



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

Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 03.03.02 Физика

ООП/ОПОП Физика

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы

Структурно-фазовое состояние материалов-накопителей водорода на основе $Ti_{33}V_{33}Cr_{33}$, полученных дуговым сплавлением и в плазме аномального тлеющего разряда.

УДК:669.788.094.25

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б95	Лю Чжэхао		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Сыртанов М.С.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Верховская М.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Сечин А.И.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры	Лидер А.М.	д.т.н., профессор		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений.
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовать свою роль в команде.
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке.
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах.
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций.
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи.
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен применять естественно-научные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства оптоэлектроники, оптических и оптоэлектронных приборов и комплексов
ОПК(У)-2	Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, интеллектуально правовых, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов и процессов
ОПК(У)-3	Способен использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.
ОПК(У)-4	Способен понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, осознавать опасность и угрозу, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности.

ОПК(У)-5	Способен использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией.
ОПК(У)-6	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.
ОПК(У)-7	Способен использовать в своей профессиональной деятельности знание иностранного языка.
ОПК(У)-8	Способен критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости направление своей деятельности.
ОПК(У)-9	Способен получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах и других малых коллективах исполнителей.
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин
ПК(У)-2	Способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта
ПК(У)-3	Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований
ПК(У)-4	Способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин
ПК(У)-5	Способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований
ПК(У)-6	Способность понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований
ПК(У)-7	Способность участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме
ПК(У)-8	Способность понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования



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

Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (ООП/ОПОП) 03.03.02 Физика

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП/ОПОП

_____ Лидер А.М.

(Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
150Б95	Лю Чжэхао

Тема работы:

Структурно-фазовое состояние материалов-накопителей водорода на основе $Ti_{33}V_{33}Cr_{33}$, полученных дуговым сплавлением и в плазме аномального тлеющего разряда.	
<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i>	

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	06. 06. 2023
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<p>Порошки титана (чистота 99%), ванадия (чистота 99%) и хрома (чистота 99,8%); дифрактометр XRD 7000S «Shimadzu» для проведения рентгенофазового анализа; сканирующий электронный микроскоп Vega 3 для анализа микроструктуры и элементного состава материалов-накопителей; персональный компьютер с необходимым программным обеспечением для обработки данных</p>
<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i></p>	<p>Обзор литературных источников Синтез материалов-накопителей водорода Изучение фазового состава МНВ с помощью рентгенофазового анализа Изучение микроструктуры поверхности и элементного состава с помощью сканирующей электронной микроскопии Изучение сорбционных характеристик синтезированных сплавов</p>

	Социальная ответственность Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Заключение
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М.В.
Социальная ответственность	Сечин А.И.

Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ ТПУ	Сыртанов М.С.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б95	Лю Чжэхао		

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

Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (ООП/ОПОП) 03.03.02 Физика

Уровень образования бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) отделение экспериментальной физики

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2022/2023 учебного года)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
150Б95	Лю Чжэхао

Тема работы:

Структурно-фазовое состояние материалов-накопителей водорода на основе $Ti_{33}V_{33}Cr_{33}$, полученных дуговым сплавлением и в плазме аномального тлеющего разряда.
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	06. 06. 2023
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.10.2022	Аналитический обзор литературы	15
26.12.2022	Синтез материалов-накопителей водорода	15
06.02.2023	Исследование фазового состава, микроструктуры и элементного состава	20
29.04.2023	Анализ результатов	15
10.05.2023	Социальная ответственность	15
10.05.2023	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
05.06.2023	Заключение	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ ТПУ	Сыртанов М.С.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры	Лидер А.М.	д.т.н., профессор		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б95	Лю Чжэхао		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 96 с., 37 рис., 17 табл., 23 источника.

Ключевые слова: интерметаллическое соединение, материал-накопитель водорода, сплав на основе Ti-Cr-V, максимальная сорбционная емкость, плавление в плазме аномального тлеющего разряда, электродуговое сплавление.

Объектом исследования является интерметаллическое соединение $Ti_{33}V_{33}Cr_{33}$.

Цель работы—Исследование структурно-фазового состояния и сорбционных характеристик материалов-накопителей водорода на основе Ti-Cr-V, полученных электродуговым сплавлением и в плазме аномального тлеющего разряда.

В процессе исследования проводился аналитический обзор литератур, подготовка смеси порошков, плавления в плазме аномального тлеющего разряда, электродуговое сплавление, сканирующая электронная микроскопия, элементный анализ, рентгеноструктурно-фазовый анализ, измельчение сплавов гидрированием, насыщение водорода.

В результате исследования получены образцы $Ti_{33}Cr_{33}V_{33}$ электродуговым сплавлением и в плазме аномального тлеющего разряда, проанализированы структурно-фазовые состояния образцов до и после отжига, оценена максимальная сорбционная емкость водорода образцов, полученных двумя методами.

Область применения: создание материалов-накопителей водорода.

В будущем планируется исследование структурно-фазовых состояний сплавов на основе Ti-Cr-V при циклических процессах сорбции-десорбции водорода с целью повышения циклической стабильности и эффективной емкости.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	11
ГЛАВА 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	13
1.1 Классификация материалов накопителей водорода.....	13
1.1.2 Хранение водорода в твердом виде.....	14
1.1.3 Хранение в жидком виде.....	16
1.2 Материалы накопители на основе Ti-V-Cr.....	18
1.2.1 Сорбционные характеристики.....	18
1.2.2 Структурно-фазовое состояние.....	26
1.3 Влияние легирующих добавок на сорбционные характеристики материалов.....	30
1.3.1 Влияние марганца.....	30
1.3.2 Влияние титана.....	31
1.3.3 Влияние циркония.....	32
1.3.4 Влияние Fe и Al.....	35
1.3.5 Влияние ниобия.....	39
ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	42
2.1 Подготовка образцов.....	42
2.2 Методы синтеза материалов.....	42
2.2.1 Плавление в плазме аномального тлеющего разряда.....	42
2.2.2 Электродуговое сплавление.....	44
2.3 Высокотемпературный отжиг.....	45
2.4 Рентгено-структурный и фазовый анализ.....	45
2.4 СЭМ и элементный анализ.....	47
2.5 Взаимодействие с водородом.....	48
2.5.1 Комплекс для насыщения водородом.....	48
2.5.2 Измельчение полученного сплава гидрированием.....	49
2.5.3 Активация.....	50
2.5.4 Насыщение.....	50
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....	51
3.1 Сплав TiCrV, полученный в плазме аномального тлеющего разряда... 51	
3.2 Сплав TiCrV, полученный электродуговым сплавлением.....	55
3.3 Выводы.....	60

ВВЕДЕНИЕ

Водородная энергетика имеет широкий спектр источников и богатые ресурсы, это новый вид энергии с высокой эффективностью и нулевым уровнем загрязнения. Хотя водородная энергетика имеет широкие перспективы применения, ее коммерческое развитие по-прежнему ограничено производством и хранением водорода, в частности технология хранения водорода стала проблемным вопросом для практического и масштабного использования водородной энергии [1]. Одной из актуальных целей на сегодняшний день, является поиск оптимальных материалов для хранения водорода, которые могли бы иметь более высокую объемную плотность, чем сжатый и/или жидкий водород.

Сплав для накопления и хранения водорода на основе Ti-V-Cr, теоретическая емкость по водороду при комнатной температуре которого выше, чем у традиционных сплавов AB₅, AB₂, TiFe, является перспективным для разработки стационарных и мобильных источников энергии третьего поколения [2]. Он также обладает хорошими кинетическими свойствами, наличием достаточной поверхности соприкосновения с газом водорода и способностью удерживать водород при сравнительно низких температурах и давлениях [3].

Наиболее часто используемый метод для создания интерметаллических соединений металлов представляет собой вакуумно-дуговую плавку, в основе которой лежит передача энергии дуговым разрядом, высокая температура

которого позволяет быстро проводить нагрев и плавление металлов. Однако недостаток данного метода является загрязнение получаемого сплава материалом тигля [4]. Другим методом нагрева металлов для получения интерметаллических сплавов является индукционный нагрев. Индукционная плавка основана на преобразовании энергии электромагнитного поля, поглощаемой электропроводящими нагревательными веществами, в тепловую энергию. В данной работе в качестве альтернативного метода получения материала используется метод плавления в плазме аномального тлеющего разряда, преимуществами которого являются высокая скорость нагрева, получение материалов в результате без загрязнения, также высокий вакуум.

Целью настоящей работы является исследование структурно-фазового состояния и сорбционных характеристик материалов-накопителей водорода на основе $Ti_{33}Cr_{33}V_{33}$, полученных электродуговым сплавлением и в плазме аномального тлеющего разряда. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи :

- 1.Синтезировать образцы $Ti_{33}Cr_{33}V_{33}$ электродуговым сплавлением и в плазме аномального тлеющего разряда.
- 2.Проанализировать структурно-фазовые состояния образцов до и после отжига.
- 3.Оценить максимальную сорбционную емкость водорода образцов, полученных двумя методами.

ГЛАВА1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Классификация материалов накопителей водорода

Материалы накопители водорода классифицируются на: газообразные, твердые и жидкие.

1.1.1 Газообразное хранение водорода

Газохранилище предназначено для повышения давления водорода, уменьшения его объема и хранения в определенном контейнере в виде газа. В зависимости от различных значений давления газообразные хранилища можно разделить на хранилища низкого давления и хранилища высокого давления.

Водород можно хранить при низком давлении, как природный газ, используя гигантские герметичные резервуары для хранения. Этот метод подходит для крупномасштабного хранения газа. Данный метод редко используют для хранения водорода, так как полученный газ обладает низкой плотностью [1-2].

Хранение в газообразном состоянии под высоким давлением является наиболее распространенным и прямым методом хранения, а водород может быть выпущен непосредственно через регулировку клапана высокого давления. Обычное хранение газообразного водорода под высоким давлением является широко используемым, простым и легким методом хранения водорода, имеет низкую стоимость, высокую скорость зарядки и разрядки и может осуществляться при комнатной температуре. Однако, недостатком метода является то, что он требует тяжелого контейнера под давлением и потребляет

большое количество энергии, необходимой для сжатия водорода. Также существуют небезопасные факторы, такие как утечка водорода и взрыв контейнера [2]. Стандартный стальной баллон высокого давления с давлением наполнения 15 МПа хранит всего около 1,0% водорода по весу, а титановый баллон для космоса использует только 5% водорода[3,4,5]. Можно видеть, что плотность энергии хранения водорода в цилиндрах высокого давления, как правило, относительно низка.

1.1.2 Хранение водорода в твердом виде

Твердотельные материалы для хранения водорода заключается в хранении водорода в твердотельных материалах посредством физической адсорбции или химической реакции [1]. По сравнению с хранением газообразного водорода под высоким давлением и хранением жидкого водорода при низкой температуре, хранение водорода в твердом материале имеет преимущества: высокой объемной плотности хранения водорода, отсутствие необходимости в контейнерах высокого давления и теплоизоляционных контейнерах, хорошей безопасности, отсутствии опасности взрыва, доступный водород высокой чистоты и удобное управление.

В соответствии с принципом хранения водорода хранение водорода в твердотельных материалах можно разделить на хранение водорода с физической адсорбцией и хранение водорода с химической адсорбцией [5].

1.1.2.1 Физическая адсорбция водорода

Физическое адсорбционное хранение водорода в основном использует взаимодействие между пористыми материалами и водородным элементом через силу Ван-дер-Ваальса для хранения водорода. В процессе адсорбции водород существует в молекулярной форме и обычно не диссоциирует на атомы водорода. Кроме того, водород связан с материалом силой Ван-дер-Ваальса, которая относительно слаба, и эффект накопления водорода проявляется только при более низких температурах. Кроме того, когда этот материал накапливает водород, молекулы водорода обычно адсорбируются на поверхности пор материала[6]. Следовательно, чем больше удельная поверхность материала, тем больше его емкость хранения водорода. В настоящее время материалы, разработанные на основе физической адсорбции, включают материалы на основе углерода, цеолитные молекулярные сита, металлоорганические каркасные материалы и пористые материалы, такие как высокомолекулярные полимеры. Недостаток метода физической адсорбции водорода очевиден: сила Ван-дер-Ваальса между материалом-аккумулятором водорода и молекулой водорода очень мала при нормальной температуре и давлении, так что водород может легко покинуть материал-аккумулятор водорода и водородная емкость хранилища уменьшается.

1.1.2.2 Химическая адсорбция водорода

Принцип химического адсорбционного хранения водорода заключается в том, что атомы водорода реагируют с материалами для

хранения водорода с образованием стабильных гидридов для хранения водорода. Химические гидриды можно разделить на гидриды металлов, координационные гидриды легких металлов и органические накопители водорода. По сравнению с несколькими упомянутыми выше методами хранения водорода химическое адсорбционное хранение водорода имеет преимущества высокой массовой плотности и объемной плотности и в настоящее время является наиболее перспективным методом хранения водорода [1,4,6]. Однако, химическое хранение водорода имеет недостатки: высокую температуру поглощения водорода, плохую кинетику и плохую обратимость.

1.1.3 Хранение в жидком виде

Водород существует в жидком виде при определенной низкой температуре. Таким образом, может быть использована криогенная технология хранения жидкого водорода. Подобно сжижению воздуха, криогенное хранилище жидкого водорода также сначала сжимает газообразный водород, охлаждает его перед прохождением через дроссельный клапан и производит некоторое количество жидкости после изоэнтальпического расширения Джоуля-Томсона [7]. После отделения жидкости ее хранят в высоковакуумном изолированном контейнере, а газ продолжает описанный выше цикл. Преимуществом хранения жидкого водорода является его высокая объемная плотность энергии. Плотность жидкого водорода при нормальной температуре и давлении в 845 раз больше, чем у газообразного водорода, а объемная

плотность энергии в несколько раз выше, чем у сжатого в хранилище. По сравнению с тем же объемом контейнера для хранения водорода качество хранения водорода значительно улучшается [1,7]. Недостатком является то, что сжижение водорода требует много энергии для охлаждения. Сжижение 1 кг водорода потребляет 4-10 кВт·ч электроэнергии. Стоимость хранения и использования водорода, полученного подобным методом, относительно высока.

1.2 Материалы накопители на основе Ti-V-Cr

1.2.1 Сорбционные характеристики

На рисунке 1.1 представлены кривые поглощения водорода сплавом TiCrV при комнатной температуре с последующей десорбцией при 80 °С. При первом цикле поглощения водорода существует 40-минутный период, в котором образец не поглощает водород. Это связано с процессом активации материала. Вероятно, это связано с тонким оксидным слоем на поверхности порошков. Тем не менее, концентрация поглощенного водорода в первом цикле максимальна и достигает 2,8 масс. % [8]. Во втором цикле поглощение водорода происходит мгновенно; однако его концентрация снижается с каждым последующим циклом сорбции/десорбции. Такое поведение сплава связано с образованием стабильного гидрида, который не разлагается при данных условиях десорбции. Увеличение содержания стабильного гидрида в многократных циклах сорбции/десорбции приводит к снижению максимальной водородной емкости. Это подтверждается данными рентгеновской дифракции, представленной на рисунке 1.2. На дифрактограмме представлен фазовый состав материала-накопителя после 5 циклов сорбции/десорбции водорода. Фазовый состав сплава в этом случае представлен фазой TiCrV с ОЦК структурой и гидридными фазами TiH₂ и TiCr_{1.8}H_{5.3}. Максимальная сорбционная емкость сплава TiCrV при указанных параметрах сорбции/десорбции снижается до 1 масс.% [8].

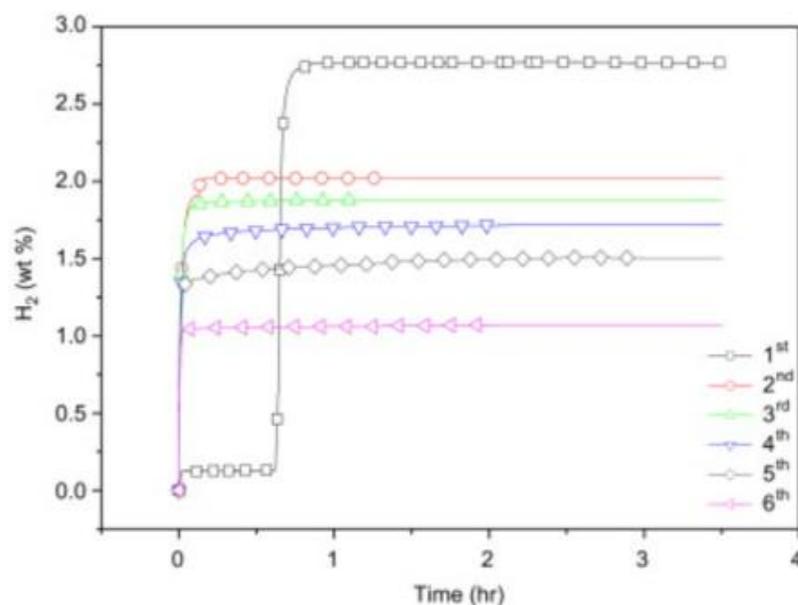


Рисунок 1.1-Кривые сорбции сплава 33,5 мас.% Ti–34,7 мас.% Cr–V при различных циклах сорбции/десорбции [8].

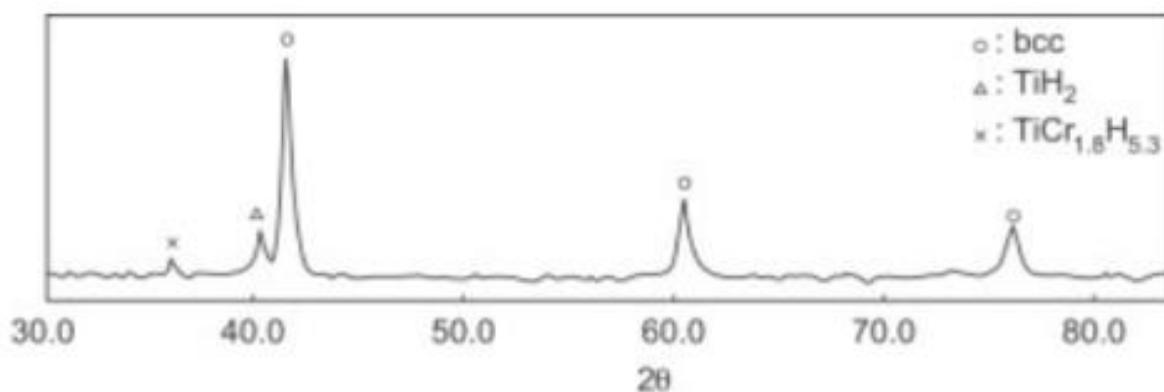


Рисунок 1.2-Дифрактограмма сплава 33,5 мас.% Ti–34,7 мас.% Cr–V после 5 циклов сорбции/десорбции водорода

На рисунке 1.3 показаны кривые сорбции сплава Ti-Cr-V при температурах 400 и 500 °С. При первом цикле сплав отлично сорбирует водород, достигая емкости 3,6 масс.% [9]. Это значение выше, чем в работе [8], благодаря высокой температуре. Последующее циклирование приводит к снижению максимальной сорбционной емкости. В четвертом цикле гидрирования емкость снижается до 3,0 масс.%. Такое поведение сплава

связано с образованием необратимого стабильного гидрида [9]. Таким образом, было установлено, что повышение температуры сорбции приводит к увеличению сорбционной емкости материала-накопителя на основе TiCrV на 0,8 масс.%. Дальнейшее увеличение температуры до 500 °С не существенно влияет на максимальную емкость по водороду (рисунок 1.3b). При дальнейшем циклировании тенденция снижения максимальной сорбционной емкости сохраняется (рисунок 1.4). После 16 циклов сорбции/десорбции максимальная емкость по водороду составляет 2,1 масс.%.

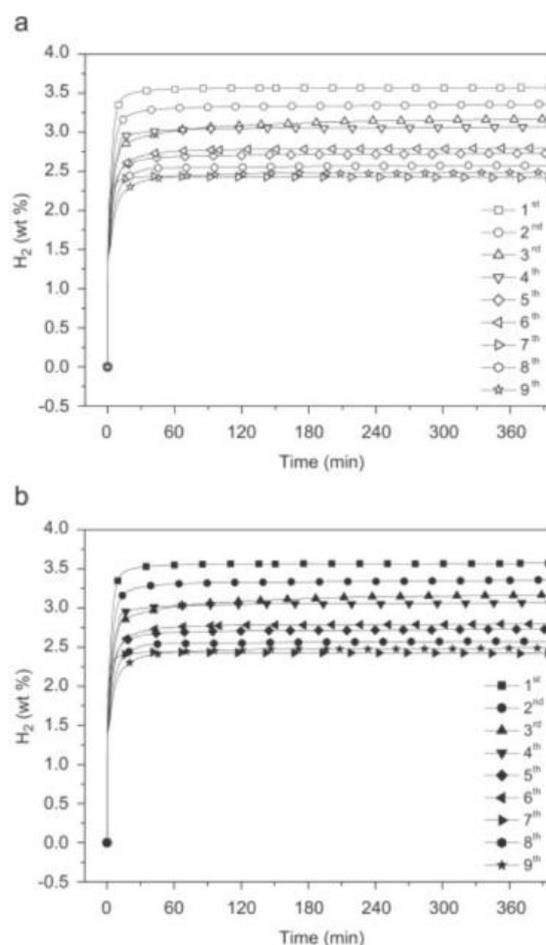


Рисунок 1.3-Кривые поглощения водорода сплавом 33,5мас% Ti–34,7мас.% Cr–V в зависимости от времени сорбции/десорбции при температурах 400 °С (а) и 500 °С (б).

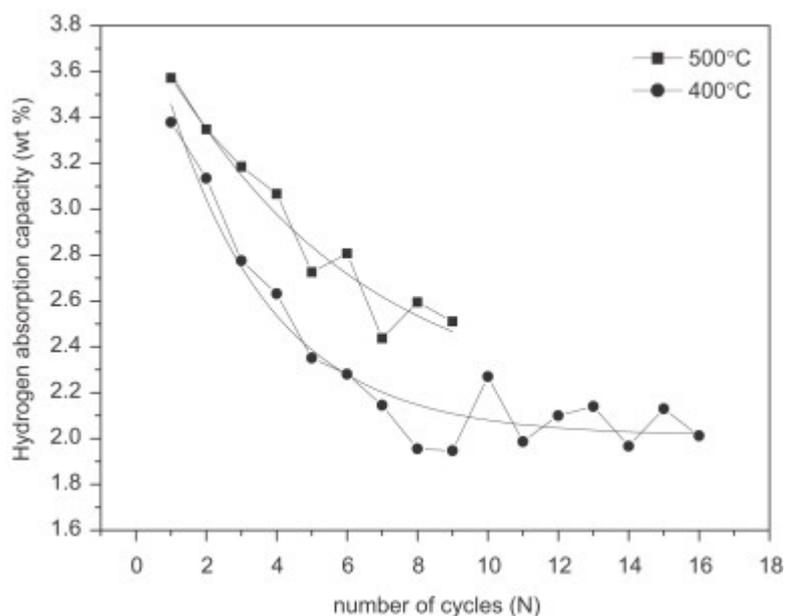


Рисунок 1.4-Зависимость максимальной сорбционной емкости сплава 33,5 масс.% Ti–34,7 масс.% Cr–V от количества циклов сорбции/десорбции при различной температуре

В литературе было исследовано влияние Cr на кристаллическую структуру и свойства хранения водорода в сплавах Ti-V-Cr с высоким содержанием Cr. На рисунке 1.5 показаны кривые гидрирования для сплавов $Ti_{0.8}V_{0.2-x}Cr_x$, измеренные при 30°C и давлении водорода равного 5,9 бар, за исключением $Ti_{0.8}V_{0.05}Cr_{0.15}$, который был нагрет от 30 до 100 °C при скорости нагрева 10 °C /мин. Для бинарного сплава $Ti_{0.8}V_{0.2}$ и сплава с наименьшим содержанием хрома, $Ti_{0.8}V_{0.13}Cr_{0.07}$, быстрое/продолжительное гидрирование происходило при комнатной температуре [10]. Увеличение содержания Cr привело к изменению поведения активации. Влияние Cr было заметно для сплава, содержащего 10 масс.% Cr. Поглощение водорода данным сплавом начинается после выдержки равной 3 минутам. При увеличении содержания Cr, время выдержки перед началом поглощения водорода сокращается и

завершается в течение 2 минуты. Сплав $Ti_{0.8}V_{0.05}Cr_{0.15}$ не способен поглощать водород при $30^{\circ}C$ и давлении водорода 5,9 бар, но начинает реагировать с водородом при нагреве. Однако кинетика гидрогенизации была медленнее, чем в предыдущем случае.

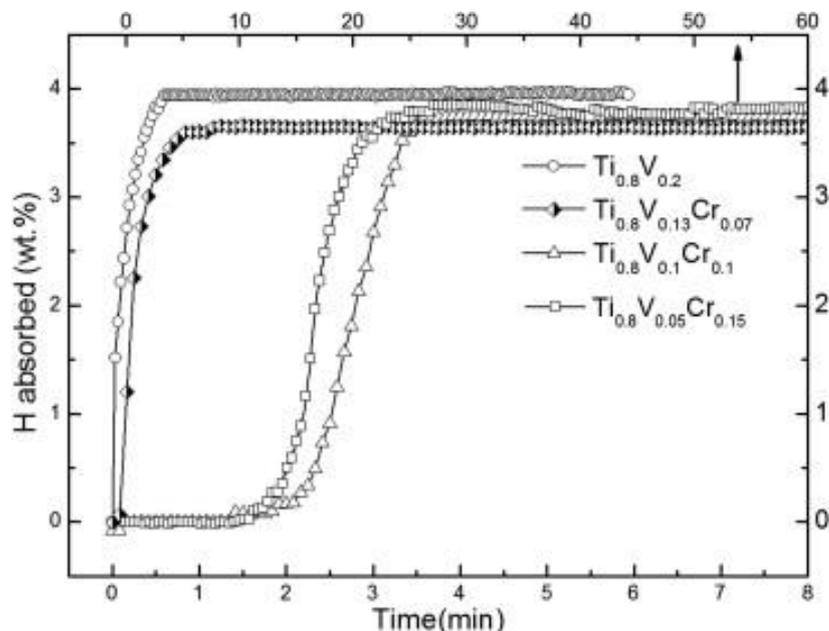


Рисунок 1.5-Кинетика поглощения водорода для сплавов $Ti_{0.8}V_{0.2-x}Cr_x$ при $30^{\circ}C$, давлении водорода 5,9 бар, за исключением $Ti_{0.8}V_{0.05}Cr_{0.15}$. Сплав $Ti_{0.8}V_{0.05}Cr_{0.15}$ был нагрет от 30 до $100^{\circ}C$ при скорости нагрева $10^{\circ}C$ /мин.

Таким образом, Cr значительно влияет на скорость поглощения водорода. Время инкубации обычно связано со свойствами поверхности сплава. Оксиды Cr, например, Cr_2O_3 , имеют более высокую термодинамическую стабильность, чем оксиды титана или ванадия в аналогичных состояниях окисления, Cr_2O_3 легко образуется при наличии следов кислорода и устойчив к воздействию водорода. Причем количество оксида коррелирует с содержанием Cr в сплаве [10].

В таблице 1.1 показаны характеристики сорбции сплавов на основе Ti-Cr-V, включая температуру сорбции, давление плато сорбции, обратимую емкость.

Таблица 1.1-Сорбционные характеристики материалов-накопителей водорода на основе TiVCr в зависимости от стехиометрического состава

	Сплавы	Температура	Давление плато сорбции (МПа)	Обратимая емкость (wt%)
1	$V_{0.7}Ti_{0.1}Cr_{0.2}$	293	0,06	2,43[10]
2	$V_{0.68}Ti_{0.2}Cr_{0.12}$	303	0,009	1,75[11]
3	$V_{0.35}Ti_{0.25}Cr_{0.40}$	298	0,1	1,79[11]
4	$V_{0.65}Ti_{0.12}Cr_{0.23}$	295	0,3	2,5[12]
5	$V_{0.50}Ti_{0.16}Cr_{0.34}$	293	0.5	2,24[13]
6	$V_{0.40}Ti_{0.25}Cr_{0.35}$	303	0,4	1,56[14]
7	$V_{0.80}Ti_{0.08}Cr_{0.12}$	293	0,065	2,4[14]

Было исследовано, что содержание ванадия является ключевым фактором для поддержания циклической стабильности. Сплавы с меньшим содержанием ванадия, такие как $Ti_{24}Cr_{36}V_{40}$ и $Ti_{32}Cr_{48}V_{20}$, показали плохую способность к циклированию, тогда как сплавы с высоким содержанием ванадия, такие как $Ti_8Cr_{12}V_{80}$, обладают превосходным сохранением рабочих характеристик в течение нескольких циклов.

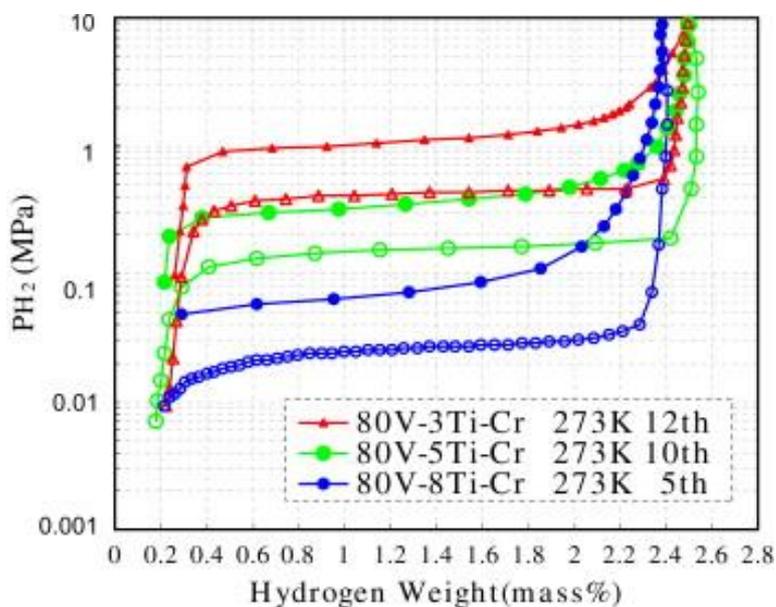
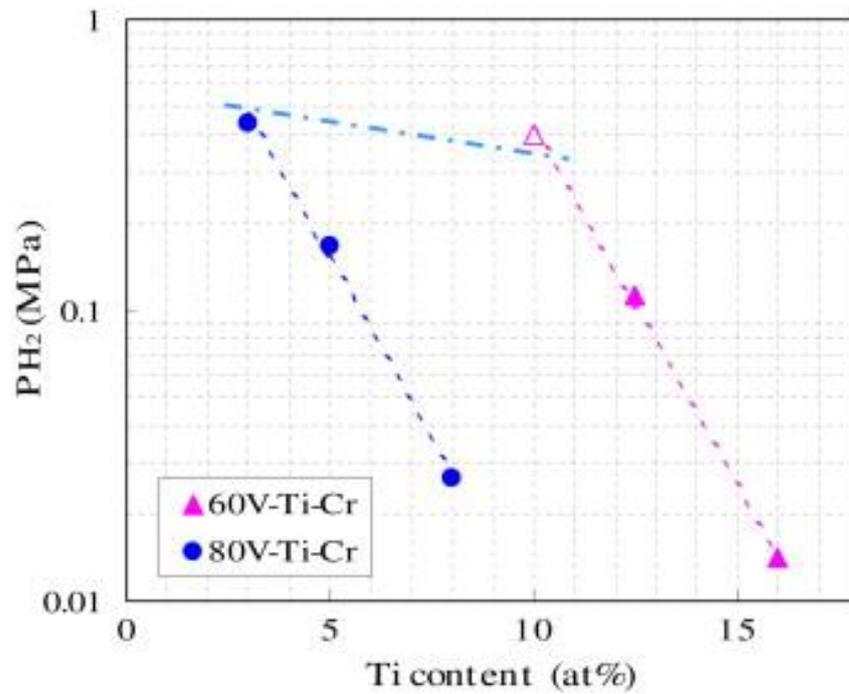


Рисунок 1.6-Кривые ПКТ образцов 80 ат% V–Ti–Cr, измеренные при 273 К.

На рисунке 1.6 показаны кривые ПКТ образцов 80 ат.% V–Ti–Cr, измеренные при 273 К. Сравнивая рисунок 1.6 и рисунок 1.7б, был сделан вывод, что образцы 80 ат% V-Ti-Cr показали меньший гистерезис кривых ПКТ по сравнению с образцами 60 ат% V-Ti-Cr. Кроме того, емкость по водороду каждого образца 80 ат. % V–Ti–Cr была почти одинаковой, когда содержание Cr в образце составляло от 3 ат. % до 8 ат. % [11].

На рисунке 1.7а показаны зависимости между давлением десорбции водорода при 273 К и содержанием Ti для образцов 60 ат. % V-Ti-Cr и 80 ат. % V-Ti-Cr. Примечательно, что как серии 60 ат% V–Ti–Cr, так и серии 80 ат%V–Ti–Cr обладают достаточно похожей зависимостью изменения давления десорбции водорода от изменения состава Ti. Поэтому, ссылаясь на рисунке 2.7, можно приблизительно оценить давление десорбции водорода из сплава, содержащего ванадий от 60 ат.% до 80 ат.% [12]. В серии 60 ат% V–Ti–Cr снижение емкости по водороду при уменьшении содержания Ti наблюдалось между 12,5 ат% и 10 ат%.

(a)



(б)

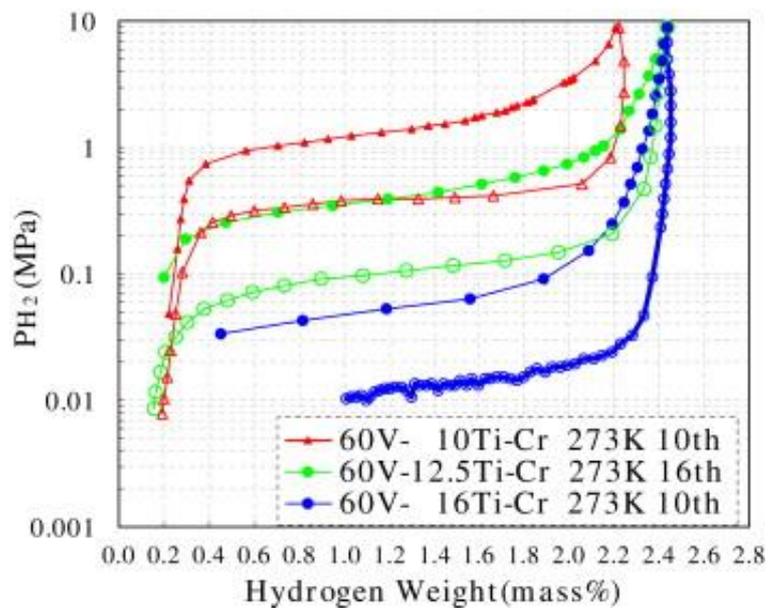


Рисунок 1.7-(а)-Взаимосвязь между давлением десорбции водорода и содержанием Ti в образцах 60 ат.% V-Ti-Cr и 80 ат.% V-Ti-Cr при 273 К, (б)-Кривые ПКТ образцов 60 ат.% V-Ti-Cr, измеренные при 273 К.

1.2.2 Структурно-фазовое состояние

После гидрирования сплава $Ti_{10}V_{75}Cr_{15}$ при различной обработке фазовый состав материала представлен в основном фазой β -VN (ОЦК), но также присутствуют небольшое количество ОЦК и ГЦК фаз (рисунок 2.8). Для образца после ультразвуковой механической обработки гидрид β -VN (тетрагональная модификация) поглощает водород с образованием γ -VN₂ (ГЦК), который затем десорбирует водород. Гидрид β -VN (тетрагональная модификация) остается активным во время дальнейшего циклирования для перехода β -VN (ОЦК) в γ -VN₂ (ГЦК) [11]. Однако для образца, полученного кручением под давлением, несмотря на первоначальную активацию, гидрид β -VN (тетрагональная модификация) дезактивируется в последующих циклах и не может дальше сорбировать водород. Причина дезактивации фазы β -VN (тетрагональная модификация) в образце, полученного кручением под давлением, связана с наличием большой доли дефектов и границ зерен, которые препятствуют реверсии водорода.

Для сравнения, гидриды ОЦК и ГЦК были проанализированы для образцов сплава $Ti_{25}V_{50}Cr_{25}$. В этом сплаве переход γ -VN₂ (ГЦК) \rightarrow β -VN (тетрагональная модификация) не полностью происходит при десорбции водорода. Однако рефлекс (111) гидрида ГЦК фазы более интенсивен для образца, полученного кручением под давлением, чем рефлекс для образца после ультразвуковой механической обработки, что указывает на более высокую долю оставшихся гидридов γ -VN₂[11].

Наличие трех фаз ОЦК, ОЦТ и ГЦК фаз на рисунке 1.8, особенно для сплава $Ti_{25}V_{50}Cr_{25}$, вероятно, связано с кинетикой поглощения и десорбции водорода. Действительно, поскольку сплав $Ti_{25}V_{50}Cr_{25}$ имеет более низкое давление плато, чем сплав $Ti_{10}V_{75}Cr_{15}$, сосуществование трех фаз в этом сплаве более значимо, поскольку в этом сплаве меньше движущей силы для дегидрирования.

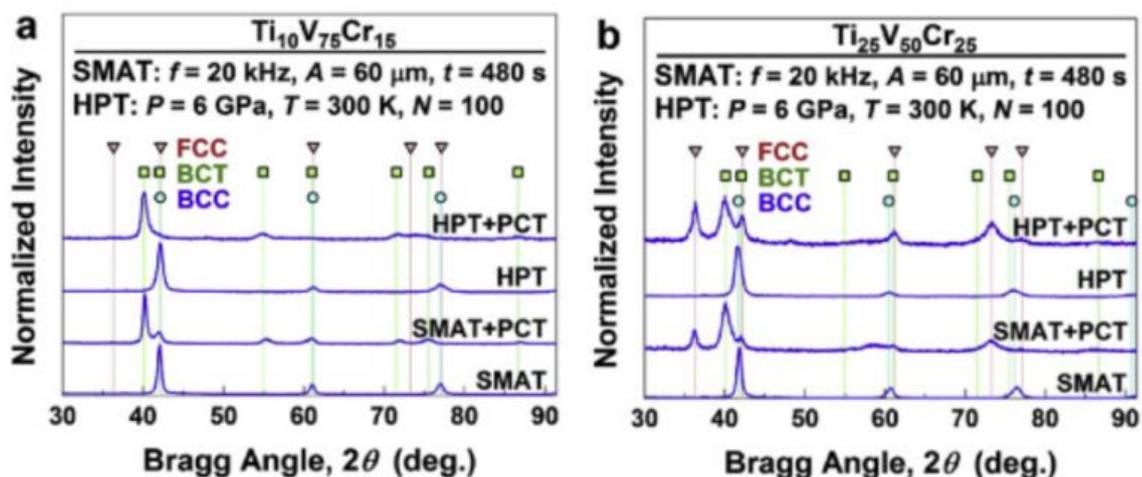


Рисунок 1.8-Дифрактограммы сплава $Ti_{10}V_{75}Cr_{15}$ до(а) и после(б) 3 циклов сорбции/десорбции при различной обработке: ультразвуковая механическая; кручение под давлением.

Параметры элементарной ячейки сплавов Ti-V-Cr, в котором содержание титана высоко, коррелировали с соотношением Ti/Cr и постепенно уменьшались с увеличением содержания Cr. При более высоких концентрациях Cr происходило образование вторичных фаз, включающих интерметаллид $TiCr_2$ и фазы α -Ti. Термическая стабильность образовавшихся гидридов была охарактеризована методом TDS, и стабильность уменьшалась с увеличением концентрации Cr в сплавах и гидридах Ti-V-Cr. Исследованные

металлогидридные сплавы с ОЦК структурой с наименьшим содержанием Ti (70 ат.%) образовали однофазные гидриды с ГЦК решеткой. В сплавах с 80 ат.% Ti образовалась смесь двух дигидридов с решеткой типа ГЦК.

Микроструктуры сплава Ti-V-Cr, выплавленного дугой, были столбчатыми и дендритными. Размеры зерен сплавов, выплавленных в дуге, в большинстве случаев превышали 500 мкм. (рисунок 1.9). Гидрогенизация вызвала значительное расширение решетки, что привело к измельчению сплавов. Как правило, дегидрогенизированные образцы состояли из частиц сплава микронных размеров.

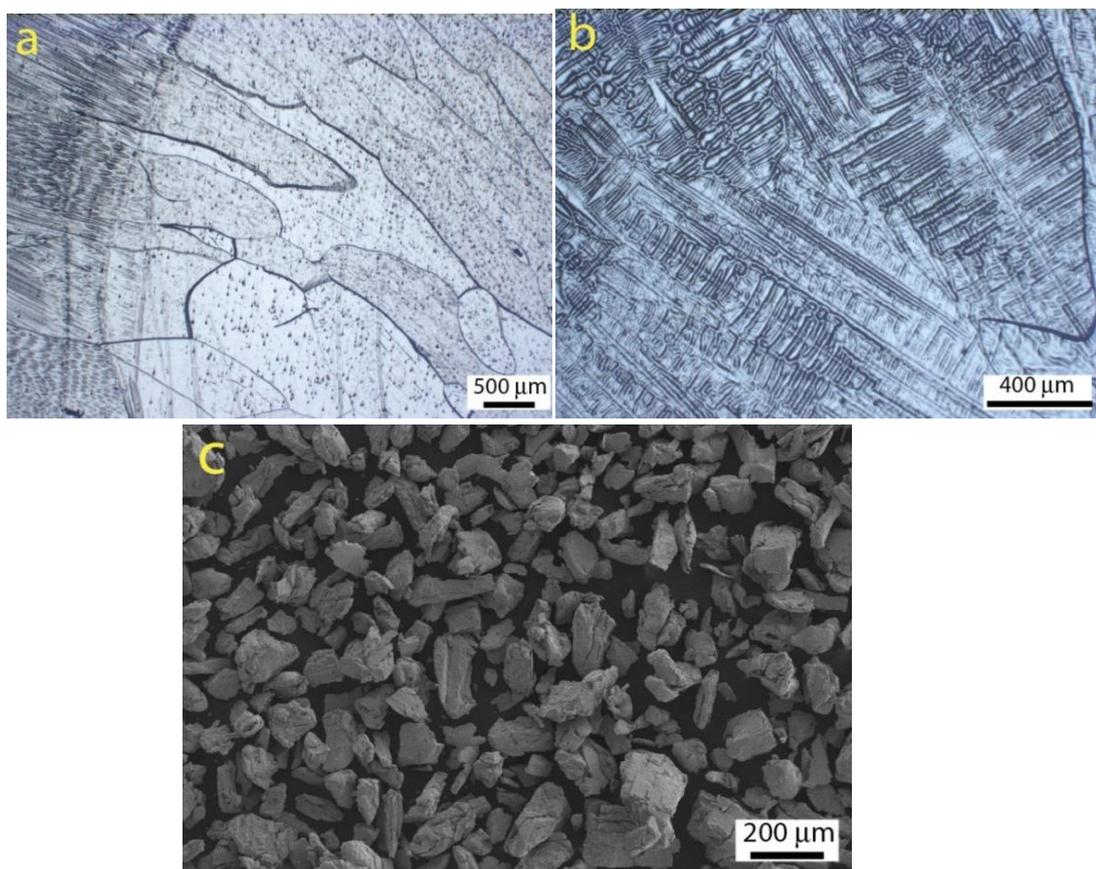
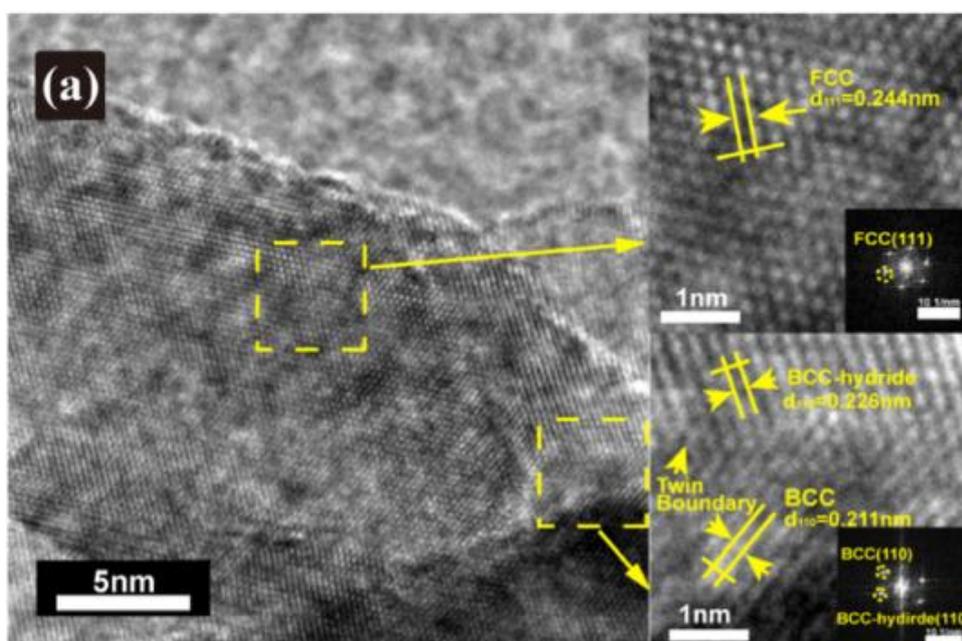


Рисунок 1.9-(a,b) Микроструктуры сплава $Ti_{0.8}V_{0.05}Cr_{0.15}$, выплавленного дугой, до гидрогенизации(а) типичные столбчатые зерна в

ядре (b) столбчатые дендритные зерна в оболочке(c) Морфология частиц сплава $Ti_{0.8}V_{0.05}Cr_{0.15}$ после гидрогенизации и дегидрогенизации

На рисунке 1.10 показаны ТЕМ-изображения образца $V_{72}Ti_{18}Cr_{10}$ при разной обработке. Образцы в случае (a) замачивали в уксусной кислоте на 12 ч, затем несколько раз выщелачивали деионизированной водой, затем обрабатывали спиртом и сушили в вакууме при комнатной температуре в течение 30 мин. В случае (b) Образец отжигают при $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 мин под вакуумом в печи для молибденовой проволоки ЗМ-16 с последующим охлаждением до комнатной температуры.

В обоих образцах сосуществуют ОЦК-фаза, ОЦК-гидридная фаза и ГЦК-фаза, что свидетельствует о том, что процесс фазового превращения образцов в процессе гидрирования представляет собой ОЦК \rightarrow ОЦК-гидрид \rightarrow ГЦК.



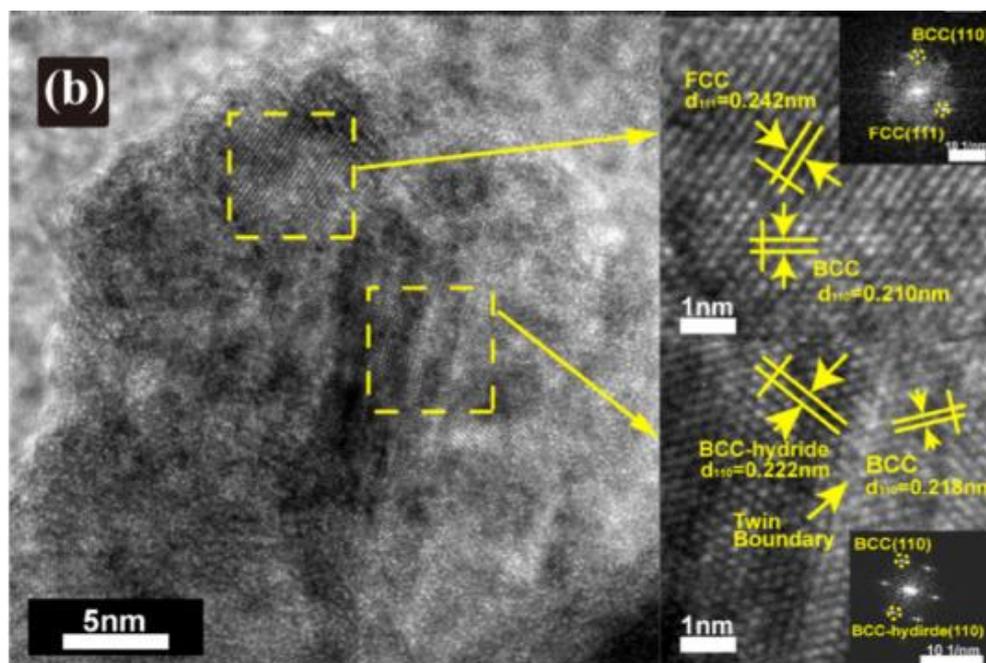


Рисунок 1.10-ТЕМ-изображения образца $V_{72} Ti_{18} Cr_{10}$
при разной обработки

1.3 Влияние легирующих добавок на сорбционные характеристики материалов

1.3.1 Влияние марганца

В статье [11] было выявлено, что для сплава Ti-Cr-V-Mn с содержанием Mn ниже 10 ат.% может эффективно улучшить наклон плато, не влияя на сорбцию и десорбцию водорода. На рисунке 1.11 показаны кривые ПКТ сплава Ti-35V-(37-x)Cr-xMn после термообработки. С увеличением содержания Mn наклон плато десорбции водорода уменьшается. За исключением образца с содержанием Mn $x=15$, максимальная водородная емкость остальных образцов почти такая, как и у Ti-35V-37Cr без Mn, что составляет 2,6 масс.% [11]. В то время как в образце с содержанием Mn $x=15$ содержание поглощенного водорода значительно снижается. Следовательно, замена Mn ниже 10 ат.%

является эффективным средством улучшения характеристик сорбции и десорбции водорода.

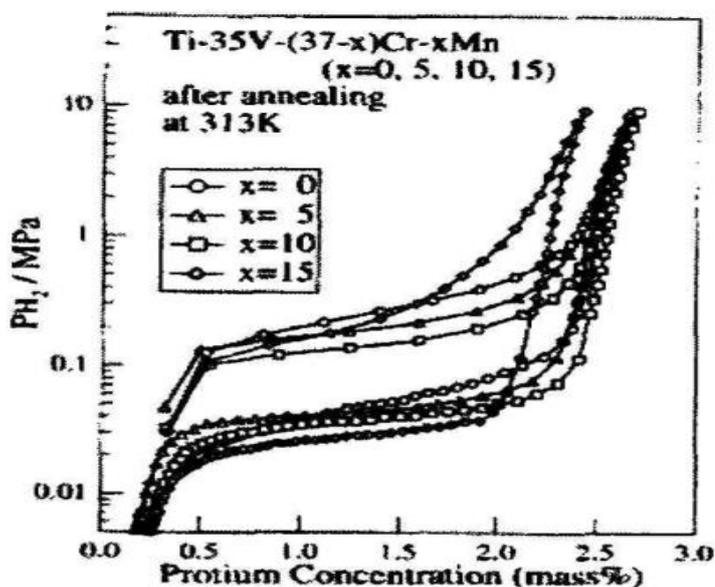


Рисунок 1.11-Кривая ПКТ сплава Ti-35V-(37-x)Cr-xMn(x=0,5,10,15) после термообработки

1.3.2 Влияние титана

Авторы [11] также установили, как содержание титана влияет на сорбционные характеристики в сплавах на основе Ti-V-Cr-Mn. На рисунке 1.12[11] показана кривые ПКТ сплава Cr-xTi-35V-10Mn после термической обработки. Видно, что увеличение содержания Ti приводит к уменьшению значений давлений при которых образуется плато. Следовательно, можно сделать вывод, что образование α -Ti можно подавить, а емкость хранения водорода можно увеличить, контролируя содержание Ti. Однако, если Ti будет уменьшать слишком сильно, давление, при котором будет возникать плато также резко возрастает, что приводит к значительному уменьшению запасов водорода.

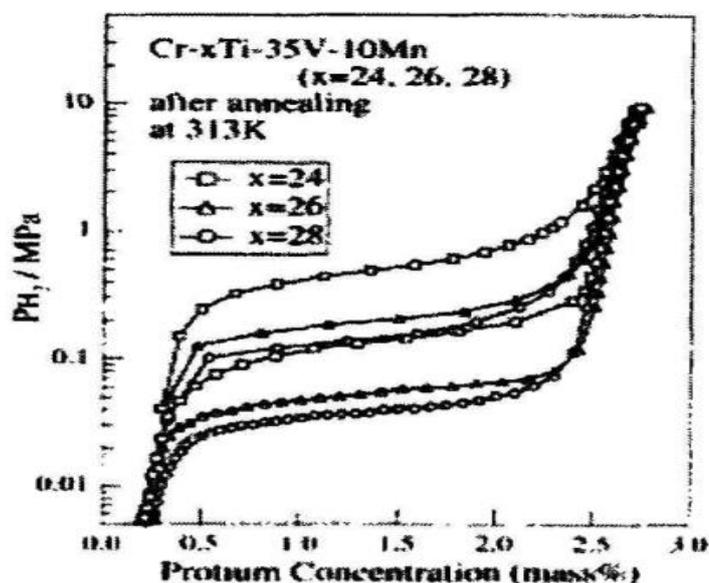


Рисунок 1.12-Кривая ПКТ сплава Cr-xTi-35V-10Mn(x=24,26,28) после термообработки

1.3.3 Влияние циркония

Кривые первого цикла сплавов $Ti_xV_{70-x}Cr_{30}$ ($x = 10, 20, 30, 40, 50$) представлены на рисунке 1.13. Эти измерения проводились при комнатной температуре под давлением 20 бар без предварительной термической обработки сплавов [12]. Как показано, способность поглощать водород увеличивается по мере повышения значений x . Для сплава $x = 50$ поглощенная емкость водорода максимальна достигается до 3,7 масс%, однако для $x = 50$ также требуется долгое время для сорбции.

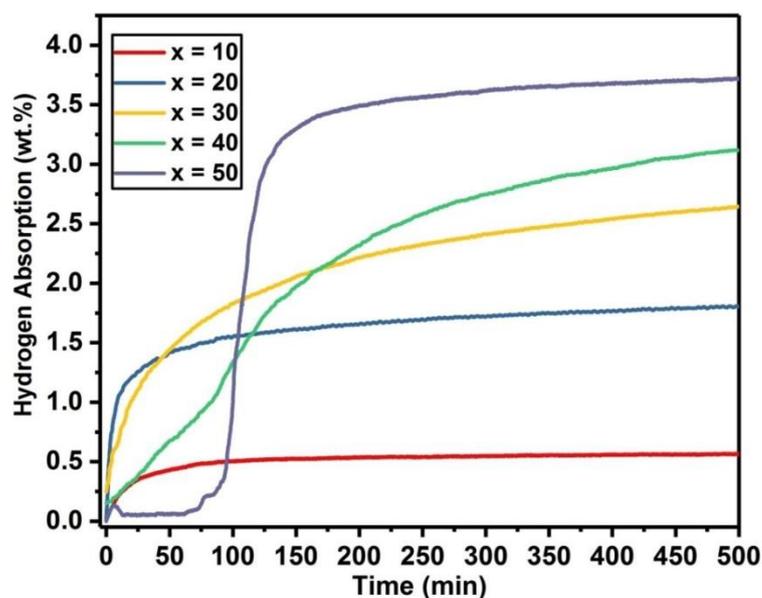
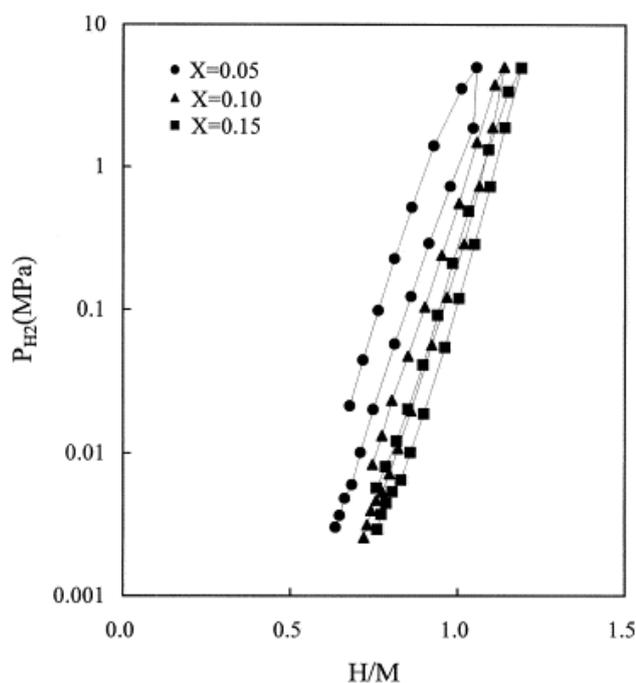


Рисунок 1.13-Кинетика первого цикла сорбция водорода сплавов $Ti_xV_{70-x}Cr_{30}$ ($x = 10, 20, 30, 40, 50$) + 4 масс. % Zr под действием 20 бар водорода при 22 °С.

Изменения изотерм сплава $Ti_{0.33-x}Zr_xCr_{0.47}V_{0.20}$ в зависимости от значений x показаны на рисунке 1.14а [13]. С увеличением x от 0,05 до 0,15, гистерезис и равновесное давление уменьшались. Водородная емкость, которая в данном исследовании определяется как количество поглощенного водорода при равновесном давлении 5 МПа, немного увеличивается с ростом x . Однако эффективная водородная емкость уменьшалась. В данном исследовании эффективная емкость хранения водорода определяется как количество десорбированного водорода при снижении давления водорода до 0,003 МПа с 5 МПа при 303 К. Наклоны изотерм увеличились по сравнению с исходным сплавом, не содержащим цирконий [13]. На рисунке 1.14(б) показаны изменения изотерм сплава $Ti_{0.27-x}Zr_xCr_{0.36}V_{0.37}$ при переменном x . Как и на рисунке 1.14(б) гистерезис и эффективная емкость водорода уменьшились, а

наклон увеличился при увеличении x . Емкость поглощенного водорода сплава с больше, чем у других сплавов на этом рисунке. Снижение емкости водорода с увеличением содержания циркония приводит к увеличению фазы $ZrCr_2$ и уменьшением фазы твердого раствора ОЦК, поскольку фаза ОЦК поглощает больше водорода, чем фаза $ZrCr$

(a)



(б)

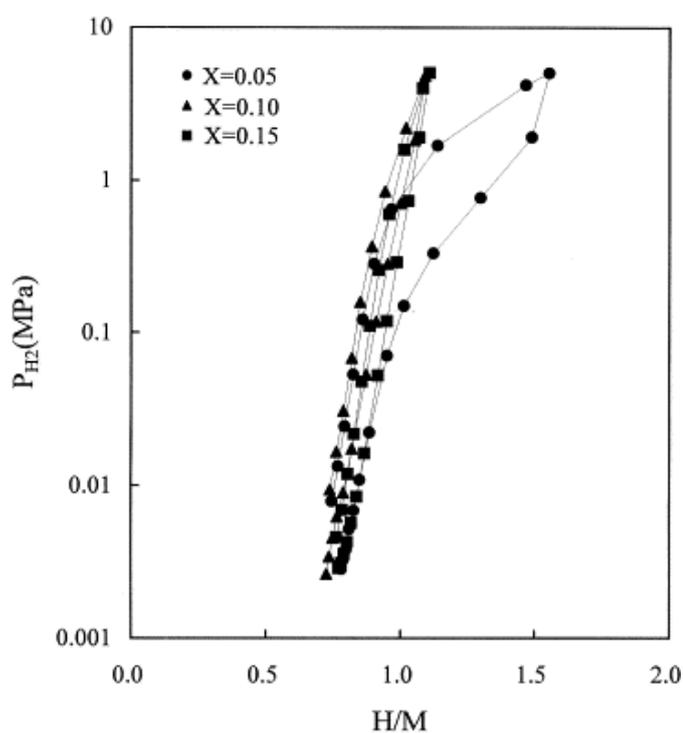


Рисунок 1.14-(а) изотермы сплава $Ti_{0.33-x}Zr_xCr_{0.47}V_{0.20}$ при 303 К (б)

Изотермы сплава $Ti_{0.27-x}Zr_xCr_{0.36}V_{0.37}$ при 303 К.

1.3.4 Влияние Fe и Al

1.3.4.1 Влияние железа

На рисунке 1.15 показаны кривые ПКТ сплава при разных процентах содержания железа при 298К. По мере понижения содержания железа в материале максимальная сорбционная емкость сплава уменьшается, а давление, при котором возникает кривая насыщения выходит на плато, растет. Образец с добавлением 1 ат.% Fe показывает давление выхода на плато выше 0,1 МПа [14]. Для образца с добавлением 3 ат.% Fe на рисунке показывает относительно более узкую и более наклонную область платформы.

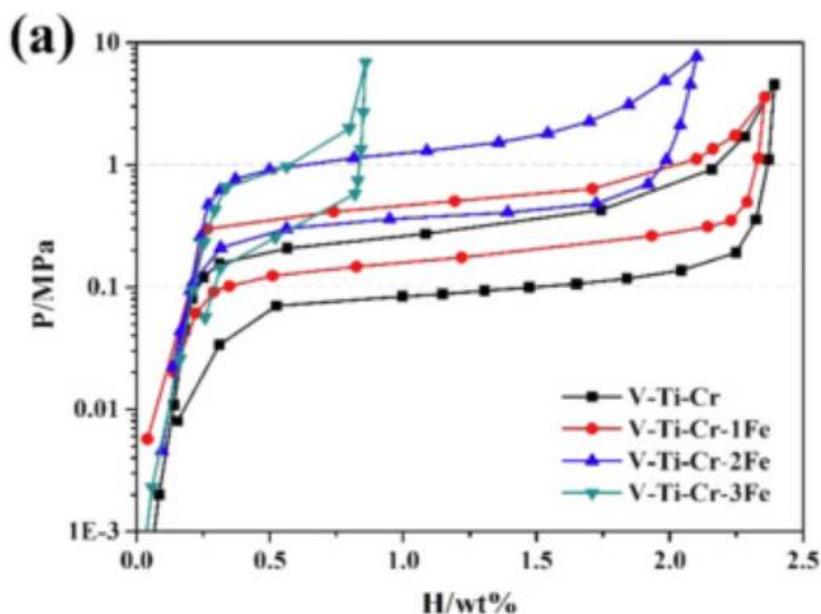


Рисунок 1.15-Кривые ПКТ сплава V-Ti-Cr-Fe

1.3.4.2 Влияние алюминия

В работе [14] в сплав 75V-Ti-15Cr был введен Al в различных концентрациях. Также был приготовлен один образец с замещением 1 ат% Fe и 1 ат% Al. Кривые ПКТ сплавов с добавлением Al показаны на рис 1.16[14]. Видно, что с увеличением содержания Al значение давления плато повышается, а водородная емкость снижается, что аналогично образцам с добавлением Fe. Образец с замещением 1 ат% Fe и 1 ат% Al показывает большую водородную емкость-2,26 масс% и более высокое давление плато десорбции 0,5 МПа при комнатной температуре, чем другие сплавы с добавлением Al. В частности, его гистерезис становится меньше.

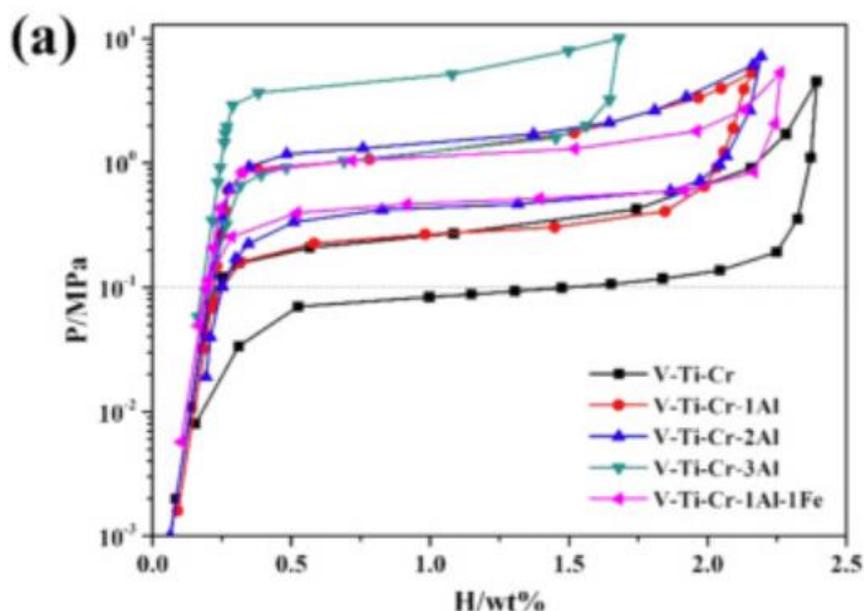
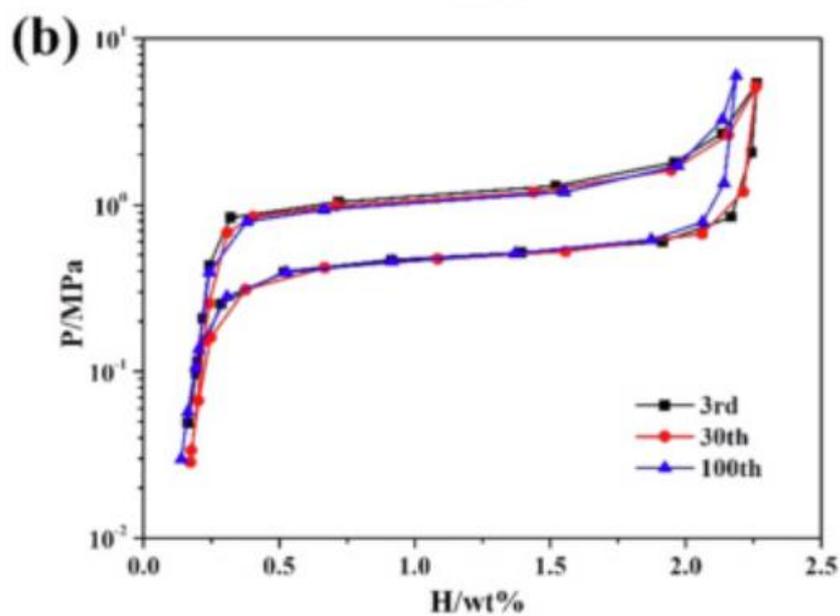
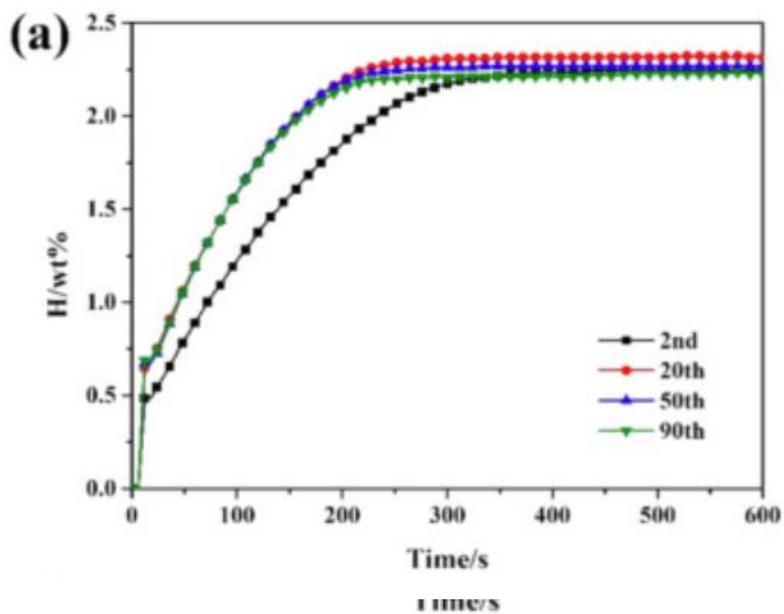


Рисунок 1.16-Кривые ПКТ сплава V-Ti-Cr-Al при 298 К

В литературе [14] также исследована долговечность цикла сплава 75V-Ti-Cr-1Al-1Fe. На рис 1.17(a) представлена кинетика поглощения водорода 75V-Ti-15Cr-1Al-1Fe при различных циклах при 7 МПа. Кинетика хорошая и достигает максимальной емкости за 300с. После нескольких циклов образец

показывает более быструю кинетику поглощения водорода. Автор считает, что полученный результат возможно связан с измельчением частиц и появлением свежих активных поверхностей.



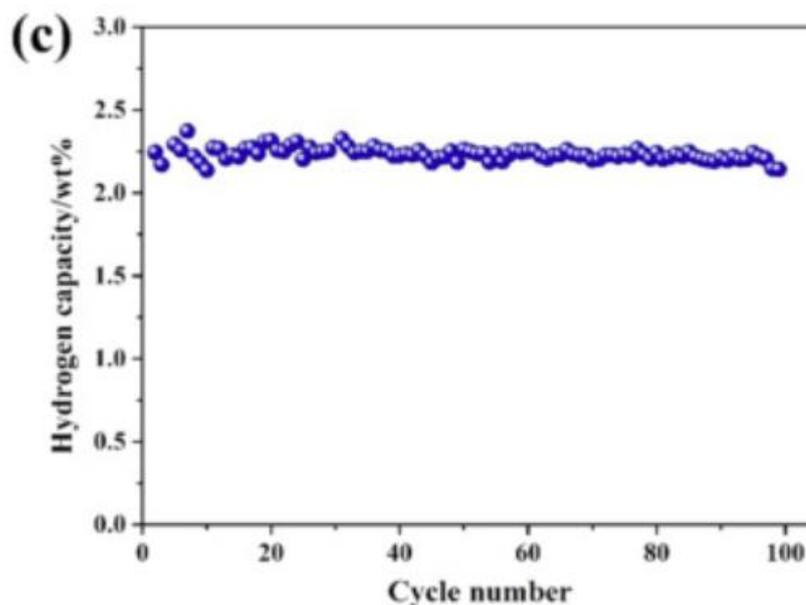


Рисунок 1.17-(a) Кинетические кривые поглощения сплава 75V-Ti-15Cr-1Al-1Fe при 298 К для различных циклов,(b) кривые ПКТ при различных циклах,(c) Максимальная водородная емкость при различных циклах

На рисунке 1.17(c) представлено изменение емкости водорода во время циклирования. После 100 циклов максимальная водородная емкость уменьшается с 2,26 масс. % до 2,19 масс. % при сохранении емкости на 97 %. Хотя видны небольшие колебания, долговечность сплава 75 V-Ti-15Cr-1Al-1Fe в течение цикла превосходна, с очень малой средней скоростью разрушения 0,001 масс% цикл⁻¹. [14]

Как видно из рентгенограмм сплава 75V-Ti-15Cr-1Al-1Fe после дегидрогенизации на 3-м и 100-м циклах (рисунок 1.18), не наблюдается явного изменения формы или положения пиков. Но по результатам уточнения параметра решетки после 100 циклов обнаруживается небольшое сужение. Параметр решетки a уменьшается с 6,093 до 6,068 Å, а объем ячейки фазы ОЦТ

сокращается с 246,79 до 245,15 Å³ после 100 циклов, что является еще одной частью причины ослабления водородной емкости [15].

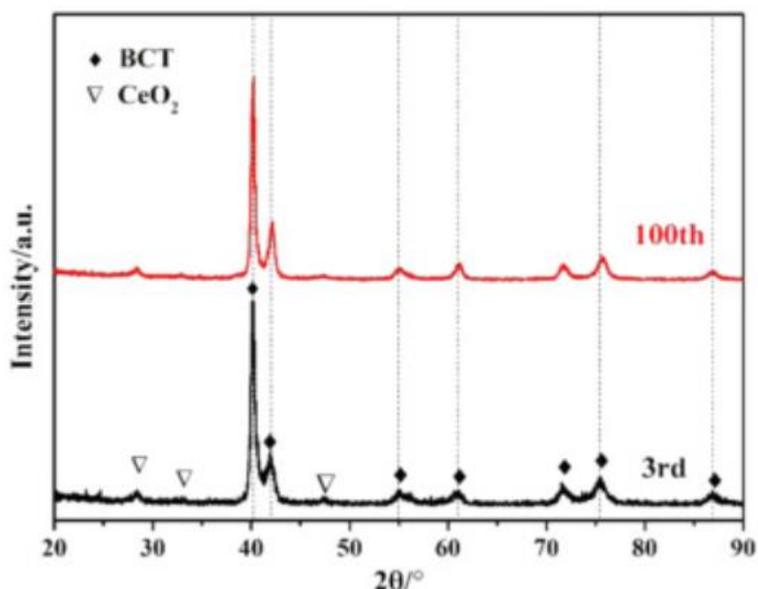


Рисунок 1.18-XRD сплава 75 V-Ti-15Cr-1Al-1Fe после дегидрирования при различных циклах.

1.3.5 Влияние ниобия

В литературе было проведена оценка влияния добавки ниобия на циклическую долговечность сплавов с низким содержанием ванадия.

Хром в сплаве $Ti_{25}Cr_{50}V_{25}$ частично заменен ниобием для синтеза сплава $Ti_{25}Cr_{45}V_{25}Nb_5$. На рисунке 1.19 показана XRD сплавов $Ti_{25}Cr_{45}V_{25}Nb_5$ до активации. Сплавы, содержащие ниобий, имеют единственную фазу ОЦК. Замещение ниобия, очевидно, растягивает решетку ОЦК. Оба сплава имеют схожие начальные эффективные емкости для хранения водорода [15]. Эффективная емкость хранения водорода сплава без ниобия уменьшается с 2,30 до 1,95 масс.% (долговечность цикла: 84,9%) после 10 циклов. Для сплава с ниобием долговечность составляет 94,2% [16]. Содержащий ниобий сплав

также более устойчив к многократному поглощению и десорбции водорода, чем сплав без ниобия для сплавов, содержащих 25 ат.% ванадия.

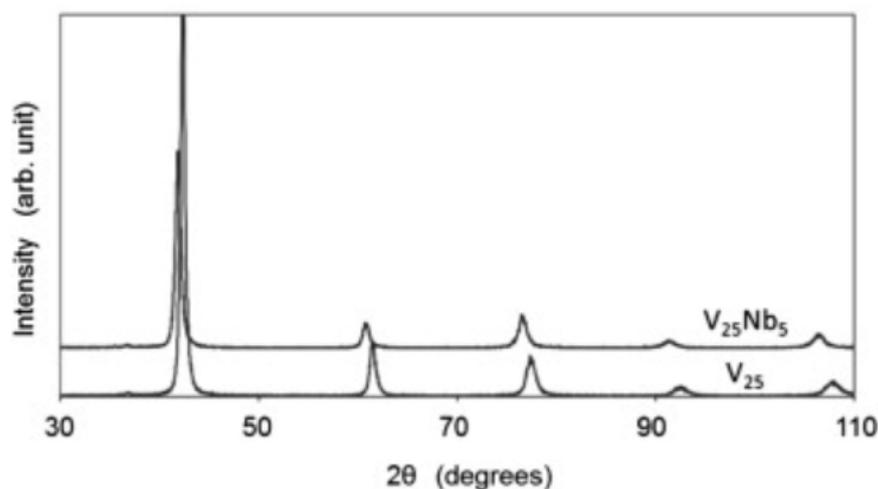


Рисунок 1.19-Профили XRD сплавов $Ti_{25}Cr_{45}V_{25}Nb_5$ до активации

На рисунке 1.20 показаны профили XRD сплавов. Первичные фазы обоих сплавов во время поглощения имеют ГЦК структуру. Дифракционные пики становятся более широкими после 10 циклов [17]. Сплав $Ti_{25}Cr_{50}V_{25}$ содержит небольшое количество дополнительной фазы ГЦК (обозначена треугольниками), постоянная решетки, которой меньше, чем у основной фазы ГЦК. Эта дополнительная ГЦК фаза исчезла во время десорбции. По данным анализа Ритвельда профиля XRD, постоянная решетки до гидрирования примерно на 7% меньше, чем после гидрирования .

Уменьшение водородной емкости сплава $Ti_{25}Cr_{50}V_{25}$ при поглощении после 10 циклов можно предположительно отнести к остаточной ОЦТ фазе, которая не превращается в ГЦК фазу при поглощении водорода, а не к уменьшению водородной емкости ГЦК фазы [17,18]. Замена ниобием может подавить стабилизацию ОЦТ-фазы во время поглощения.

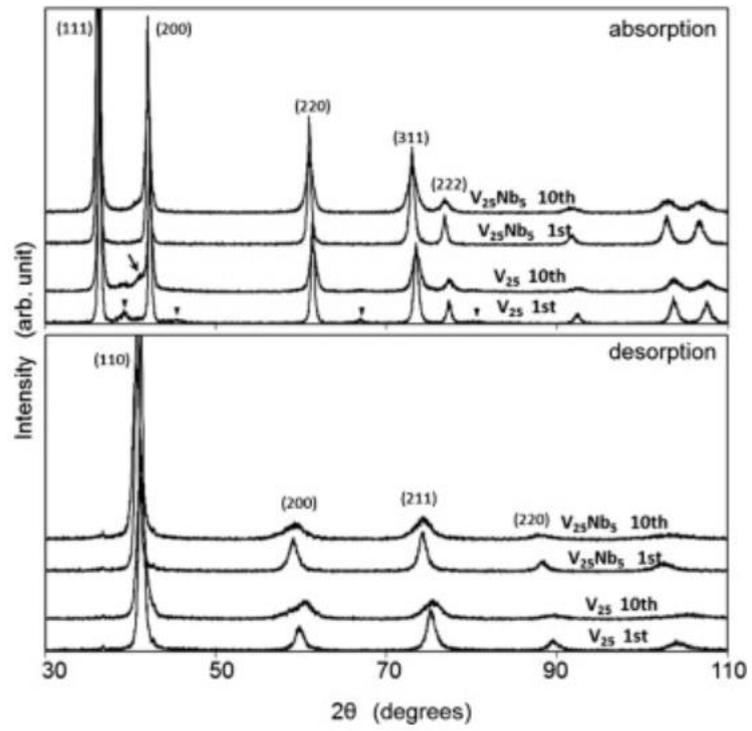


Рисунок 1.20-Профили XRD сплавов $Ti_{25}Cr_{45}V_{25}Nb_5$ после первого и 10-го циклов

ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Подготовка образцов

Для синтеза материала со стехиометрией $Ti_{33}V_{33}Cr_{33}$, использовались порошки титана (чистота 99%), ванадия (чистота 99%) и хрома (чистота 99,8%). Смесь порошков была измельчена в течение 30 минут, с использованием шаровой планетарной мельницы на воздухе при комнатной температуре. Для синтеза порошки были предварительно спрессованы холодным статическим одноосным методом в закрытой пресс-форме.

2.2 Методы синтеза материалов

2.2.1 Плавление в плазме аномального тлеющего разряда

Образцы сплава $TiVCr$ получили путем плавления смеси порошков в плазме аномального тлеющего разряда с помощью лабораторной установки «Комплекса вакуумного оборудования» (КВО), разработанной на кафедре экспериментальной физики Томского политехнического университета. При плавлении используется конструкция магнетрона с жидкофазной мишенью [19,20]. Конструкция магнетрона приведена на рисунке 2.1.

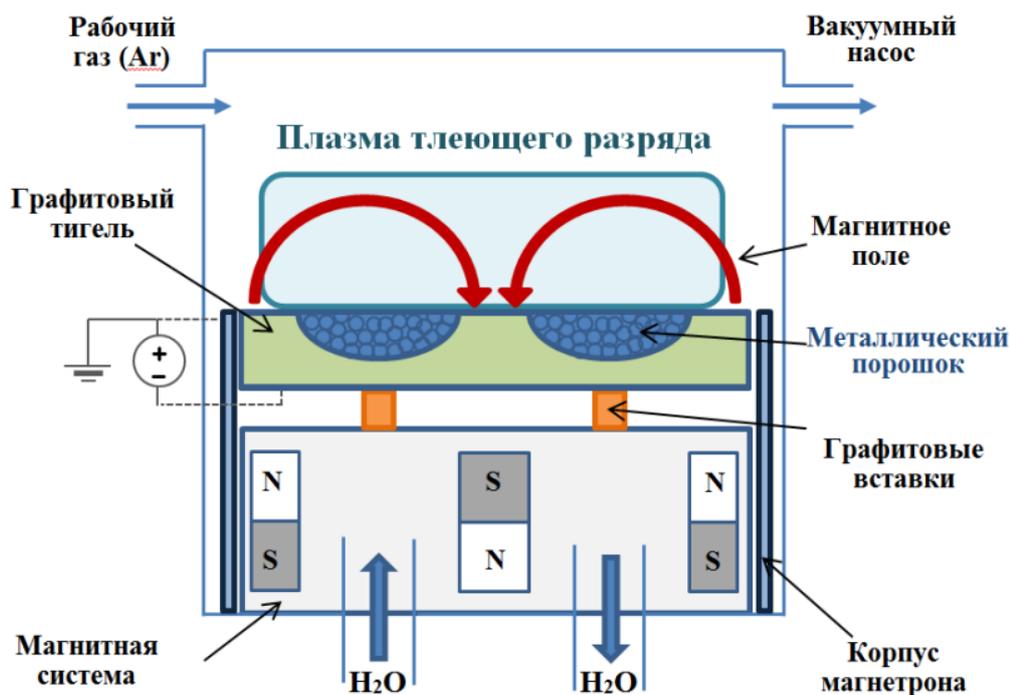


Рисунок 2.1 – Конструкция MPC с жидкофазной мишенью [19]

Порошковая смесь помещается в графитовый тигель, теплоизолированный специальной керамической вставкой, расположенной под тиглем для охлаждения магнитной системы. Камеру откачивают до получения высокого вакуума, затем заполняют аргоном и прикладывают напряжение между катодом и анодом. В результате ионизации атомов рабочего газа электронами возбуждается аномальный тлеющий разряд. Плазма разряда располагается вблизи поверхности мишени, так как электроны находятся в пересекающихся электрическом и магнитном полях. За счет интенсивной ионной бомбардировки порошок нагревается и расплавляется.

В качестве рабочего газа в данной работе использовался аргон, давление составляло 3×10^{-1} Па. Перед вводом аргона рабочую камеру откачивали до остаточного давления 5×10^{-4} Па. Напряжение питания магнетрона находится в диапазоне (550÷600)В, а разрядный ток магнетрона составляет (5,0÷5,5)А.

Следовательно, мощность магнетронного разряда составляет 3 кВт. Для гомогенизации полученный сплав 3 раза переплавляют.

2.2.2 Электродуговое сплавление

Образцы, полученные электродуговым сплавлением, готовили расплавлением шихты исходных материалов на медном водоохлаждаемом поду электродуговой печи с неплавящимися вольфрамовыми электродами (разработка МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия) [21]. Плавку проводили в атмосфере очищенного аргона при давлении 1-1,5 атм. Для получения однородных по составу сплавов образцы переплавляли три раза.

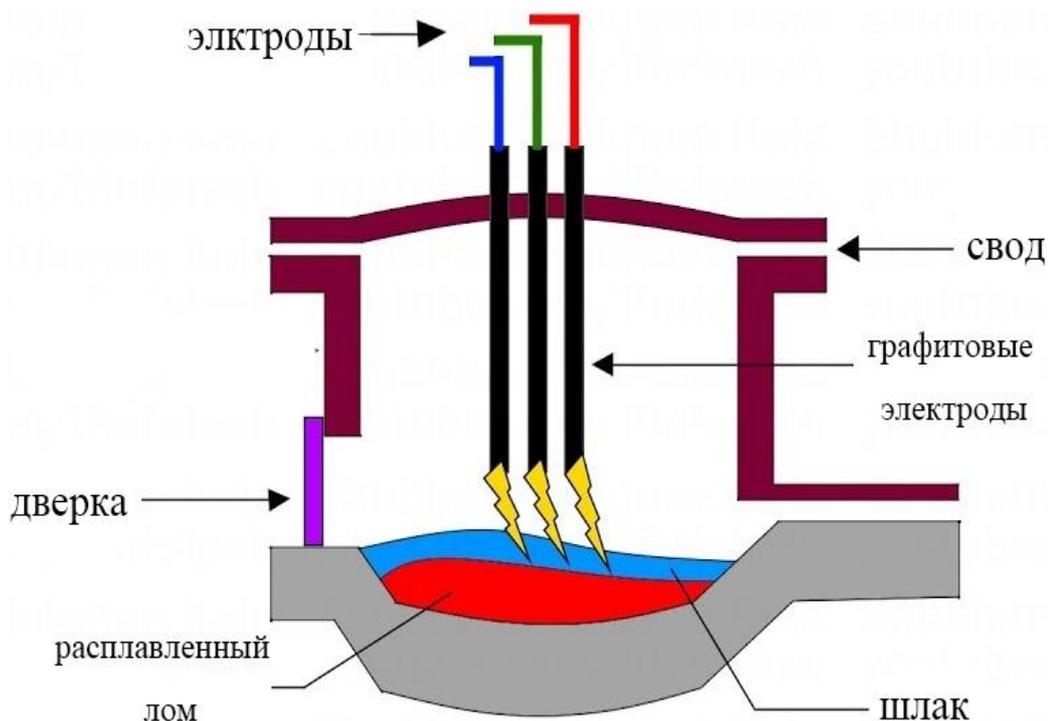


Рисунок 2.2 – Дифрактометр Shimadzu XRD-7000S

2.3 Высокотемпературный отжиг

После синтеза материалов необходимо провести отжиг при температуре 1200 °С в течение 48 часов, чтобы повысить однородность состава. На рисунке 2.3 представлена схема высокотемпературной печи.

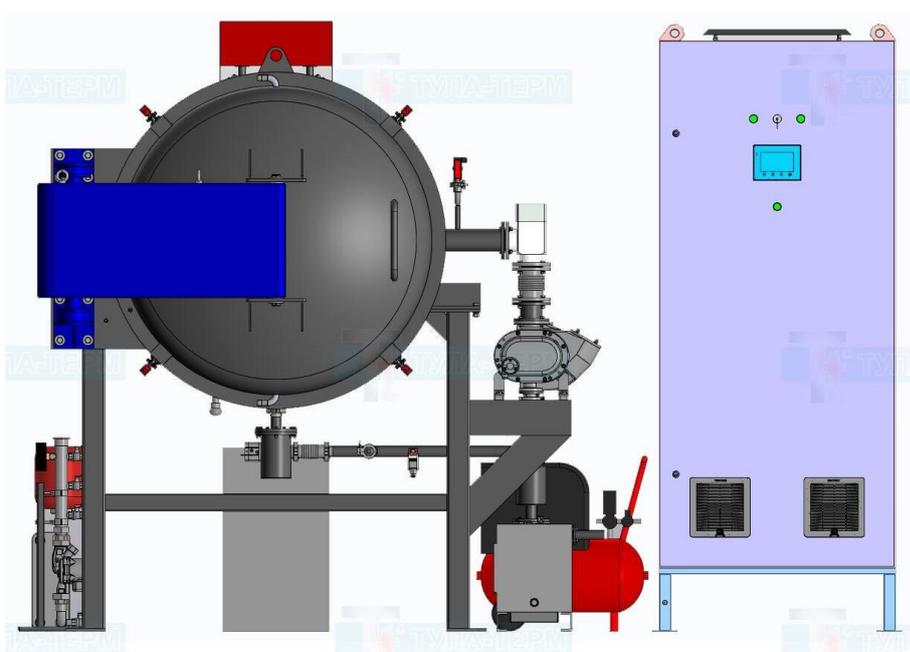


Рисунок 2.3 – Схема высокотемпературной печи

2.4 Рентгено-структурный и фазовый анализ

Рентгеноструктурный анализ порошков полученных сплавов проводился с помощью дифрактометра Shimadzu XRD-7000S, внешний вид которого показан на рисунке 2.4.

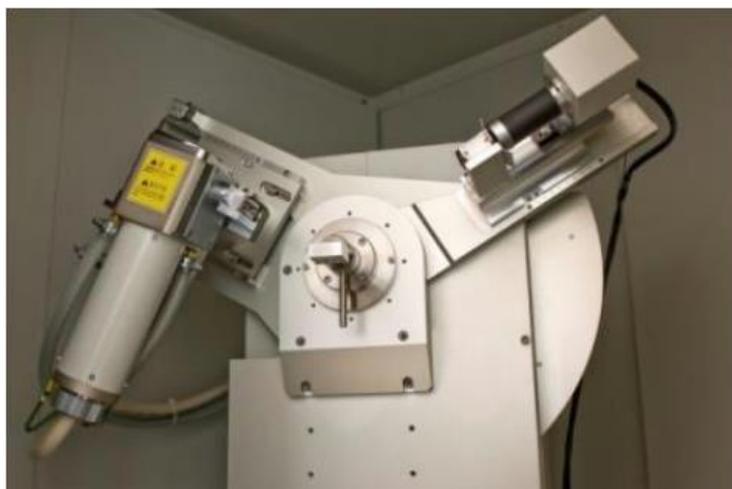


Рисунок 2.4 – Дифрактометр Shimadzu XRD-7000S

Главными компонентами дифрактометра являются рентгеновская трубка и детектор. Рентгеновские лучи направляются на образец, дифрагируются на атомных плоскостях кристаллической решетки (рисунок 2.4). Дифракционные лучи будут усиливать друг друга при выполнении известном условии Вульфа-Брэгга:

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

где d – межплоскостное расстояние, θ – угол скольжения, λ – длина волны рентгеновского излучения, n – целое число.

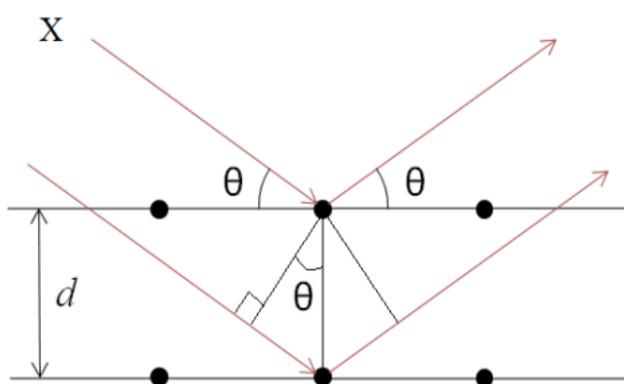


Рисунок 2.5 – Дифракция рентгеновского излучения на атомных плоскостях [20]

Таким образом, дифракционный максимум наблюдается, когда разность хода дифрагированных лучей равна целому кратному числу длин волн. Формула Вульфа-Брэгга лежит в основе рентгеноструктурного анализа, поскольку позволяет определить собственные значения межплоскостного расстояния d для каждой конкретной фазы. В результате анализа строится дифрактограмма - зависимость интенсивности дифрагированного пучка рентгеновских лучей от угла 2θ . При этом каждому дифракционному максимуму на дифракционной картине соответствует семейство плоскостей некоторой фазы [21].

При съемке скорость сканирования составляет 2° в минуту, шаг сканирования – $0,03^\circ$, диапазон углов по 2θ – $30-90^\circ$, время накопления одной точки – 1,5 секунды. Полученные дифрактограммы анализировали с использованием базы данных PDF4+ и программы полнопрофильного анализа Powder Cell 2.4.

2.4 СЭМ и элементный анализ

Микроструктура и элементный анализ можно исследовать с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). В ходе эксперимента с помощью данного прибора получили СЭМ изображения и проводился элементный анализ образцов после высокотемпературного отжига. На рисунке 2.6 представлен сканирующий электронный микроскоп Vega 3 TESCAN.



Рисунок 2.6-Сканирующий электронный микроскоп Vega 3 TESCAN

2.5 Взаимодействие с водородом

2.5.1 Комплекс для насыщения водородом

Внешний вид установки автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller (GRC) фирмы Advanced Materials Corporation приведен на рисунке 2.7.

Данная установка работает в различных режимах в зависимости от цели эксперимента. Для того ,чтобы получить порошок, использовали два последовательного режима, которые называется Soak и Release. Суть режима Soak заключается в выдержке образца в атмосфере водорода заданного давления при постоянной температуре. В режиме Release осуществляется уменьшение давления в камере, в которой находится образец, содержащий водород. Концентрация водорода в каждый момент времени регистрируется компьютером. Таким образом, эти режимы могут служить для изучения кинетики сорбции и десорбции, соответственно[20].



Рисунок 2.7-Автоматизированного комплекса GRC

2.5.2 Измельчение полученного сплава гидрированием

Для повышения эффективности поглощения водорода МНВ используются в виде порошка, который необходимо получить из сплава. Поскольку водород вызывает охрупчивание материала, то сплав можно измельчить путем гидрирования [21]. Процесс гидрирования проводится на автоматизированном комплексе Gas Reaction Controller (GRC) [22]. Гидридное диспергирование сплава заключается в следующих последовательных процессах: линейного нагрева до температуры 500 °С со скоростью 10 °С/мин;

напуска водорода (до 30 атм.); выдержки в течение 3 часов; десорбции водорода; охлаждении до комнатной температуры.

2.5.3 Активация

Перед тем, как проводится насыщение образцов, необходимо провести активационную обработку для того, чтобы МНВ эффективно сорбирова и десорбирова водород. Активация состоит из двух этапов: нагрев порошка в вакууме до 500 °С со скоростью 10 °С/мин и выдержка при температуре 500 °С в течение 2 часа с последующим охлаждением до комнатной температуры.

2.5.4 Насыщение

Образцы в виде порошка массой 4,265г были помещены в камеру и вакуумированы в течение 2 часов при температуре 30 °С до остаточного давления 10^{-4} Па. Затем проводился нагрев порошка в вакууме до 500 °С со скоростью 10 °С/мин с дальнейшей выдержкой при данной температуре в течение 2 часов. Водород при давлении 30 атмосферы подавался в камеру в течение 2 часов. После этого в процессе десорбции камеру с образцом охлаждали до комнатной температуры.

3.3 Выводы

В результате данной работы были синтезированы образцы $Ti_{33}Cr_{33}V_{33}$ электродуговым сплавлением и в плазме аномального тлеющего разряда. Было проанализировано структурно-фазовое состояние материалов-накопителей водорода для обоих случаев до и после отжига. По данным РСА определен фазовый состав синтезированных материалов. Образец, полученный плавлением в плазме аномального тлеющего разряда, содержит основную фазу $TiVCr$ (70,9 объем.%), а также вторичная фаза Ti_3O (29,1 объем.%). В образце, полученном электродуговым сплавлением помимо основной фазы $TiVCr$ содержится фаза Ti (22,7 объем.%).

Было установлено, что образцы содержат области с высокой концентрацией титана (электродуговое сплавление) и оксида титана (плавление в плазме аномального тлеющего разряда).

Также была проведена оценка максимальной сорбционной емкости по водороду образцов, полученных двумя методами. У образца, полученного электродуговым сплавлением максимальная емкость составляет 3,0 масс.%, у образца, полученного в плазме аномального тлеющего разряда 2,8 масс%. Сорбционные характеристики образцов, полученные двумя методами, близки.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
150B95	Лю Чжэхао

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	Отделение Экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02 физика

Тема ВКР:

Структурно-фазовое состояние материалов-накопителей водорода на основе $Ti_{33}Cr_{33}V_{33}$, полученных дуговым сплавлением и в плазме аномального тлеющего разряда	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <p>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</p> <p>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p><i>Объект исследования: материалы-накопители водорода на основе $Ti_{33}Cr_{33}V_{33}$</i></p> <p><i>Область применения: хранение водорода _____</i></p> <p><i>Рабочая зона: лаборатория</i></p> <p><i>Размеры помещения (климатическая зона*) _____ 20*30 м</i></p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller</i></p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: _____</i></p> <p><i>_____ насыщении водородом металлов с помощью автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения</p> <p>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>СанПиН 2.2.4-548-96. Нормы гигиенических требований по микроклимату производственных помещений;</p> <p>СНиП 23-05-95. Нормы естественной и искусственной освещенности на предприятиях;</p> <p>ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Нормативы допустимых уровней шума в помещениях производственных предприятий.</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения</p> <p>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</p>	<p>2.1 Характеристика факторов изучаемой производственной среды, описывающих процесс взаимодействия человека с окружающей производственной средой: Микроклимат. Шум.</p> <p>2.2 Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды: пожаровзрывобезопасность (соблюдение правил безопасности и эксплуатации установки).</p>
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</p>	<p>Воздействие на селитебную зону: рабочей средой является лаборатория, и загрязнения жилой среды не происходит</p> <p>Воздействие на литосферу: сплав на основе $TiCrV$ не радиоактивен и, по существу, не загрязняет окружающую среду.</p> <p>Воздействие на гидросферу: сброс разбавленной серной кислоты</p> <p>Воздействие на атмосферу: в процессе насыщения водородом образуется газообразное состояние, содержащее низкие концентрации титана</p>

4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения	Возможные ЧС:пожары, ситуации природного характера Наиболее типичная ЧС _____пожары _____
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Сечин А.И.	д.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б95	ЛюЧжэхао		

ГЛАВА 4. 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.

4.1 Производственная безопасность

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

4.1.1 Микроклимат

При работе различных оборудований 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 55 параметров микроклимата для данной категории работ, в соответствии с СанПиН 2.2.4.584–96, приведены в таблице 4.1

Таблица 4.1 – Оптимальный микроклимат для легких работ категории Ib

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.

4.1.2 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.

4.1.3 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 57 (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 здании 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 состояния электроустановок. При отсутствии персонала и после работы электрооборудования, система освещения и электропитания должны быть отключены. В соответствии с СНиП 2.01.02-97, задание 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 задания 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 задания 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 4.1 представлен план эвакуации из рабочей лаборатории, которые находятся в цокольном этаже 3-го корпуса ТПУ

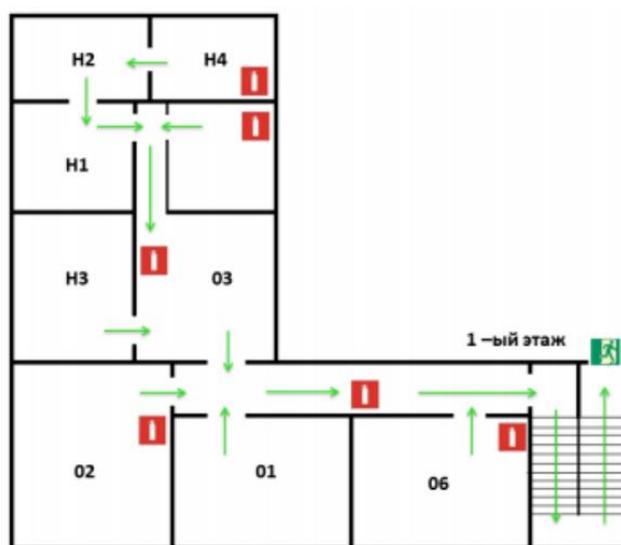


Рисунок 4.1 – План эвакуации рабочих помещений

4.2 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.

4.3 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. 62

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»

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
150Б95	Лю Чжэхао

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02 физика

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Затраты на сырье, размер окладов, затраты на электроэнергию, амортизационные расходы</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Согласно проектной документации. Районный коэффициент 1.3</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>отчисления во внебюджетные фонды 30%</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	– <i>Потенциальные потребители результатов исследования;</i> – <i>Проведение анализа конкурентоспособности.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	– <i>Цели и результаты проекта;</i> – <i>Организационная структура проекта.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	– <i>Структура работ в рамках научного исследования;</i> – <i>Разработка графика проведения научного исследования;</i> – <i>Бюджет научно-технического исследования.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценочная карта;*
 2. *SWOT- анализ;*
 3. *Диаграмма Ганта;*
- Бюджет затрат научно-технического исследования*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Верховская.М.В	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б95	Лю Чжэхао		

ГЛАВА 5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Темой настоящей ВКР является: Сравнительные исследования структурно-фазового состояния, микроструктуры и сорбционные характеристики сплава на основе Ti-Cr-V, полученного различными методами. Исследуются материал-накопитель водорода со стехиометрией $Ti_{33}V_{33}Cr_{33}$, полученные методами плавления в плазме аномального тлеющего разряда и электродуговым сплавлением.

В процессе поиска источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов, оценка коммерческой ценности работы является необходимым условием. Помимо превышения технических параметров над предыдущими разработками необходимо понимать коммерческую привлекательность научного исследования.

Целью выполнения финансово-экономической части выпускной квалификационной работы является формирование навыков оценки результата научной работы и поиск источников финансирования для проведения научного исследования. 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.

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов исследований являются организации в сфере электроники, машиностроение и химической промышленности. В каждой сфере необходимо изготовление материалов менее затратными способами, добиваясь новых свойств и качеств. Это означает, что потребители – крупные коммерческие и некоммерческие организации отраслевой принадлежности.

Для определения группы потребителей, которых может заинтересовать результаты данных научных исследований, необходимо провести сегментирование рынка.

Выбранные основные характеристики потребителей сегмента:

Месторасположение – регионы с развитыми отраслями тяжелой промышленности (авиастроение, машиностроение и ядерная энергетика).

Отношение к услуге – готовность внедрять новые технологии в технологический процесс.

Закупочные принципы – компании, проводящие централизованный закуп услуг.

Так как исследования представленных в работе представлены технологии получения новых материалов-накопителей, которые ранее никем не производились, результаты будут интересны большинству организаций, вне

зависимости от их месторасположения. Для определения группы потребителей, которых может заинтересовать данные композиционные материалы, необходимо провести сегментирование рынка. Карта сегментирования рынка по модификации поверхностей представлена в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Карта сегментирования рынка услуг в области материалов-накопителей водорода.

		Вид услуги		
		Использование материала для хранения и транспортировки водорода	Использование материала для синтеза химических соединений	Использование материала для создания батарей с высокой плотностью энергии для мобильных устройств
Сфера услуг	Электроника			
	Энергетика			
	Химическая промышленность			
	ПАО «Газпром»		ООО «Русский Водород»	
				ПАО «Росатом»

В качестве конкурентных компаний были рассмотрены: ПАО «Газпром», ООО «Русский Водород», ПАО «Росатом»

Компания «Газпром» занимается развитием инновационных технологий низкоуглеродного производства водорода из природного газа.

ООО «Русский Водород» - разработка передовых технологий связанные с топливными элементами.

ПАО «Росатом» - развитие технологий низкоуглеродного производства водорода, его хранения, а также участие в пилотных водородных проектах как в России, так и за рубежом.

Исходя из карты сегментирования рынка услуг в области использовании материалов-накопителей водорода, применение да востребованы в следующих областях: Нефтедобывающая, авиастроительная и медицина.

5.2 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

5.2.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

В связи с необходимостью производства сплавов на основе титана, промышленность по изготовлению данных материалов начала стремительно набирать обороты область производства материалов-накопителей, при помощи которых можно было бы снизить стоимость получения необходимых соединений.

Детальный анализ конструктивного исполнения необходим, т.к. каждый тип конструктивного исполнения имеет свои достоинства и недостатки. Данный анализ производится с применением оценочной карты. Экспертная оценка производится по техническим характеристикам и экономическим показателям по 5 бальной шкале, где 1 – наиболее низкая оценка, а 5 – наиболее сильная. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, для этого были отобраны 2 конкурентные разработки. Расчет показателя конкурентоспособности производился по формуле:

$$K = \sum_i B_i \cdot V_i, \quad (5.1)$$

где B_i – бал i -го показателя, V_i – вес показателя (в долях единицы).

Таблица 5.2. Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _Ф	Б _{К1}	Б _{К2}	К _Ф	К _{К1}	К _{К2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Классы материалов для использования	0,2	5	4	3	1	0,8	0,6
2. Удобство в эксплуатации	0,25	5	5	3	1,25	1,25	0,75
3. Уровень шума работы установки	0,1	4	4	2	0,4	0,4	0,2
4. Качество изделий	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
5. Простота в эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
6. Скорость создания изделий	0,1	5	4	2	0,5	0,4	0,2

Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена изготавливаемой продукции	0,15	4	3	2	0,6	0,45	0,3
Итого:	1	31	28	17	4,55	4,1	2,75

Исходя из данных таблицы 5.2, конкурентоспособность разработки сплава $Ti_{33}V_{33}Cr_{33}$ (БФ) составила 4.55, против 2.75 исследования механических свойств изделий из сплава $Ti_{33}V_{33}Cr_{33}$ (БК1). Полученные данные свидетельствуют о превосходстве научно-технической разработки (БФ) несколькими критериями.

5.2.2 SWOT – анализ

Для оценивания актуальности проекта часто применяется методика SWOT – анализа, которая позволяет рассмотреть его перспективы, слабые и сильные стороны. SWOT – является аббревиатурой, которая раскрывает аспекты данного вида анализа, а именно:

- Сильные стороны (Strengths) - преимущества проекта
- Слабости (Weaknesses) - недостатки проекта
- Возможности (Opportunities) - факторы внешней среды, использование которых создаст преимущества проекту на рынке
- Угрозы (Threats) - факторы, которые могут потенциально ухудшить положение проекта на рынке

Основная задача данного типа анализа систематизировать все данные об имеющемся проекте и на основе наглядно представленной информации принимать решения о дальнейшем развитии проекта, а в нашем случае научного исследования

Таблица 5.3 – SWOT – анализ

	<p>Сильные стороны научно - исследовательского проекта С1 Возможность изготовления высокотехнологичного композита с необходимыми свойствами. С2 Использование нового метода изготовления композита повышает чистоты материала. С3 экологически безопасное производство. С4 Высокие технологические свойства материала. С5 Актуальность.</p>	<p>Слабые стороны научно – исследовательского проекта Сл1. Высокие требования к исходным материалам для изготовления Сл2. Высокая стоимость Сл3. Требования к расчету параметров для получения необходимых свойств</p>
<p>Возможности В1 Высокая потребность современных отраслей промышленности в новых материалах В2 Улучшение плотности самого композита В3 Возможность изготовления деталей, которые ранее изготавливались «классическими» методами и замена этих методов</p>	<p>На основе результатов исследований можно оценить перспективу использования сплава TiVCr как материал-накопитель водорода. Результаты исследования могут опубликоваться в различных журналах, представить на конференциях и использоваться другими исследователями</p>	<p>Слабые стороны могут быть решены путем совместного исследования с другими научными коллективами, которые имеют опыт работы по изучению сплавов-накопителей водорода и необходимое оборудование. Найти дополнительное финансирование на исследования путем участия в грантах.</p>
<p>В4 Увеличение количества производимого композита и сокращение затрат на производство В5 Добавление возможных примесей для получения новых свойств</p>		
<p>Угрозы У1 Наличие других исследовательских групп, занимающихся схожими разработками У2 Возможность сокращения бюджета исследования, за счет отданного предпочтения «классическим» проверенным методам.</p>	<p>Чтобы сохранить 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>Появление новых материалов, обладающих улучшенными свойствами, приводит к уменьшению интереса к сплаву TiVCr. В случае появления новых экологических видов топлива, водородная энергетика может перестать развиваться, в результате чего практическая значимость проекта также уменьшается.</p>

На основе таблицы 5.3 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.

5.3 Планирование научно-технического исследования

Данный раздел посвящен планированию научного исследования на данную тематику. Правильное распределение рабочего времени и производственных возможностей позволяет сократить время научного исследования и дать четкое определение зон ответственности каждого из членов научной группы. Для выполнения данной цели сформирована рабочая группа, задача которой определить основную цель и задачи проекта, а также уточнить порядок выполнения работ и содержательную часть каждого действия. Результаты работы представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя	Трудовой вклад
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение задания	Руководитель	НР – 100%
Выбор направления исследования	2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Инженер	И – 100%
	3	Выбор методов исследования	Руководитель	НР – 50%
			Инженер	И – 50%
4	Календарное планирование работ	Инженер	И – 100%	
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Подготовка образцов для исследования	Инженер	И – 100%
	6	Проведение синтеза материалов из исходных составляющих и проведение исследования	Руководитель	НР – 20%
Инженер			И – 80%	

		с помощью лабораторного оборудования		
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов, выводы	Руководитель	НР – 40%
			Инженер	И – 60%
	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	НР – 60%
			Инженер	И – 40%
Разработка технической документации и проектирование	9	Составление пояснительной записки	Инженер	И – 100%
Итоговый вклад			НР – 29%, И – 71%	

Результаты таблицы показывают, что основной вклад в научное исследование вносит инженер (И).

5.3.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

С целью определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используем следующую формулу:

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5} \quad (5.2)$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения работы, чел.дн.;

t_{min} – минимально возможная трудоёмкость выполнения работы, чел.дн.;

t_{max} – максимально возможная трудоёмкость выполнения работы, чел.-дн. Оценка трудоёмкости выполнения научного исследования для научного руководителя:

$$t_{ожи} = \frac{3 \cdot 20 + 2 \cdot 30}{5} = 24 \text{ чел. -дн.,}$$

$$t_{\text{ожи}} = \frac{3 \cdot 70 + 2 \cdot 155}{5} = 88 \text{ чел. -дн.},$$

Из этих расчетов видно, что предполагаемые трудозатраты инженера превышают предполагаемые трудозатраты научного руководителя больше, чем в 3,5 раза.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяем продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ожи}}}{\text{Ч}_i}$$

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

$t_{\text{ожи}}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

Произведём расчёт продолжительности работы выполнения научного исследования для научного руководителя:

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ожи}}}{\text{Ч}_i} = 24 \text{ раб. дн.}$$

Произведём расчёт продолжительности работы выполнения научного исследования для инженера:

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ожи}}}{\text{Ч}_i} = 88 \text{ раб. дн.}$$

5.3.2 Разработка графика проведения научного исследования

Для определения календарных дней выполнения работы необходимо воспользоваться следующей формулой

$$T_{k_i} = T_{p_i} * k_{\text{кал}},$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Для построения графика проектных работ необходимо рассчитать коэффициент календарности по следующей формуле:

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

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66 - 14} = 1,28$$

Предполагается что и руководитель, и инженер работают по 6-дневной рабочей неделе. По производственному календарю на 2021 год суммарное количество выходных и праздничных дней составляет: при шестидневной рабочей неделе – 66 дней.

где $T_{\text{кал}}$ – число календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – число выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – число праздничных дней в году.

$$T_{k_i} = T_{p_i} \times k_{\text{кал}} = 3,72 \approx 4 \text{ кал. дн.}$$

5.4 Бюджет научного исследования

5.4.1 Расчет материальных затрат НИИ

Работа полностью теоретическая, поэтому в материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п.

Таблица 5.6 – Материальные затраты

Материал	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	Упаковка	0,5	200	100
Шариковые ручки	Шт.	5	40	200
Итого				300

5.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Для осуществления исследования по тематике данной ВКР необходимо наличие персонального компьютера или ноутбука.

Таблица 5.7 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
Персональный компьютер (ноутбук)	1	35	35
Итого:			35

5.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату. Расчет основной заработной платы:

$$З_{ЗП} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ - основная заработная плата; $З_{доп}$ - дополнительная заработная плата (20 % от $З_{осн}$).

$$З_{осн} = З_{дн} + Т_p,$$

где $З_{дн}$ - среднедневная заработная плата работника; $Т_p$ - продолжительность работ.

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}$$

где $З_m$ - месячный должностной оклад работника; M - количество месяцев работы без отпуска в течение года (при шестидневной неделе $M = 10,1$); F_d - действительный годовой фонд рабочего времени ($F_d = 1794$).

$$З_{осн} = З_{тс} + k_p,$$

где $З_{тс}$ - заработная плата согласно Положению по оплате труда; k_p - районный коэффициент ($k_p = 1,3$ для Томска).

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 8.

Таблица 5.8. Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_б$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	$З_m$, руб.	$З_{дн}$, руб.	$Т_p$, раб.дн.	$З_{осн}$, руб.	
Руководитель	39 000	0,3	0,2	1,3	76050	3151	24	59 869	
Студент	1750	-	-	1,3	2275	111	88	9102	

Итого $Z_{\text{осн}}$	68 971
------------------------	--------

5.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Данные расходы включают обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС(2.9%)), пенсионного фонда (ПФ(22%)) и медицинского страхования (ФФОМС(5.1%)), и отчисления в фонд обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве (0.2%), от затрат на оплату труда работников. Таким образом коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составляет 30.2 % от заработной платы.

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,302 \cdot 68971 = 20829,24$$

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

5.4.5 Формирование бюджета затрат НИИ

Расчет бюджета затрат в результате проведения НИИ представлен в таблице 5.9.

Таблица 5.9. Бюджет затрат

Наименование статьи	Сумма, руб
Материальные затраты	300
Затраты на специальное оборудование для научных работ	35000

Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	68971
Затраты по доп. заработной плате исполнителей темы	0
Отчисления во внебюджетные фонды	20829,3
Накладные расходы	3163
Бюджет затрат	128263,24

По данным таблицы видно, что большую часть бюджета потребляет основная заработная плата исполнителей. Это характерно для теоретического исследования, в которое не вовлечены дорогостоящие установки и образцы. На втором месте по потреблению бюджета находится: «Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ». Однако, в ней заключены затраты на приобретение персонального компьютера. Такую закупку производит университет при комплектации помещения оборудованием и этот компьютер используется на протяжении всего срока эксплуатации при проведении большого числа исследований.

5.5 Ресурсоэффективность

С помощью интегрального критерия ресурсоэффективности определим ресурсоэффективность автоматизированной системы. Формула для его определения имеет следующий вид:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности; a_i – весовой коэффициент проекта; b_i – балльная оценка проекта, устанавливается экспериментальным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 5.10. Оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент T	Бальная оценка разработки
1. Безопасность	0,25	5
2. Надежность	0,25	5
3. Удобство в эксплуатации	0,20	4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,20	4
5. Ремонтопригодность	0,10	3
Итого:	1,00	4,4

Для разрабатываемого проекта интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,20 \cdot 4 + 0,20 \cdot 4 + 0,10 \cdot 3 = 4,4$$

Полученное значение интегрального показателя свидетельствует о достаточно хорошей эффективности реализации технического проекта.

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

1. Были определены потенциальные потребители итогового продукта. Наиболее заинтересованными оказались фирмы по производству электроники и научно-исследовательские центры.

2. Проведен SWOT-анализ продукта. Анализ показал, что технология, находясь на этапе разработки, имеет хорошие шансы на коммерциализацию, с учетом проявляемого интереса партнеров и удачных исследований.

3. Помимо прочего, продемонстрировано, что в календарных днях длительность работ для руководителя составляет 26 дней, а для студента – 82 дней. Временные показатели в календарном плане-графике показывают, что наиболее продолжительной работой является «Проведение синтеза материалов из исходных составляющих и проведение исследования с помощью лабораторного оборудования» После формирования бюджета затрат на проектирование суммарные капиталовложения составили 128263,24 рублей.

4. Таким образом, капиталовложения в размере 128263,24 рублей дают возможность провести исследования полученного композитного соединения, а также проведения всего перечня необходимых тестов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из наиболее важных достоинств TiVCr как материала для накопления водорода является его стабильность в воздухе и при хранении, что делает его перспективным для использования в системах хранения и транспортировки водорода. Кроме того, его возможность применения при относительно низких температурах делает его более безопасным, чем другие материалы для накопления водорода, требующие довольно высоких температур.

Был проведен синтез образцов $Ti_{33}Cr_{33}V_{33}$ дуговым сплавлением и в плазме аномального тлеющего разряда. По данным РСА определен фазовый состав синтезированных материалов. Образец, полученный плавлением в плазме аномального тлеющего разряда содержит основную фазу TiVCr (87,3 объем.%), а также вторичная фаза Ti_3O (12,7 объем.%). В образце, полученном электродуговым плавлением помимо основной фазы TiVCr содержится фаза Ti (27,6 объем.%). Установлено, что образцы содержат области с высокой концентрацией титана (электродуговое сплавление) и оксида титана (плавление в плазме аномального тлеющего разряда). Проведена оценка максимальной сорбционной емкости по водороду образцов, полученных двумя методами. У образца, полученного дуговым сплавлением максимальная емкость составляет 3,0 масс.%, у образца, полученного в плазме аномального тлеющего разряда 2,8 масс%. Сорбционные характеристики образцов, полученные двумя методами, близки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Yongkang Hu. Advantages, disadvantages and development trends of different hydrogen storage methods//Nature magazine. - 2018. -P. 13-18.
- [2] Toshiaki Fukagawa. Effect of varying Ni content on hydrogen absorption–desorption and electrochemical properties of Zr-Ti-Ni-Cr-Mn high-entropy alloys//Journal of alloys and compounds. - 2022.- Vol.896. -P. 201-206.
- [3] Liu Yongfeng.Research progress of high-capacity hydrogen storage materials/ Li Chao, Gao Mingxia //International magazine of hydrogen storage. – 2011. - Vol. 47. - P. 30546-30566.
- [4] Ross.D. Hydrogen storage: the major technological barrier to the development of hydrogen fuel cell cars // Vacuum. – 2006. - P. 1084-1089.
- [5] Jinyang Zheng. High pressure hydrogen storage and transportation equipment and its risk assessment / Fangming Kai, Zhongqiang Liu // Solar Energy Journal. – 2019. - Vol. 11, No34. - P. 1168-1174.
- [6] Panpan Zhou. Development of Ti-Zr-Mn-Cr-V based alloys for high-density hydrogen storage/ Ziming Cao, Xuezhang Xiao, Liujun Zhan // Journal of alloys and compounds. – 2021. - Vol. 875. - P. 989-1002.
- [7] Jorge Mentero. Improving the hydrogen cycling properties by Mg addition in Ti-V-Zr-Nb refractory high entropy alloy / Gustav EK, Martin Shanlberg, Claudia Zoultea // Scripta Materialia. – 2021. -Vol. 194- P. 2113-2120.

[8] Jianyinh Wang. Comparing the hydrogen storage alloys—TiCrV and vanadium-rich TiCrMnV / Rongruei Jeng, Sheyong Lee // International Journal of hydrogen storage. – 2007. - Vol. 32. - P. 3959-3964.

[9] Panpan Zhou. Effect of Fe and Al on hydrogen storage properties of 75 V-Ti-Cr alloys / Journal of alloys and compounds. – 2021. -Vol. 887- P. 99-107.

[10] Marc Novel. Microstructural details of hydrogen diffusion and storage in Ti–V–Cr alloys activated through surface and bulk severe plastic deformation / liabKaveh, Edalaticd, ShotaItanoc, Hai-Wen // International journal of hydrogen storage. – 2020. - Vol. 45- P. 5326-5336.

[11] MarcNovel. Microstructural details of hydrogen diffusion and storage in Ti–V–Cr alloys activated through surface and bulk severe plastic deformation / liabKaveh, Edalaticd, ShotaItanoc, Hai-Wen // International journal of hydrogen storage. – 2020. - Vol. 45 - P. 5326-5336.

[12] Viney dixit. Investigation of the microstructure, crystal structure and hydrogenation kinetics of Ti-V-Cr alloy with Zr addition // Journal of alloys and compounds. – 2019. - Vol. 785 - P.1115-1120.

[13] Sung-Wook Chou. Hydrogen storage characteristics of Ti–Zr–Cr–V alloys/ Changsuck Han, Choong-Nyeon Park // Journal of alloys and compounds. – 1999.- Vol. 298. - P. 244-250.

[14] LiuJian. A study on the microstructures and hydrogen storage characteristics of Ti- Cr- V based hydrogen storage alloys // International journal of hydrogen storage. – 2021. -Vol. 194- P. 2113-2120.

[15] Xuezhong Xiao. Development of Ti-Zr-Mn-Cr-V based alloys for high-density hydrogen storage/ Ziming Cao, Liu Jun Zhan, Shouqian Li // Journal of alloys and compounds. – 2021. - Vol. 875. - P. 234-242.

[16] Yuanfang Wu. Effect of Fe and Al on hydrogen storage properties of 75 V-Ti-Cr alloys / Wang Zhao, Lijun Jiang, Zhinian Li // Journal of alloys and compounds. – 2021 – Vol. 887 - P. 1209-1215.

[17] Shinichi Towata. Effect of partial niobium and iron substitution on short-term cycle durability of hydrogen storage Ti–Cr–V alloys / Tatsuo Noritake, Akio Itoh, Masakazu Aoki // Journal of alloys and compounds. – 2013. - Vol. 38 - P. 3024-3029.

[18] Viney Dixit. Investigation of the microstructure, crystal structure and hydrogenation kinetics of Ti-V-Cr alloy with Zr addition / Jacques Huot // Journal of alloys and compounds. – 2019. - Vol. 785 - P. 1115-1120.

[19] Sidelev D.V., Bleykher G.A. A comparative study on the properties of chromium coatings deposited by magnetron sputtering with hot and cooled target // Vacuum. – 2017. - Vol. 478 - P. 1140-1162.

[20] Panin V.E. Electron-beam surfacing in vacuum: equipment, technology, properties of coatings / Belyuk S.I. , Durakov V.G. // Welding production. - 2000. - Vol. 2.- P. 34-38.

[21] Akeshita. Some applications of hydrogenation-decomposition desorption-recombination (HDDR) and hydrogen-decrepitation (HD) in metals processing // Journal of Alloys and Compounds. – 1995. – Vol. 231. – P. 51-59.

[22] Kudiyarov V.N. Study of the processes of hydrogen sorption and desorption using the automated complex Gas Reaction Controller LP/ Leader A.M. // Fundamental Research. - 2013. - Vol. 10. - P. 3466-3471