

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

---

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

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Взаимодействие водорода с интерметаллическими материалами на основе титана

УДК 669.295:669.788

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б41	Сюй Янь		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЭФ ИЯТШ ТПУ	Мурашкина Т.Л.			

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Черепанова Н.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Ларионова Е.В.	к.х.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2018 г.

## Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник способен)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные компетенции</i>		
<b>Р1</b>	Использовать основные этапы и закономерности исторического развития общества, основы философских, экономических, правовых знаний для формирования мировоззренческой, гражданской позиций и использования в различных сферах жизнедеятельности	Требования ФГОСЗ+ <i>(ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4)</i>
<b>Р2</b>	К самоорганизации и самообразованию, работать в коллективе, к коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке, толерантно воспринимать социальные, этические и культурные различия, использовать методы и средства физической культуры, приёмы первой помощи и методы защиты в условиях ЧС.	Требования ФГОСЗ+ <i>(ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9)</i>
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>		
<b>Р3</b>	Использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, современные концепции и ограничения естественных наук, использовать фундаментальные знания разделов общей и теоретической физики, математики для создания моделей и решения типовых профессиональных задач, в том числе с использованием знаний профессионального иностранного языка.	Требования ФГОСЗ+ <i>(ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-7)</i>
<b>Р4</b>	Понимать сущность и значение информации, соблюдать основные требования информационной безопасности, использовать методы, способы, средства получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры.	Требования ФГОСЗ+ <i>(ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6)</i>
<b>Р5</b>	Получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах, критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности.	Требования ФГОСЗ+ <i>(ОПК-8, ОПК-9)</i>

<i>Профессиональные компетенции</i>		
<b>Р6</b>	<p><u>Научно-исследовательская деятельность</u></p> <p>Проводить научные теоретические и экспериментальные исследования в областях: материаловедения, атомной и ядерной физики, водородной энергетики, физики плазмы с помощью современной приборной базы с использованием специализированных знаний физики и освоенных профильных дисциплин.</p>	<p>Требования ФГОСЗ+ (ПК-1, ПК-2)</p>
<b>Р7</b>	<p><u>Научно-инновационная деятельность</u></p> <p>Применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований, а также профессиональные знания и умения в результате освоения профильных дисциплин для проведения физических исследований в инновационных областях науки, используя современные методы обработки, анализа и синтеза информации.</p>	<p>Требования ФГОСЗ+ (ПК-3, ПК-4, ПК-5)</p>
<b>Р8</b>	<p><u>Организационно-управленческая</u></p> <p>Использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований, участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме, понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования</p>	<p>Требования ФГОСЗ+ (ПК-6, ПК-7, ПК-8)</p>
<b>Р9</b>	<p><u>Педагогически-просветительская</u></p> <p>Проектировать, организовывать, анализировать педагогическую деятельность, владеть последовательностью изложения материала с использованием междисциплинарных связей физики с другими дисциплинами, участвовать в информационно-образовательных мероприятиях по пропаганде и распространению научных знаний</p>	<p>Требования ФГОСЗ+ (ПК-9)</p>



<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></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"> <li>– Аналитический обзор литературных источников;</li> <li>– Исследование морфологических особенностей металлических порошков;</li> <li>– Получение порошка интерметаллического соединения TiCr<sub>2</sub>;</li> <li>– Анализ полученных результатов;</li> <li>– Социальная ответственность;</li> <li>– Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</li> <li>– Заключение.</li> </ul>
--	---

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Ларионова Е.В.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Черепанова Н.В.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЭФ ИЯТШ ТПУ	Мурашкина Т.Л.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б41	Сюй Янь		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
150Б41	Сюй Янь

<b>Школа</b>	ИЯТШ	<b>Отделение</b>	Экспериментальной физики
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Физика

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Стоимость сырья. Размер заработной платы. 2. Амортизационные расходы.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	3. Нормы амортизации – 20%, районный коэффициент – 1,3; коэффициент дополнительной зарплаты – 12%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	4. Отчисления во внебюджетные фонды – 27%.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования. 2. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований. 3. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.
2. Планирование и формирование бюджета научно-исследовательских работ	1. Расчет основной заработной платы исполнителей темы. 2. Расчет отчислений на социальные нужды. 3. Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Календарный график проведения НИ
4. Бюджет проекта

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Черепанова Н.В.	к.ф.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
150Б41	Сюй Янь		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
150Б41	Сюй Янь

Школа	ИЯТШ	Отделение	Экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Физика

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

*1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения*

*Технический процесс заключается в насыщении водородом металлов с помощью автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller. В процессе возникли следующие вредные факторы:*

- 1. отклонение показателей микроклимата в помещении;*
  - 2. превышение уровней шума.*
- Возможно, возникают пожар и взрыв газовых баллонов в процессе работы.*

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

*1. Производственная безопасность*  
*1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:*

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;*
- действие фактора на организм человека;*
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);*
- предлагаемые средства защиты;*
- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).*

*1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:*

- механические опасности (источники, средства защиты);*
- термические опасности (источники, средства защиты);*
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)*

*1.1 Характеристика факторов изучаемой производственной среды, описывающих процесс взаимодействия человека с окружающей производственной средой:*

*Микроклимат.  
Шум.*

*1.2 Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды:  
пожаровзрывобезопасность (соблюдение правил безопасности и эксплуатации установки).*

*2. Экологическая безопасность:*

- защита селитебной зоны*
- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);*
- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);*
- анализ воздействия объекта на литосферу*

*2. Охрана окружающей среды:*

- Утилизация металлических отходов.*

<p>(отходы);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>3. Возможные чрезвычайные ситуации являются: пожары, ситуации природного характера.</p> <p>К мерам по предупреждению будут относиться:</p> <p>3.1. Планирование защиты населения и территорий от ЧС на уровне предприятия (организации);</p> <p>3.2. Создание запасов средств индивидуальной защиты и поддержание их в готовности;</p> <p>3.3. Выявление угроз пожара и оповещение персонала;</p> <p>3.4. Подготовка работающих к действиям в условиях ЧС;</p> <p>3.5. Подготовка и поддержание в постоянной готовности сил и средств для ликвидации ЧС.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>4. Правовые вопросы обеспечения безопасности.</p>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Ларионова Е.В.	к.х.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б41	Сюй Янь		

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Уровень образования бакалавриат

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) экспериментальной физики

Период выполнения \_\_\_\_\_

Форма представления работы:

бакалаврская работа
---------------------

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2017	Аналитический обзор литературных источников	15
01.09.2017	Исследование морфологических особенностей металлических порошков	15
30.12.2017	Получение порошка интерметаллического соединения TiCr <sub>2</sub>	20
30.04.2018	Анализ полученных результатов	15
28.05.2018	Социальная ответственность	15
28.05.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
28.05.2018	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЭФ ИЯТШ ТПУ	Мурашкина Т.Л.			

**СОГЛАСОВАНО:**

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

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 66 страниц, 26 рисунков, 11 таблиц, 14 источников.

Ключевые слова: материалы-накопители водорода, интерметаллическое соединение, титановые сплавы.

Объектом исследования являются металлические порошки титана сферической и иррегулярной формы, интерметаллический сплав  $TiCr_2$ .

Цель работы – исследование влияния морфологических особенностей на взаимодействия водорода с металлическими порошками на основе титана.

В процессе исследования проводился аналитический обзор литературы, исследование морфологии порошка сканирующей электронной микроскопией, рентгеноструктурный анализ, измельчение интерметаллического сплава гидрированием.

В результате исследования получены результаты морфологических особенностей порошков титана различной формы и порошка интерметаллического соединения  $TiCr_2$ , полученного механическим измельчением и гидрированием. Изучено влияние морфологических особенностей порошков на сорбционные свойства.

Область применения: полученный порошок интерметаллического сплава могут быть использоваться в качестве материалов-накопителей водорода.

В будущем планируется исследование морфологии и структурно-фазовых состояний интерметаллических соединений при циклических процессах сорбции-десорбции водорода с целью повышения циклической стабильности и эффективной емкости.

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	13
Глава 1. Теоретическая часть.....	15
1.1 Способы хранения водорода .....	15
1.2 Интерметаллические соединения .....	16
1.2.1 Классификация интерметаллических сплавов.....	17
1.2.2 Фазы Лавеса.....	18
1.2.3 Структурный тип $TiCr_2$ .....	18
1.3 Взаимодействие водорода с интерметаллическими соединениями.....	20
1.3.1 Влияние водорода на измельчение .....	21
1.3.2 Влияние размера частиц на водородсорбционные свойства.....	22
Глава 2. Материалы и методы исследования .....	24
2.1 Сканирующая электронная микроскопия .....	24
2.2 Рентгеноструктурный анализ .....	26
2.3 Методы измельчения материалов.....	27
2.3.1 Механическое воздействие .....	28
2.4 Методы статистической обработки данных .....	29
Глава 3. Результаты.....	31
3.1 Морфологические особенности исходных материалов.....	31
3.2 Влияние водорода на морфологию и структуру материалов.....	38
3.3 Влияние морфологии металлических порошков на сорбционные свойства при взаимодействии с водородом.....	42
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	47
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	47
4.2 Анализ конкурентных технических решений .....	47
4.3 SWOT-анализ .....	49
4.4 Разработка графика проведения научного исследования .....	50

4.5 Бюджет научно-технического исследования.....	51
Глава 5. Социальная ответственность.....	54
5.1 Производственная безопасность.....	54
5.1.1 Микроклимат.....	54
5.1.2 Производственный шум.....	55
5.1.3 Пожар взрывоопасность.....	56
5.2 Экологическая безопасность.....	59
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	59
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	63
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	65

## ВВЕДЕНИЕ

Водород является перспективным альтернативным энергетическим носителем на будущее благодаря его высокой плотности энергии и экологичности. Разработка водородных технологий для поддержки устойчивых источников энергии имеет важное значение для удовлетворения растущих потребностей в энергии. Хранение водорода в металлических материалах находится в центре внимания благодаря высокой емкости хранилища, особенно объемная плотность энергии. Среди различных типов гидридов металлов сплавы фаз Лавеса типа  $AB_2$  являются перспективными для применения при комнатной температуре благодаря их легкой активации, быстрой кинетике. Среди этих гидридов металлов сплав на основе Ti-Cr типа  $AB_2$  представляет собой один из наиболее перспективных сплавов для хранения водорода. В связи с этим, перспективно изучение материалов-накопителей водорода типа  $AB_2$ .

Основными характеристиками металлических порошков являются технологические и физические свойства, химический состав. Среди физических свойств порошков выделяют форму частиц, гранулометрический состав, удельную поверхность и микротвердость. На форму частиц оказывает влияние химической природы металла и способ получения порошков. От формы порошков зависит насыпной вес, прессуемость, прочность и однородность прессовок. Наибольшую прочность имеют прессовки из порошков дендридной формы. Порошки сферической формы имеют наибольший насыпной вес, но плохую прессуемость.

Также важной характеристикой порошков является гранулометрический состав. Соотношение частиц разных размеров, выраженное в процентах, входят в технические условия на порошки. В зависимости от размера частиц основной фракции металлические порошки классифицируют на ультратонкие (0,5 мкм), весьма тонкие (0,5-10 мкм), тонкие (10-40 мкм), средней тонкости (40-150 мкм).

Основным способом определения размеров и формы частиц является микроскопический метод для частиц диаметром 0,5 мкм и более – оптическая микроскопия, для частиц меньших размеров – электронная микроскопия с применением иммерсионных жидкостей. Микроскопическим наблюдением при статистической обработке можно получить интегральную и дифференциальную кривые распределения частиц. Микроскопические данные позволяют вычислить и видимую поверхность частиц различных размеров.

Для комплексного исследования материалов-накопителей водорода, необходимо знать, как размер порошка и его морфология влияют на способность поглощать водород. Метод сканирующей электронной микроскопии позволяет изучить, форму и размер частиц. По данным рентгеноструктурного анализа, мы можем анализировать структуру материала и его состав.

Цель работы: Исследование влияния морфологических особенностей на взаимодействия водорода с металлическими порошками на основе титана

Задачи:

1. Исследование морфологических особенностей металлических морфологических порошков титана и хрома.
2. Исследование влияния водорода на морфологию интерметаллического порошка  $TiCr_2$ .
3. Исследование влияния морфологии металлических порошков на сорбционные свойства при взаимодействии с водородом.

## Глава 1. Теоретическая часть

### 1.1 Способы хранения водорода

С развитием промышленности и улучшением материального уровня жизни людей спрос на энергию также увеличился. Поскольку источники энергии, используемые в последние десятилетия, главным образом, поступают из ископаемых видов топлива (таких как уголь, нефть и природный газ и т.д.), и его использование неизбежно загрязняет окружающую среду в сочетании с ее ограниченными запасами, поиск возобновляемой зеленой энергии неизбежен. Как своего рода зеленая энергия и энергоноситель с богатыми запасами, широкими источниками и высокой плотностью энергии, водородная энергия привлекает внимание людей. Для использования энергии водорода необходимо решить следующие три вопроса: подготовка, хранение, транспортировка и применение водорода, причем хранение и транспортировка водородной энергии является ключом к применению энергии водорода. Люди в практических применениях должны уделять первоочередное внимание безопасным, эффективным потерям при хранении и транспортировке водорода, что создает большие трудности при хранении и транспортировке. Существует несколько способов хранения водорода.

#### *Газообразное хранилище водорода*

Хранение водорода в виде сжатого газа под высоким давлением. Из-за низкой плотности водорода существует мало применений. Газовое хранилище высокого давления является наиболее распространенным и прямым методом хранения. Водород может быть непосредственно высвобожден через регулировку клапанов высокого давления. Однако его недостатки заключаются в том, что он требует сосудов высокого давления, и он потребляет большое количество работы по сжатию водорода, и

существуют небезопасные факторы, такие как легкая утечка водорода и взрывчатых веществ в контейнерах.

#### *Хранение жидкого водорода*

Водород будет существовать в жидкой форме при определенной низкой температуре. Поэтому можно использовать технологию хранения криогенного жидкого водорода, криогенное хранение жидкого водорода. Хранилища для хранения жидкого водорода должны использовать специальные контейнеры для сверхнизких температур. Поскольку хранение жидкого водорода и несовершенная изоляция нередко приводят к более высоким потерям при испарении, затраты на хранение относительно дороги, а технология безопасности также сложнее.

#### *Твердое хранилище водорода*

Твердотельное хранилище использует физическую адсорбцию или химическую реакцию твердых веществ на газообразном водороде для хранения водорода в твердых материалах. Твердотельное хранилище, как правило, безопасно, эффективно и высокоплотно. Это наиболее перспективное исследовательское открытие после хранения газа и хранения жидкости. Твердотельное хранилище требует использования материалов для хранения водорода, и необходимо найти и разработать высокоэффективные материалы для хранения водорода. Это является первоочередной задачей для хранения твердого водорода и ключом к будущей разработке хранилища водорода и даже полного использования водородной энергии.

## **1.2 Интерметаллические соединения**

Интерметаллические соединения - соединения, образованные металлами и металлами или металлами и металлоидами (например, H, B, N, S, P, C, Si и т.д.). Атомы двух металлов объединяются в определенной пропорции с образованием состава сплава, который отличается от обеих исходных кристаллических решеток. Интерметаллическое соединение отличается от обычного соединения, его состав может быть изменен в

определенном диапазоне, валентность составляющих элементов трудно определить, но имеет значительную металлическую связь. Связь между атомами часто не является одним типом связи, но сосуществуют смешанная связь, то есть ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь или даже молекулярная связь (сила Ван-дер-Ваальса). Из-за наличия ионных связей или ковалентных связей интерметаллические соединения часто являются жесткими и хрупкими (высокая прочность, слабая пластичность). Однако из-за наличия компонентов металлической связи существуют также металлические свойства (такие как определенная степень пластичности, электропроводность и металлический блеск и т. д.).

### 1.2.1 Классификация интерметаллических сплавов

В настоящее время в мире разработано множество сплавов для хранения водорода. Согласно основным металлическим элементам интерметаллических соединений его можно разделить на: сплавы на основе магния, редкоземельных металлов, циркония, титана и других металлов и сплавов. В соответствии с этим поглощающий водород сплав можно далее разделить на:  $AB_5$ ,  $AB_2$ ,  $AB$  и  $A_2B$  тип.

Таблица 1 – Классификация интерметаллических сплавов на:  $AB_5$ ,  $AB_2$ ,  $AB$  и  $A_2B$  тип [1]

Тип	Материал А	Материал В	Рабочий интервал		Содержание водорода, масс. %
			T, °C	P, атм.	
$AB_5$	La, Mn, Y, Ca	Ni, Al, Co, Sn	20-30	0.1 ~ 150	1,2-1,5
$AB_2$	Ti, Zr	Cr, Mn, Fe, V	70-150	0.1-250	1,5-3,6
$AB$	Ti	Fe, Co, Ni	300-400	1-100	1,75-1,89
$A_2B$	Mg	Ni, Cu	250-320	1-100	2,5-3,7

### 1.2.2 Фазы Лавеса

Интерметаллические соединения с фазой Лавеса представляют самый многочисленный класс. Основной класс двойных фаз Лавеса имеют стехиометрический состав  $AB_2$ , но имеются малочисленные исключения из этого правила.

Фазы Лавеса образуются атомами двух сортов А и В. Атом сорта А всегда имеет больший атомный радиус ( $R$ ), чем атом сорта В, между которыми существует идеальное соотношение радиусов компонентов  $R_A : R_B = 1.225$  [2]. Структурные особенности фаз Лавеса приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики различных структур фаз Лавеса [3]

Фаза	Сингония	Группа	Число атомов в элементарной ячейке	Порядок укладки
C14 (MgZn <sub>2</sub> ),	гексагональная	P63/mmc	12	AB
C15 (MgCu <sub>2</sub> )	кубическая	Fd3m	24	ABC
C36 (MgNi <sub>2</sub> )	гексагональная	P63/mmc	24	ABAC

### 1.2.3 Структурный тип TiCr<sub>2</sub>

TiCr<sub>2</sub> является фазой Лавеса. Благодаря особенностям своей кристаллической структуре TiCr<sub>2</sub> способны «вмещать» в решетке атомы водорода. Поэтому TiCr<sub>2</sub> могут использоваться в качестве накопителей водорода в водородной энергетике.

TiCr<sub>2</sub> может существовать в трех модификациях C14, C15 или C36. Тип C15 (тип MgCu<sub>2</sub>) является гранецентрированной кубической с двумя блоками  $AB_2$  на единицу ячейки. Тип C14 (тип MgZn<sub>2</sub>) и C36 (тип MgNi<sub>2</sub>) являются

гексагональными типами с четырьмя и восемью единицами формулы  $AB_2$  на элементарную ячейку, соответственно [4]. На рисунке 1.1 изображен структурный тип  $TiCr_2$ .

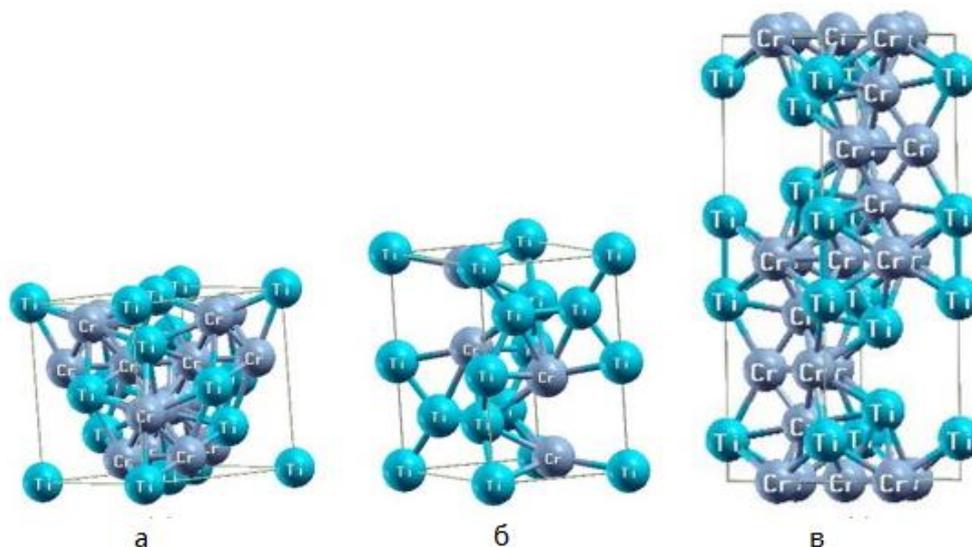


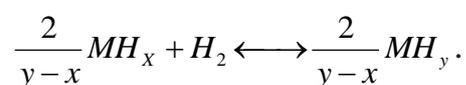
Рисунок 1.1 – Структура интерметаллического соединения  $TiCr_2$ : C15 (а), C14 (б) и C36 (в) [4]

Координаты атомов в структуре C15: 8a (0, 0, 0) для Ti и 16d (0,625, 0,625, 0,625) для Cr. В структуре C14, Ti находится в 4f (0,33, 0,67, 0,062) и Cr при 2a (0, 0, 0) и 6h (0,83, 0,66, 0,25). В C36, Ti занимает 4e (0, 0, 0,093) и 4f (0,33, 0,67, 0,844) положения, в то время как Cr находится в 6G (0,5, 0, 0) 4f (0,33, 0,67, 0,125) и 6h (0,16, 0,33, 0,25) положения [5].

Структура  $TiCr_2$  трансформируется как функция температуры от кубического политипа C15 до гексагонального политипа C36 при промежуточных температурах и к шестиугольному политипу C14 при самых высоких температурах. Структура C15 является наиболее стабильной, тогда как устойчивость структур C36 и C14 при более высоких температурах облегчается влиянием энтропии [6].

### 1.3 Взаимодействие водорода с интерметаллическими соединениями

Металл для хранения водорода поглощает водород, потому что он химически реагирует с водородом. Как только водород находится в контакте с сплавом для хранения водорода, он может быть разложен на атомы Н на его поверхности, а затем атомы Н диффундируют внутрь сплава, пока он не реагирует с сплавом с образованием гидроксида металла. В это время водород хранится в атомном состоянии в точке кристаллизации металла (положение тетраэдра и октаэдра). Реакции сорбции и десорбции водорода при определенной температуре и давлении водорода могут быть записаны как:



Однако, как правило, сплавы для хранения водорода первоначально не поглощают водород и, конечно же, не выделяют водород. Они должны быть приведены в контакт с водородной атмосферой под высоким давлением и высоким давлением и затем вакуумированы при пониженном давлении. Эволюция водорода постепенно увеличивает их способность абсорбировать водород и выделять водород. Этот процесс, называемый активацией, является необходимым шагом перед практическим применением сплавов для хранения водорода.

Из механизма активации сплавов для хранения водорода факторы, которые влияют на его легкость активации, можно отнести к двум следующим аспектам:

1. Характеристики поверхностного слоя сплава, связанные с количеством кислорода, азота, воды и других примесей, адсорбированных на поверхности сплава, толщиной оксидного слоя на поверхности сплава и влиянием различных компонентов на поверхность сплава на разложение молекул водорода на атомы водорода. Это также связано с такими факторами, как легкость атомов водорода, проходящих через поверхностный слой, в матрицу сплава.

2. Характеристики матрицы сплава связаны с сродством атомов металла и атомов водорода в сплаве, скоростью диффузии атомов водорода в сплаве и легкостью генерации трещин при поглощении водорода. Титан и титановые сплавы легко поглощают водород, небольшое количество абсорбции водорода может привести к хрупкости титана, серьезно влияют на развитие и применение титана в качестве конструкционного материала. Растворимость водорода различна в различных структурах титана.

### **1.3.1 Влияние водорода на измельчение**

Водородное охрупчивание – процесс охрупчивания и разрушения некоторых металлов при взаимодействии с атомарным водородом. Наиболее сильное водородное охрупчивание испытывают высокопрочные стали, а также сплавы титана и никеля. Водород может попадать в расплавленный металл и оставаться в нем (в перенасыщенном состоянии) после затвердевания. Диффузия водорода в твердый металл может происходить при повышенных температурах (тепловая обработка, сварка), при гальванизации, при коррозии и декапировании. Точный механизм водородного охрупчивания неизвестен, одним из объяснений может являться рекомбинация атомарного водорода в молекулярный на дислокациях и нанопорах с сопровождающим этот процесс резким возрастанием давления и последующим зарождением трещин в металле. Во многих случаях водородное охрупчивание — обратимый процесс, и если растрескивание ещё не началось, водород может быть удален из металла посредством отжига.

Процесс HDDR включает в себя четыре этапа гидрогенизации-диспропорционирования-десорбции-рекомбинации (HDDR). Суть процесса HDDR заключается в поглощении водорода и диспропорционировании разложением редкоземельных интерметаллических соединений. В последующем процессе дегидрирования, продукт диспропорционирования становится составной фазой малых зерен, для достижения уточнения материала зерна (средний размер зерна 300 нм).

Метод HDDR использует титан для получения хрупкости после абсорбции водорода и легко измельчается механическими средствами для получения порошка гидрида титана. Чистый порошок титана получают путем высокотемпературного дегидрирования в условиях вакуума. Гидрирование титана является экзотермической реакцией и может поглощать большое количество водорода после начала реакции. Масса водорода, поглощенная после реакции, составляет около  $(3,8 \pm 0,3)$  % от общего количества. Водород входит в кристаллическую решетку титана и легко измельчается механически из-за его хрупкости.

### 1.3.2 Влияние размера частиц на водородсорбционные свойства

Гранулометрический состав является важнейшей характеристикой порошков. В литературных данных показано [7], в диапазоне размеров частиц от 60 до 500 меш, скорость поглощения водорода увеличивается с увеличением номера сетки (см. рис. 1.2). Но порошки размером 500 меш являются исключением.

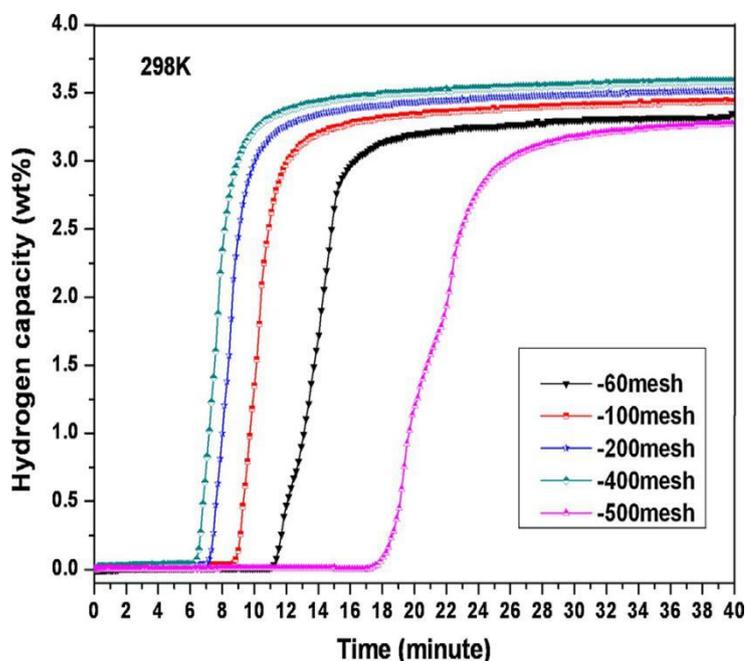


Рисунок 1.2 – Кинетика поглощения водорода  $(VFe)_{48}(TiCrMn)_{52}$  сплавов с различными размерами частиц [7]

Причиной является то, что порошки с меньшими размерами имеют большую удельную поверхностную площадь, что может увеличить вероятность для водорода, чтобы связаться с частицами и сократить расстояние диффузии водорода, поэтому лучшая кинетика поглощения водорода порошками сплава наблюдается для частиц размером больше чем 500 меш. Порошки сплава с размером частиц 500 меш имеют самую низкую кинетическую производительность поглощения водорода. Причина заключается в том, что, когда размер частиц меньше, чем 500 меш, они поглощают другие газы, например  $H_2O$ ,  $O_2$  и  $CO_2$  и происходит пассивация поверхности.

## **Глава 2. Материалы и методы исследования**

В качестве исходных материалов использовались порошки титана сферической и иррегулярной формы и сплав интерметаллического соединения фазы Лавеса  $TiCr_2$ , синтезированный с применением плазмы аномального тлеющего разряда [8].

Измельчение сплава осуществлялось механически в керамической ступке и с помощью гидрирования. Изучение взаимодействия металлических порошков с водородом проводилось с применением автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller, в основе которого лежит метод Сивертса [9].

Исследование влияния морфологических особенностей металлических порошков на взаимодействие с водородом также проводилось методами сканирующей электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, с применением методов статистической обработки данных.

### **2.1 Сканирующая электронная микроскопия**

Морфологию исходного порошка и металлического сплава исследовали с помощью сканирующего микроскопа Quanta 200 3D.

Сканирующий электронный микроскоп – это прибор, предназначенный для получения увеличенного изображения объекта путем сканирования по объекту сфокусированным пучком электронов и регистрации детектором сигнала, возникающего в результате взаимодействия электронов с веществом. Когда падающий электрон при сканировании бомбардирует с площади поверхности образца будут возбуждаться вторичные электроны, Оже-электроны, характерные рентгеновские, рентгеновские сплошного спектра, электроны на отражение, а также генерируется электромагнитное излучение в области видимого, ультрафиолетового и инфракрасного света.

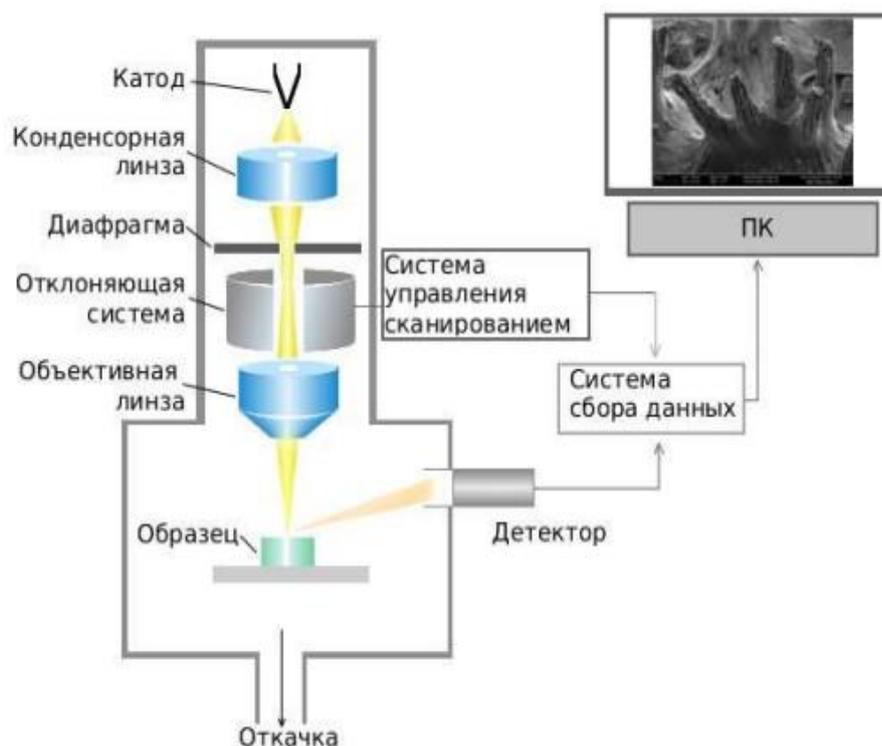


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема сканирующего микроскопа [10]

Электронный пучок, излучаемый электронной пушкой под ускоряющим напряжением 2-30 кВ, проходит через электронную оптическую систему, состоящую из 2-3 электромагнитных линз, а электронные пучки сходятся в электронный пучок с малым углом апертуры и пятном пучка 5-10 нм, и сосредоточиться на поверхности образца.

На последней линзе установлена сканирующая катушка, и под ее действием электронный луч сканирует на поверхности образца. Высокоэнергетические электронные пучки взаимодействуют с материалами образца для генерации вторичных электронов, обратно отраженных электронов и рентгеновских сигналов. Эти сигналы, соответственно, принимаются различными приемниками и усиливаются для модуляции яркости экрана. Так как ток, проходящий через сканирующую катушку, синхронизируется с током на соответствующей катушке отклонения трубки изображения, сигнал, излучаемый в любой точке на поверхности образца, соответствует соответствующему яркому пятну на экране трубки

изображения. Другими словами, когда электронный луч ударяется о точку на образце, на экране люминофора есть яркое пятно, и его яркость пропорциональна энергии возбужденного электрона. Другими словами, сканирующую электронную микроскопию проводят с использованием метода разложения по точкам. Последовательность точечного изображения начинается с верхнего левого угла вправо, а изображение завершается даже при просмотре нижнего правого пикселя последней строки. Этот метод сканирования называется растровым сканированием. Сканирующий электронный микроскоп состоит из электронной оптической системы, системы сбора и отображения сигналов, вакуумной системы и энергосистемы.

Установка Quanta 200 3D оснащена системой энергодисперсионного анализа, что позволяет проводить элементный анализ исследуемого материала. В результате взаимодействия электронного пучка с образцом генерируется рентгеновское излучение. Причем испускается как тормозное излучение, возникающее в результате торможения быстрых электронов, так и характеристическое излучение, связанное с переходами электронов с внешних электронных оболочек атома на внутренние, которые регистрируются полупроводниковым детектором. Затем система обработки сигнала разделяет рентгеновские фотоны по энергиям и, таким образом получается энергетический спектр. По значениям энергии характеристических линий можно судить о том, какие химические элементы присутствуют в исследуемом материале.

## **2.2 Рентгеноструктурный анализ**

Рентгенодифракционный анализ – один из дифракционных методов исследования структуры вещества. В основе данного метода лежит явление дифракции рентгеновских лучей.

Рентгеновские лучи являются формой электромагнитного излучения, кванты которого обладают высокой энергией и короткими длинами волн –

длина волны порядка межатомного расстояния в твердых телах. Когда пучок электромагнитных волн попадает на твердое тело, часть пучка рассеивается во всевозможных направлениях электронами, связанными с атомами твердого тела, которые находятся на пути следования пучка.

Условие Вульфа-Брэггов определяет направление максимумов дифракции упруго рассеянного на кристалле рентгеновского излучения.

$$2d \sin \theta = n\lambda .$$

где  $d$  – межплоскостное расстояние,  $\theta$  – угол скольжения (брэгговский угол),  $n$  – порядок дифракционного максимума,  $\lambda$  – длина волны [11].

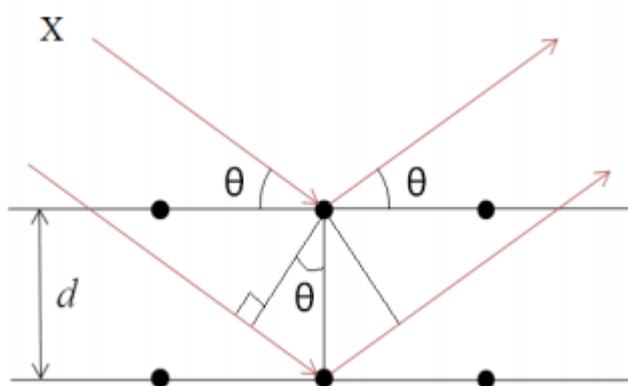


Рисунок 2.2 – Условие Вульфа-Брэггов [11]

### 2.3 Методы измельчения материалов

Механическое измельчение, измельчение порошка сплава механической силой. Методы в основном включают шаровое фрезерование и ударное воздействие холодного потока.

Обычно материал загружают в шаровую мельницу. В процессе измельчения шарика материал помещается между сильно перемешиваемыми шлифовальными шариками и подвергается повторным действиям ударной силы, силы шлифования, силы сдвига и давления, так что он непрерывно деформируется, разрушается и подвергается холодной сварке. Этот метод может быть использован непосредственно для получения хрупких твердых металлов или оксидных порошков, в то же время он может также

обрабатывать агломераты восстановленных металлических порошков, распыленных порошков или электролитических порошков [12].

Другой метод механического дробления. Сверхзвуковой поток высокоскоростного газа, захваченный материалом, выбрасывается на цель с цементированным карбидом, установленную на противоположной стороне, и материал сталкивается с мишенью и сталкивается с ней. Порошок в ударной камере всасывается в сепаратор частиц, а негабаритные частицы возвращаются в резервуар для повторного нагнетания. Квалифицированный порошок помещают в картридж для сбора порошка. Газ, который быстро выбрасывается из сопла из цементованного карбида, обеспечивает сильный охлаждающий эффект при адиабатическом расширении. Эффект поглощения тепла больше, чем тепло, генерируемое дроблением материала, поэтому способ измельчения может быть выполнен при комнатной температуре в холодном состоянии и подходит для приготовления твердых абразивов, твердых сплавов, вольфрамовых сплавов, молибдена, инструментальных сталей, ниобия и других порошков сплава.

### **2.3.1 Механическое воздействие**

#### *Механическое легирование*

Механическое легирование означает, что порошок металла или сплава в шаровой мельнице с высокой энергией воздействует и сталкивается с шлифовальным шаром в течение длительного времени, так что частицы порошка многократно генерируют холодную сварку и разрушение, что приводит к диффузии атомов в частицах порошка, тем самым получая легирование. Способ получения порошка для порошков.

Механические легирующие порошки не похожи на сплавные материалы, образованные после расплавления и литья металла или сплава, и элементы полностью связаны между атомами с образованием однородного твердого раствора или соединения. В большинстве случаев только составляющие приводятся к атомным расстояниям или приближаются к

атомным расстояниям в тех точках, линиях и гранях, которые находятся в контакте во время ограниченного времени шарового измельчения, и единственным результатом является смесь с очень равномерным распределением составляющих или комплекс. Когда время измельчения очень велико, в некоторых системах диффузия в твердом состоянии также может быть использована для того, чтобы каждый компонент мог достичь межатомной связи с образованием сплава или соединения.

#### *Механическая нанокристаллизация*

Механическая нанокристаллизация относится к управлению процессом механической обработки без изменения состава материала, так что поверхностные зерна сильно очищаются (обычно менее 10 мкм), так что прочность материала увеличивается в два раза.

## **2.4 Методы статистической обработки данных**

При измерении размера частиц эксперименты должны использовать некоторые математические методы для организации данных.

Методами статистической обработки результатов исследования называются математические приемы, формулы, способы количественных расчетов, с помощью которых показатели, получаемые в ходе исследования, можно обобщать, приводить в систему, выявляя скрытые в них закономерности. В зависимости от применяемых методов можно охарактеризовать выборочное распределение данных исследования, можем судить о динамике изменения отдельных показателей, о статистических связях существующих между исследуемыми переменными величинами.

Основным законом, описывающим область значений случайной величины и вероятности их исхода (появления), является нормальное распределение. Нормальное распределение, также называемое распределением Гаусса или Гаусса-Лапласа – распределение вероятностей, которое в одномерном случае задается функцией плотности вероятности, совпадающей с функцией Гаусса:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

где параметр  $\mu$  – математическое ожидание (среднее значение), медиана и мода распределения, а параметр  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение ( $\sigma^2$  – дисперсия) распределения.

Таким образом, одномерное нормальное распределение является двухпараметрическим семейством распределений. Стандартным нормальным распределением называется нормальное распределение с математическим ожиданием  $\mu = 0$  и стандартным отклонением  $\sigma = 1$ .

Оказывается, что если на результаты измерений влияет большое число источников небольших случайных ошибок, то вся совокупность измерений имеет в качестве предельного распределения симметричную колоколообразную функцию Гаусса. Центр распределения  $\mu$ , совпадающий с его максимумом, будет истинным значением измеряемой величины. Распределение Гаусса нормировано на единицу.

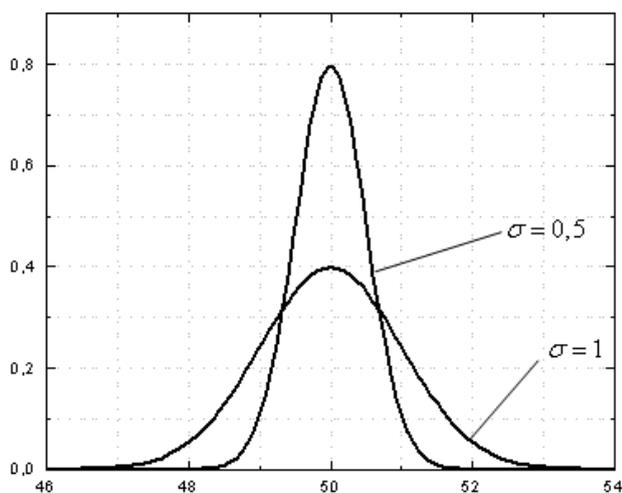


Рисунок 2.3– Распределение Гаусса для  $\sigma = 0,5, \mu = 50$  и  $\sigma = 1, \mu = 50$  [13]

## **Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **4.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Водородная энергетика – отрасль энергетики, основанная на использовании водорода в качестве средства для аккумуляирования, транспортировки и потребления энергии. Водород выбран как наиболее распространенный элемент на поверхности земли и в космосе, теплота сгорания водорода наиболее высока, а продуктом сгорания в кислороде является вода (которая вновь вводится в оборот водородной энергетике). Водородная энергетика относится к альтернативной энергетике.

На сегодняшний день многие компании уже выпускают автомобили на водородном топливе. В развитых странах, таких как Япония, Германия, водородные автомобили довольно часто встречаются на улицах. Известные производители водородных автомобилей являются Toyota, Honda и Hyundai. Крупные компании Daimler, Audi, BMW, Ford, Nissan и др. также активно занимаются разработкой автомобилей на водородном топливе. Эти автомобильные компании могут являться потенциальными потребителями результатов нашего исследования. Кроме того, сплав может использоваться для хранения водорода в летательных аппаратах, подводных лодках и в научных лабораториях

### **4.2 Анализ конкурентных технических решений**

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Идея использования металлов и сплавов как материал-накопитель водорода возникла еще в 1970 году, после того, как было обнаружено, что интерметаллическое соединение  $\text{LaNi}_5$  способно поглощать и выделять водород при определенных условиях. Проводим сравнение технических характеристик нашего синтезированного сплава  $\text{TiCr}_2$  с интерметаллидом  $\text{LaNi}_5$ .

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения  $\text{TiCr}_2$  и  $\text{LaNi}_5$

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Бф	Бк1	Кф	Кк1
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Доступность исходных материалов (металлических порошков)	0,1	5	3	0,5	0,3
2. Рабочая температура	0,1	4	5	0,4	0,5
3. Рабочее давление	0,2	4	5	0,8	1,0
4. Скорость насыщения	0,1	5	4	0,5	0,4
5. Емкость	0,2	5	3	1,0	0,6
6. Циклическая стабильность	0,2	5	3	1,0	0,6
7. Устойчивость	0,1	5	4	0,5	0,4
Итого	1	33	27	4,7	3,8

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;  $V_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл  $i$ -го показателя. Значение  $K$  позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования.

Значение показателя  $K$  получилось от 5 до 4, то такая разработка считается перспективной. По результатам оценки качества и перспективности делается вывод об объемах инвестирования в текущую разработку и направлениях ее дальнейшего улучшения.

### 4.3 SWOT-анализ

Часто компании проводят SWOT анализ не только своего товара, но и продукции конкурентов, так как данный инструмент очень наглядно систематизирует всю информацию о внутренней и внешней среде любой организации.

Преимущества SWOT анализа заключаются в том, что он позволяет достаточно просто, в правильном разрезе взглянуть на положение компании, товара или услуги в отрасли, и поэтому является наиболее популярным инструментом в управлении рисками и принятии управленческих решений. Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Актуальность тематики;</li> <li>2. Использование одной из современных программ;</li> <li>3. Экологичность технологии;</li> <li>4. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии;</li> <li>5. Безопасность проведения исследований.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Недостаточное количество измерений;</li> <li>2. Закрытость программы;</li> <li>3. Предварительная подготовка экспериментальных образцов перед исследованием;</li> <li>4. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца;</li> <li>5. Длительный срок поставок материалов (образцов) для проведения научного исследования.</li> </ol>
<b>Возможности</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Энергетические вопросы привлечения внимания;</li> <li>2. Возможность появления новых условий измерений;</li> <li>3. Использование инфраструктуры ТПУ;</li> <li>4. Появление дополнительного спроса на результаты исследования;</li> <li>5. Анतिकоррозионная защита потребностей.</li> </ol>	Благодаря использования инновационной структуры экологичность и энергоэффективность технологии растет, а также рост цен конкурентов и снижение цены на сырье благотворно влияет на развитие предприятия	Отсутствие потенциальных потребителей может быть решено возможностью повышения цен конкурентов
<b>Угрозы</b>	Чтобы	сохранить
		Появление новых материалов,

<p>1. Появление новых материалов, способных хранить большое количество водорода в более приемлемых условиях;</p> <p>2. Возникновение новых экологических видов топлива, новые источники чистой энергии, развитие солнечной энергетики и ветроэнергетики.</p>	<p>актуальность проекта перед новыми другими техническими решениями необходимо проводить исследование, направленное на улучшение свойств сплава. Также важно проводить комплексное исследование, найти область применения, где сплавы имеют преимущества перед другими перспективными материалами.</p>	<p>обладающих улучшенными свойствами, приводит к уменьшению интереса к сплаву TiCr<sub>2</sub>. А в случае появления новых экологических видов топлива, водородная энергетика может перестать развиваться, в результате чего практическая значимость проекта также уменьшается.</p>
--	--	---

На основе таблицы 4.2 можно сделать вывод, что, несмотря на наличие слабых сторон, и возможных угроз, высокая конкурентоспособность проекта может не только сохраниться, но и повыситься благодаря низкой стоимости, улучшенным свойствам продукции.

#### 4.4 Разработка графика проведения научного исследования

При планировании проекта рекомендуется построить календарный график, в котором указываются виды работ, их исполнители и протяженность. В таблице 4.3 приведен план-календарный график проведения научного проекта.

Таблица 4.3 – Календарный план-график проведения работ по теме

Этапы	Вид работ	Исполнители	Тк, дн	Продолжительность выполнения работ														
				Ноябрь			Декабрь			Февраль			Март			Апрель		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	5	█														
2	Поиск и анализ литератур по теме	Дипломник	35	█														
3	Выбор методов исследования	Руководитель	10				█											
4	Получение сплава	Руководитель, дипломник	30							█								



Таблица 4.5 – Амортизация оборудования

Наименование оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Длительность использования, дн.	Амортизация, руб.
Дифрактометр Shimazu 7000S	8 000	6	21 900
Сканирующий электронный микроскоп Quanta 200 3D	30 000	2	32 900
Автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller	4 500	1	2 470
Персональный компьютер	40	150	3 300
Итого			60 570

### Заработная плата работников

Таблица 4.6 – Расчет заработной платы

Исполнители	Зб, руб.	кпр	кд	кр	Зм, руб	Здн, руб.	Тр, раб. дн.	Зосн, руб.	Здоп, руб
Руководитель	33 600	0	0	1,3	22 100	1 420	95	134 900	16 200
Дипломник	6 700	0	0	1,3	8 710	370	145	53 650	6 440
Итого								211 190	

где Зм – месячный должностной оклад работника, руб; Здн – среднедневная заработная плата работника, руб; Тр – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; Зосн – основная заработная плата; Здоп – дополнительная заработная плата (12-20 % от Зосн); кпр – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Зтс); кд – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от Зтс); кр – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

### Отчисления на социальные нужды

Отчисления во вне бюджетные фонды составляют 30% от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением НИР.

$$Звнеб = \text{внеб}(Зосн + Здоп),$$

где  $квнеб$  – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды,

$$Эвнеб = 0,302 \cdot 211\,190 = 63\,780 \text{ руб.}$$

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 4.7 – Бюджет научного исследования

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	3 400
Амортизация оборудования	60 570
Основная заработная плата	188 550
Дополнительная заработная плата	22 640
Отчисления на социальные нужды	63 780
Итого, руб.	338 940

### **Вывод**

В данной главе был проведен расчет затрат на выполнение научно-исследовательской работы. Сумма, затраченная на комплексное исследование, составила 338 940 рублей. Данная оценка коммерческой ценности необходима, чтобы представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

На основе расчета бюджета этого научно-технического исследования видно, что изучение аккумулирующих свойств внутренней водородной атмосферы обладает большой перспективой и прекрасной экономической эффективностью. В последнее время больше и больше внимания уделено этой области исследования. Это исследование стоит экономический вход.

## **Глава 5. Социальная ответственность**

Социальная ответственность при разработке новых решений должна обеспечивать: исключение несчастных случаев; защиту здоровья работников; снижение вредных воздействий на окружающую среду; экономное расходование невозобновимых природных ресурсов.

В разделе должно найти отражение умение студента идентифицировать основные опасности среды обитания человека и выбирать способы обеспечения комфортных условий жизнедеятельности.

Разработки должны базироваться на требованиях законодательных и правовых актов, технических регламентов в области безопасности производства, охраны труда и защиты окружающей среды, на владении способами и мероприятиями по защите в чрезвычайных ситуациях и понятийно-терминологическим аппаратом в области безопасности.

### **5.1 Производственная безопасность**

При проведении научного исследования в лаборатории возможно воздействие вредных факторов, к которым относятся производственный шум, пожар взрывоопасности и микроклимат.

#### **5.1.1 Микроклимат**

При работе различных оборудования в лаборатории микроклимат изменяется. Основными параметрами, определяющими микроклимат рабочего места, являются температура, влажность и скорость движения воздуха. Нормативные значения параметров микроклимата установлены в ГОСТ 12.1.005–88 и СанПиН 2.2.4.584–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»

Поскольку выполняемые работы, связанные с ходьбой, не нуждаются в систематическом физическом напряжении или поднятии и переносе тяжести, то они относятся к категории Ib. Энергетические затраты организма на выполнения находятся в диапазоне 140-174 Вт. Оптимальные значения

параметров микроклимата для данной категории работ, в соответствии с СанПиН 2.2.4.584–96, приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Оптимальный микроклимат для легких работ категории  
Iб

Период	Температура воздуха, °С	Влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21-23	60-40	0,1
Теплый	22-24	60-40	0,1

Здесь под холодным понимается период, когда среднесуточная температура наружного воздуха ниже +10 °С. Если этот показатель выше +10 °С, период является теплым. Отклонение состояния микроклимата в помещении от оптимального вызывает дискомфорт у работников, в результате чего снижается их работоспособность. Для обеспечения оптимального метеорологического условия для выполнения работ в лаборатории установлены окна, обеспечивающая чистоту воздуха. Кроме того, в зимний период в лаборатории система отопления, поддерживающая оптимальную температуру помещения.

### **5.1.2 Производственный шум**

Длительное воздействие шума может привести к ухудшению слуха, а в отдельных случаях – к глухоте. Шумовое загрязнение среды на рабочем месте неблагоприятно воздействует на работающих: снижается внимание, увеличивается расход энергии при одинаковой физической нагрузке, замедляется скорость психических реакций и т.п. В результате снижается производительность труда и качество выполняемой работы.

Нормирование шума призвано предотвратить нарушение слуха и снижение работоспособности и производительности труда работающих. Для разных видов шумов применяются различные способы нормирования.

Для постоянных шумов нормируются уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Для непостоянных шумов нормируется так же эквивалентный уровень звука. Допустимые уровни звукового давления для рабочих мест служебных помещений и для жилых и общественных зданий и их территорий различны.

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 при разработке технологических процессов, проектировании, изготовлении и эксплуатации машин, производственных зданий и сооружений, а также при организации рабочих мест следует принимать все необходимые меры по снижению шума, воздействующего на человека, до значений, не превышающих допустимые.

Методы и средства коллективной защиты в зависимости от способа реализации подразделяются на строительно-акустические, архитектурно-планировочные и организационно-технические и включают в себя:

1. изменение направленности излучения шума;
2. рациональную планировку предприятий и производственных помещений;
3. акустическую обработку помещений;
4. применение звукоизоляции.

Наиболее эффективны средства индивидуальной защиты (СИЗ), как правило, в области высоких частот. СИЗ включают в себя противошумные вкладыши (беруши), наушники, шлемы и каски, специальные костюмы.

### **5.1.3 Пожар взрывоопасность**

Безусловно, пожары и взрывы представляют большую опасность для здоровья и жизни человека и наносят огромные материальные потери. Поэтому, проектирование мероприятий по обеспечению пожарной и взрывной безопасности имеет чрезвычайно большое значение, не только в производственных помещениях, но и на транспорте, в быту. По пожароопасным свойствам веществ и условиям их применения все помещения подразделяют на категории А, Б, В1-В4, Г и Д

(СП12.13130.2009). Согласно данной классификации, используемая лаборатория относится к категории А. В лаборатории находятся вещества и материалы, в результате взаимодействия которых с кислородом воздуха могут возникать взрыв и горения. В частности, речь идет о водороде. В лаборатории находится баллон с водородом, максимальное давление которого составляет 5 МПа. Водород является опасным газом и при работе с ним человек должен быть очень осторожным. Водород образует с кислородом (и воздухом) взрывоспособную смесь, которая носит название гремучего газа. Более того, гремучий газ способен гореть в широком диапазоне концентрации водорода, от 4 до 75 объемных процентов, что делает контроль более затруднительным. Удельная теплота сгорания водорода очень высока и составляет 148 МДж/кг. С целью предотвращения опасности, вызываемой водородом, для его хранения используются специальные баллоны с высокой прочностью. Современные баллоны для хранения газообразного водорода состоят из тонкой алюминиевой или пластиковой гильзы, покрытой снаружи композитным пластиком, армированными стеклянным или углеродным волокном. Герметичность таких баллонов должна быть максимальной, поскольку любая утечка газа может привести к взрыву.

Пожар в задании может возникать по следующим причинам:

- Неисправность электроустановок и оборудования, несоблюдение их технических инструкции или непостоянная проверка их состояние;
- Перегрузка электрических сетей;
- Неправильное хранение возгорающих веществ;
- Неосторожность персонала при работе с оборудованием;
- Курение в запрещенных местах.

Таким образом, чтобы устранить упомянутые причины возникновения пожаров в помещении, каждый человек должен строго соблюдать правила пожарной безопасности, а при работе с электроустановками должен быть осторожным и внимательным. В помещении должна быть постоянная

проверка состояние электроустановок. При отсутствии персонала и после работы электрооборудования, система освещения и электропитания должны быть отключены. В соответствии с СНиП 2.01.02-97, здание относится к помещению 1-ой степени огнестойкости, поскольку построено из кирпича, являющегося несгораемым материалом. Для того, чтобы ограничить распространение в огне в случае пожара предназначены стены и двери, играющие роль противопожарных преград. На стены здания взвешиваются и таблички с номером телефона пожарной охраны, и таблички, на которых указывают направления пути эвакуации. В здании работает система пожарной сигнализации, которая находится под непрерывным контролем. Все работники обязаны проходить инструктаж по пожарной безопасности и только после чего они могут допускаться к работе. В случае возникновения пожара для локализации и ликвидации загорания в коридорах и в помещениях здания установлены огнетушители. Как правило, они располагаются в видных и легкодоступных местах, защищенных от неблагоприятных факторов (прямые солнечные лучи, тепловые потоки, механические воздействия и др.). В здании, где находится лаборатория, используются углекислотные огнетушители марки ОУ-2, которые предназначены для тушения различных веществ, горение которых не может происходить без доступа кислорода, и загораний электроустановок, находящихся под напряжением до 10 000 В.

На рисунке 5.1 представлен план эвакуации из рабочей лаборатории, которые находятся в цокольном этаже 3-го корпуса ТПУ.

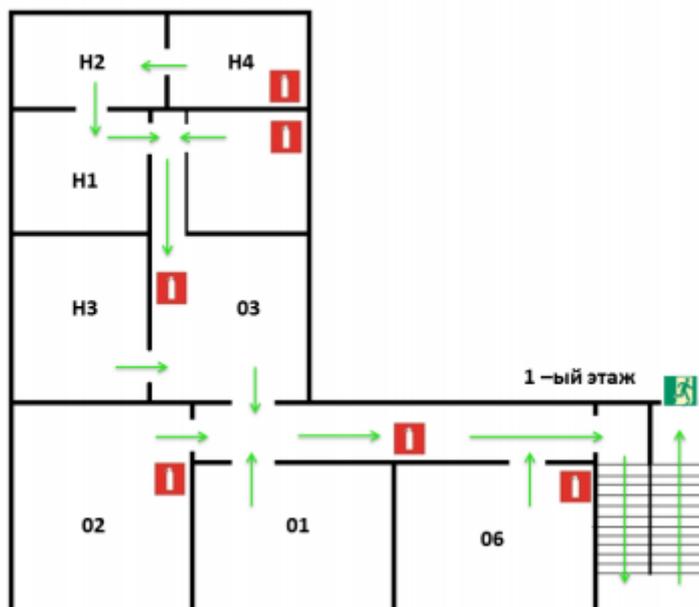


Рисунок 5.1 – План эвакуации рабочих помещений

## 5.2 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды представляет собой комплекс мероприятий, позволяющих снижать отрицательное влияние человеческой деятельности на окружающую среду. Главными отходами в лаборатории являются твердые отходы бытового характера, такие, как бумаги, использованные резиновые перчатки, шлифовальные шкурки и остатки порошков. Они собираются отдельно и затем передаются предприятиям, занимающимся утилизацией и переработкой отходов. Для работы с металлическим порошком, и другими вредными веществам в лаборатории установлен вытяжной шкаф, который представляет собой вытяжную камеру с подвижным прозрачным передним экраном и химически стойкой поверхностью-столешницей, установленную на жесткое основание.

## 5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или

повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Рассмотрим две наиболее типичных чрезвычайных ситуации, которые могут произойти на предприятии.

Первый случай: остановка производства в результате сильных морозов.

Меры по предупреждению ЧС:

1. Повышение устойчивости системы электроснабжения. В первую очередь целесообразно заменить воздушные линии электропередач на кабельные (подземные) сети, использовать резервные сети для запитки потребителей, предусмотреть автономные резервные источники электропитания объекта (передвижные электрогенераторы).

2. Обеспечение устойчивости теплоснабжения за счет запасных автономных источников теплоснабжения, кольцевания системы, заглубления теплотрасс.

3. Обеспечение устойчивости систем водоснабжения (устройство дублирования водопитания, кольцевание системы, заглубление водопроводов, обустройство резервных емкостей и водохранилищ, очистка воды от вредных веществ и т.п.).

4. Обеспечение устойчивости системы водоотведения. Повышение устойчивости системы канализации достигается созданием резервной сети труб, по которым может отводиться загрязненная вода при аварии основной сети.

Должна быть разработана схема аварийного выпуска сточных вод непосредственно в водоемы. Насосы, используемые для перекачки загрязненной воды, комплектуются надежными источниками электропитания.

Второй случай: диверсия.

Для обеспечения безопасности работника, предотвращения хищений и проникновении посторонних лиц на предприятие следует использовать ряд мер безопасности:

1. Организовать контрольно-пропускной пункт.
2. Установить системы видеонаблюдения в производственных цехах, а также на всех входах и выходах из здания.
3. Установить оповещающие системы безопасности при несанкционированном проникновении на предприятие в нерабочее время.

#### **5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

1. ОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности.
2. ГОСТ 12.4.154-85 «ССБТ. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты».
3. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
4. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)».
5. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
7. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
8. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.
9. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

10. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
11. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
12. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности.
13. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха.
14. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
15. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.
16. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры
17. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для решения основных проблем водородной энергетики актуальным методом безопасного и компактного хранения и транспортировки водорода в качестве топлива является металлогидридный способ. Перспективными материалами-накопителями водорода являются интерметаллические соединения типа  $AB_2$  со структурой фаз Лавеса, в частности,  $TiCr_2$ . Благодаря особенностям своей кристаллической структуре, они способны «вмещать» в решетке атомы водорода: на одну формульную единицу может приходиться до четырех атомов водорода. Поэтому фазы Лавеса могут использоваться в качестве накопителей водорода в водородной энергетике.

Одним из важных физических свойств металлических порошков является их форма и размер. Наиболее распространенный метод изучения морфологических особенностей порошковых материалов основан на микроскопическом наблюдении с последующей статистической обработкой данных для распределения частиц по размерам.

В литературных данных показано, что размер частиц существенно влияет на водородсорбционные свойства материалов-накопителей. Например, оптимальными являются порошки с размером зерна более 35 мкм, что соответствует 400 меш.

Сферический порошок титана имеет средний диаметр  $(15\pm 7)$  мкм. Порошок титана иррегулярной формы, полученный восстановлением, представлен в виде цепочек зерен с размерами  $(10\pm 4)$  мкм. Механически измельченный сплав  $TiCr_2$  характеризуется обломанными краями частиц с размерами до 30 мкм, соответствующий 460 меш, однако присутствуют обломки до 140 мкм. Согласно литературным данным этот размер  $TiCr_2$  должен быть эффективным для поглощения водорода. При размере частиц больше, чем 500 меш порошки будут поглощать другие газы (кислород, водяной пар), что влияет на эффективность поглощения водорода. После

гидрирования, в отличие от механического развала, происходит измельчение сплава в порошок чешуйчатой формы, но значительно меньшего размера.

Проведенные исследования показали, что максимальное количество сорбированного водорода зависит от исходного состава порошка, в частности наличия гидридов. Кроме того, скорость сорбции зависит от наличия оксидной пленки на поверхности частиц порошка. Также на кинетику сорбции влияет размер частиц, в частности, более развитая поверхность порошка титана иррегулярной формы способствует лучшей сорбции.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тарасов Б.П., Лотоцкий М.В., Яртысь В.А. Проблема хранения водорода и перспективы использования гидридов для аккумуляции водорода // Российский химический журнал. – 2006. – Т. 50. – №. 6. – С. 34-48.
2. Berry R.L., Raynor G.V. The crystal chemistry of the Laves phases // Acta Crystallographica. – 1953. – V. 6. – No. 2. – P. 178-186.
3. Клопотов А.А., Потекаев А.И., Перепелкин М.А. и др. Кристаллогеометрические факторы в фазах Лавеса // Письма о материалах. – 2011. – Т.1. – С.117-122.
4. Sari A., Merad G., Abdelkader H.S. Ab initio calculations of structural, elastic and thermal properties of  $TiCr_2$  and  $(Ti, Mg)(Mg, Cr)_2$  Laves phases // Computational Materials Science. – 2015. – V. 96. – P. 348-353.
5. Paufler P.P. Villars, L.D. Calvert. Pearson's handbook of crystallographic data for intermetallic phases // Crystal Research and Technology. – 1987. – V. 22. – No. 11. – P. 1436-1436.
6. Okamoto H. Cr-Ti (chromium-titanium) // Journal of Phase Equilibria. – 2002. – V. 23. – No. 4. – P. 382-383.
7. Luo L., Wu C., Yang S., et al. Decaying behaviors of  $V_{40}(TiCr)_{51}Fe_8Mn$  hydrogen storage alloys with different particle sizes // Journal of Alloys and Compounds. – 2015. – V. 645. – No. 645. – P. S178-S183.
8. Туан Ч.В., Мурашкина Т.Л. Синтез интерметаллических материалов-накопителей водорода на основе Ti-Cr в плазме аномального тлеющего разряда // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 25-28 апреля 2017 г. Т. 1: Физика. – Томск, 2017. – Изд-во ТПУ, 2017. – Т. 1. – С. 399-401.
9. Кудияров В.Н., Лидер А.М. Изучение процессов сорбции и десорбции водорода при помощи автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller Lp // Фундаментальные исследования. – 2013. – №. 10-15.

10. Спивак Г.В., Сапарин Г.В., Быков М.В. Растровая электронная микроскопия // Успехи физических наук. – 1969. – Т. 99. – №. 12. – С. 635-672.
11. Громилов С.А. Введение в рентгенографию поликристаллов // Учебное методическое пособие. – Новосибирск: НГУ, 2009. – 54 с.
12. Кузьмич Ю В, Поляков Е Г. Механическое легирование. / Наука. 2005.
13. Крамаренко С.С. Метод использования энтропийно-информационного анализа для количественных признаков // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2005. – Т. 7. – №. 1.
14. Kudiiarov V. N., Syrtanov M.S., Bordulev Yu.S. et al. The hydrogen sorption and desorption behavior in spherical powder of pure titanium used for additive manufacturing // International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – V. 42. – No. 22. – P. 15283-15289.