часть водорода также несет отрицательный заряд. В металлической решетке существуют преимущественно два вида пространств для размещения водорода: 6 скоординированных октаэдрических щелей, 4 скоординированных

тетраэдрических щелей, когда водород поглощается, независимо от того, занимает ли атом водорода октаэдрический зазор или тетраэдрический зазор зависит от структуры металла:

(1) Если сплав представляет собой гранцентрированную кубическую решетку (FCC), атомный радиус металла мал, например Ni, Cr, Mn и Pd, а водород входит в октаэдрическую щель кристалла;

(2) Если сплав представляет собой объемноцентрированную кубическую решетку (BCC), такую как V, Nb, Tb и т. Д. Водород входит в тетраэдрический зазор кристалла;

(3) Если сплав представляет собой плотно упакованную гексагональную решетку (HCP), атомный радиус металла большой, такой как Zr, Sc, Y, редкоземельный металл и водород, в основном попадает в тетраэдрический зазор кристалла.

Водород занимает кристаллический щель по принципу несовместимости заполнения. То есть атом водорода не может одновременно занимать два копланарных тетраэдрических или октаэдрических щели. После того, как водород входит в щель металлической решетки, структура решетки исходного сплава не изменяется, но из-за ее заполнения произойдет разложение решетки, а конкретные коэффициенты разложения будут разными, что связано с атомным размером каждого металла и решетчатой структуры. Процесс поглощения водорода металла можно разделить на следующие четыре этапа:

(1) Поверхность металла адсорбирует водород, а молекулы водорода разлагаются на два атома водорода под действием катализатора;

(2) Адсорбированные атомы водорода начинают диффундировать внутрь металла. По мере увеличения содержания водорода внутри металла водород образует твердый раствор водорода в металле, обычно называемый α -фазой:

(3) Водород, непрерывно вытекающий извне, реагирует с твердым раствором металла водорода с образованием гидрида, то есть фазы β ;

(4) Водород далее диффундирует в гидридный слой.

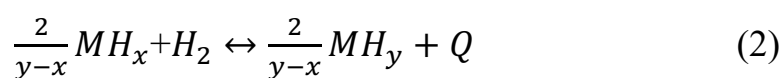
Соответственно, процесс выделения водорода является обратным процессом поглощения водорода.

Физические операции, связанные с процессом поглощения водорода металла:

Твердый раствор MH_x , растворимость в водороде $[H_m]$. Зависит от отношения фазового равновесия между металлом и водородом, его растворимостью и солидностью. Квадратный корень равновесного давления водорода раствора пропорционален:

$$P_{H_2}^{1/2} \propto [H_m] \quad (1)$$

При определенной температуре и давлении фаза твердого раствора насыщается и начинает взаимодействовать с вновь вдыхаемыми атомами водорода с образованием гидрида металла.



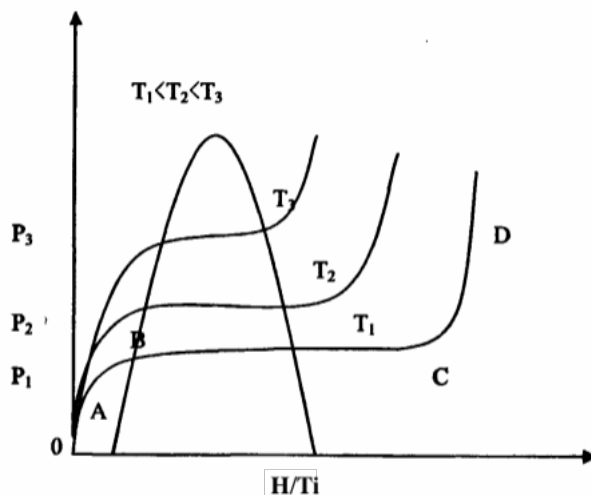


Рисунок 1 - Равновесное давление и состав водорода в Ti постоянны, когда температура постоянна

В формуле 2 MH представляет собой гидрид металла, а Q представляет собой теплоту образования. Эта реакция является обратимой реакцией, и условия температуры и давления могут быть изменены, чтобы чередовать реакцию в положительном и отрицательном направлениях. Согласно фазе Гиббса, если температура будет постоянной, реакция формулы 9 будет проводиться при определенном давлении, которое является равновесным давлением реакции. Изменение фазы происходит, когда образуется гидрид, то есть фазовые переходы от фазы α к фазе β . Когда давление сбалансировано, две фазы сосуществуют.

Из рисунка 1 видно, что чем выше температура, тем выше давление, при котором достигается насыщение водорода, и чем выше содержание водорода при насыщении.

1.2 Принцип поглощения и десорбции титана

Титан находится в семействе IV четвертого цикла периодической таблицы с атомным номером 22 и представляет собой плотно упакованную гексагональную структуру (HCP) при нормальной температуре [5]. Чистый титан является традиционным материалом для хранения водорода с плотностью поглощения водорода $9.22 \times 10^{22} / \text{см}^3$ атом водорода более чем в два раза плотнее, чем жидкий водород [6]. Он играет важную роль в изотопной технике водорода. Титан и титановые сплавы обычно используются в качестве материалов для хранения водорода (и его изотопов).

Титан также растворяет небольшое количество водорода при нормальной температуре и давлении. В эксперименте процесс поглощения водорода титаном представляет собой процесс объединения титана и водорода путем повышения давления и температуры поглощения водорода: адсорбция водорода на поверхности титана, молекулы водорода Разложенные на два атома водорода, адсорбированные атомы водорода начинают диффундировать во внутреннюю часть металла. По мере увеличения содержания водорода в титане водород образует твердый раствор водорода в титане, в то же время непрерывно вытекающий из него водород реагирует с твердым раствором водорода титана с образованием гидрирования. Вещество $x\text{H} + \text{Ti} \rightarrow \text{TiH}_x$. ($x = 0.1-1.9$, где обычными гидридами являются TiH и TiH_2), и водород дополнительно диффундирует в гидридный слой. Процесс выделения водорода

противоположен.

1.3 Связь между структурой и температурой соединения водорода с титаном

В процессе поглощения водорода происходят некоторые изменения фазы.

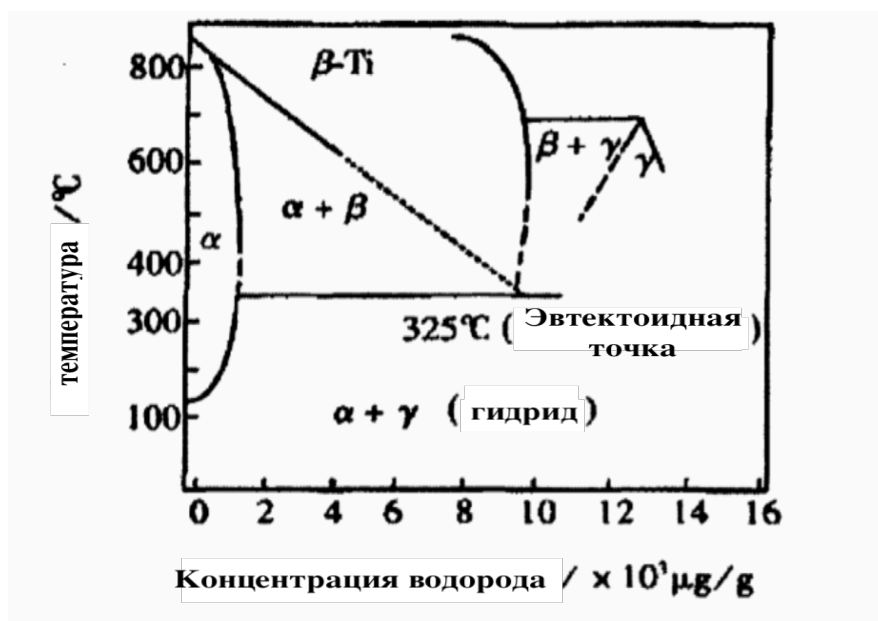


Рисунок 2 - Фазовая диаграмма системы титан-водород

На фигуре фаза α представляет собой гексагональную плотноупакованную НСР, фаза β представляет собой кубическую структуру ВСС с объемноцентрированной структурой, а фаза γ представляет собой гранецентрированную кубическую структуру FCC. Из рисунка видно, что концентрация водорода в начале поглощения водорода мала, а структура в это время является структурой НСР; по мере увеличения температуры, но температура еще меньше 325°C, две фазы сосуществуют; Когда он превышает 325°C, появляются три фазы. Исследования показали, что при $0,1 < x = \text{H} / \text{Ti} < 1,9$ наблюдается метастабильность, относящаяся к тетрагональной структуре с центром в центре. Когда значение X невелико, образуется смешанная фаза γ и

α . Когда значение x велико, оно формируется. Смешанная фаза γ и β , когда x больше 1,9, β фазы полностью заменяет α фазу. Для общего твердого раствора H / Ti имеет тенденцию быть слишком большим, поэтому водород часто растворяется в титане в β фазы и γ фазы [7].

1.4 Распределение водорода в титане

Атомный радиус водорода составляет всего 0,046 нм, а атомный размер меньше размера позиции зазора любого металла, поэтому он растворяется в металле в позиции зазора. Когда водород используется в качестве атома зазора в максимальном положении зазора кристаллической решетки, он потребляет наименьшую энергию и наиболее выгоден для растворения [8].

Следовательно, он находится в положении октаэдрического зазора в плотноупакованном гексагональном (HCP) металле [9]. Этот вывод верен для чистых металлов при более низких концентрациях водорода. Поэтому при низких температурах водород находится в положении октаэдрической щели, когда растворимость очень мала. В то же время водород может образовывать определенную химическую связь с атомами титана, и образование этих химических связей приведет к снижению энергии системы [10]. Таким образом, занимает ли водород положение октаэдрической щели или тетраэдрической щели, является результатом конкуренции между энергией искажения и энергией химической связи.

1.5 Потребление энергии при поглощении водорода и выделении водорода

Ни поглощение водорода, ни выделение водорода не происходит немедленно и быстро. Оба имеют определенный буферный период. В течение буферного периода поглощение и десорбция водорода очень медленные. Как только этот буферный период превышен, скорость начинает увеличиваться. Буферный период для высвобождения водорода немного дольше, чем время поглощения водорода [11].

Для процесса абсорбции водорода существует буферный период, потому что необходимо подать энергию на водород, чтобы разложить на два атома водорода, превратившись в гидрид с выходом титана. Когда часть водорода разлагается на водород с образованием гидрида, энергия выделяется во время образования гидрида. В это время выделяемая энергия больше, чем энергия, необходимая для разложения водорода, поэтому больше водорода разлагается в реакции. Следовательно, скорость поглощения водорода будет увеличиваться по истечении буферного периода. Однако на самом деле разложение водорода должно действовать на поверхность металла. Когда реакция поверхности металла с водородом насыщена, скорость реакции будет оставаться стабильной. Когда скорость поглощения водорода и выделения водорода сбалансирована, количество водорода, хранящегося в металле, насыщается.

Для процесса выделения водорода буферный период присутствует, потому что водород в гидриде требует энергии, чтобы быть преобразованным в

водород.

Энергии активации поглощения и десорбции водорода составляют 78,6 кДж/моль и 105,6 кДж/моль соответственно. В то же время оксидный слой на поверхности металлического образца также влияет на скорость реакции [12].

1.6 Кинетическая модель поглощения водорода тонкопленочных материалов

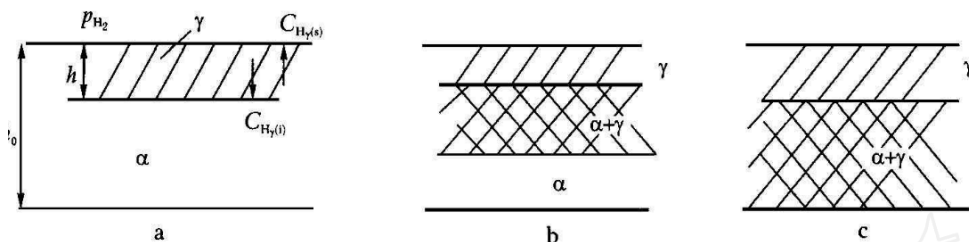


Рисунок 3 - Кинетическая модель тонкопленочного поглощения водорода

Кинетическая модель тонкопленочного поглощения водорода показана ниже. Молекулы водорода сначала диссоциируют на поверхности пленки, хемосорбируются, а затем переносятся с поверхности пленки на подложку. Тогда водород будет постепенно разлагаться на пленке и станет α -Н (атом водорода). α -Н-атом водорода существует на поверхности пленки в виде твердого раствора. При непрерывном разложении водорода на поверхности пленки будет образовываться градиент концентрации атомов водорода. После насыщения атома водорода он будет двигаться вдоль границы раздела между газовой фазой и твердой фазой, и ожидается, что он будет перемещаться внутри подложки с образованием гидрида --- γ -Н. По сложности и скорости образования гидридов его можно разделить на три типа:

- (1) Формирование γ -Н происходит быстро и легко. В этом случае γ -Н непрерывно выращивают в слоях вдоль поверхности пленки до подложки. Площадь, где сосуществуют две фазы, равна 0 (а).
- (2) Образование γ -Н сложно и медленно, но γ -Н растет быстро.

(3) Образование и рост γ -Н происходят медленно, поэтому γ -Н будет распределяться по всей пленке.

Глава 2 Материалы и методы исследования

2.1 Материал исследования

Для исследований были подготовлены образцы размерами $20 \times 20 \times 1$ мм. Образцы вырезались из листа технически чистого титанового сплава (таблица 3) в состоянии поставки методом электроискровой резки. Поверхность образцов была механически отшлифована и отполирована до средней шероховатости $Ra=0.05$ мкм для удаления поверхностной окисной пленки. Для удаления дефектов и снятия поверхностных напряжений образцы подвергались отжигу в вакуумной печи при температуре 750 °С в течение 60 минут.

Таблица 3. Химический состав титанового сплава (в %)

Fe	C	Si	N	Ti	O	H	Примесей
0,18	0,07	0,1	0,04	98,6-99,7	0,18	0,12	0,3

2.2 Автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller

Автоматизированный комплекс GRC предназначен для определения количества сорбированного газа различными твердыми веществами в разных диапазонах температуры и давления. Принцип работы GRC можно понять из рисунка [13].

На рисунке 4 показан принцип работы автоматизированного комплекса GRC.

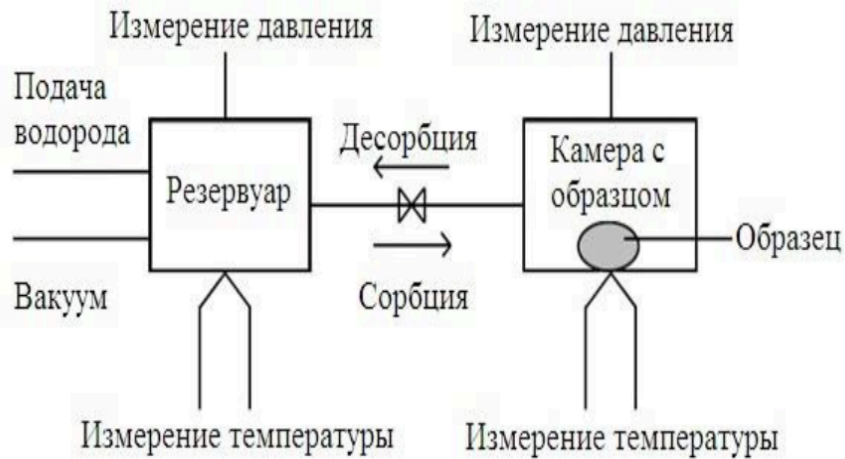


Рисунок 4 – Принцип работы автоматизированного комплекса GRC

Мы можем видеть на схеме, что принцип работы автоматизированного комплекса GRC.

Во-первых, мы должны знать значение некоторых символов:

молярный объем водорода подается в резервуар- N_0 ;

молярный объем водорода в камере с образцом и в резервуаре равен N_g ;

молярный объем водорода, поглощаемого твердым веществом (N_s);

твердое вещество уже содержит некоторый известный молярный объем водорода $-N_{s0}$;

Мы можем использовать формулу (3) для вычисления N_s .

Если твердое вещество уже содержит некоторое количество водорода, мы можем использовать формулу (4) для вычисления N_s . Мы можем использовать формулу (5) для вычисления количества водорода в реакционной камере. Таким образом, мы можем рассчитать молекулярную массу газа при любой температуре и давлении с помощью уравнения 7.

Количество абсорбированного водорода определяется как по абсолютной величине (см³), так и по относительной (мас.%). Абсолютное значение количества поглощенного водорода определяется как молярный объем водорода, поглощаемого твердым веществом (рассчитанный по формуле 3 или 4), умноженный на 22413,6. Относительная величина количества, поглощенного массовым процентом (мас.), Определяется по формуле 8. Если мы уже знаем, что относительная молекулярная масса образца вычисляется с использованием уравнения 9.

$$N_S = N_O - N_g \quad (3)$$

$$N_S = N_{s0} + N_O - N_g \quad (4)$$

$$\frac{pv}{RT} = 1 + \frac{B(T)}{V} + \frac{C(T)}{V} + \frac{D(T)}{V} \quad (5)$$

$$B(T) = B_0 - \frac{A_0}{RT} - \frac{c}{T^3}; C(T) = -B_0 b + \frac{A_0 a}{RT} - \frac{B_0 c}{T^3}; D(T) = \frac{B_0 b c}{T^3}; \quad (6)$$

Для водорода значения констант: $A_0 = 0,1975$, $a = -0,00506$, $B_0 = 0,02096$, $b = -0,04359$, $c = 504$.

$$n = \frac{pv}{RT} \left\{ 1 + \frac{B(T)n}{V} + C(T) \left(\frac{n}{V} \right)^2 + D(T) \left(\frac{n}{V} \right)^3 \right\} \quad (7)$$

$$WT = \frac{N_S * M_G}{(m * 100)} \quad (8)$$

$$x = \frac{2 N_s}{(n/M)} = \frac{2M}{M_G} * WT = WT \frac{MWT}{100.79} \quad (9)$$

На рисунке 5 приведена схема автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller.

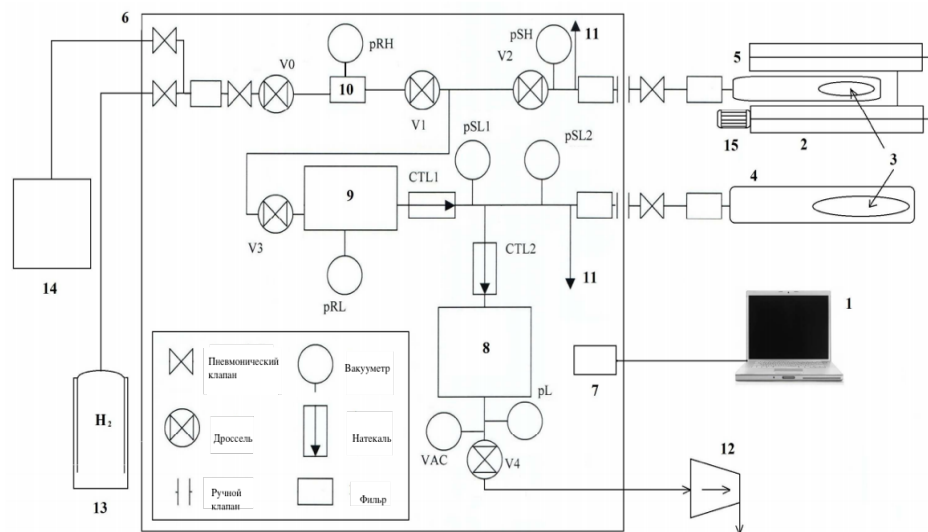


Рисунок 5 -Схема автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller

1 - компьютер; 2 - печь/криостат; 3 - образец; 4 - камера низкого давления; 5 - камера высокого давления; 6 - контроллер; 7 - электронная система управления комплексом; 8 - резервуар; 9 - резервуар низкого давления; 10 - резервуар высокого давления; 11 - система экстренного удаления водорода; 12 - вакуумный пост; 13 - баллон с водородом; 14 - генератор водорода; 15 - система охлаждения.

Итак, мы знаем принцип работы автоматизированного комплекса Gas Reaction Controlle. Во-первых, мы получаем водород электролизом. Полученный водород хранится в баллоне. Когда испытание было начато, мы позволили водороду в цилиндре войти в реакционную установку, и количество водорода, участвующего в реакции, контролировали путем регулирования давления.

2.3 Физическое осаждение из пара , PVD

Распыление относится к трем основным методам PDV (физическое осаждение из паровой фазы): вакуумное испарение, распыление, ионное покрытие (ионное покрытие с полым катодом, ионное покрытие с горячим катодом, ионное покрытие дуги, реактивное реактивное ионное покрытие, радиочастотное ионное покрытие, ионное покрытие разряда постоянного тока).

Принцип работы магнетронного распыления заключается в том, что электроны сталкиваются с атомами аргона во время полета к подложке под действием электрического поля E , что приводит к их ионизации с образованием положительных ионов Ar и новых электронов; новые электроны летят на подложку. Электроны летят к подложке, положительные ионы Ar ускоряются к катодной мишени под действием электрического поля и бомбардируют поверхность мишени высокой энергией, вызывая распыление мишени.

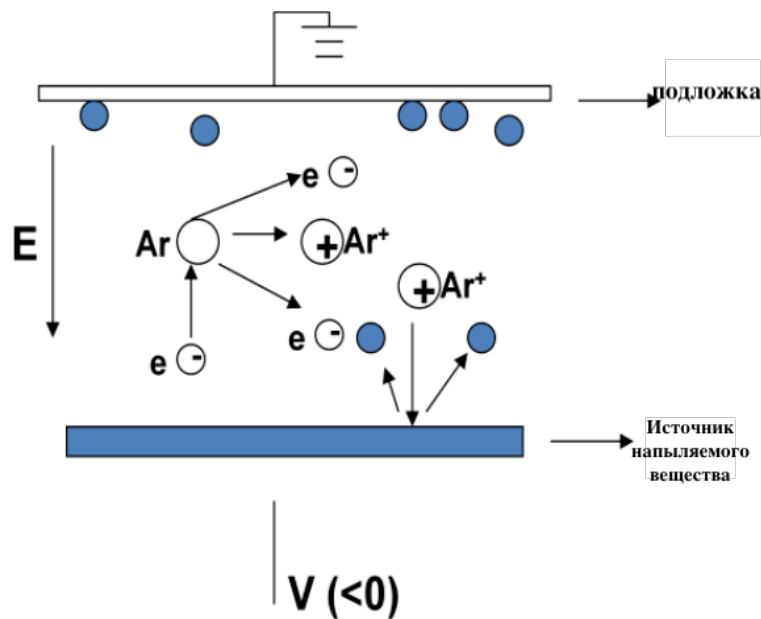


Рисунок 6 -физическое осаждение из пара

В распыленных частицах нейтральные атомы или молекулы мишени осаждаются на подложке, образуя тонкую пленку, а на генерируемые вторичные электроны будут влиять электрические и магнитные поля, что приводит к дрейфу направления E (электрическое поле) \times B (магнитное поле), называемый дрейфом $E \times B$, его траектория движения приближается к циклоиде. Если это тороидальное магнитное поле, электроны совершают круговое движение на поверхности мишени в приближенной циклоидальной форме. Их путь движения не только очень длинный, но и связан в области плазмы вблизи поверхности мишени, и в этой области генерируется большое количество ионизации. Ar-положительные ионы попадают в бомбардировку мишени, тем самым достигая высокой скорости осаждения. По мере увеличения числа столкновений энергия вторичных электронов истощается, постепенно удаляясь от поверхности мишени, и, наконец, осаждаются на подложке под действием электрического поля E . Поскольку энергия электрона очень мала, энергия переносится на подложку небольшого размера, что приводит к низкому повышению температуры подложки. Магнетронное распыление - это процесс столкновения между падающими частицами и мишенью. Падающая частица подвергается сложному процессу рассеяния в мишени, сталкивается с атомом-мишенью, передает некоторый импульс атому-мишени, и этот атом-мишень сталкивается с другими атомами-мишенями, образуя каскадный

процесс. Во время этого каскада атомы мишени вблизи определенных поверхностей набирают достаточный импульс для движения наружу, оставляя мишень распыленной.

2.4 Ионная очистка поверхности и нанесение слоя никеля на установке Радуга-Спектр

Формирование слоя никеля на поверхности образцов осуществлялась на установке Радуга-Спектр кафедры общей физики Томского политехнического университета, схема установки показана на рисунке 7.

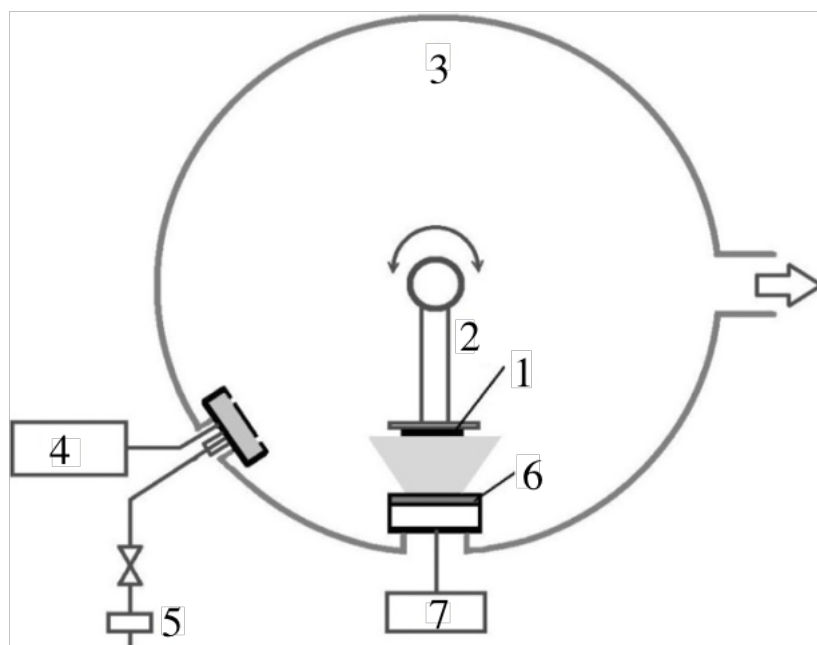


Рисунок 7 – Схема установки Радуга-Спектр: 1 – образец; 2 – держатель; 3 – вакуумная камера; 4 – ионный источник; 5 – источник аргона; 6 – никель; 7 – магнетрон

Образцы (1) закреплялись на держатель (2) и помещались в вакуумную камеру (3) установки. Предельное остаточное давление в камере составляло

$2,5 \cdot 10^{-3}$ Па. При нанесении тонкопленочных защитных покрытий особенно важна ионная очистка поверхности, необходимая для удаления различного рода загрязнений, а также оксидной пленки, сформировавшейся на поверхности материала. Метод ионной очистки поверхности позволяет получать практически атомночистую поверхность. В результате, при применении технологии ионной очистки непосредственно перед нанесением покрытия, улучшается адгезия наносимого материала с подложкой. Очистка поверхности проводилась непосредственно в камере установки перед напылением покрытия, ионным (4) пучком аргона (5), при параметрах, представленных в таблице 4.

Таблица 4. Параметры ионной очистки поверхности

Газ	Напряжение, В	Мощность, Вт	Сила тока, А	Давление, Па
Аргон	2000	1000	0,5	$6 \cdot 10^{-2}$

Нанесение никеля (6) осуществлялось методом магнетронного (7) распыления в режиме, представленном в таблице 5. Время распыления варьировалось для формирования слоев никеля различной толщины. В качестве мишени использовался никель марки Н0, степень чистоты 99,99%.

Таблица 5. Параметры магнетронного распыления никеля

Напряжение, В	Мощность, Вт	Сила тока, А	Давление, Па
500	2000	3	$1 \cdot 10^{-1}$

Глава 3 Устройство для сжатого газообразного водорода

Даже если мы получили тонкопленочный материал, который может хранить водород, специальное оборудование все еще необходимо для обеспечения безопасности в процессе нанесения.

3.1 Устройство для хранения сжатого газообразного водорода

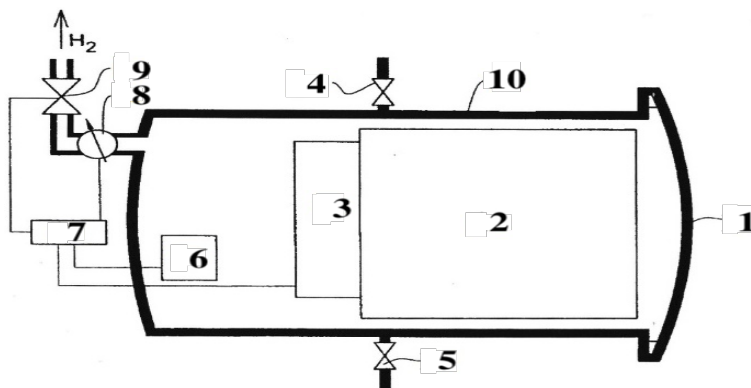


рисунок 8 - Устройство и картридж для хранения сжатого газообразного водорода

Основываясь на нашей способности хранить водород, мы можем применять / использовать водородную энергию. Для применений водородной энергетики, таких как аккумуляторы водородной энергии. Хотя некоторые металлические пленки могут хорошо поглощать и десорбировать водород, этот процесс может быть нестабильным. Во время транспортировки или использования водород, хранящийся в пленке, может внезапно высвободиться в больших количествах из-за изменений в окружающей среде. Следовательно, необходимо найти контейнер для хранения пленки для хранения водорода после поглощения водорода. Ниже приведена схема этого контейнера.

1-съемная крышка 1, приспособленная для открывания и закрывания

корпуса 10.

2- Картридж 2 включает в себя узел из по меньшей мере двух различных типов микроконтейнеров (не показаны на Фиг.1), предназначенных для накопления и хранения сжатого газообразного водорода.

3-для выделения газа.

4,5-предохранительный клапан 18, способный открываться автоматически, если давление газа в камере 13 достигнет опасного уровня.

6-датчик давления, который может использоваться для продуцирования сигнала датчика давления газа.

7-Датчик 6 давления соединен с регулятором 7, который, наряду с прочим, реагирует на сигнал датчика давления газа и может генерировать управляющий сигнал устройству 3 для выделения водорода для регулируемого выделения сжатого газообразного водорода из картриджа 2.

8-Расходомер 8 соединен с регулятором 7, наряду с прочим, реагирующим на сигнал датчика расхода газа и способным генерировать сигнал управления клапаном для регулирования работы выпускного клапана 9.

10-корпус.

При использовании вышеупомянутого контейнера, мы поместим материал с водородом, хранящимся в 2 (обычно трубчатый, как показано на рисунке б). Когда материал высвобождается, водород будет располагаться сначала в 3, а датчик 6 будет обнаруживать снаружи 3. Содержание водорода в большой

камере контроллера, контроллер 7 получает сигнал от датчика 6, и когда содержание водорода в контейнере слишком высоко, он будет выпускать водород через предохранительный клапан. Таким образом, давление водорода в контейнере всегда можно поддерживать в безопасном диапазоне.

3.2 Аккумулятор для хранения водорода в связанном состоянии и картридж для аккумулятора

Хранение водорода представляет собой цилиндрический контейнер. Трубчатый материал пленки для хранения водорода содержится в этом контейнере, а пленка для хранения водорода хранит водород до насыщения водородом. Трубчатый материал может иметь спиральную или другую форму. Чтобы предотвратить диффузию генератора водорода в этом контейнере, на внешней стороне контейнера имеется покрытие из нитрида (такого как TiN) или оксида (такого как Al₂O₃). Чтобы иметь возможность высвободить водород в трубчатом материале (используя метод термической десорбции), в качестве пленки используется металл или сплав с высоким сопротивлением, а корпус соединен с электрически нагретыми контактами, на которые подается напряжение от внешнего источника питания.

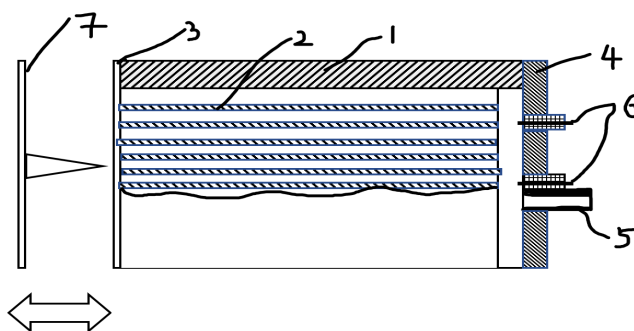


Рисунок 9 - Аккумулятор для хранения водорода в связанном состоянии и картридж для аккумулятора

Режим электротермической десорбции водорода из тонкопленочного покрытия, нанесенного на фольгу с высоким сопротивлением, обладает значительно меньшей инерцией по сравнению с режимом нагрева наружной поверхности коробки. Этот метод термодесорбции, после расчета, может удалить водород. Время задержки и время перехода от начала выпуска до полного расхода составляет менее 0,1 с. Поскольку время задержки и время перехода очень мало, мы можем контролировать выделение водорода с помощью программного программирования.

1 - корпус

2 - фольговый сорбер;

3 - фольговая заглушка;

4 - съемная заглушка;

5 - патрубок вакуумирования;

6 - контакты электронагрева фольгового сорбера;

7 - игла вскрытия картриджа.

Картриджи фиксируются в объёмной механической структуре, образованной системой теплообменных элементов (каналов) с геометрией пчелиных сот. Мы можем запрограммировать текущее значение этой структуры для управления нагревом или охлаждением этой структуры.

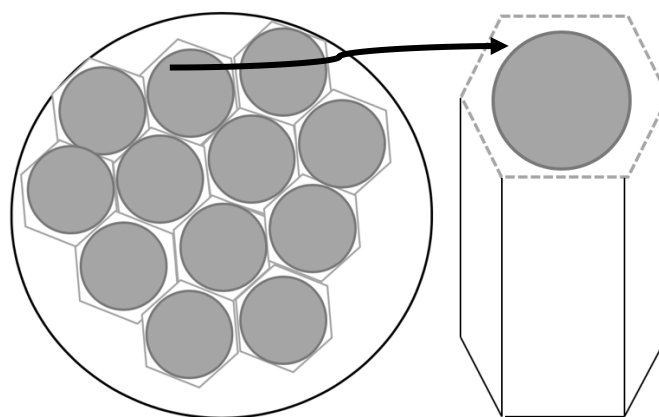


Рисунок 10 - механической структуре, образованной системой теплообменных элементов (каналов) с геометрией пчелиных сот.

ГЛАВА 4. Влияния толщины никелевого покрытия и параметров газофазного наводороживания на скорость сорбции водорода титановым сплавом марки VT1-0

4.1 Характеристика никелевого покрытия и оценка равномерности его толщины неразрушающими дифракционными методами

На рисунке 11 представлены результаты сканирующей электронной (СЭМ) микроскопии поперечного скола никелевого покрытия на подложке монокристаллического кремния.

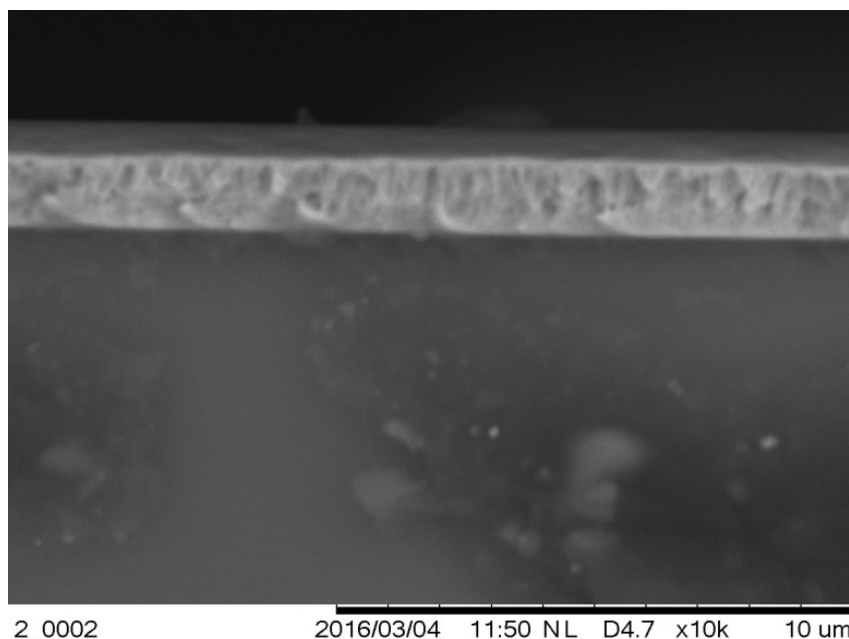


Рисунок 11. СЭМ поперечного скола никелевого покрытия на подложке монокристаллического кремния

Показано, что никелевое покрытие является равномерным по толщине, которая составляет $\approx 1,5$ мкм. Анализ СЭМ изображения показывает, что покрытие имеет столбчатую структуру. На границах зерен наблюдается большое количество пустот, что свидетельствует о формировании пористой структуры никелевого покрытия.

Оценка равномерности по толщине никелевого покрытия на технически чистом титане проводилась с использованием приставки для анализа микрообъектов. Данная система позволяет получать дифракционные картины локальных участков поверхности образца за счет фокусирующего коллиматора. Рентгеновское излучение фокусировалось в точку, диаметр которой составлял 2 мм. Анализ толщины проводился в 5 различных областях образца с никелевым

покрытием, нанесенным методом магнетронного распыления в течение 10 минут. Исследуемые области схематически представлены на рисунке 12.

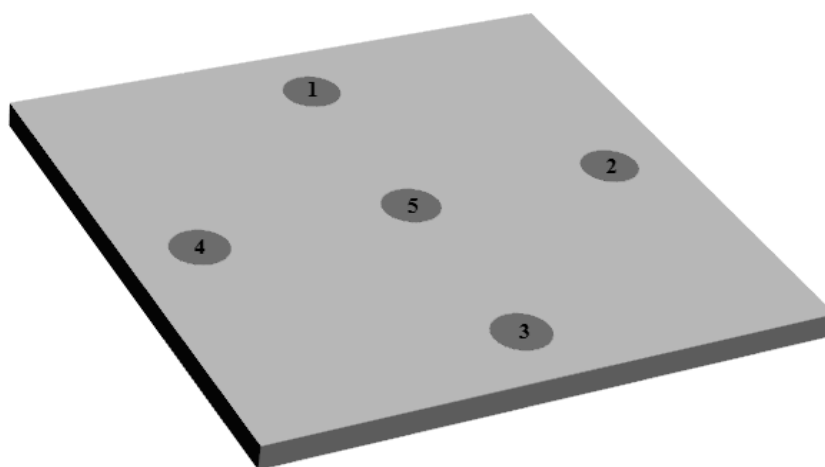


Рисунок 12. Области на образце для исследования толщины покрытия с использованием приставки для анализа микрообъектов

Результаты анализа толщины никелевых покрытий на технически чистом титане представлены в таблице 6.

Таблица 6. Оценка равномерности по толщине никелевого покрытия на технически чистом титане методом рентгеновской дифракции

Исследуемая область	Угол падения α , град.	Положение определяющего рефлекса 2θ , град.	Интенсивность, отн. ед.	Толщина покрытия, $\pm 0,1$ мкм
1	1,3	44,40	72,0	1,0
2	1,3	44,37	76,1	1,0
3	1,3	44,44	74,1	1,0

4	1,1	44,32	72,1	0,8
5	1,1	44,42	74,0	0,8

Анализ толщины никелевого покрытия показал разброс значения в исследуемых областях. При этом среднее значение толщины покрытия составило 0.9 ± 0.1 мкм. Этот факт связан с подготовкой поверхности исходного образца и его расположением относительно распыляемой мишени. Известно, что наибольшая плотность потока частиц плазмы сосредоточена над зоной эрозии распыляемой мишени. Образец фиксировался в держателе в одном положении. В процессе напыления он не перемещался и не вращался. Неравномерность по толщине может быть связана с расположением исследуемого образца вблизи зоны эрозии распыляемой мишени. Также значительное влияние на равномерность толщины покрытий оказывает шероховатость. По результатам РСА можно сделать вывод о том, что шероховатость в областях 4 и 5 выше, чем в областях 1,2 и 3.

Также в настоящей работе проводилась оценка толщин никелевых покрытий описанным способом по всей площади поверхности серии из 5 образцов титанового сплава с никелевым покрытием, нанесенным в течение 10 минут. Результаты данного исследования представлены в таблице 7.

Таблица 7. Анализ толщины никелевых покрытий по всей площади образцов технически чистого титана

Номер	Угол	Положение	Интенсивн	Толщин
-------	------	-----------	-----------	--------

р образца	падения α , град.	определяющего рефлекса 2θ , град.	ость, отн. ед.	а покрытия, $\pm 0,1$ мкм
1	1,1	44,42	284,3	0,8
2	1,1	44,38	236,3	0,8
3	1,2	44,45	236,3	0,9
4	1,1	44,45	268,2	0,8
5	1,3	44,40	292,2	1,0

Установлено, что толщина никелевого покрытия на технически чистом титане в одном и том же режиме распыления мишени имеет разброс порядка 200 нм. В значительной мере это связано с неравномерностью исследуемых образцов по шероховатости. Также влияние оказывает расположение образцов вблизи зоны эрозии распыляемой мишени.

4.2. Влияние толщин никелевого покрытия на скорость сорбции водорода технически чистым титановым сплавом марки ВТ1-0

На следующем этапе исследовалось влияние толщины никелевого покрытия на скорость сорбции водорода титановым сплавом. Для этого были подготовлены образцы с никелевым покрытием, нанесенным в течение времени от 10 до 50 минут. Оценка толщины никелевых покрытий проводилась дифракционным методом описанным ранее. График зависимости толщины никелевого покрытия от времени осаждения представлен на рисунке 13.

Наблюдается линейная зависимость скорости осаждения покрытия с течением времени, которая составила примерно 43 нм/мин. Нужно отметить, что скорость осаждения покрытия значительно отличается для времени осаждения менее 10 мин. и зависит от температуры подложки. На начальном этапе, скорость роста покрытия выше, что в основном обусловлено влиянием температурного фактора при нагреве подложки до рабочей температуры, когда поступающий тепловой поток из плазмы будет равен тепловым потерям подложки. При низких температурах мобильность адатомов значительно ниже, что приводит к столбчатому росту и высокой степени рыхлости (наличию пор) покрытий, обусловленной эффектом экранирования. При выходе на сбалансированный температурный режим на подложке, мобильность адатомов увеличивается и достигает своего стационарного значения, когда значения скорости осаждения покрытия для заданного интервала времени меняются незначительно.

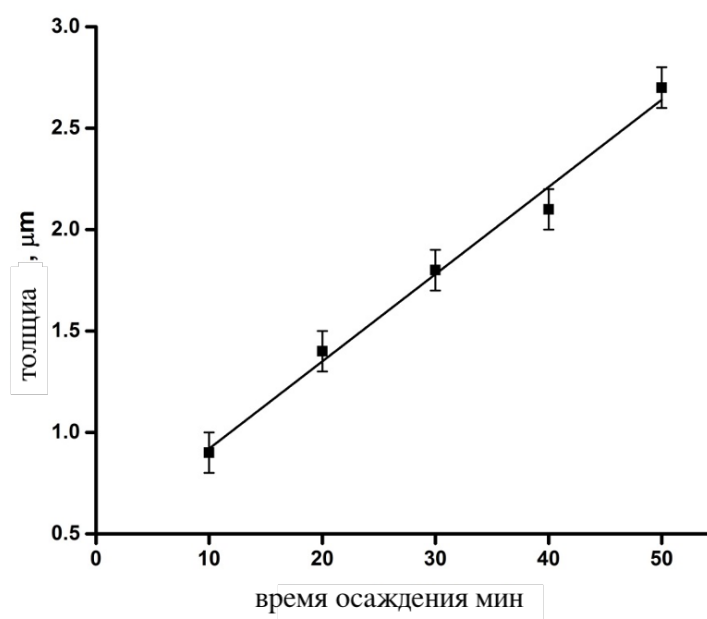


Рисунок 13. Зависимость толщины никелевого покрытия от времени
напыления.

Анализ кривых сорбции образцов технически чистого титанового сплава марки ВТ1-0 с различным временем напыления представлен на рисунке 14.

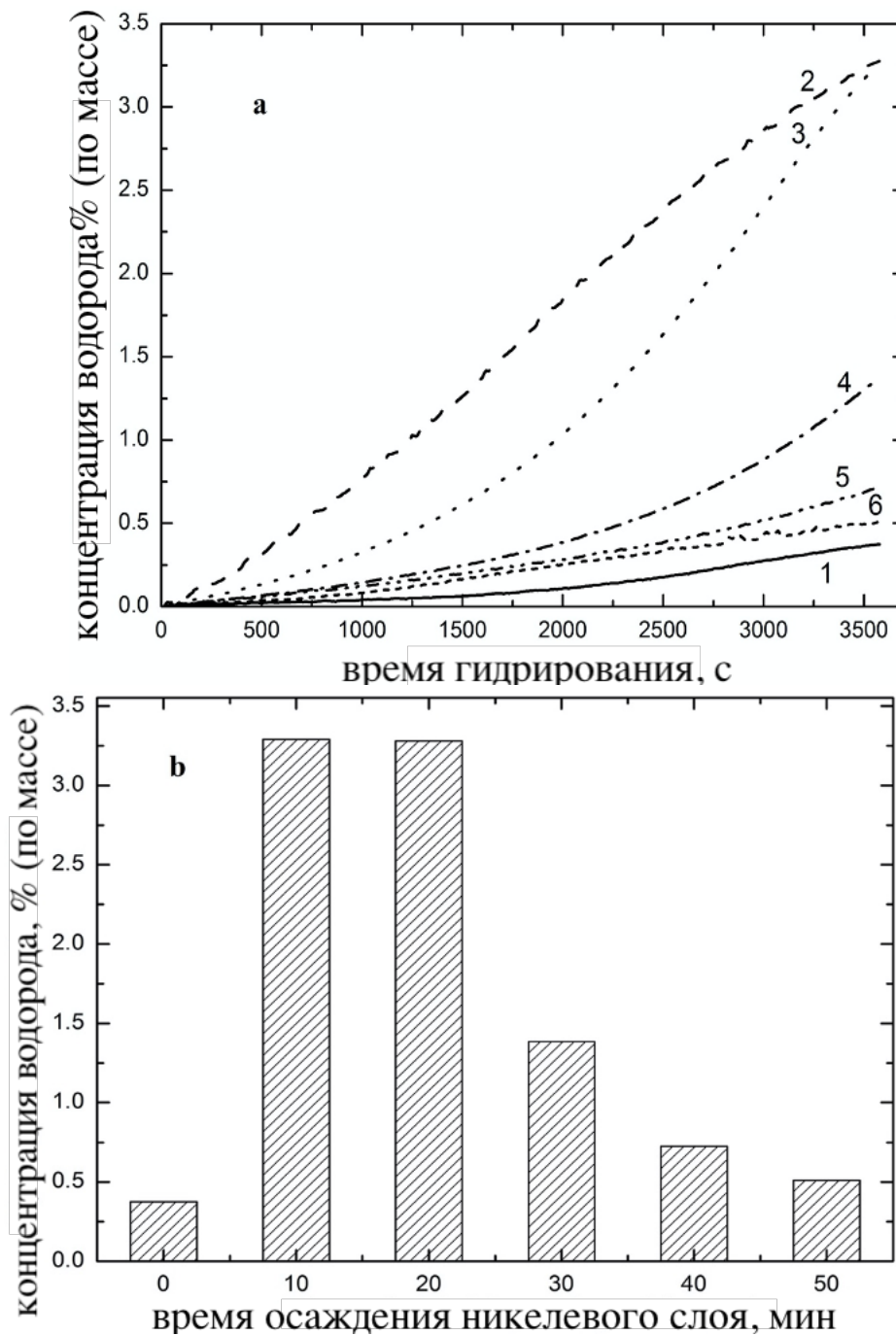


Рисунок 14. Кривые сорбции водорода (а) технически чистым титаном

сплавом ВТ1-0 с никелевым покрытием нанесенным методом магнетронного распыления: 1 – без никелевого покрытия, 2 – время напыления 10 минут, 3 – 20 минут, 4 – 30 минут, 5 – 40 минут, 6 – 50 минут, и значения концентрации водорода (б).

Сравнивая кривые сорбции можно сказать, что самая большая скорость поглощения водорода наблюдается у образцов с 10 и 20 минутным напылением никеля. Но графики имеют разный вид: для образца с 10 минутным напылением график близок к линейному виду, для образца с 20-минутным напылением линейная зависимость прослеживается на участках до 0,2 масс.% и от 1,5 масс.%. Эти участки соответствуют разным фазам. Для остальных образцов, с увеличением времени напыления, скорость сорбции значительно снижается.

По зависимости концентрации водорода от времени напыления никеля видно, что за одинаковое время насыщения в образцах накопилась различная концентрация водорода. Самая низкая концентрация у исходного образца, самая высокая, как уже было сказано, для образцов с 10 и 20-минутным напылением никеля. Для остальных образцов концентрация водорода обратно пропорциональна времени напыления.

На рисунке 15 показана зависимость скорости сорбции водорода в зависимости от толщины никелевого покрытия при наводороживании при температуре 450 °С и давлении 1 атм. Установлено постепенное снижение скорости сорбции водорода с увеличением толщины покрытия. Это связано с

низкой диффузионной способностью водорода через никелевое покрытие. Адсорбированному водороду на поверхности тяжелее диффундировать через более толстое никелевое покрытие, что существенно снижает интенсивность поглощения водорода технически чистым титановым сплавом марки ВТ1-0.

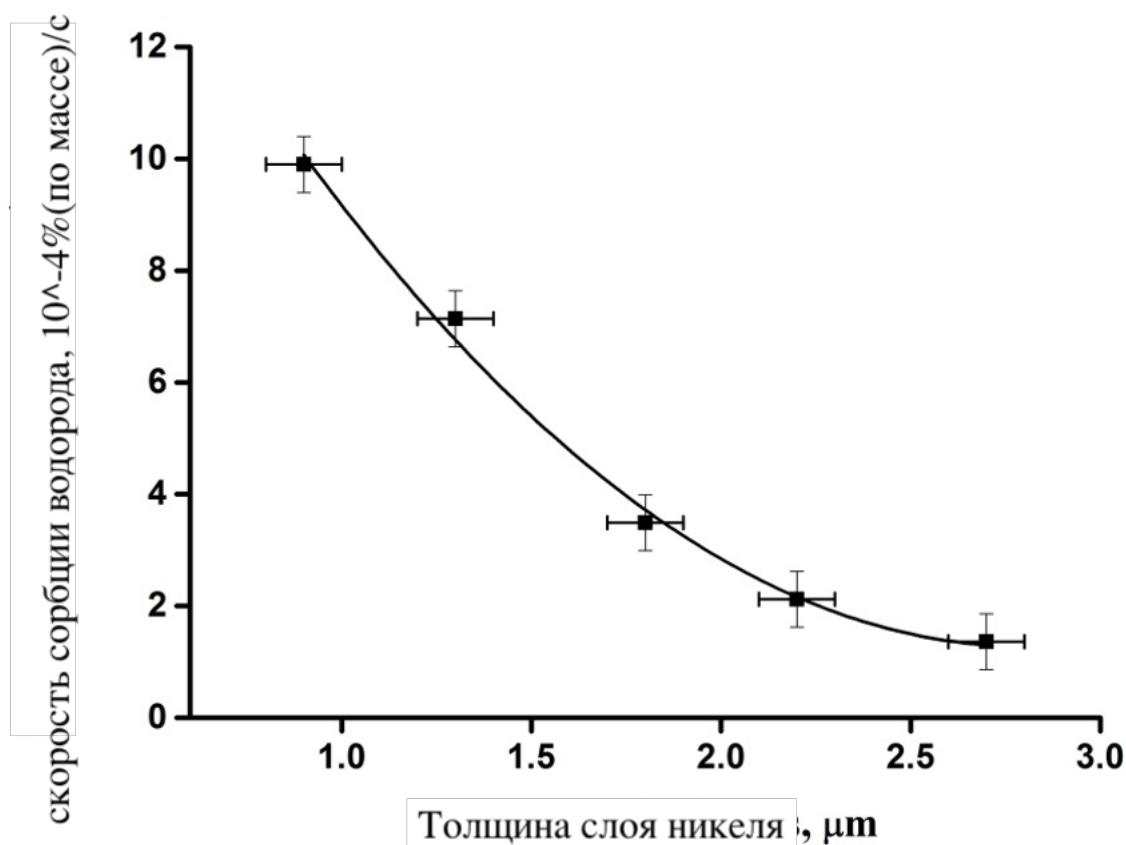


Рисунок 15. Зависимость скорости сорбции водорода технически чистым титаном от толщины никелевого покрытия

4.3. Влияние параметров газофазного наводороживания на скорость сорбции водорода технически чистым титановым сплавом с никелевым покрытием

На следующем этапе работы было изучено влияние параметров газофазного наводороживания на скорость сорбции водорода технически

чистым титаном с никелевым покрытием. Кривые сорбции водорода при насыщении в диапазоне температур 350-550 °С и давлениях 1-2 атм. представлены на рисунке 16 показано нелинейное увеличение скорости сорбции водорода с ростом температуры и давления. Большее влияние на скорость сорбции водорода оказывает температура наводороживания за счет увеличения коэффициента диффузии водорода согласно уравнению Фика. Наибольшая скорость сорбции водорода составляла $4,9 \times 10^{-3}$ масс.%/с при температуре 550 °С и давлении водорода 2 атм. Кроме того, давление также оказывает влияние на скорость сорбции водорода технически чистым титаном, что особенно заметно при высоких температурах (выше 400-450 °С). Сорбция водорода определяется рядом таких факторов, как энергия активации адсорбции, скорость адсорбции и скорость диффузии. Увеличение давления водорода в камере, а также температуры насыщения способствует адсорбции водорода на поверхности никелевого покрытия. Таким образом, скорость адсорбции водорода возрастает с давлением водорода даже при низких температурах. Однако, поглощенный водород не может диффундировать в глубину титанового сплава из-за низкой скорости диффузии, что приводит к снижению скорости сорбции. Скорость сорбции водорода значительно возрастает при более высоких (450 и 550 °С) температурах. Более того, увеличение давления водорода в камере от 1 до 2 атм. также увеличивает скорость сорбции водорода более чем в 2 раза. Следует отметить, что скорость сорбции водорода

изменяется нелинейно с увеличением давления водорода при 550 °С: \approx в 2 раза от 1 до 1,5 атм. и в 1,2 раза от 1,5 до 2 атм. Адсорбированный водород поверхностью увеличивается с давлением, а скорость диффузии водорода ограничивается температурой, поэтому дальнейший рост давления водорода в камере не приводит к значительному увеличению скорости сорбции водорода титановым сплавом.

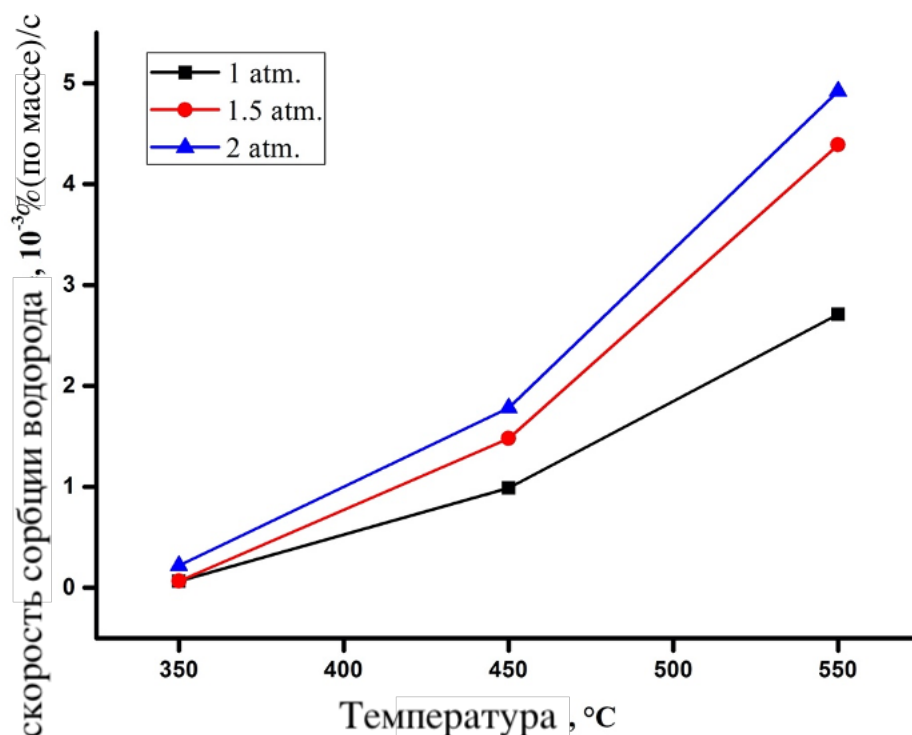


Рисунок 16 Скорость сорбции водорода технически чистым титаном с никелевым покрытием при разных параметрах насыщения

После насыщения образцы литого технически чистого титанового сплава марки VT1-0 разваливались в порошок. Морфология образца подвергнутому водородному диспергированию при температуре 450 °С, давлении 1 атм. и времени 1 ч. представлена на рисунке 17. Анализ полученного порошка показал,

что частицы технически чистого титанового сплава марки ВТ1-0 имеет иррегулярную структуру, которая представляет многогранники с острыми краями. Порошок полученный гидридным диспергированием имеет фракцию 2-20 мкм, хотя большая часть частиц характеризуется дисперсностью 2-5 мкм.

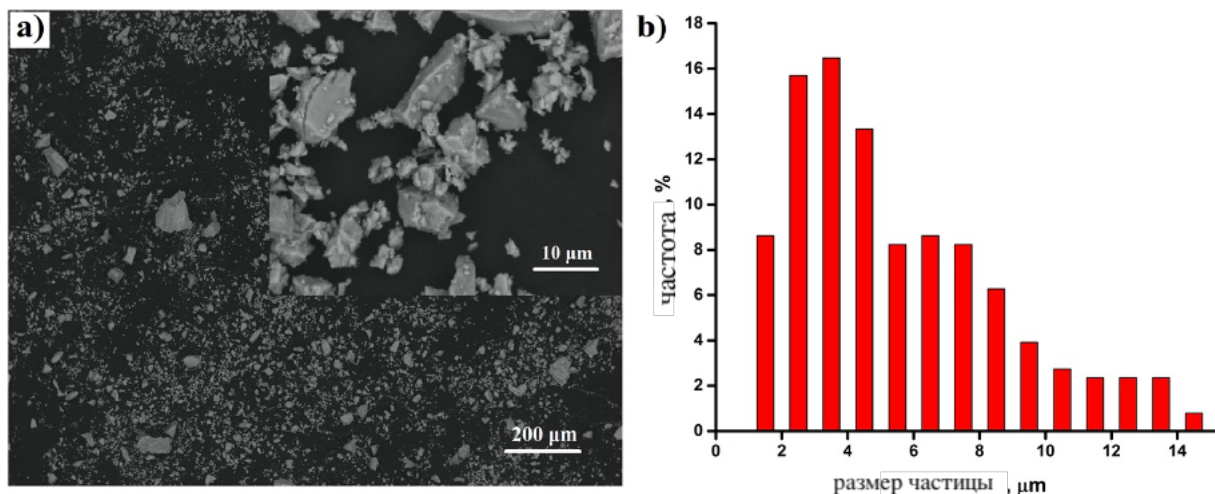


Рисунок 17. Морфология порошка (а) и распределение по размерам (б) технически чистого титанового сплава марки ВТ1-0 после газофазного гаводораживания при температуре 450 °С и давлении 2 атм.

Заключение

В данном работе исследованы принципа поглощения и десорбции титана и связи между структурой и температурой соединения водорода с титаном.

Чтобы определить частоту и эффективность поглощения и десорбции водорода тонкопленочными материалами, его можно использовать Автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller.

В целях обеспечения безопасности и стабильности при использовании материалов для хранения водорода, может использован аккумулятор для

хранения водорода в связанном состоянии и картридж для аккумулятора.

Отработана методика нанесения никелевого покрытия методом магнетронного распыления на технически чистый титановый сплав марки ВТ1-0 с предварительной ионной очисткой для предотвращения окисления материала в диапазоне температур 350-550°C.

Установлено, что никелевое покрытие имеет разброс по толщине порядка 200 нм, что связано с неравномерной шероховатостью исходных образцов технически чистого титана.

Выявлено, что предварительная ионная очистка с последующим нанесением никелевого покрытия приводит к увеличению скорости сорбции водорода технически чистым титановым сплавом марки ВТ1-0 на один порядок.

Показано снижение скорости сорбции водорода технически чистым титаном более чем в 5 раз с ростом толщины никелевого покрытия от 1 до 2,78 мкм.

Газофазное наводороживание при постоянном давлении 2 атм. и температуре 500 °С технически чистого титанового сплава марки ВТ1-0 приводит к гидридному диспергированию сплава; полученный порошок характеризуется иррегулярной структурой и размером фракции 2-20 мкм.

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель работы: Исследование влияния никелевого покрытия и режимов газофазного наводороживания на взаимодействие водорода с титановым сплавом ВТ1-0.

5.1 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ внутренней и

внешней среды научно-исследовательского проекта. Он проводится в несколько этапов. Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Результаты первого этапа представлены в таблице 8.

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1.Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С2.Квалифицированный персонал.</p> <p>С3.Наличие необходимых установок для проведения испытаний.</p> <p>С4.Экономичность технологии.</p> <p>С5.Наличие материала для исследований.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1.Большой срок поставок материалов используемых при проведении научного исследования.</p> <p>Сл2.Длительность проведения некоторых исследований.</p> <p>Сл3.Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ.</p> <p>Сл4.Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1.Использование</p>		

Таблица 8 – матрица SWOT

<p>инновационной инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В2.Повышение производительности</p> <p>В3.Спрос на результаты исследований.</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1.Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p> <p>У2.Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p>		

Второй этап заключается в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого строится интерактивная матрица проекта (таблица 9).

Таблица 9 – Интерактивная матрица

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	0	+	+	+	0
	B2	–	+	+	–	+
	B3	–	+	+	–	0
Угрозы проекта	У1	+	–	0	0	+
	У2	–	–	–	0	–
Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	
	B1	–	0	0	–	
	B2	–	–	+	+	
	B3	–	0	–	+	
Угрозы проекта	У1	+	+	0	–	
	У2	–	–	–	+	

В таблице знак «+» означает сильное соответствие сильных сторон возможностям, знак «–» – слабое соответствие и «0» выражает сомнения в том, что поставить «+» или «–». На третьем этапе SWOT-анализа строится итоговая матрица (таблица 10).

Таблица 10 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1.Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С2.Квалифицированный персонал.</p> <p>С3.Наличие необходимых установок для проведения испытаний.</p> <p>С4.Экономичность технологии.</p> <p>С5.Наличие материала для исследований.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1.Большой срок поставок материалов используемых при проведении научного исследования.</p> <p>Сл2.Длительность проведения некоторых исследований.</p> <p>Сл3.Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ.</p> <p>Сл4.Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В2.Повышение производительности</p> <p>В3.Спрос на результаты исследований.</p>	<p>Наличие необходимых материалов и оборудования, а также персонала в процессе исследований может способствовать повышению производительности в будущем.</p>	<p>Для повышения производительности и спроса на результаты исследований необходимы квалифицированные кадры среди потенциальных потребителей.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1.Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p> <p>У2.Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p>	<p>Основной угрозой является несвоевременное финансирование – может возникнуть нехватка материалов для исследований.</p>	<p>Вследствие несвоевременного финансирования может возникнуть приостановка исследований на некоторое время.</p>

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура научно-исследовательских работ

В таблице 11 представлен перечень этапов и работ, а также распределение исполнителей по данным работам.

Таблица 11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, студент
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Создание образцов	Инженер
	5	Подготовка образцов к исследованиям	Студент
	6	Нанесение покрытий	Инженер
	7	Исследование на дифрактометре	Инженер
	8	Насыщение водородом	Инженер
	9	Исследование на микротвердомере	Студент
	10	Анализ результатов	Руководитель, студент
	11	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, студент
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент
	13	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель
Оформление отчета по НИР	14	Написание дипломной работы	Студент

5.2.2 Разработка графика научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для ее построения необходимо вычислить некоторые показатели, а именно ожидаемое значение трудоемкости, продолжительность работ в рабочих и календарных днях. Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости определяется следующей формулой:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5}, \quad (5.1)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{мин}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{макс}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях $T_{\text{р}i}$, при этом

учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (5.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4.3):

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (5.3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (5.4)$$




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

В таблице 12 представлены временные показатели проведения научного исследования, рассчитанные по данным формулам.

Таблица 12 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел.-дни	t_{max} , чел.-дни	$t_{ожi}$, чел.-дни			
Составление и утверждение технического задания	3	5	4	Руководитель	4	6
Выбор направления исследований	2	5	3	Руководитель	3	4
Подбор и изучение материалов по теме	60	90	72	Руководитель, студент	36	53
Создание образцов	20	30	24	Инженер	24	35
Подготовка образцов к исследованиям	10	15	12	Студент	12	18
Нанесение покрытий	14	21	17	Инженер	17	25
Исследование на дифрактометре	5	8	6	Инженер	6	9
Насыщение водородом	7	15	10	Инженер	10	15
Исследование на микротвердомере	9	14	11	Студент	11	16
Анализ результатов	30	40	34	Руководитель, студент	17	25
Сопоставление результатов экспериментов с теорией	20	35	26	Руководитель, студент	13	19
Оценка эффективности полученных результатов	7	9	8	Руководитель, студент	4	6
Определение целесообразности проведения ОКР	3	7	5	Руководитель	5	7
Написание дипломной работы	80	100	88	Студент	88	130

	микротвердомере													
10	Анализ результатов	Руководитель, студент	25											
11	Сопоставление результатов экспериментов с теорией	Руководитель, студент	19											
12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент	6											
13	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель	7											
14	Написание дипломной работы	Студент	130											

-  – студент
-  – руководитель
-  – инженер

5.2.3 Бюджет научно-технического исследования

В процессе формирования бюджета научно-технического исследования используется следующая группировка затрат: затраты на материалы для исследований и оборудование; основная и дополнительная заработная плата исполнителей работы; отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления); затраты научные и производственные командировки; контрагентные и накладные расходы.

1. Расчет материальных затрат

В этом разделе учитывается стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + K_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i} \quad (5.5)$$

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

i -го вида, планируемых к использованию; C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов; k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы. Материальные затраты данной исследовательской работы представлены в таблице 14.

Таблица 14 – материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Титановый сплав ВТ1-0	м ²	0,1	1550	155
Циркониевый сплав Э110	м ²	0,1	3800	380
Никель (мишень)	шт.	1	6198	6198
Наждачная бумага	шт.	30	30	900
Водород	1 м ³	0,5	2307	1153,5
Итого				8786,5

Пример расчета затрат на материалы:

$$Z_m = 1 * 1550 * 0.1 = 155 \text{ руб}$$

2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данном разделе учитываются затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения исследовательской работы. Затраты на приобретение оборудования для научной работы представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Затраты на приобретение спецоборудования

№	Наименование оборудования	Общая стоимость, тыс. руб.
1	Автоматизированный комплекс «Gas Reaction Controller»	4500
2	Микротвердомер KB30S	500
3	Установка «Радуга-спектр»	8000
4	Дифрактометр Shimadzu XRD-7000S	8000
Итого		21000

3. Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы: оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями; стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд и выполнение дополнительных обязанностей.

В раздел включается основная заработная плата научных и инженернотехнических работников непосредственно участвующих в выполнении работ. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы представлен в таблице. Полная заработная плата включает в себя основную и дополнительную.

Полная заработная плата включает в себя основную и дополнительную (12-20 % от $Z_{осн}$):

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (5.6)$$

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_p \quad (5.7)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ,

раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = З_{\text{м}} * M / F_{\text{д}} \quad (5.8)$$

где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя); $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени (таблица 16).

Таблица 16 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Количество дней
Календарное число дней	365
Количество нерабочих дней	118
Отпуск	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	199

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} * (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) * k_{\text{р}} \quad (5.9)$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент; $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок; $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент (для Томска равен 1,3). $k_{\text{пр}}$ и $k_{\text{д}}$ в данной работе не учитываются.

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

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

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15). Расчет основной и дополнительной заработной платы приведён в таблице 17.

Таблица 17 – Расчёт основной и дополнительной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$, руб.	k_p	$Z_{\text{м}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$Z_{\text{доп}}$, руб.
Руководитель	14584,3	1,3	18959,6	990,9	82	81253,8	9750,5
Инженер	8552	1,3	11117,6	581	57	33117	3974
Студент	6976	1,3	9068,8	473,9	178	84354,2	10122,5
Итого						198725	23847

Пример расчета:

месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = 14584,3 \cdot 1,3 = 18959,6 \text{ руб. ;}$$

среднедневная заработная плата:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{18959,6 \cdot 10,4}{199} = 990,9 \text{ руб. ;}$$

основная заработная плата:

$$Z_{\text{осн}} = 990,9 \cdot 82 = 81253,8 \text{ руб.}$$

дополнительная заработная плата:

$$Z_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 81253,8 = 9750,5 \text{ руб.}$$

4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды – обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется следующей

формулой:

$$З_{внеб} = k_{внеб} * (З_{осн} + З_{доп}) \quad (5.11)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится коэффициент – 0,271. Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	Сумма, руб.
Руководитель	24662,2
Инженер	10051,7
Студент	25603,2
Итого	60317,1

Пример расчета величины отчислений во внебюджетные фонды:

$$З_{внеб} = 0,271 \cdot (81253,8 + 9750,5) = 24662,2 \text{ руб.}$$

5 Накладные расходы Накладные расходы учитывают прочие затраты организации: печать и ксерокопирование, оплата услуг связи, электроэнергии и т.д. Их величина определяется по формуле:

$$З_{накл} = k_{нр} * (З_{осн} + З_{доп}) \quad (5.11)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы (равен 0,16).

Накладные расходы представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Накладные расходы

Исполнители	Сумма, руб.
Руководитель	14560,7
Инженер	5934,6
Студент	15116,3
Итого	35611,6

Пример расчета накладных расходов:

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (81253,8 + 9750,5) = 14560,7 \text{ руб.}$$

6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Затраты научно-исследовательского проекта представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Расчет бюджета затрат

Наименование	Сумма, руб.
Материальные затраты	8786,5
Затраты на оборудование	21000000
Затраты по основной заработной плате	198725
Затраты по дополнительной заработной плате	23847
Отчисления во внебюджетные фонды	60317,1
Накладные расходы	35611,6
Бюджет затрат	21295237,2

5.3 Определение сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета, с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта. Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки.

В таблице 21 представлена сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта. За исполнение 1 принято привлечение к данной работе персонала из сторонних организаций, за исполнение 2 – использование ресурсов (спецоборудования и материалов) другого предприятия.

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Данный проект	Исп.1	Исп.2
Способствует росту производительности труда пользователя	0,25	5	4	3
Соответствует требованиям потребителей	0,15	4	4	5
Энергосбережение	0,2	4	3	4
Надежность	0,2	5	4	4
Материалоемкость	0,2	4	5	5
Интегральный показатель ресурсоэффективности		4,45	4	4,1

Пример расчета интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_p = 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 4,45.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп}} = \frac{I_{\text{рi}}}{I_{\text{испi}} \cdot I_{\text{финр}}}$$

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{д.п.}}}{I_{\text{исп}}}$$

В таблице 22 представлена сравнительная эффективность разработки.

Таблица 22 – Сравнительная эффективность

№	Показатели	Данный проект	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель	1	0,9	0,88
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,45	4	4,1
3	Интегральный показатель эффективности	4,45	4,44	4,67
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	–	1	0,95

Пример расчета:

интегральный финансовый показатель:

$$I_{\text{финр}}^{\text{испi}} = \frac{21161784,6}{21161520} \cong 1;$$

интегральный показатель эффективности:

$$I_{\text{исп}} = \frac{4,45}{1} = 4,45.$$

сравнительная эффективность вариантов исполнения:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{4,45}{4,44}.$$

По данным этой таблицы видно, что, в общем, данный проект является более эффективным по сравнению с аналогами.

6. Социальная ответственность при исследовании влияния никелевого покрытия и режимов газофазного наводороживания на взаимодействие водорода с титановым сплавом ВТ1-0

6.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Социальная ответственность или корпоративная социальная ответственность (как моральный и этический принцип) несет ответственность перед людьми и обещаниями, сделанными ими, когда организация учитывает интересы коллектива и общества, беря на себя ответственность за влияние своей деятельности на клиентов, поставщиков, сотрудники, акционеры (IC CSR 26000: 2011 [17]).

Данная работа представлена исследовательской работой, в ходе которой обработка результатов анализа, составление карт и набрав на персональном компьютере, поэтому в разделе рассматривается «Производственная безопасность при работе на персональных компьютерах».

Целью настоящего раздела является исследование влияния никелевого покрытия и режимов газофазного наводороживания на взаимодействие водорода с титановым сплавом ВТ1-0.

Работа магистра относится к категории умственного труда и, в зависимости от степени физической силы, относится к категории легкой работы (работа выполняется сидя и не требует физического напряжения, при котором потребление энергии достигает 120 ккал / ч).

Работа проводилась на отделение экспериментальной физики школы базовой инженерной подготовки Национального исследовательского Томского политехнического университета. Для выполнения окончательной квалификационной работы по теме «Газофазное наводораживание титанового сплава ВТ1-0 с покрытиями никеля» было проведено компьютерное исследование.

6.2 Производственная безопасность

Работы на электронных компьютерах и терминалах видеодисплея проводятся в помещении, отвечающем требованиям Санитарных правил и норм (СанПиН 2.2.2 / 2.4.1340-03 [18]).

Рабочее место находится в аудитории на втором этаже здания, имеет естественное и искусственное освещение. Площадь на рабочем месте с ПК составляет не менее 6 м², а объем - не менее 20 м³. В рабочем классе есть два персональных компьютера. В номере есть системы отопления, эффективная система подачи и вытяжки. Система отопления обеспечивает постоянный и равномерный нагрев воздуха в помещении в холодный период года. Система вентиляции обеспечивает постоянную подачу свежего воздуха. Минимальный расход воздуха составляет 50-60 м³ / час на одного работника, воздушный обмен в течение 1 часа - два-три раза (СНиП 2.04.05-91). Для выявления опасностей при работе на компьютере проводится анализ классификации опасностей в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 [19] (таблица 22).

Таблица 22 – Основные элементы производственного процесса камеральных работ, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ) [17]		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1	2	3	4
1. Постоянная сидячая работа в помещении за компьютером. Обработка информации на персональном компьютере (обработка базы данных; написание анализа)	1.Отклонение показателей микроклимата в помещ-ении; 2.Недостаточн-а я освещённ-ость рабочей зоны; 3.Монотонный режим работы; 4.Превышение уровней шума; 5.Превышение уровней	1.Электр обезопас ность	1. ГОСТ 12.1.005-88 [20] 2. СанПиН 2.2.4.548-96 [26] 3. СНиП 23-05-95 [22] 4. ГОСТ 12.1.019-79 [23] 5. ГОСТ 12.1.038-82 [24] 6. ГОСТ 12.1.004-91 [25] 7. ГОСТ 12.1.003-83

	электромагнитных излучений.		[27]
--	-----------------------------	--	------

Примечание: пожароопасность в п. 5.4, как ЧС.

6.2.1 Анализ вредных факторов производственной среды

Отклонение индексов микроклимата в помещении. Микроклиматические параметры - это сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха. Эти параметры в значительной степени влияют на функциональную активность человека, его здоровье, его здоровье, а также надежность работы компьютерных технологий. Для создания нормальных условий для персонала установлены нормы промышленного микроклимата. В промышленных помещениях, где работа на ПЭВМ является основной, согласно СанПиН 2.2.4.548-96 [21], должны быть предоставлены оптимальные параметры микроклимата.

Занесём показатели температуры, влажности и скорости воздуха в таблицу 23.

В сезоне года будет два периода:

- Холодный. Среднесуточная температура наружного воздуха равна +10°C.
- Тёплый. Среднесуточная температура наружного воздуха выше +10°C.

Так как в помещении работают инженеры-программисты, то категория тяжести выполняемых работ – I_a.

Таблица 23 – Оптимальные нормы микроклимата для помещений с ВДТ и ПЭВМ (СанПиН 2.2.4.548-96 [21])

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/сек	
		Фактическое значение	Допустимое значение	Фактическое значение	Допустимое значение	Фактическое значение	Допустимое значение
1	2	3	4	5	6	7	8
Холодный	Ia	22	22-24	45	40-60	0.1	0.1
Тёплый	Ia	25	23-25				

Анализ характеристик микроклимата будем производить согласно ГОСТ 12.1.005-88 [20].

Согласно измерениям, все показатели соответствуют нормам. Для поддержания требуемой температуры, влажности и скорости воздуха в помещении используются отопление и кондиционирование воздуха.

Недостаточное освещение рабочей зоны. В помещении, где расположено рабочее место, есть естественное и искусственное освещение. Естественный свет обеспечивается через свет апертуры, ориентированный на восток и запад. Естественный свет нормализуется естественным светом (КЕО) или (е) естественным светом. Коэффициент естественной освещённости равен:

$$\text{КЕО} = \frac{E}{E_0} \cdot 100\%, \quad (6.1)$$

где E – освещённость (измеренная) на рабочем месте, лк; E_0 –

освещённость на улице (при среднем состоянии облачности), лк. Обеспечивается коэффициент естественного освещения (КЕО) не ниже 1,5%.

Искусственное освещение разделено на общее и местное. При общем освещении светильники устанавливаются в верхней части помещения параллельно стене с оконными отверстиями, что позволяет их включать и выключать последовательно, в зависимости от изменения естественного освещения. Для выполнения таких работ, как, например, обработка документов, требуется дополнительное местное освещение, которое концентрирует световой поток непосредственно на инструментах и предметах труда. Освещение на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должно составлять 300-500 люкс. В области рабочего места освещение должно быть 300-500 люкс, яркость светящихся поверхностей (окон, ламп и т. Д.) В поле зрения, <200 кд / м², коэффициент пульсаций <5% СНиП 23-05 -95 [20].

Одним из методов расчета искусственного освещения является метод светового потока, который используется для определения общего равномерного освещения на горизонтальной поверхности. Световой поток от лампы накаливания или группы разрядных ламп, образующих светильник, рассчитывается по формуле:

$$\Phi_{л} = \frac{100 \cdot E_n \cdot S \cdot K \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (6.2)$$

где $\Phi_{л}$ – световой поток лампы или группы ламп, лм; N – число светильников в помещении, шт.; E_n – нормированная минимальная

освещённость, лк. S – площадь освещаемого помещения, m^2 ; Z – коэффициент минимальной освещённости, равный отношению E_{cp}/E_{min} , значение которого для ламп накаливания составляет 1,15, а для люминесцентных ламп – 1,1; K – коэффициент запаса, составляющий для ламп накаливания 1,3-1,6 и для разрядных ламп – 1,4-1,8; U – коэффициент использования светового потока ламп. Световой поток группы ламп 2150 лк.

Недостаточное освещение приводит к напряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к возникновению преждевременной усталости. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и боль в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать острые тени, блики, дезориентировать рабочего. Все эти причины могут привести к несчастному случаю или профессиональным заболеваниям, поэтому правильный расчет освещения так важен.

Расчет освещенности комнаты. Одним из методов расчета искусственного освещения является метод светового потока. Он используется для определения общего равномерного освещения на горизонтальной поверхности.

Мы вычисляем искусственное освещение в исследовании и сравниваем его с нормами освещения на рабочем месте в соответствии со СНиП 23-05-95 «Стандарты освещенности на рабочих местах производственных помещений при искусственном освещении» [22].

Данное помещение имеет следующие размеры: длина $A = 4,1$ м, ширина $B = 3$ м, высота $H = 2,5$ м. Высота рабочей поверхности $h_{рп} = 0,9$ м. Шкаф использует систему общего равномерного освещения. Светильники расположены в два ряда. В каждом ряду есть 2 лампы типа ШОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,23 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составляют 50 см. Изобразим схему помещения и размещения на нём светильников (Рисунок 11). Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 8$. В светильниках установлены люминесцентные лампы белой цветности (ЛБ) мощностью 40 Вт, работающие от сети напряжением 220 В, и обеспечивающие световой поток $\Phi = 2800$ лм.

Коэффициент отражения стен (оклеены светлыми обоями) $R_c = 50$ %, потолка (свеж побеленный) $R_n = 70$ %. Коэффициент запаса $k = 1,5$ для помещений с малым выделением пыли, коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп принимается равным $Z = 1,1$.

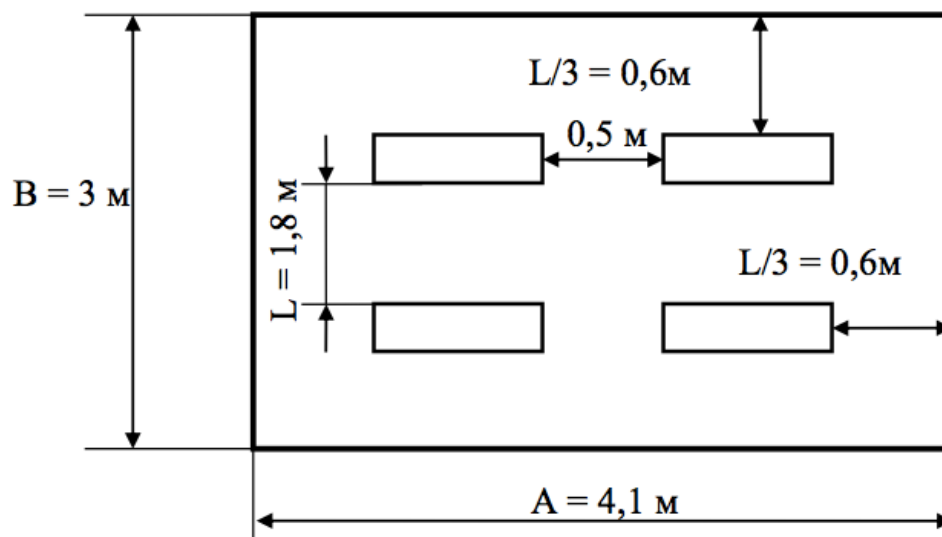


Рисунок 18 – Схема размещения светильников в помещении.

Высота светильника в среднем $h = 0,3$ м.

$$h = 1,3 \text{ м}; L = 1,8 \text{ м}; L/3 = 0,6 \text{ м.}$$

Освещённость в помещении определяется по формуле:

$$E = \frac{\Phi \cdot N \cdot \eta}{S \cdot K_s \cdot Z} \quad (6.3)$$

где Φ – световой поток одной лампы, лм; S – площадь освещаемого помещения, м²; K_s – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источник света, осветительная арматура, стены и т. д., т. е. отражающие поверхности), наличие дыма и пыли в атмосфере магазина; Z – коэффициент неравномерности освещения; N – число ламп в помещении; η – коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока показывает, сколько световой поток ламп падает на рабочую поверхность. Это зависит от индекса

комнаты i , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью h и коэффициентов отражения стен ρ_c и потолка ρ_n .

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A+B)}, \quad (6.4)$$

$$i = 12,3 / (1,3(4,1+3)) = 1,33$$

Коэффициент использования светового потока: $\eta = 0,44$.

Определяем освещённость в помещении:

$$E = \frac{2800 \cdot 8 \cdot 0,44}{12,3 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 485,6 \text{ (лк)}$$

Согласно СНиП 23-05-95 «Нормы освещения на рабочих местах производственных помещений под искусственным освещением» [22] визуальная работа в этом зале относится к классу наивысшей точности, так как наименьший размер объекта различения на экране компьютера менее 0,15 мм (точка). Разряд зрительной работы – I, подразряд – г (контраст объекта с фоном – средний, большой; фон – светлый, средний). Для данных параметров устанавливается норма освещённости – 300-400 лк при системе общего освещения.

Из полученных нами результатов можно сделать вывод, что эта служба, с учетом выполненных в ней визуальных работ, соответствует нормам освещенности, установленным СНиП 23-05-95 [22].

Для обеспечения нормализованных значений освещенности при использовании ПК необходимо чистить оконные стекла и лампы не реже двух

раз в год и своевременно заменять сожженные лампы. Для защиты от чрезмерной яркости окон можно использовать шторы и шторы.

Монотонный режим работы. Известно, что работоспособность не является постоянной, она меняется. Основной причиной изменения работоспособности является сама работа. Обычно производительность снижается с более или менее продолжительной производительностью. Снижение работоспособности под воздействием выполненной работы обычно считается усталостью. В то же время имеется много данных, указывающих на то, что в дополнение к рабочей нагрузке в реальной рабочей деятельности определенные условия труда также зависят от неблагоприятных условий труда, в том числе от характера выполняемой работы. Таким образом, влияние на эффективность фактора монотонности широко известно.

Прикладные показатели, в первую очередь, можно разделить на «объективные» и «субъективные». Объективными показателями эффективности являются: а) изменения количественных и качественных показателей работы и б) изменения функционального состояния нервной системы. Субъективные показатели включают чувство усталости, летаргии, болезненных ощущений. Эти субъективные переживания свидетельствуют о тех психических состояниях, которые развиваются со снижением эффективности. Психическое состояние во время усталости обычно обозначается термином «усталость». В дополнение к этому состоянию в ходе трудовой деятельности могут возникать другие

психические состояния, связанные с особым интересом к результатам работы или, наоборот, безразличие к ним, состояние беспокойства и т. Д. Все эти состояния также имеют отпечаток на соответствующих субъективных показателях.

Неблагоприятное влияние монотонности на производительность, конечно, проявляется во всех показателях эффективности. Имеющиеся данные показывают, что при монотонной работе наблюдается более раннее появление как объективных, так и субъективных признаков снижения эффективности.

Разница в динамике работоспособности немонотонной и монотонной работы привела к тому, что ряд исследователей пришли к выводу, что монотонная работа развивает особое специфическое состояние, называемое монотонностью, отличное от состояния фактической усталости, со своими особыми физиологическими механизмами.

По мнению большинства исследователей, торможение, которое развивается в центральной нервной системе при усталости, является результатом перегрузки соответствующих систем головного мозга и играет защитную, защитную роль, предотвращая их чрезмерное истощение.

Чтобы избежать усталости, необходимо делать 15 минут перерывов каждые 2 часа, а также желательно попробовать более 4 часов, чтобы не заниматься одной и той же работой, необходимо изменить профессию и ситуацию.

Превышение уровня шума. Сильный шум вызывает трудности в распознавании цветовых сигналов, уменьшает скорость восприятия цвета, остроту зрения, визуальную адаптацию, нарушает восприятие визуальной информации, быстро и точно снижает способность выполнять скоординированные движения, снижает производительность на 5-12%. Длительное воздействие шума с уровнем звукового давления 90 дБ снижает производительность труда на 30-60%.

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 [26] с изм. 1999 г. эквивалентный уровень звука не должен превышать 50 дБА.

Оборудование, которое производит вибрацию в рабочей комнате, отсутствует, поэтому эта характеристика не будет рассмотрена. Самый высокий уровень шума в рабочем кондиционере - 40 дБА.

В рабочей комнате, согласно измерениям, уровень звука составляет 25-40 дБ, в зависимости от того, работает кондиционер или нет. Соответственно, уровень звука в номере.

Для дальнейшего его уменьшения могут быть предложены следующие меры:

- применить звукопоглощающее покрытие стен;
- экранировка рабочего места;
- установка менее шумного кондиционера.

Превышение уровней электромагнитного излучения. Источники

электромагнитное излучение - электрические сигналы цепей при работе компьютера. Нарушения в организме человека под воздействием электромагнитных полей малых напряжений обратимы. При воздействии на поля, которые имеют напряжение выше максимально допустимого уровня, развиваются нарушения со стороны нервной и сердечно-сосудистой систем, органов пищеварения и некоторых биологических показателей крови.

Самым мощным источником электромагнитных полей в комнате являются катушки отклоняющих систем, расположенных вблизи цокольных частей электронно-лучевых трубок мониторов.

Нормы напряженности электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг монитора в соответствии с электрической составляющей, соответствующие [18], приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Нормы напряжённости поля

Наименование параметров	Допустимые значения
Напряжённость электромагнитного поля на расстоянии 50 см. Вокруг ВДТ по электрической составляющей должна быть не более:	
- в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	25 В/м
- в диапазоне частот 2—400 кГц	2,5 В/м

<p>Плотность магнитного потока должна быть не более:</p> <p>- в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц</p> <p>- в диапазоне частот 2-400 кГц</p>	<p>250 нТл</p> <p>25 нТл</p>
<p>Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать</p>	<p>500 В</p>

Чтобы соответствовать максимально допустимой напряженности электромагнитного поля, расстояние от глаз до монитора должно составлять 60-70 см, но не менее 50 см. Увеличение расстояния в 2 раза приводит к 32-кратному уменьшению плотности мощности на низких частотах на оператора.

Последние научные достижения в области мониторов позволяют значительно снизить уровень радиации. Использование современных ЭЛТ-мониторов и ЖК-мониторов гарантирует минимальные значения электромагнитных полей вблизи экранов (менее 10 В / м в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц и менее 1 В / м в частотном диапазоне 2- 400 кГц).

6.2.2 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по снижению воздействия

Электричество. Электрические установки, к которым практически все компьютерное оборудование представляют большую потенциальную опасность для человека, поскольку во время работы или проведения профилактических работ человек может коснуться частей, находящихся под напряжением. Конкретная опасность электрических установок - токопроводящих проводников, корпусов компьютерных стеллажей и другого оборудования, которое оказалось под напряжением в результате повреждения изоляции, не дает никаких сигналов, предупреждающих человека об опасности. Реакция человека на электрический ток происходит только тогда, когда последний проходит через тело человека.

Электрический ток является скрытым видом опасности, потому что трудно определить в токовых и неточных частях оборудования, которые являются хорошими проводниками электричества. Смертельно опасным для жизни человека считается ток, величина которого превышает 0,05 А, ток менее 0,05 А - безопасен (до 1000 В).

Для предотвращения электротравматической травмы важна правильная организация работы. соблюдение Правил технической эксплуатации бытовых электроустановок и правил безопасности для эксплуатации бытовых электроустановок (потребителей ПДЭ и ПДБ) и Правил электромонтажа (ПЭУ). Для предотвращения электрической травмы необходимо соблюдать требования к электробезопасности людей, работающих на ПЭВМ:

- все узлы одного персонального компьютера и подключённое к нему

периферийное оборудование должно питаться от одной фазы электросети;

- корпуса системного блока и внешних устройств должны быть заземлены радиально с одной общей точкой;

- для отключения компьютерного оборудования должен использоваться отдельный пункт с автоматами и общим рубильником;

- все соединения ПЭВМ и внешнего оборудования должны проводиться при отключённом электропитании.

Основные мероприятия, направленные на устранение причин травмы включают:

1. систематический контроль за состоянием изоляции электропроводов, кабелей и т.д.

2. разработка инструкций по техническому обслуживанию и эксплуатации средств вычислительной техники и контроль за их соблюдением;

3. соблюдение правил противопожарной безопасности;

4. своевременное и качественное выполнение работ по проведению планово-профилактических работ и предупредительных ремонтов.

6.3. Экологическая безопасность

Под охраной окружающей среды понимается набор международных, государственных и региональных правовых актов, правил и стандартов, которые приносят общие юридические требования к каждому конкретному

загрязнителю и обеспечивают его заинтересованность в удовлетворении этих требований, конкретные природоохранные меры для реализации этих требований.

Охрана окружающей природной среды складывается из:

- правовой охраны, формулирующей научные экологические принципы в виде юридических законов, обязательных для исполнения;
- материального стимулирования природоохранной деятельности, стремящегося сделать её экономически выгодной для предприятий;
- инженерной охраны, разрабатывающей природоохранную и ресурсосберегающую технологию и технику.

Основными принципами охраны окружающей среды являются:

- приоритет обеспечения благоприятных экологических условий для жизни, труда и отдыха населения;
- научно обоснованное сочетание экологических и экономических интересов общества;
- учёт законов природы и возможностей самовосстановления и самоочищения её ресурсов.

Деятельность человека наносит ущерб окружающей среде, и поэтому общество сталкивается с задачей сделать это воздействие наименее пагубным.

В процессе работы в компьютерных центрах, а также в обычной жизнедеятельности человек является источником твердых бытовых отходов.

Эти отходы, как пищевые, так и промышленные, сильно загрязняют окружающую среду.

Как правило, бумага, диски, строительные отходы, коробки и т. д. Действуют как промышленные отходы. Этот мусор с другими отходами экспортируется на территории, предназначенные для хранения бытовых отходов.

Другие факторы, влияющие на окружающую среду, отсутствуют в процессе создания НИР.

6.3.1 Факторы электрической природы

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока.

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (особо опасные помещения).

Лаборатория относится к помещению с особой опасностью поражения электрическим током. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции,

применения защитных ограждений, расположения токоведущих частей на недоступной высоте. К СКЗ относятся заземление и разделение электрической сети с помощью трансформаторов – в результате изолированные участки сети обладают большим сопротивлением изоляции и малой емкостью проводов относительно земли, за счет чего значительно улучшаются условия безопасности.

Основными электрозащитными средствами в электроустановках напряжением выше 1000 В являются изолирующие штанги, указатели напряжения, а также изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ.

К дополнительным изолирующим электрозащитным средствам относятся диэлектрические перчатки, резиновые коврики и дорожки, изолирующие подставки на фарфоровых изоляторах и переносные заземления.

Освобождение пострадавшего от действия тока напряжением свыше 1000 В может быть произведено только одним способом. Это отключение соответствующей части электрической установки специально обученными людьми.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории Ан, Бн,

Вн, Гн и Дн.

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории А – вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой или кислородом воздуха. По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 [27] (выполнено из кирпича, которое относится к трудно сгораемым материалам). Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причинами возникновения пожара неэлектрического характера являются халатное неосторожное обращение с огнем (оставленные без присмотра нагревательные приборы), утечка водорода.

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, статическое электричество и т. д.

Для устранения причин возникновения и локализации пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- а) использование только исправного оборудования;
- б) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- в) отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ;
- г) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном

состоянии.

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

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

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

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

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

На рисунке 15 представлен план эвакуации из лабораторий, находящихся в цокольном этаже.

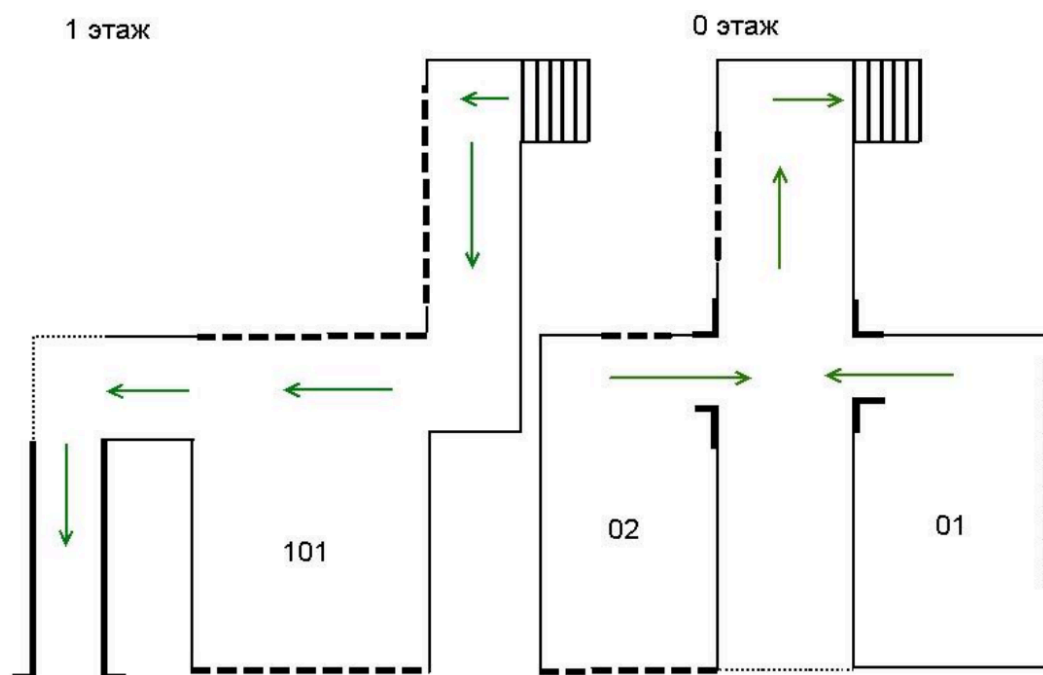


Рисунок 19 – План эвакуации из лаборатории

Заключение социальной ответственности

В этой статье мы рассматриваем безопасность и здоровье труда при исследовании влияния никелевого покрытия и режимов газофазного наводороживания на взаимодействие водорода с титановым сплавом ВТ1-0. Были выявлены вредные и опасные факторы рабочей зоны, причины и средства защиты, рассмотрены чрезвычайные ситуации и поведение в них.

Социальная ответственность представляет собой диалектическую связь между человеком (работодателем) и обществом (работником), характеризующимся взаимными правами и обязанностями по выполнению социальных норм и налагающим влияние в случае его нарушения. Основываясь

на соображениях безопасности при выполнении работы, было ясно, что студенты - будущий лидер - должны нести социальную ответственность за принятые решения.

Литературный обзор

1. Larson U R. Method and Apparatus for Producing Atomized Metal //Powder: A.2014.V.43.Is.4.P.30-32.
2. Gerling R, Clemens H, Schimansky F P. Power Metallurgical Processing of Intermetallic Gamma Titanium Aluminides//Adv. Eng. Mater:A. 2016.V. 6 .Is.1/2.P. 23-38.
3. Charles F Y, John H M. Method for Atomizing Titanium:A. 2016.
4. Hohmann M, Jönsson S. Modern Systems for Production of HighQuality Metal Alloy Powder //Vacuum:A. 2012.V. 41.Is.7.P. 2173-2176.
5. Chen Z H. The Issue of Liquid Metal Atomization // PowderMetallurgy Technology:A. 2014.V. 16.Is.4.P. 284-291.
6. Zhang S G, Yang B C, Yang B, et al. A Novel ultrasonic Atomization Process for Producing Spherical Metal Powder//Acta Metallurgica Sinica:A. 2012.V. 38.Is.8.P. 888-892.
7. Shao M L. Preparation of Ultrafine Nanopowder by Ultrasonic Atomization Method: A. 2008. P. 15.
8. Xie H W, Zou L M, Liu X, et al. The Situation of Preparation Technology of Spherical Titanium Powdersv//Materials Research and Application: A. 2014.V. 8.Is.2.P. 78-82.
9. Tsantrizos P G, Allaire F, Entezarian M. Method of Production of Metal and Ceramic Powders by Plasma Atomization: A. 2010.

10. Lu C. Preparation of High Strength Ceramic Hollow Spheres by Thermal Plasma: A. 2015. P. 2-19.
11. Rodenbough P P, Vanti W B, Chan S W. 3D-printing crystallographic unit cells for learning materials science and engineering// Journal of Chemical Education: A. 2015. V. 92. Is. 11. P. 1960-1962.
12. Kerr K, Smith PR, Hydrogen a nalloyinge lemen tintitanium//. Titanium ' 80S science and Technology , Processdings of the fourth International Conference of Titanium: A. 2014. P. 477 - 486 .
13. Kudiiarov V N, Gulidova L V, Pushilina N S, et al. Application of automated complex Gas Reaction Controller for hydrogen storage materials investigation[C]//Advanced Materials Research. Trans Tech Publications : A. 2013, P. 690-693.
14. Gowers S A N, Curto V F, Seneci C A, et al. 3D printed microfluidic device with integrated biosensors for online analysis of subcutaneous human microdialysate//. Analytical chemistry: A. 2015. V. 87. Is. 15. P. 7763-7770.
15. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ № 45н «Об утверждении норм и условий бесплатной выдачи работникам, занятым на работах с вредными условиями труда, молока или других равноценных пищевых продуктов»
16. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

17. IS CSR 26000:2011 Социальная ответственность организации.
18. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
- 19.ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- 20.ГОСТ 12.1.005-88 (с изм. №1 от 2000 г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01. 01. 89).
- 21.СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- 22.СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
- 23.ГОСТ 12.1.019-79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 24.ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
- 25.ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
- 26.ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования (01. 07. 92).
- 27.Жуков, Виктор Ильич. Защита и безопасность в чрезвычайных ситуациях : учебное пособие / В. И. Жуков, Л. Н. Горбунова; Сибирский федеральный университет (СФУ). — Москва; Красноярск: Инфра-М Изд-во СФУ, 2014. — 392 с.: ил. — Высшее образование. Бакалавриат. — Библиогр.: с. 384- 387.

Приложение

Gas-phase hydrogen disturbance of VT1-0 titanium alloy with nickel coatings

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ81	Лю Цзиньфэй		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кудияров В.Н.			

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Диденко А. В.	Кандидат филологических наук		

Introduction

In recent years, due to the rapid development of the economy and society, the rapid depletion of fossil energy sources, such as coal, oil and natural gas, has led people to gradually realize the seriousness of the “energy crisis”. At the same time, environmental pollution caused by the burning of this fossil fuel also seriously affected people's livelihoods. In this regard, many countries have already begun research and development of new energy sources. Hydrogen is one of the most common elements in the universe. Its calorific value is high, and the products of combustion do not pollute the environment [1]. Therefore, hydrogen energy in a future society. It is very likely that it will become the main secondary source of energy in the global energy arena. However, hydrogen has two technical problems that are difficult to solve compared to conventional energy sources: 1. It is difficult to obtain, 2. It is difficult to store [2].

Traditional hydrogen storage methods are physical methods. There are two main types: high pressure cylinders (hydrogen cylinders) for storing hydrogen and storing liquid hydrogen. However, these methods have many adverse factors. The quality of hydrogen in steel high-pressure cylinders is less than 1% of the quality of the cylinder itself, it is unsafe and has a danger of explosion [3]. The liquid hydrogen storage tank is very large and must be insulated with excellent insulation devices. To prevent boiling and boiling of liquid hydrogen. The cost of storing hydrogen by these methods is very high, and it cannot satisfy the practical feasibility of using hydrogen

as an energy source. Since the 1970s, a new type of development has gradually developed.

The hydrogen storage method uses hydrogen storage alloys (to form metal hydrides) to store hydrogen. The hydrogen storage alloy has a high hydrogen storage capacity. The hydrogen storage density per unit volume is 100 times higher than the density of hydrogen gas under the same temperature and pressure conditions, which is equivalent to gaseous high pressure hydrogen stored at 100 atmospheres.

Hydrogen atoms, having uniquely small mass and size, are able to efficiently accumulate in the crystal lattice of metals. Thus, in some metal hydrides, the packing density of hydrogen atoms may exceed the density of liquid hydrogen. In this regard, metal hydrides are often regarded as hydrogen storage materials. Currently, metal film coatings are of great interest for research as hydrogen accumulators for single-use (battery) or reusable (battery) action. Important requirements for hydrogen storage materials are high hydrogen capacity, good cyclic stability, low temperature and pressure for hydrogenation and dehydrogenation. At the same time, there is currently no unambiguous understanding of the priority mechanisms of hydrogen accumulation in metal films. Possible mechanisms of hydrogen bonding in metal films are hydrides, pseudohydrides, intergranular bonding, and adsorption in pores.

Therefore, the determination of the features of the accumulation and distribution of hydrogen in metal coatings, depending on the conditions of deposition and absorption of hydrogen, is of both practical and scientific interest.

Kinetic model of hydrogen absorption of thin-film materials

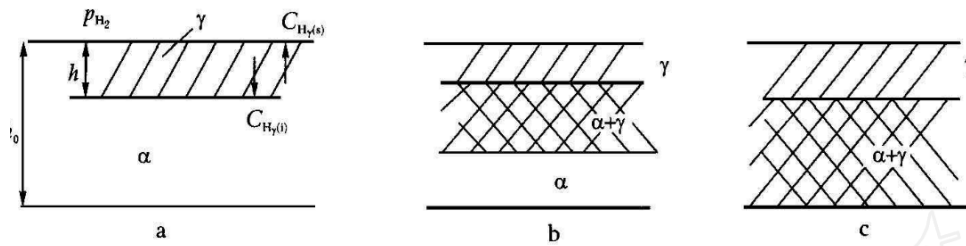


Figure 20 - Kinetic model of thin-film absorption of hydrogen

A kinetic model of thin-film hydrogen uptake is shown below. Hydrogen molecules first dissociate on the film surface, chemisorb, and then transferred from the film surface to the substrate. Then hydrogen will gradually decompose on the film and become a-H (hydrogen atom). The a-H hydrogen atom exists on the surface of the film in the form of a solid solution. With the continuous decomposition of hydrogen, a concentration gradient of hydrogen atoms will form on the film surface. After saturation of the hydrogen atom, it will move along the interface between the gas phase and the solid phase, and it is expected that it will move inside the substrate with the formation of hydride γ -H. According to the complexity and rate of hydride formation, it can be divided into three types:

The formation of γ -H is quick and easy. In this case, γ -H is continuously grown in layers along the surface of the film to the substrate. The area where two phases coexist is 0 (a).

The formation of γ -H is difficult and slow, but γ -H is growing rapidly.

The formation and growth of γ -H is slow, so γ -H will be distributed throughout the film.

Automated Gas Reaction Controller

The GRC automated complex is designed to determine the amount of sorbed gas by various solids in different temperature and pressure ranges.

First, we need to know the meaning of some characters:

the molar volume of hydrogen is supplied to the tank- N_0 ;

the molar volume of hydrogen in the chamber with the sample and in the tank is

N_g ;

molar volume of hydrogen absorbed by a solid (NS);

the solid already contains some known molar volume of hydrogen — NS_0 ;

We can use formula (3) to calculate NS.

If the solid already contains some hydrogen , we can use formula (4) to calculate NS. We can use the formula (5) to calculate the amount of hydrogen in the reaction chamber. Thus, we can calculate the molecular weight of the gas at any temperature and pressure using equation 7. The amount of absorbed hydrogen is determined both by absolute value (cm³) and relative (wt.%). The absolute value of the amount of hydrogen absorbed is defined as the molar volume of hydrogen absorbed by a solid (calculated by formula 3 or 4), multiplied by 22413.6. The relative amount of the amount absorbed by the mass percent (wt.) Is determined by the formula 8. If we already know that the relative molecular weight of the sample is calculated using equation 9.

$$N_S = N_0 - N_g \quad (3)$$

$$N_S = N_{s0} + N_O - N_g \quad (4)$$

$$\frac{pV}{RT} = 1 + \frac{B(T)}{V} + \frac{C(T)}{V} + \frac{D(T)}{V} \quad (5)$$

$$B(T) = B_0 - \frac{A_0}{RT} - \frac{c}{T^3}; C(T) = -B_0b + \frac{A_0a}{RT} - \frac{B_0c}{T^3}; D(T) = \frac{B_0bc}{T^3}; \quad (6)$$

Для водорода значения констант: $A_0 = 0,1975$, $a = -0,00506$, $B_0 = 0,02096$, $b = -0,04359$, $c = 504$.

$$n = \frac{pV}{RT} \left\{ 1 + \frac{B(T)n}{V} + C(T) \left(\frac{n}{V} \right)^2 + D(T) \left(\frac{n}{V} \right)^3 \right\} \quad (7)$$

$$WT = \frac{N_S * M_G}{(m * 100)} \quad (8)$$

$$X = \frac{2 N_s}{(n/M)} = \frac{2M}{M_G} * WT = WT \frac{MWT}{100.79} \quad (9)$$

Figure 17 shows a diagram of the automated complex Gas Reaction Controller.

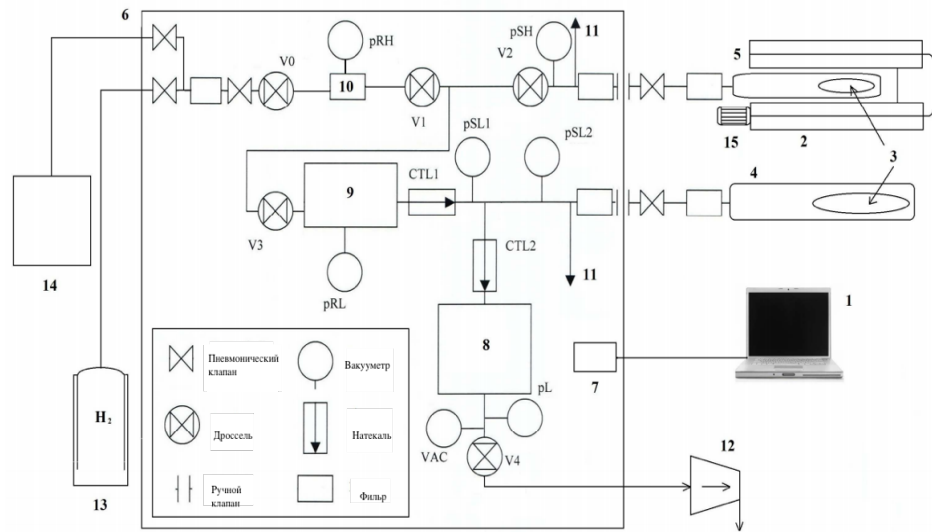


Figure 21 - Diagram of the automated complex Gas Reaction Controller

1 - computer; 2 - furnace / cryostat; 3 - sample; 4 - low pressure chamber; 5 - high pressure chamber; 6 - controller; 7 - electronic control system of the complex; 8 - reservoir; 9 - low pressure tank; 10 - reservoir of high pressure; 11 is an emergency hydrogen removal system; 12 - vacuum post; 13 - a cylinder with hydrogen; 14 -

hydrogen generator; 15 - cooling system.

So, we know the principle of operation of the automated complex Gas Reaction Controlle. First, we get hydrogen by electrolysis. The resulting hydrogen is stored in a cylinder. When the test was started, we allowed the hydrogen in the cylinder to enter the reaction unit, and the amount of hydrogen involved in the reaction was controlled by controlling the pressure.

Physical vapor deposition (PVD)

Spraying refers to the three main methods of PDV (physical vapor deposition): vacuum evaporation, sputtering, ionic coating (ionic coating with a hollow cathode, ionic coating with a hot cathode, ionic coating of an arc, reactive reactive ionic coating, radio frequency ionic coating, ionic coating DC discharge).

The principle of operation of magnetron sputtering is that electrons collide with argon atoms during flight to the substrate under the influence of an electric field E , which leads to their ionization with the formation of positive Ar ions and new electrons; new electrons fly to the substrate. Electrons fly to the substrate, positive Ar ions accelerate to the cathode target under the influence of an electric field and bombard the target surface with high energy, causing the target to sputter.

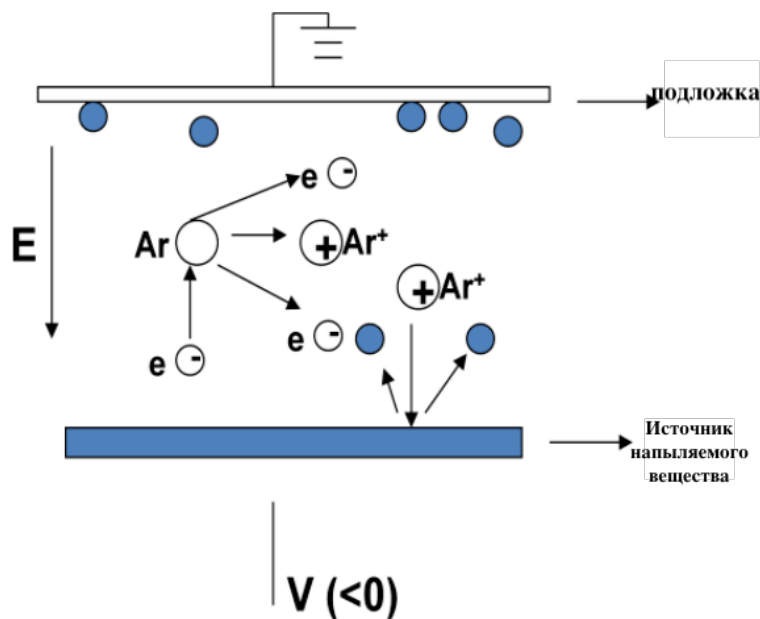


Figure 22 - Physical vapor deposition

In atomized particles, neutral atoms or target molecules are deposited on the substrate, forming a thin film, and the generated secondary electrons will be affected by electric and magnetic fields, which leads to a drift in the direction E (electric field) $\times B$ (magnetic field), called the drift $E \times B$, its trajectory approaches a cycloid. If it is a toroidal magnetic field, the electrons make a circular motion on the surface of the target in an approximate cycloidal form. Their path of travel is not only very long, but also connected in the plasma region near the target surface, and a large amount of ionization is generated in this region. Ar-positive ions fall into the bombardment of the target, thereby achieving a high deposition rate. As the number of collisions increases, the energy of the secondary electrons is depleted, gradually moving away

from the target surface, and finally deposited on the substrate by the electric field E . Since the electron energy is very small, the energy is transferred to the substrate of a small size, which leads to a low increase in the temperature of the substrate. Magnetron sputtering is the process of collision between incident particles and a target. The incident particle undergoes a complex scattering process in the target, collides with the target atom, transfers some momentum to the target atom, and this target atom collides with other target atoms, forming a cascade process. During this cascade, target atoms near certain surfaces gain enough momentum to move outward, leaving the target sputtered.

Ion surface cleaning and deposition of a nickel layer on the Rainbow-Spectrum installation

The formation of a nickel layer on the surface of the samples was carried out at the Rainbow-Spectrum installation of the Department of General Physics of Tomsk Polytechnic University, the installation diagram is shown in Figure 6.

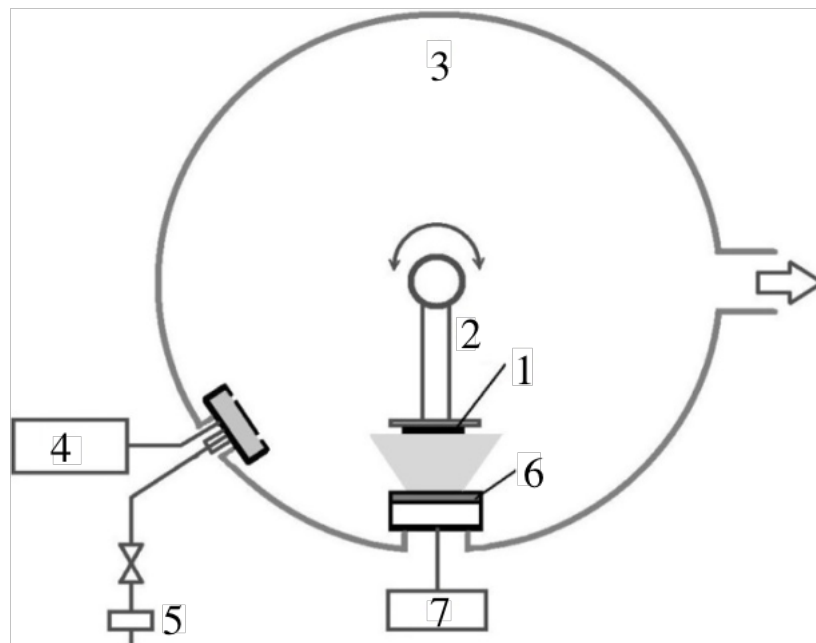


Figure 23 - Installation diagram of the Rainbow-Spectrum: 1 - sample; 2 - holder; 3 - a vacuum chamber; 4 - ion source; 5 - source of argon; 6 - nickel; 7 – magnetron

Samples (1) were fixed on the holder (2) and placed in the vacuum chamber (3) of the installation. The limiting residual pressure in the chamber was $2,5 \cdot 10^{-3}$ Pa. When applying thin-film protective coatings, ionic surface cleaning, which is necessary to remove various kinds of contaminants, as well as an oxide film formed on the surface of the material, is especially important. The method of ionic surface cleaning allows you to get almost atomically clean surface. As a result, when applying ion cleaning technology immediately before coating, the adhesion of the applied material to the substrate is improved. The surface was cleaned directly in the installation chamber before spraying the coating with an ion (4) argon beam (5), with the parameters presented in table 4.

Table 25. Parameters of ionic surface cleaning

Gas	Voltage, V	Power, W	Amperage, A	Pressure, Pa
Argon	2000	1000	0,5	$6 \cdot 10^{-2}$

Nickel (6) was deposited by magnetron (7) sputtering in the mode shown in Table 5. The sputtering time was varied to form nickel layers of various thicknesses. As a target, nickel of grade H0 was used, the degree of purity of 99.99%.

Table 26. Parameters of magnetron sputtering of Nickel

Voltage, V	Power, W	Amperage, A	Pressure, Pa
500	2000	3	$1 \cdot 10^{-1}$

The effect of nickel coating thicknesses on the rate of hydrogen sorption by technically pure VT1-0 grade titanium alloy

At the next stage, the influence of the thickness of the nickel coating on the rate of hydrogen sorption by a titanium alloy was studied. For this, samples were prepared with a nickel coating applied over a period of 10 to 50 minutes. The thickness of the nickel coatings was estimated by the diffraction method described previously. A graph of the dependence of the thickness of the nickel coating on the deposition time is shown in Figure 20. A linear dependence of the deposition rate of the coating over time is observed, which was approximately 43 nm / min. It should be noted that the deposition rate of the coating is significantly different for a deposition time of less than 10 minutes. and depends on the temperature of the substrate. At the initial stage,

the growth rate of the coating is higher, which is mainly due to the influence of the temperature factor when the substrate is heated to operating temperature, when the incoming heat flux from the plasma is equal to the heat loss of the substrate. At low temperatures, the mobility of adatoms is much lower, which leads to columnar growth and a high degree of friability (presence of pores) of the coatings due to the screening effect. Upon reaching a balanced temperature regime on the substrate, the mobility of adatoms increases and reaches its stationary value when the values of the deposition rate of the coating for a given time interval vary slightly.

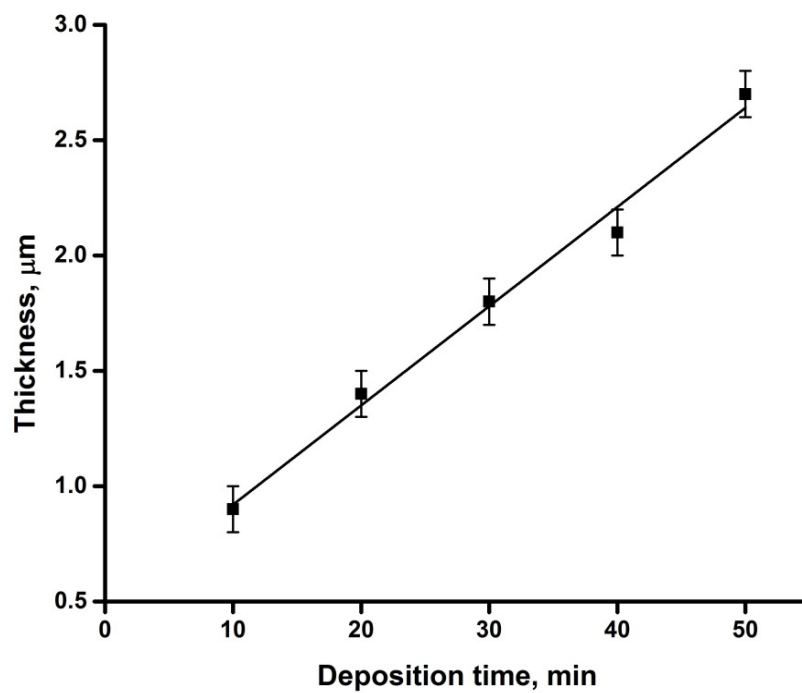


Figure 24. Dependence of nickel coating thickness on spraying time.

An analysis of the sorption curves of samples of technically pure titanium alloy grade VT1-0 with different spraying times is shown in Figure 21.

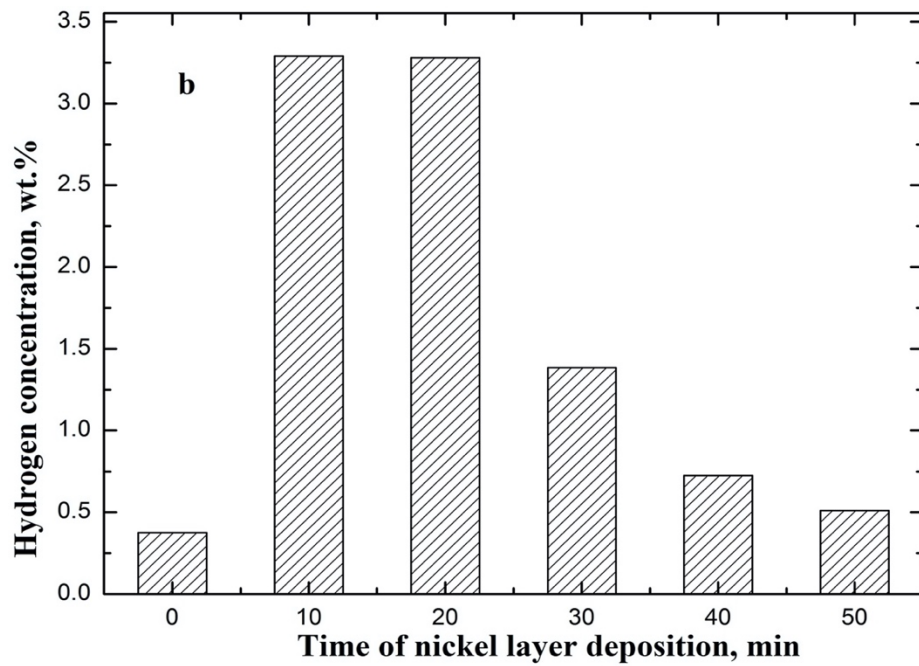
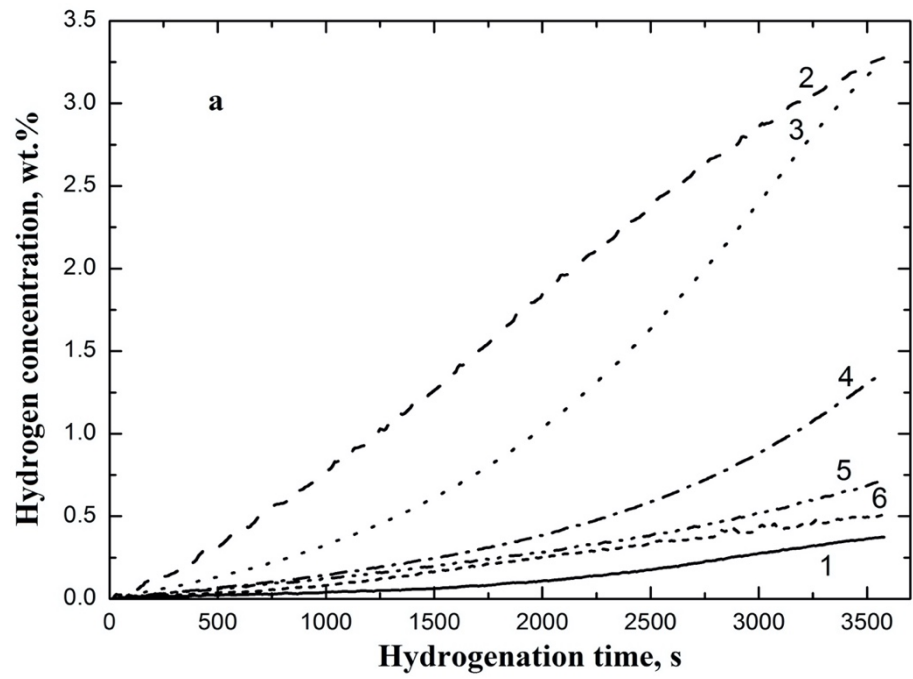


Figure 25. Hydrogen sorption curves (a) for technically pure titanium alloy VT1-0 with a nickel coating deposited by magnetron sputtering: 1 - without nickel coating, 2 - spraying time 10 minutes, 3 - 20 minutes, 4 - 30 minutes, 5 - 40 minutes,

6 to 50 minutes, and the values of the concentration of hydrogen (b).

Comparing the sorption curves, we can say that the highest hydrogen absorption rate is observed for samples with 10 and 20 minute nickel deposition. But the graphs have a different look: for a sample with a 10-minute spraying, the graph is close to linear; for a sample with a 20-minute spraying, a linear dependence is traced in areas up to 0.2 wt.% And from 1.5 wt.%. These sections correspond to different phases. For other samples, with an increase in the deposition time, the sorption rate decreases significantly.

The dependence of the hydrogen concentration on the time of nickel deposition shows that for the same saturation time different concentrations of hydrogen accumulated in the samples. The lowest concentration of the initial sample, the highest, as already mentioned, for samples with 10 and 20-minute deposition of nickel. For the remaining samples, the hydrogen concentration is inversely proportional to the deposition time.

Figure 22 shows the dependence of the hydrogen sorption rate on the thickness of the nickel coating during hydrogenation at a temperature of 450 ° C and a pressure of 1 atm. A gradual decrease in the rate of hydrogen sorption with increasing coating thickness has been established. This is due to the low diffusion ability of hydrogen through a nickel coating. It is harder for adsorbed hydrogen on the surface to diffuse through a thicker nickel coating, which significantly reduces the rate of hydrogen absorption by the technically pure titanium alloy grade VT1-0.

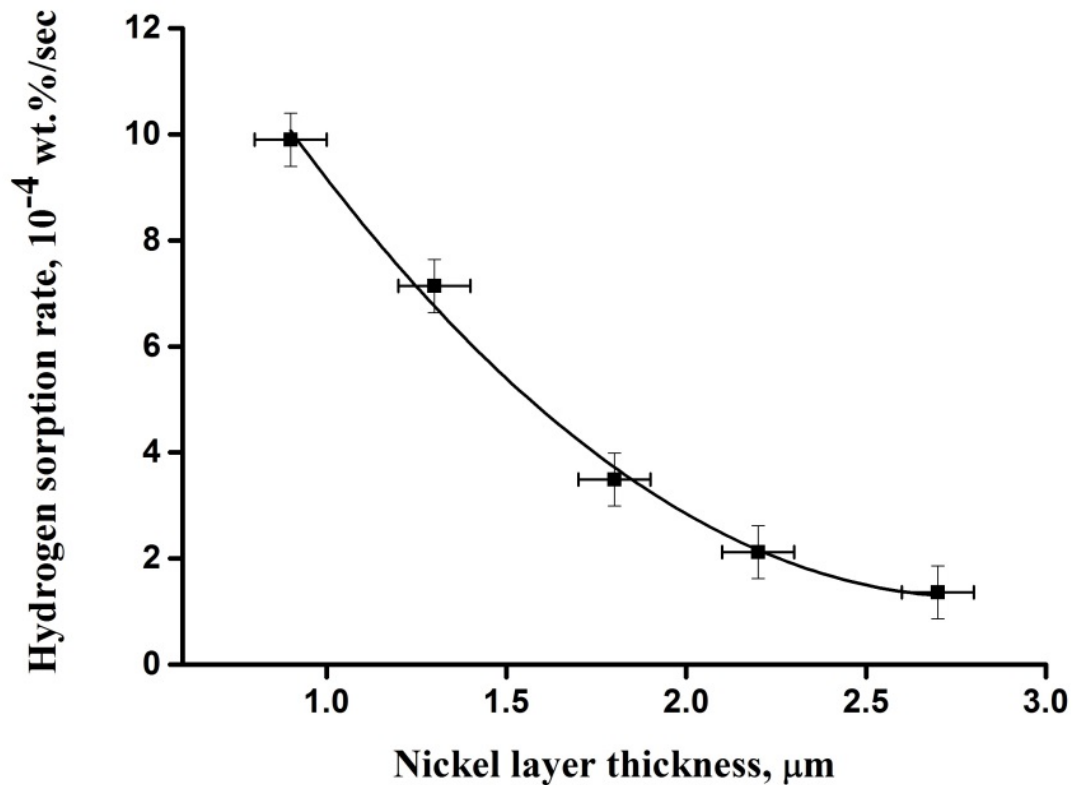


Figure 26. Dependence of the rate of hydrogen sorption by technically pure titanium on the thickness of the nickel coating

Main conclusions

1. A technique has been developed for applying nickel coatings by magnetron sputtering onto a technically pure titanium alloy of the VT1-0 grade with preliminary ion cleaning to prevent oxidation of the material in the temperature range 350-550 °C.
2. It was revealed that preliminary ion cleaning with subsequent deposition of a nickel coating leads to an increase in the rate of hydrogen sorption by technically pure VT1-0 grade titanium alloy by one order of magnitude.
3. A decrease in the rate of hydrogen sorption by technically pure titanium by

more than 5 times with an increase in the nickel coating thickness from 1 to 2.78 μm was shown.

Literature review

28.Larson U R. Method and Apparatus for Producing Atomized Metal //Powder: A.2014.V.43.Is.4.P.30-32.

29.Gerling R, Clemens H, Schimansky F P. Power Metallurgical Processing of Intermetallic Gamma Titanium Aluminides//Adv. Eng. Mater:A. 2016.V. 6 .Is.1/2.P. 23-38.