

Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение экспериментальной физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование особенностей накопления водорода в титановом сплаве ВТ1-0 при газофазном наводороживании

УДК 669.295.5:669.788:621.794.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б52	Ван Бо		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭФ ИЯТШ	Лидер Андрей Маркович	д.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОЭФ ИЯТШ	Кудияров Виктор Николаевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Лариса Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2019 .

Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник способен)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P1	Использовать основные этапы и закономерности исторического развития общества, основы философских, экономических, правовых знаний для формирования мировоззренческой, гражданской позиций и использования в различных сферах жизнедеятельности	Требования ФГОСЗ+ (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4)
P2	К самоорганизации и самообразованию, работать в коллективе, к коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке, толерантно воспринимать социальные, этические и культурные различия, использовать методы и средства физической культуры, приёмы первой помощи и методы защиты в условиях ЧС.	Требования ФГОСЗ+ (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9)
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>		
P3	Использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, современные концепции и ограничения естественных наук, использовать фундаментальные знания разделов общей и теоретической физики, математики для создания моделей и решения типовых профессиональных задач, в том числе с использованием знаний профессионального иностранного языка.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-7)
P4	Понимать сущность и значение информации, соблюдать основные требования информационной безопасности, использовать методы, способы, средства получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6)
P5	Получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах, критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-8, ОПК-9)

<i>Профессиональные компетенции</i>		
P6	<u>Научно-исследовательская деятельность</u> Проводить научные теоретические и экспериментальные исследования в областях: материаловедения, атомной и ядерной физики, водородной энергетики, физики плазмы с помощью современной приборной базы с использованием специализированных знаний физики и освоенных профильных дисциплин.	Требования ФГОСЗ+ (ПК-1, ПК-2)
P7	<u>Научно-инновационная деятельность</u> Применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований, а также профессиональные знания и умения в результате освоения профильных дисциплин для проведения физических исследований в инновационных областях науки, используя современные методы обработки, анализа и синтеза информации.	Требования ФГОСЗ+ (ПК-3, ПК-4, ПК-5)
P8	<u>Организационно-управленческая</u> Использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований, участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме, понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования	Требования ФГОСЗ+ (ПК-6, ПК-7, ПК-8)
P9	<u>Педагогически-просветительская</u> Проектировать, организовывать, анализировать педагогическую деятельность, владеть последовательностью изложения материала с использованием междисциплинарных связей физики с другими дисциплинами, участвовать в информационно-образовательных мероприятиях по пропаганде и распространению научных знаний	Требования ФГОСЗ+ (ПК-9)

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

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

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Лидер А.М.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
150Б52	Ван Бо

Тема работы:

Исследование особенностей накопления водорода в титановом сплаве BT1-0 при газофазном наводороживании	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Титановый сплав BT1-0, автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller LPB
---	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	– Обзор литературных источников; – Подготовка образцов; – Исследование влияния температуры газофазного наводораживания на накопление водорода; – Анализ полученных результатов; – Заключение.
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Скачкова Лариса Александровна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭФ ИЯТШ	Лидер Андрей Маркович	д.т.н.		
Старший преподаватель ОЭФ ИЯТШ	Кудияров Виктор Николаевич	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б52	Ван Бо		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
150Б52	Ван Бо

Школа	ИШЯТ	Отделение (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 физика

Тема ВКР:

Исследование особенностей накопления водорода в титановом сплаве ВТ1-0 при газофазном наводороживании	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования являются титановый сплав ВТ1-0 с размерами 20 × 20 × 1 мм; Определения энергии связи водорода в титане с помощью термодесорбционной спектроскопии (TDS); При сфере газофазного наводороживания; Рабочая зона в лаборатории.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: — специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; — организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	ГОСТ 12.1.005-88; СНиП II-4-7; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; ГОСТ 12.0.003-74; ГОСТ 12.1.038-82; ГОСТ 12.1.030-8;1;
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	— Производственное освещение — шумы — Электробезопасность — Пожаровзрывобезопасность
3. Экологическая безопасность:	— в данной работе отходами являются металлические порошки, полученные вследствие чистки камеры и других компонентов установки.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	— Пожар — Ураганный ветер — Ливневые дожди

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Скачкова Лариса Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б52	Ван Бо		

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

Студенту:

Группа	ФИО
150Б52	Ван Бо

Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение (НОЦ)	Отделение экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	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>	
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	
2. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
2. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б52	Ван Бо		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 65 с., 14 рис., 9 табл., 29 источников.

Ключевые слова: водород, титан, газовая среда, дифрактометрия на синхротронном излучении.

Объектом исследования являются титановый сплав ВТ1-0 с размерами $20 \times 20 \times 1$ мм.

Цель работы - Исследовать влияния параметров газофазного наводороживания на накопление водорода в титановом сплаве ВТ1-0.

В работе изложены методом коротковолновой дифракции синхротронного излучения на канале К1.3б Курчатовского источника синхротронного излучения исследованы изменения структуры образцов титанового сплава ВТ1-0 после насыщения водородом в течение $(10 \div 120)$ минут из газовой среды при температуре $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении 0,66 атм. Измерения проводились в геометрии пропускания на длине волны $\lambda = 0,043$ нм для образцов титанового сплава ВТ1-0 толщиной 1 мм. На дифрактограммах четко идентифицируются, кроме α -фазы титана, фазы δ - и ϵ -гидридов. Объемное содержание δ -гидридов закономерно изменяется с изменением концентрации водорода, в то время как фаза ϵ -гидридов содержится лишь в части образцов.

Оглавление

Введение.....	11
ГЛАВА 1. Взаимодействие водорода с титаном и его сплавами.....	13
1.1. Фазовая диаграмма титан-водород.....	13
1.2. Фазовая диаграмма титановый сплав ВТ6-водород.....	19
1.3. Обзор методов по наводороживанию титановых сплавов	21
Глава 2. Материалы и методы	24
2.1. Титановый сплав ВТ6.....	24
2.2. Метод газофазного наводороживания.....	25
2.3. Метод термостимулированной десорбции.....	26
2.4. Материалы и методы исследования.....	29
Глава 3. Результаты и их обсуждение	33
Выводы	37
4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	39
4.1.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.	39
4.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.	39
4.2. Профессиональная социальная безопасность.....	40
4.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.	40
Приводятся нормативные документы, которые регламентируют действие каждого выявленного фактора с указанием ссылки на список литературы.	40
4.2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.	42
4.2.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.	44
4.3. Экологическая безопасность.	46
4.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.	46
4.3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.	46
4.3.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.	47
4.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	48
4.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований. .	48
4.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.	49

4.4.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	50
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	52
5.1 Организация и планирование работ	52
5.1.1 Продолжительность этапов работ	53
5.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта	58
5.2.1 Расчет затрат на материалы	58
5.2.2 Расчет заработной платы	58
5.2.3 Расчет затрат на социальный налог	59
5.2.4 Расчет затрат на электроэнергию	59
5.2.5 Расчет амортизационных расходов	60
5.2.6 Расчет прочих расходов	61
5.2.7 Стоимость всех проектов	61

Введение

Объекты исследования представляют собой титановый сплав BT1-0 с размерами $20 \times 20 \times 1$ мм.

Титан и сплавы на его основе широко употребляют в таких отраслях, как медицине [1], химической [2] и нефтегазовой промышленности [3-4], еще и в авиапромышленности [5-7]. У изделия из титановых сплавов малый вес, высокая удельная прочность, трещиностойкость и коррозионная стойкость. В авиапромышленности из титановых сплавов получают изделия сложной пространственной формы, ответственные высоконагруженные узлы и агрегаты, части двигателя самолетов [8]. Во многих технических операциях по изготовлению изделий из титана и при их эксплуатации в агрессивной среде в них происходит проникновение и накопление водорода. Поглощенный титановыми сплавами водород, при определенных концентрациях, является причиной их охрупчивания и последующего разрушения [9-13]. Процесс поглощения водорода материалом существенно зависит от структуры и фазы материала, условий эксплуатации (температура, эффективное напряжение). В связи с этим изучение моды взаимодействия водорода с титановым сплавом является не только фундаментальным, но и практическим. Важным этапом в этом исследовании является подготовка образцов с заданной концентрацией водорода, будь то объем или поверхность. Для этой цели было использовано несколько методов, один из которых - насыщение водорода из газовой среды. Насыщение газовой

атмосферы при высоких температурах и давлениях сопровождается диффузией водорода в образец. Образцы с различными концентрациями водорода и объемного гидрида могут быть приготовлены путем регулирования параметров насыщения, таких как температура, давление и время. Целью данной работы было исследование влияния времени насыщения водорода из газообразных сред на накопление водорода и образование гидридов в большинстве образцов титанового сплава ВТ1-0.

ГЛАВА 1. Взаимодействие водорода с титаном и его сплавами

1.1. Фазовая диаграмма титан-водород

Титан и титановые сплавы обладают превосходными свойствами. Титан является важным конструкционным металлом, разработанным в 50-х годах XX века. Сплавы титана отличаются такими характеристиками как высокая прочность, отличные антикоррозионные свойства и прекрасная устойчивость к высоким температурам. В 50-60 годах XX века в основном разрабатывались высокотемпературные титановые сплавы для авиационных двигателей и конструкционные титановые сплавы для корпусов самолетов.

Титан – химический элемент, расположенный в четвертой группе четвертого периода периодической таблицы химических элементов. Причиной выбора титана и титановых сплавов в качестве объекта исследования являются его физико-механические свойства. Титату свойственна хорошая коррозионная устойчивость, высокая удельная прочность, благодаря этому он находит широкий спектр применения. Также титан обладает малым удельным весом, что делает его привлекательным для использования в авиостроительстве. Титан часто используется в качестве компонента материалов для хранения водорода, и проблема минимизации их разложения определяет критическую важность таких исследований.

В последние годы в связи с разработкой более совершенных методов получения ковкого и деформируемого титана применение его в различных отраслях промышленности расширилось.

Титан существует в двух полиморфных модификациях; α -Ti, имеющий гексагональную плотноупакованную решетку и существующую при температурах ниже 885°, и β -Ti с кубической объемноцентрированной решеткой — при более высоких температурах. При $\alpha \rightarrow \beta$ -превращении изменения объема составляют 5,5%.

Первым получившим применение на практике титановым сплавом является сплав Ti-6Al-4V, который стал ведущим сплавом в промышленности титановых сплавов благодаря таким своим качествам как отличная термостойкость, прочность, пластичность, ударная вязкость, формруемость, свариваемость, коррозионная стойкость и биосовместимость. Этот сплав получил широкое применение, многие другие титановые сплавы получены на его основе вследствие улучшения и оптимизации.

Что касается титана. Титан имеет два однородных разных кристалла: ниже 882 °C — α -титан с гексагональной плотносложенной структурой, и выше 882°C — объемноцентрированный кубический β -титан. Титан является аллотропным телом, точка плавления которого составляет 1668 °C, и при менее 882 °C, когда формируется гексагональная плотносложенная структура решетки, он известен как α -титан. При свыше 882°C, когда формируется объемноцентрированная кубическая структура решетки, он известен как β -титан. Титановые сплавы с различной микроструктурой были получены путем использования различных особенностей двух вышеописанных структур и добавления соответствующих легирующих элементов, а также

постепенного изменения температуры фазового перехода и содержания фазовой доли. При комнатной температуре титановые сплавы имеют три матричные структуры, а титановые сплавы делятся на три категории: α -сплавы, $(\alpha+\beta)$ сплавы и β -сплавы.

В щелочах, во многих солях даже при кипячении и в органических кислотах титан весьма устойчив. Энергично реагирует титан с кислородом, азотом, водородом, углеродом и со многими окислами металлов, что чрезвычайно затрудняет получение чистого титана и вызывает большие трудности при производстве из него полуфабрикатов.

Водород в отличие от кислорода, азота и углерода оказывает незначительное влияние на механические свойства титана, но все же является весьма вредной примесью, так как под его влиянием разрушаются изделия из титана и его сплавов при прокатке, ковке или нагреве.

Кислород, азот, углерод и водород являются основными примесями в титановых сплавах. Кислород и азот имеют более высокую фазовую растворимость, что может в значительной мере усилить титановый сплав, но при этом снизить пластичность. Водород имеет небольшую растворимость в α -фазе, и слишком большое количество растворенного водорода в титановых сплавах приводит к образованию гидридов, которые делают сплавы хрупкими. Растворение водорода в титане является обратимым и может быть удалено вакуумным отжигом.

Титан может достаточно слабо реагировать на некоторые кислоты, такие как азотная кислота и разбавленная соляная кислота. Он также очень стабилен в составе щелочей и многих органических кислот. Однако титан бурно реагирует с кислородом, азотом, водородом и многими оксидами металлов, и поэтому очень трудно получить чистый титан. Также очень трудно получить полуфабрикат титана, потому что он слишком бурно реагирует с этими веществами.

Водород отличается от других веществ. Хотя он также реагирует с титаном, но его влияние на свойства титана незначительно. Тем не менее, под воздействием водорода во время прокатки,ковки или повышения температуры, титановая продукция подвергается разрушению.

Любое легирование конструкционного материала влечёт за собой изменение его свойств, так и введение водорода в конструкционный материал не исключение. Данный процесс оказывает как положительное, так и отрицательное явление. Говоря о положительном влиянии, стоит отметить, что при технологических процессах, таких как: эксплуатация конструкционного материала в условиях повышенного давления в среде водорода, гальваническое нанесение покрытий, кислотное травление материала и т.д. [1], H_2 , находясь в ионизированном состоянии, будет проникать к дефектам металла, заполняя пространство дефекта. В итоге, образуется избыточное давление и плотность материала будет расти по мере увеличения количества дефектов. Водород, заполняющий дефекты, начнет

перераспределяться из-за избыточного давления, описанного выше. Также для увеличения пластичности материала водород будет оказывать положительное влияние. Но другой стороной медали является охрупчивание металла [2]. Водород начинает адсорбироваться на поверхности металла, при адсорбции водород будет находиться в атомарном состоянии. Атомарное состояние облегчает процесс диффузии водорода и способствует облегченному проникновению в объём металла, а также перемещению атомов водорода внутри него. На диффузию водорода влияет состояние поверхностного слоя металла. При наличии какого-либо покрытия, процесс диффузии будет замедлен.

В литературе доступно большое количество информации о термодинамических свойствах и фазовых диаграммах системы Ti – H, поскольку титан промышленной чистоты и его сплавы более широко используются в качестве коррозионно-стойких конструкционных материалов в промышленности и на судах. Кроме того, в последнее время большое внимание уделяется характеристикам хранения водорода в титановых сплавах.

Из фазовой диаграммы титан — водород (рис. 1.1) следует, что по мере увеличения содержания водорода температура фазового превращения снижается, а температурная область существования двухфазной структуры $\alpha+\beta$ расширяется.

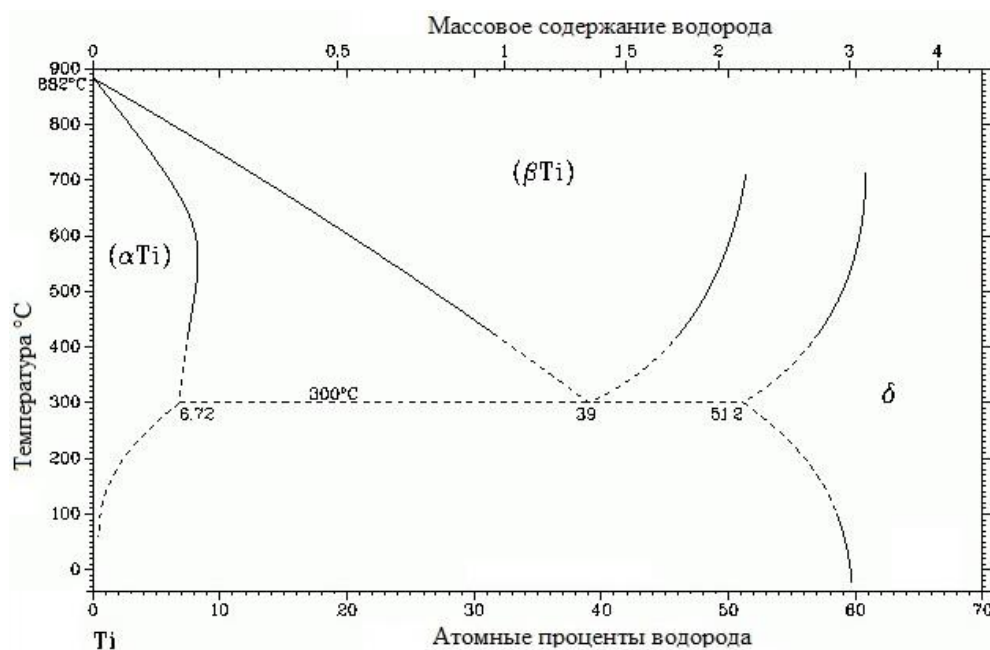


Рис.1.1. Диаграмма состояния титан-водород

Водород очень сильно диффундирует в титан и образует промежуточные растворы, такие как кислород, азот и углерод. Когда водород растворяется в титане, выделяется тепло, а при нагревании водород выделяется из сплава.

При 20° α-титан, содержащий несколько десяти-тысячных долей процента избыточного водорода, будет иметь в структуре свободные гидриды, которые под микроскопом видны в виде тонких пластинок. Повышение хрупкости сплавов является следствием появления в их структуре увеличивающегося количества гидридов.

Водород в пределах 0,3—0,5% (атомн.), обычно содержащийся в техническом титане, существенно понижает поглощение энергии при ударе без изменения предела прочности на растяжение.

1.2. Фазовая диаграмма титановый сплав ВТ6-водород

В настоящее время одним из перспективных направлений в области материаловедения является обработка водородом сплавов на основе титана. Однако, анализ литературы по данной тематике показал, что для обеспечения необходимых технологических и эксплуатационных свойств необходимо разработать усовершенствованную водородную технологию. То есть необходимо выбрать температурно-концентрационные и кинетические условия гидрирования. Для этого под воздействием водорода, поглощенного титановым сплавом, необходимо полностью описать закон, определяющий формирование фазового состава и структуры титанового сплава.

Академик РАН А.А. Ильинов высказался о нерациональном использовании термина «диаграмма состояния» относительно систем титановых сплавов и водорода. Им было предложено на температурно-концентрационных диаграммах фазового состава данной системы отмечать псевдоравновесные фазовые области. Это связано с повышенной диффундирующей способностью H_2 в сравнении с атомами металлической составляющей сплава.

Наводороживание титановых сплавов проводят при температурах β -области, много литературных источников этому свидетельствуют. Температурно-концентрационная диаграмма фазового состава для системы сплав ВТ6 - водород, при концентрации водорода начиная с 0,1 и доходя до 1,0 % по массе, показана на рис. 1.2 (а). Чтобы построить такую карту,

комбинация методов используется для температур и областей высокой температуры до 500°C . В случае первого диапазона температур применяют метод пробных закалок, а во втором температурном диапазоне - метод высокотемпературной *in situ* рентгенографии.

Для изучения фазовых и структурных превращений в высокотемпературной области наводороживание титанового сплава проводили в установке «Сивестра». Процесс наводороживания завершался в β -области. После наводороживания образец подвергался термическому воздействию. На первом этапе провели отжиг, время длительности – 9 часов, при температуре 255°C . Для изучения структуры сплава необходимо уменьшить дегазацию. С этой целью, после охлаждения образца до нормальной температуры, образец вновь нагревали. Температура нагрева около 700°C , нагрев происходил в воздушной атмосфере. И последней операцией была закалка в воде. После закалки, образец был охлажден до температуры комнаты. Фазовый состав изучали методами металлографии и рентгенографии. В случае, когда диапазон температур ниже 500°C , график составляется на основе результатов дифракции рентгеновских лучей, а частота съемки составляет каждые 40 секунд. Образец нагревали и охлаждали.

На рисунке 1.2.(б) показана диаграмма, в которой наводороживающий отжиг происходил в $(\alpha+\beta)$ -области. В данной области не происходит

завершения превращения $\alpha \rightarrow \beta$. Данная диаграмма построена по аналогии с выше описанной.

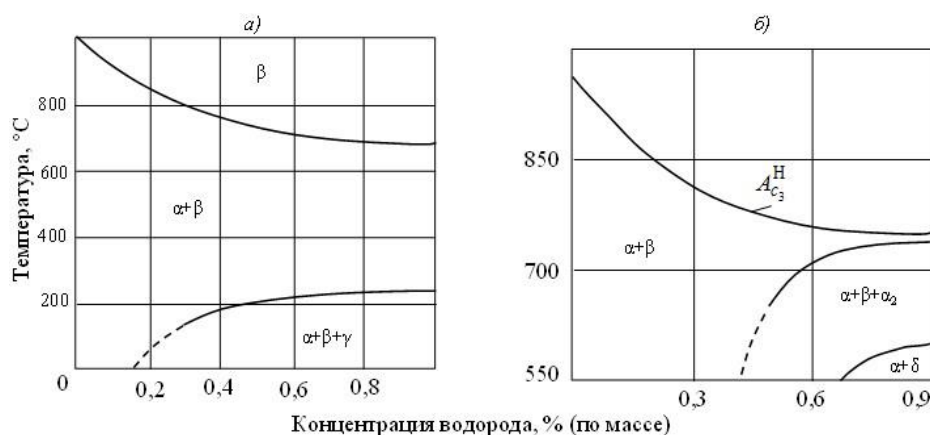


Рис. 1.2. Диаграмма состояния титанового сплава ВТ6-водород: а – отжиг наводороживающего в области β ; б – отжиг наводороживающего в области $(\alpha + \beta)$

Диаграмма на рисунке 1.2 (б) показывает возможность получения в сплавах, содержащих не менее 5% по массе. Алюминий, имеющий структуру некогерентных α_2 -фазных частиц.

1.3. Обзор методов по наводороживанию титановых сплавов

Наводороживание – это процесс внедрения в объём металла водорода из газовой среды. В титане водород присутствует в форме гидридов или в растворенном состоянии [3,4]. В литературе много работ посвященных изучению накопления и хранения водорода в титановых сплавах при гидрировании из газового (водородного) состояния и из электролитов. В то же время мало работ, посвященных введению водорода в титан из плазмы. В

настоящей работе водород вводится из водородной плазмы высокочастотного разряда[5] и из газоразрядной плазмы на основе плазменного источника с нагретым катодом[6] в устройстве[7]. Метод основан на извлечении ионов из границы свободной плазмы, их ускорении в высоковольтном слое с разделением зарядов и формировании пучка с высокой плотностью тока путем баллистической фокусировки ионов.

Метод газозатравки.

Одним из методов газозатравки, который наиболее часто применяется для титановых сплавов является метод газозатравки. Данный метод отличается своей простотой, здесь ключевым параметром является температура. То есть, изменяя температуру, мы влияем на закономерности взаимодействия водорода с материалом.

В настоящее время это наиболее часто используемый метод насыщения титановых сплавов водородом, также известный как метод газообразного гидрирования. При использовании данного метода наиболее важным фактором является температура. При других постоянных параметрах, значение температуры определяет конечный эффект взаимодействия между водородом и материалом.

Метод термостимулированной десорбции (ТСД)

Метод ТСД требует использования масс-спектрометра. Масс-спектрометр может бомбардировать молекулы образцов высокоэнергетическими электронными потоками, что ведет к тому, что

заставляет молекулу терять электроны, становясь положительно заряженными молекулярными ионами и осколочными ионами. Эти разные ионы обладают разной массой. Под действием магнитного поля ионы с разной массой достигают детектора в разное время, и результатом всего этого является масс-спектрограмма. При нагревании образца интенсивность излучаемых линий регистрируется масс-спектрометром. На основании спектральной формы масс-спектрометра можно анализировать концентрацию частиц и свойства. одновременно, Для больших образцов максимальный температурный масштаб и ограничение по времени зависят от глубины включений, энергии водородной связи дефекта, функциональной температуры и отношения времени, а также постоянных величин диффузии. Именно по этим причинам подчас может появиться неоднородность трактовки полученных методом ТСД данных.

Глава 2. Материалы и методы

2.1. Титановый сплав VT6

За прошедшие 50 лет научные исследователи во всех странах занимаются применением и исследованиями титана. Таким образом заложена теоретическая основа для использования титановых сплавов в металлургии, металлах, механизмах и др. Механические свойства титановых сплавов очень чувствительны к состоянию структуры материалов.

По мере увеличения диффузности структуры их прочностные свойства повышаются в равной степени, а пластичность снижается. Усталостные характеристики титановых сплавов также сравнительно чувствительны по отношению к структуре. Сплав VT6 используется для создания крупногабаритных сварных швов и предварительно изготовленных конструкций летательных аппаратов, также используется в фармакологии. Такое широкое распространение данного вида сплава связано с успешным смешиванием в нем других веществ. Алюминий увеличивает прочность и термостойкость, добавление ванадия способствует увеличению характеристик прочности и пластичности.

В настоящее время можно путем использования промышленных технологий получить лист сплава VT6 толщиной 12 мм. Сплав VT6(Ti-6Al-4V) – это самый широко применяемый в мире сплав. Чтобы разобраться в начальном периоде обработки, который может оказать воздействие на инверсию титанового сплава, произведем вакуумный отжиг заготовки при

температуре 980°C в части β . В экспериментальном устройстве для проведения испытания следует использовать водород со значением до 0,2-1,0 % масс для насыщения образца. В температурной зоне от 650 до 900°C путем прироста 0,2% выполняется увеличение, охлаждение до комнатной температуры осуществляется со скоростью 1 К/с. При температуре 625°C выполняется вакуумный отжиг гидрогенизированного образца. В заключении, производятся наблюдения с помощью оптического микроскопа и электронного микроскопа. С помощью рентгеновских лучей проводится анализ, благодаря чему при комнатной температуре получается фазовое формирование и структура образца. Путем спектрометрии выполняется измерение остаточной концентрации водорода. Оптический микроскоп – это метод, применяемый для наблюдения и анализа гранул образца. Для невидимых невооруженным глазом используют электронный микроскоп, который использует электромагнетизм или электростатические линзы для контроля траектории электронов.

2.2. Метод газофазного наводороживания

При комнатной температуре титановый сплав имеет три вида базовой структуры, также титановые сплавы делятся на три категории: сплав α , сплав $(\alpha+\beta)$ и сплав β . В титановых сплавах водород является особым элементом легирования, от других элементов сплавов он отличается тем, что в условиях неплавления титанового сплава очень легко добавляется или удаляется.

Титан и титановые сплавы обладают очень высокой адсорбирующей способностью по отношению к водороду. Титановый сплав порошковой металлургии после формирования путем агломерации и сжатия проходит обработку твердым раствором, гидрогенизацию, дегидрирование для детализированной структуры, что повышает усталостную прочность сплава.

При гидрогенизации сплава ($\alpha + \beta$) не только изменяется фазовая масса β , но и содержание в сплаве также увеличивается в определенной мере.

По сравнению с 0,02% H_2 , содержание разделенных бета-фаз, содержащие 0,05% H_2 увеличилась с увеличением концентрации титана, а не легирующих элементов Mo, W и так далее. Это факт указывает на то, что дополнительный объем бета-фазы водорода стабилен. В сплавах, основанных на метастабильной бета-фазе, параметры клеточного содержания водорода увеличились с 0,005% до 0,05%, β -фаза увеличилась с 3,21 до 3,26.

2.3. Метод термостимулированной десорбции

Путем вычисления данных, можно еще лучше и точнее узнать о спектре, получаемом методом ТСД. На следующем рисунке есть два пиковых значения, их присутствие возможно из-за различных энергий связи водорода в ловушках или распределения водорода по глубине.

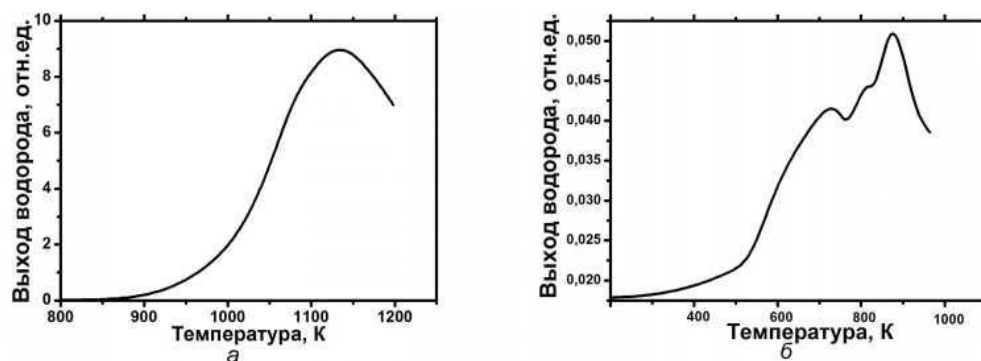


Рисунок 2.1 Интенсивность выхода водорода в сплаве титана ВТ6 зависит от скорости нагрева образца, которая составляет 0,3 градуса в секунду.

Значения плотности тока насыщения: а) 0,50; б) 0,25 А / см²

На рисунке 2.1 показана экспериментальная зависимость одной из пробы титана TDS и ВТ6 (рисунок 2.1(а)) и двух (рисунок 2.1(б)) с максимальным распределением интенсивности излучения водорода. Время длительности электролитического насыщения проб водородом составила 240 минут. На рисунке 2.1 (а) появившийся пик соответствует выходу растворенного Н₂ из титана.

В спектрах, полученных в результате экспериментов, имеются два зависящих от энергии пика, которые могут быть связаны с наличием адсорбированной энергии активации водорода и водорода, растворенных в высокотемпературном коллекторе, что соответствует растворенному и нерастворенному водороду. Это приводит к различным пиковым состояниям. На состояние пика влияют следующие параметры: параметр насыщения, образование водорода в поверхностном слое, состояние поверхности и объем материала.

На рис 2.2 представлены спектры термодесорбции, которые были рассчитаны при разных начальных распределениях концентрации водорода.

Энергия активации водорода составляет 6640 Дж / моль, скорость нагрева в эксперименте составляет 0,3 градуса в секунду, коэффициент диффузии составляет 0,975 кв.

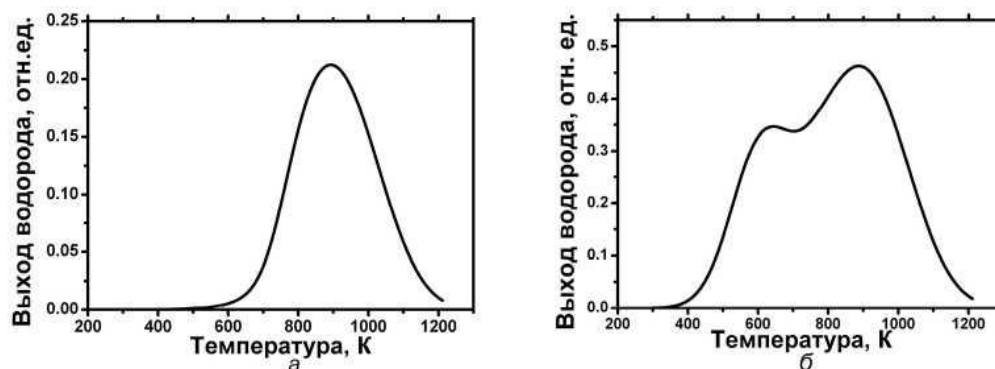


Рисунок 2.2 Термостимуляция скорости образования водорода в зависимости от температуры для пробы титана в следующих случаях: а) начальное распределение N экспоненциально уменьшается, б) линейная начальная кривая N схождения центра пробы.

Рисунок 2.2 кривая а имеет максимальное значение, которое применяется для вычисления первичного распределения водорода, уменьшающегося экспоненциально. В центре пробы сходятся линейные начальные кривые (рис.2.1, а) и наблюдается присутствие двух максимальных значения (рис.2.2, б): низкая температура--600к, высокая температура--900к. Для второго максимума, это связано с повторным распределением водорода в материале, и после разделения. В процессе испытаний, чтобы понять влияние диффузии на спектр и температуру, на которую влияет температура, были рассчитаны

модуль примесного потока и кривая распределения концентрации во время нагревания, и, наконец, был получен аналогичный результат для диффузионной реакционной системы. Причиной максимального значения низкоэнергетического выхода водорода является то, что адсорбированный газ десорбируется с поверхности. Второй пик, наблюдаемый в области более высоких температур, обусловлен десорбцией газа в объеме. Положение и амплитуда второго пика зависит от энергии связи и газопроницаемости.

2.4. Материалы и методы исследования

Для определения водородной связывающей энергии в титане методом пиролизной спектроскопии (TDS) изучена проба титанового сплава VT1-0, насыщенного водородом в газообразной среде. Спектры термодесорбции были получены на автоматизированном контроллере газовой реакции LPB с использованием квадрупольного масс-спектрометра RGA100 от Stanford Research Systems.

Поместите пробу VT1-0 в рабочую камеру, далее нужно откачать давление воздуха, чтобы уровень в камере не превышал 10^{-4} Па. После вакуумирования камеры производим нагрев пробы, при этом, используя масс-спектрометр, непрерывно вести измерения расхода водорода. Скорость нагрева пробы должна быть приблизительно равной 0,5 градусам в минуту. Нагрев идёт в определенном температурном интервале. Спектрометрия

проводилась по методу Киссинджера, а энергия связи водорода рассчитывалась по следующей формуле.

$$\frac{d \ln(\beta / T^2)}{d(1/T)} = -\frac{E}{R} \frac{d \ln(\frac{\beta}{T^2})}{d(\frac{1}{T})} = -\frac{E}{R} \quad (1)$$

Среди них β - скорость нагрева, T - температура, в это время наблюдается максимальная скорость десорбции водорода.

Станция конструкционных материалов (STM), расположенная на канале 2.3 в, который использует излучение от кольца хранения «Сибирский 2» для отклонения магнита. STM реализует стандартный набор технологий синхронного ускорителя для изучения структурных и электронных свойств различных материалов: малый угол рассеяния рентгеновского излучения (малый угол рассеяния рентгеновского излучения, SAXS), рентгеновская дифракция порошка (рентгеновская дифракция, дифракция рентгеновского излучения), ближний-край мелких структурных спектров (X-Ray абсорбции ближнего края структуры, XANES) и дальнего-диапазона мелких структурных спектров рентгеновских абсорбции (расширенные рентгеновские абсорбции тонкой структуры, EXAFS). Общая концепция проектирования канала показана на рисунке 2.3. Установка разделена на несколько частей: А) блок формирования диаграммы направленности; В) блок камеры деятельности пробы и измерение XAFS; С) блок рассеяния малого угла; D) блок детектора границы.

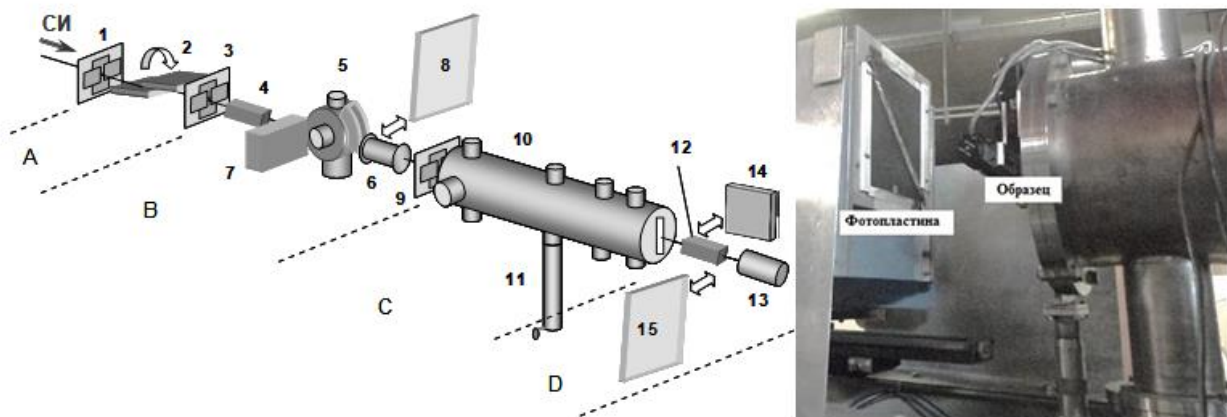


Рисунок 2.3 Схематическое изображение конструкционного материала:

1,3,9-механические коллиматоры; 2-монохроматор “мотыльковый”; 4-воздушный контроллер ионизационной камеры; 5- комната пробы(газовая среда+температура); 6-контрольно-измерительная ионизационная камера(Хе + Ar) ; 7-флюориметрический детектор (газовый электролюминесцентный детектор или фотоумножитель); 8, 15-фотопластинка; 10-камера рассеяния малого угла; 11-проба люка; 12-контроллер абсорбции ионизационной камеры; 13-световой пучок и проба позиционного регулирования видеокамеры; 14-линейный координатный индикатор.

Закрепите пробу на кронштейне выходного окна корпуса камеры под небольшим углом (рис. 2.3, поз. 10). Измерения дифракции (15) выполняются в геометрии Дебая-Шеррер с длиной волны 0.0432 Е (пропускание) с помощью детектора FujiFilm BAS-2025 приблизительно 150 мм от пробы и двухмерной платы изображения. Для чтения, в совместном использовании специализированных цифровых сканерах, используется в изображение. В

дополнение к этому двумерное дифракционное изображение округляется, что позволяет порошковому дифракционному изображению стандартно отображать взаимосвязь между интенсивностью рассеяния и углом рассеяния $-I(2\theta)$. Этот метод измерения длины волны и геометрии, даёт возможность провести измерения линии гидридной фазы TiH_2 , которая находится во всём объёме пробы толщиной 1 мм, и нарисует за этот промежуток времени хорошее угловое разрешение.

Глава 3. Результаты и их обсуждение

На рисунке 3.1 под цифрой 1 представлена дифрактограмма сплава BT1-0 до насыщения водородом, а под цифрой 2 – после. Проведя анализ дифрактограммы под цифрой 2, мы видим наличие δ - и ϵ -гидридов титана, а также альфа-фазы Ti. Образованию гидроида по всему объёму металла после охлаждения до нормальной температуры способствует насыщение H_2 при высоких температурах и давлении, т.е. происходит объёмная диффузия. С целью изучения фазового состава образца, не только на поверхности, но и всём объёме, было использовано синхротронное излучение (коротковолновой дифракционный метод).

На рисунке 3.2 (а) показана зависимость содержания водорода от времени насыщения для титанового сплава BT1-0 при $T = 500^\circ\text{C}$ и $P = 0,66$

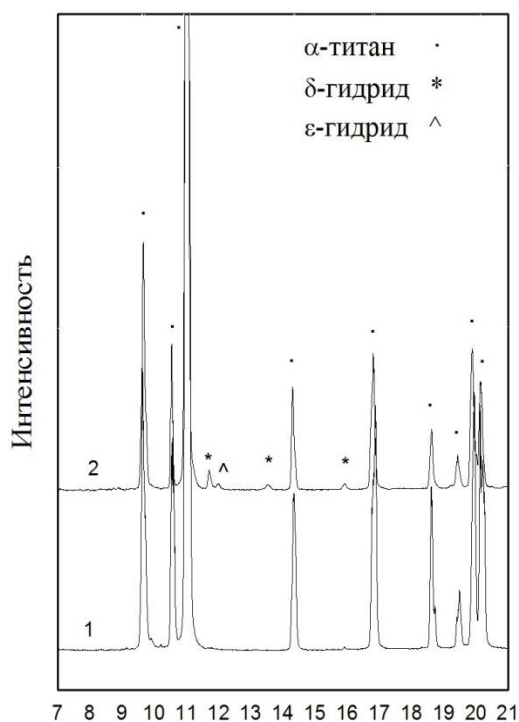


Рисунок 3.1 Дифрактограммы титанового сплава BT1-0 до
(1) и после (2) насыщения водородом

атм. Как видно из графика, зависимость содержания водорода от времени насыщения носит линейный характер. То есть, чем длительнее воздействие водорода на пробы сплава ВТ1-0, тем выше будет концентрация водорода. При длительности насыщения водородом от 10 до 120 минут, содержание водорода возросло от 0,1 до 1% по массе. Зависимости прочности δ -гидрида от содержания водорода также присущ линейных характер. С ростом степени насыщения водородом образцов титанового сплава ВТ1-0 прочность δ -гидрида возрастает (рис.3.2 (б)). Что в последствии приводит к увеличению его содержания в объёме образца. Помимо δ -гидрида в исследуемых образцах были замечены отражения ε -гидрида титана. В рамках данного исследования не было определено зависимости объёмного содержания данного гидрида от количества водорода, как для δ -гидрида титана.

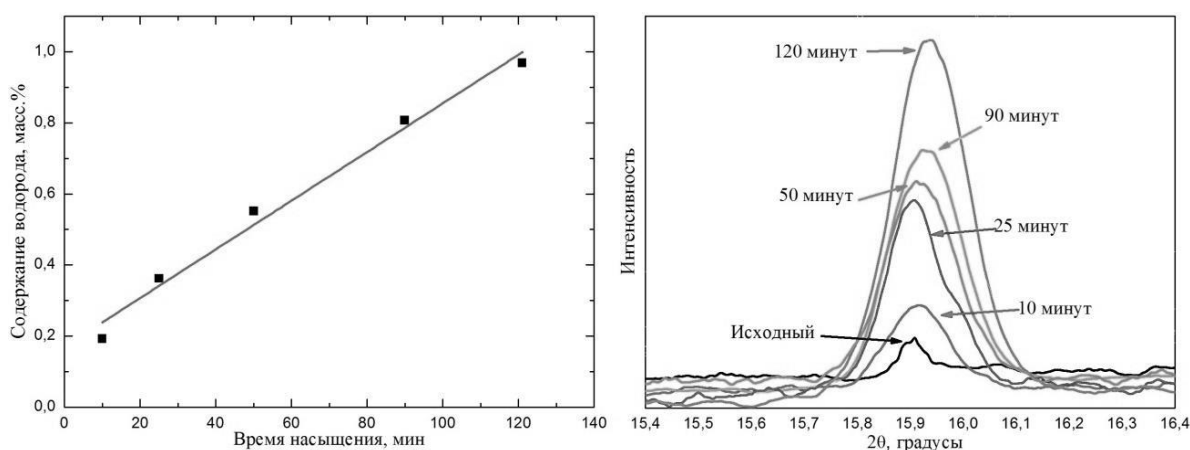


Рисунок 3.2 Зависимость содержания H_2 от длительности насыщения (а) и часть дифрактограммы с рефлексом δ -гидрида (б) образцов титанового сплава ВТ1-0

Насытив исследуемые образцы титанового сплава ВТ1-0 водородом из газовой среды, перешли к снятию спектров термодесорбционной спектроскопии водорода. Полученные спектры приведены на рисунке 3.3 (а). Процесс насыщения проб водородом длилось в течение двух часов. Также была построена зависимость $\ln(\beta/T^2)$ от $1/T$, которая приведена на рисунке 3.3(б).

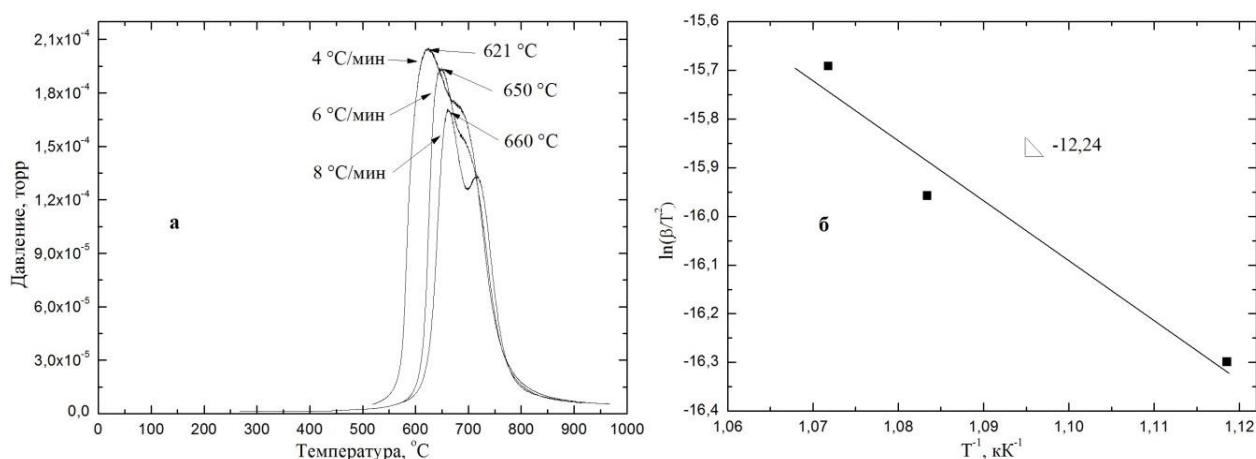


Рисунок 3.3 Спектры термостимулированной десорбции водорода из образцов титана ВТ1-0 после насыщения из газовой среды (а) и график зависимости $\ln(\beta/T^2)$ от $1/T$

Максимальная интенсивность десорбции водорода из пробы происходила при абсолютном содержании водорода равным 1% по массе. Из этого следует: пробы, содержащие водород в большем количестве, более интенсивно его выделяют. Используя формулу (1) рассчитали значение энергии связи водорода в пробах титана ВТ1-0, полученное значение равно 102 кДж/моль. Рассчитанное значение подобно ранее полученным в других работах. Это значение доказывает наличие в Ti гидроксида, что ранее было показано на дифрактограмме сплава ВТ1-0 (рис.3.1 (2)). Также для

определения энергии связи водорода в исследуемых образцах, была проведена спектрометрия по методу Киссинджера. Появление второго пика в высокотемпературной области на спектре TDS пробы сплава BT1-0 насыщенной газом H_2 , обусловлено фазовыми превращениями в системе Ti – H_2 при воздействии температуры[11].

Выводы

1. Рентгеноструктурный анализ насыщенной пробы, который проводили на станции исследования структурного материала Курчатовского источника синхротрона, с использованием коротковолнового дифракционного метода синхротронного излучения, расположенного на канале 1.3 б, дал высококачественные результаты. Полученная дифрактограмма проб титанового сплава BT1-0 доказывает наличие α -фазы титана, δ - и ϵ -гидридов титана.

2. Титановый сплав BT1-0 при $T = 500^{\circ}\text{C}$ и $P = 0,66$ атм. в процессе насыщения водородом в диапазоне времени воздействия от 10 до 120 минут увеличился. Это привело к росту концентрации H_2 от 0,1 до 1% мас. Зависимости прочности δ -гидрида от содержания водорода присущ линейных характер. С ростом концентрации H_2 прочность δ -гидрида возрастает. Что в последствии приводит к увеличению его содержания в объёме образца. Помимо δ -гидрида в исследуемых образцах были замечены отражения ϵ -гидрида титана. В рамках данного исследования не было найдено зависимости содержания ϵ -гидрида в объёме от концентрации водорода. Энергия связи гидрида титана после насыщения водородом, полученная расчётным путём, равна 102 кДж/моль. Данная величина энергии связи водорода подтвердила наличие в Ti гидрида.

ГЛАВА 4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Данная выпускная квалификационная работа выполнялась в отделении экспериментальной физики Томского Политехнического Университета. Работа представляет собою научно-исследовательскую работу и выполняется с целью расширения, углубления, систематизации знаний по определенной научной проблеме и создания научного задела. Работа посвящена исследованию особенностей накопления водорода в титановом сплаве ВТ1-0 при газофазном наводороживании.

Длительная работа в помещении при плохой вентиляции, повышенной или пониженной температуре и влажности воздуха, плохом освещении неблагоприятно сказывается на здоровье работающего, что неизбежно влечет за собой снижение производительности труда. Научно-исследовательская работа выполнялась в лабораториях отделения экспериментальной физики при НИ ТПУ.

В данном разделе рассмотрены вредные и опасные факторы, действующие на сотрудника лаборатории, разработаны требования безопасности и комплекс защитных мероприятий на рабочем месте. Также этот раздел включает подразделы охраны окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.

4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

4.1.1. Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.

Ученический договор должен содержать: наименование сторон; указание на конкретную квалификацию, приобретаемую учеником; обязанность работодателя обеспечить работнику возможность обучения в соответствии с ученическим договором; обязанность работника пройти обучение и в соответствии с полученной квалификацией проработать по трудовому договору с работодателем в течение срока, установленного в ученическом договоре; срок ученичества; размер оплаты в период ученичества.

При суммированном учете рабочего времени у Работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, продолжительность рабочего времени не должна превышать нормальное число рабочих часов за учетный период (месяц, квартал) [14].

4.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

Персонал допускается к работе только в спецодежде и средствах индивидуальной защиты. На рабочем месте должны быть запасы сырья и материалов, не превышающие сменную потребность. Необходимо знать специфические свойства применяемых веществ и соблюдать установленные правила работы с ними. Производственный процесс должен быть

организован так, чтобы не допускать выделения в воздух рабочей зоны пыли и вредных веществ. Все эксплуатируемые электроустановки должны соответствовать требованиям «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей», и др. нормативных документов. Эксплуатация электрооборудования без заземления не допускается. Помещения опытно-производственной лаборатории обеспечиваются первичными средствами пожаротушения согласно действующим нормам. Все работники должны уметь пользоваться средствами пожаротушения и уметь оказывать первую помощь при несчастном случае. Не допускается загромождения рабочих мест, проходов, выходов из помещений и здания, доступа к противопожарному оборудованию.

4.2. Профессиональная социальная безопасность.

4.2.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.

Таблица 1 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплуа тация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	Приводятся нормативные документы, которые регламентируют действие каждого выявленного фактора с указанием ссылки на список литературы. Например, требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное
2. Превышение уровня шума		+	+	
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	

4.Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[59].
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	

Вредные вещества проникают в организм человека главным образом через дыхательные пути, а также через кожу. Действие этих веществ определяется как свойствами самого вещества, так и особенностями организма человека. Следует заметить, что пыль торфа при пересыпке, взвешивании и измельчении, попадая в организм человека, оказывает фиброгенное действие, заключающееся в раздражении слизистых оболочек дыхательных путей. Оседая в легких, пыль задерживается в них. При длительном вдыхании возникает профессиональное заболевание – пневмокониоз.

При работе в лаборатории используется едкий натр – представляет собой едкое вещество. При попадании на кожу вызывает химические ожоги, а при длительном воздействии может вызывать язвы и экземы. Сильно действует на слизистые оболочки. Предельно допустимая концентрация аэрозоля едкого натра в воздухе рабочей зоны производственных помещений (ПДК) – 0,5 мг/м³ [15].

В лаборатории используется соляная кислота. По степени воздействия на организм человека соляная кислота относится ко второму классу

опасности (высоко опасное вещество), ПДК – 2 мг/м³, раздражает дыхательные пути, вызывает ожоги кожи [16].

Метеоусловия тоже важно для создания образцов. Метеоусловия производственной среды регламентируются [19].

В лаборатории создание микроклимата обеспечивается работой форточек, дверей, приточной вытяжной вентиляцией. Кратность воздухообмена – отношение объема воздуха, подаваемого в помещение или удаляемого из него за 1 час, к объему помещения, – при сохранении комнатной температуры должна быть в пределах 4 – 6 час⁻¹.

Летом помещения проветриваются с помощью вентиляторов. В зимнее время помещения нагревают центральным отоплением [19].

4.2.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.

- Производственное освещение

Рациональное освещение помещений и рабочих мест – один из главнейших элементов благоприятных условий труда. При правильном освещении повышается производительность труда, улучшаются условия безопасности, снижается утомляемость. Неправильное и недостаточное освещение может привести к созданию опасных ситуаций. Наилучшие условия для полного зрительного восприятия создает солнечный свет.

Рабочее освещение следует предусматривать для всех помещений зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для

работы, прохода людей и движения транспорта. Согласно [20], для помещений, имеющих зоны с разными условиями естественного освещения и различными режимами работы, необходимо раздельное управление освещением таких зон.

В лаборатории, где проводилось исследование, используется комбинированная система освещения, то есть общее искусственное и местное освещение [20].

- шумы

Производственные процессы в химической лаборатории сопровождаются значительным шумом. Под влиянием интенсивного шума и вибрации наступают повышенная утомляемость и раздражительность, плохой сон, головная боль, ослабление памяти, внимания и остроты зрения, что ведет к снижению производительности труда и часто является причиной травматизма [21].

В лаборатории уровень шума находится в пределах допустимых норм[22].

- Электробезопасность

Все помещения лаборатории должны соответствовать требованиям электробезопасности при работе с электроустановками по [23].

1. Все электрооборудование с напряжением свыше 42В, а также оборудование и механизмы, которые могут оказаться под напряжением, должны быть надежно заземлены.

2. Для отключения электросетей на вводах должны быть рубильники или другие доступные выключающие устройства. Отключение всей сети, за исключением дежурного освещения, производится общим рубильником.

3. В целях предотвращения электротравматизма запрещается:

- работать на неисправных электрических приборах и установках;
- перегружать электросеть;
- переносить и оставлять без надзора включенные электроприборы;
- работать вблизи открытых частей электроустановок, прикасаться к ним;
- загромождать подходы к электрическим устройствам [23].

4.2.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

Средства коллективной и индивидуальной защиты работников в лаборатории должны соответствовать требованиям [28]. При работе в лаборатории должна использоваться следующая спецодежда и средства индивидуальной защиты: халат хлопчатобумажный, фартук прорезиненный, резиновые сапоги и перчатки, очки защитные, респиратор или противогаз.

- Пожаровзрывобезопасность

Лаборатория кафедры топлива относится к невзрывоопасным по степени пожароопасности – к категориям «А» – производства, связанные с обращением с легковоспламеняющимися жидкостями, а также обработкой негорючего материала согласно [24].

Взрывоопасная среда в лаборатории может образоваться вследствие пролива растворителей. Легковоспламеняющиеся жидкости нельзя нагревать на открытом огне, также держать вблизи открытого огня. Жидкости нагревают на водяной бане. Огнеопасные вещества нельзя сливать в канализацию, слив производится в специальные сосуды.

При возникновении пожара необходимо принять все меры по его локализации и тушению. Для этого должен быть обеспечен проход между лабораторными столами, выходы недопустимо загромождать различными предметами. При возникновении возгорания все сотрудники должны действовать четко, в соответствии с заранее разработанной программой согласно инструкции.

Для тушения возможного загорания и пожаров лаборатория оснащена специально оборудованным щитом, на котором установлены:

- а) огнетушитель углекислотный газовый типа ОУ – 2 для тушения всех видов горючих веществ и электроустановок, кроме веществ, горящих без доступа воздуха;
- б) порошковый огнетушитель ОПС – Ю, предназначенный для тушения небольших очагов возгорания щелочных металлов;
- в) ручной пенный огнетушитель ОХП, применяемый для тушения установок, находящихся под напряжением;
- г) асбестовое одеяло, которое используется при тушении обесточенных электропроводов, горячей одежды;

Таким образом, лаборатория, где была выполнена данная дипломная работа, оснащена всеми противопожарными устройствами и соответствует требованиям пожарной безопасности [24].

4.3. Экологическая безопасность.

4.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.

В этой работе отходы представляют собой металлические порошки, которые из холодильных камер и других компонентов установки.

Порошки, в основном, состоят из титана и водорода. Чтобы переработать эти отходы, вы должны сначала их разделить, вы можете использовать магнит для этого. После разделения отходов на две подгруппы: титан и водород, необходимо перенести их в специальные места (установка по переработке отходов) для переработки.

4.3.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.

Так как в условиях лаборатории выбросы в атмосферу характеризуются незначительным содержанием вредных газов и паров, то можно ограничиться только адсорбцией. Для этого в лаборатории на выходе вентиляционных труб установлены перегородки, поверх которых уложен слой адсорбента. В качестве адсорбента наиболее часто используют активированный уголь. Воздушный поток, пройдя через слой адсорбента, очищается от вредных газов и паров [26].

Все выбросы в канализацию также необходимо подвергать обезвреживанию и очистке. Для этих целей все отработанные кислотные и щелочные сливы собираются в отдельную для каждого вида тару, затем подвергаются нейтрализации и только после этого они могут быть слиты в канализацию с их предварительным 10-кратным разбавлением водопроводной водой. Отработанные органические сливы собираются в специальную герметически закрытую тару, которую по мере заполнения отправляют на обезвреживание и утилизацию [26].

Твердые отходы собираются в специальные сборники и увозятся для уничтожения. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов имеет огромное экономическое и социальное значение.

Соблюдение всех правил безопасного ведения процесса в лаборатории позволяет избежать несчастных случаев и тяжелых последствий [27].

4.3.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.

В настоящее время очень актуальным вопросом является вопрос обезвреживания отходов отработанных веществ. Увеличивающееся влияние деятельности человека на окружающую среду стало одной из важнейших проблем.

Существует два подхода к проблеме защиты окружающей среды:

- путем максимально эффективной очистки;
- создать замкнутую безотходную технологическую систему.

Для лаборатории наиболее применим первый путь. Для таких выбросов, как пары органических растворителей существуют следующие методы очистки:

- для первой группы перечисленных веществ – адсорбционные и электрохимические методы. В условиях лаборатории наиболее применим адсорбционный метод;

- для второй группы – адсорбционные методы с последующей десорбцией и сжиганием паров (каталитическое сжигание в печах) [25].

4.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

4.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.

Чрезвычайная ситуация	Источники ЧС	Последствия ЧС
1	2	3
Пожар	Пожар, разрушение машин, ожоги, отравления продуктами горения, опасность взрывов, летальные исходы	
Ураганный ветер	Природный фактор	Разрушение машин, зданий, травмирование и раздавливание людей летающими предметами и их осколками, опасность взрыва, летальные исходы, обрыв линии электропередач
Ливневые дожди	Природный фактор	Затопление территории предприятия, разрушение зданий, летальные исходы

4.4.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.

В любой лаборатории всегда существует вероятность возникновения аварийной ситуации. Для ликвидации аварии разрабатываются планы, в которых предусматриваются мероприятия, направленные на спасение людей, ликвидации аварий.

Оперативная часть плана ликвидации возможных аварий предусматривает способы оповещения об аварии (сигнализация), пути выхода людей из опасных зон, включений аварийной вытяжной вентиляции. К сигнализации безопасности относятся световые, звуковые и цветовые сигналы, знаковая сигнализация и различные указатели. План ликвидации аварий изучает весь персонал, а так же работники спасательной станции и пожарной части.

В аварийных ситуациях, когда атмосфера лаборатории внезапно оказывается зараженной ядовитыми парами или газами, оставаться в помещении для ликвидации последствий аварии только в противогазе, при отключенных нагревательных приборах.

После дезактивации помещение необходимо проветрить. При возникновении пожара необходимо отключить электронагревательные приборы, вентиляцию, убрать огнеопасные вещества в безопасное место, одновременно, по возможности ликвидировать очаг.

При стихийном бедствии необходимо оповестить всех работников лаборатории об угрозе возникновения бедствия.

При поступлении сигнала о возможном инциденте все работники лаборатории должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты, после чего в лаборатории отключается электроэнергия, водоснабжение. При необходимости персонал эвакуируется в безопасное место [28].

4.4.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.

Персонал допускается к работе только в спецодежде и средствах индивидуальной защиты. На рабочем месте должны быть запасы сырья и материалов, не превышающие сменную потребность. Необходимо знать специфические свойства применяемых веществ и соблюдать установленные правила работы с ними. Производственный процесс должен быть организован так, чтобы не допускать выделения в воздух рабочей зоны пыли и вредных веществ. Все эксплуатируемые электроустановки должны соответствовать требованиям «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей», и др. нормативных документов. Эксплуатация электрооборудования без заземления не допускается. Помещения опытно-производственной лаборатории обеспечиваются первичными средствами пожаротушения согласно действующим нормам. Все работники должны уметь пользоваться средствами пожаротушения и уметь оказывать первую помощь при несчастном случае. Не допускается

загромождения рабочих мест, проходов, выходов из помещений и здания, доступа к противопожарному оборудованию. [29].

Вывод

При рассмотрении вопросов безопасности и гигиены труда при выполнении работ особенностей накопления водорода в титановом сплаве BT1-0 при газофазном наводороживании были определены вредные и опасные факторы рабочей среды, причины и средства защиты, Были рассмотрены типичные ЧС и предложены пути их решения и предотвращения, Чтобы обеспечить безопасность жизни, обязательно нужно соблюдать технику безопасности.

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Организация и планирование работ

В процессе организации реализации конкретных проектов необходимо разумно планировать ситуацию с занятостью участников и рабочее время каждого человека. В следующей таблице 5.1 перечислены люди и имена, вовлеченные в работу.

Таблица 5.1 Участники проекта

№ раб.	Исполнители	Имя
1	Научный руководитель (НР)	Кудияров Виктор Николаевич
2	Студент-дипломник (СД)	Ван Бо

При проведении исследований в выпускной работе необходимо строить рабочие группы для того, что достигнуть и выполнить конкретную цель. Для разных видов работ установите соответствующую должность исполнителя.

Таблица 5.2 Перечень работ и продолжительность их выполнения

№ раб	Этапы работы	Исполнители
1	Составление и утверждение технического задания	НР
2	Подбор и изучение материалов по теме	НР
3	Выбор направления исследований	НР, СД
4	Календарное планирование работ по теме	НР, СД
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	НР, СД
6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	НР, СД

7	Проведение расчетов и анализ полученных данных	НР, СД
8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	НР, СД
9	Оценка эффективности полученных результатов	НР, СД
10	Определение целесообразности проведения НИР	НР, СД
11	Составление пояснительной записки	НР, СД
12	Подготовка темы к защите	НР, СД

5.1.1 Продолжительность этапов работ

Существует два способа расчета продолжительности этапа работы.

Первый метод - это • технология и экономика: этот метод применим к полностью разработанной нормативно-правовой базе для трудоемкости процесса планирования, что, в свою очередь, обусловлено их высокой воспроизводимостью в стабильной среде. Поскольку подрядчики часто не имеют соответствующих стандартов, мы отказываемся от использования этого метода.

Второй метод - опытно-статистический метод, который может быть реализован двумя способами: 1) аналоговый, 2) экспертный. Аналоговый метод возможен только при наличии устаревшего симулятора в поле зрения исполнителя. В большинстве случаев его можно применять только локально - для отдельных элементов (этап работы). Так что выбирайте экспертный метод для оценки. Экспертные методы пригодны для использования при отсутствии

информационных ресурсов, а эксперты в конкретных предметных областях проводят необходимые количественные оценки на основе своего профессионального опыта.

Рассчитайте время, необходимое для каждого шага работы, по следующей формуле:

$$t_{ож} = \frac{t_{min} + 4t_{prob} + t_{max}}{6} \quad (5,1)$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.;

t_{prob} – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д} \quad (5.2)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{вн}$ – коэффициент выполнения работ, $K_{вн} = 1,2$;

$K_{д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ, $K_{д} = 1,1$

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{кд} = T_{рд} \cdot T_{к} \quad (5,3)$$

где $T_{кд}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{к}$ – коэффициент календарности, решение по формуле:

$$T_{к} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вд} - T_{пд}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22 \quad (5, 4)$$

где $T_{кал}$ – календарные дни ($T_{кал} = 365$);

$T_{\text{ВД}}$ – выходные дни по кадровым вопросам. Вопросы применения ст. 111 ТК РФ, ($T_{\text{ВД}} = 52$);

$T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни по кадровым вопросам. Вопросы применения ст. 112 ТК РФ, ($T_{\text{ПД}} = 14$).

Рассчитайте время, необходимое для работы на каждом этапе из таблицы 5.2, и сделайте следующие выводы:

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	СД	НР	СД
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Составление и утверждение технического задания	НР	3	4	3.4	3.116	-	3.802	-
Подбор и изучение материалов по теме	НР	2	3	2.4	2.2	-	2.684	-
Выбор направления исследований	НР, СД	3	6	4.2	1.155	3.85	1.4091	4.697
Календарное планирование работ по теме	НР, СД	15	20	17	3.116	12.46	3.802	15.209
Проведение теоретических расчетов и обоснований	НР, СД	30	40	34	31.16	24.93	38.02	30.41
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	НР, СД	7	14	9.8	8.983	4.491	10.959	5.479
Проведение расчетов и анализ полученных данных	НР, СД	4	10	6.4	5.866	4.693	7.157	5.725
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями Оценка эффективности полученных результатов	НР, СД	7	10	8.2	2.255	7.516	2.751	9.170
	НР, СД	2	4	2.8	2.566	0.256	3.131	0.313
Определение целесообразности проведения НИР	НР, СД	5	6	5.4	1.98	3.96	2.4156	4.8312
Составление пояснительной записки	НР, СД	10	15	12	11	8.8	13.42	10.736
Подготовка темы к защите	НР, СД	4	6	4.8	2.64	4.4	3.2208	5.368
Итого:				110.4	76.04	75.36	92.77	91.94

Таблицы 5.3 Трудозатраты на выполнение проекта

Эта	НР	СД	Март			Апрель			Май			Июнь		
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
1	3.8 02	-												
2	2.6 84	-												
3	2.7 51	9.1 70												
4	3.1 31	0.3 13												
5	1.4 1	4.6 97												
6	10. 96	5.4 79												
7	7.1 57	5.7 25												
8	38. 02	30. 41												
9	3.8 02	15. 21												
10	2.4 15	4.8 31												
11	13. 42	10. 73												
12	3.2 21	5.3 68												

НР – ; СД – 

5.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

Стоимость создания проекта включает в себя все затраты, необходимые для реализации каждой из задач, которые составляют эту разработку. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат: материалы и покупные изделия; заработная плата; социальный налог; расходы на электроэнергию (без освещения); амортизационные отчисления; командировочные расходы; оплата услуг связи.

5.2.1 Расчет затрат на материалы

Во-первых, расходы включают материальные затраты, приобретенные продукты, полуфабрикаты и другие материальные ценности, которые непосредственно потребляются при работе объекта проектирования. Для покупки большого количества предметов, например цены листа сплава Э110, мы используем метод взвешивания. Цена за единицу товара принимается за среднюю рыночную цену. Хотя цена на оптовую торговлю будет намного ниже, чем средняя рыночная цена, мало влияет на небольшое количество протестированных образцов.

Таблицы 5.4 Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Единица измерения	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Источник Ti^{44}	см ²	3500	1	3500
Наждчная бумага (А4)	штук	150	8	1200
Бумага (А4)	штук	2	240	480
Титановый сплав BT1-0 (20см*20см*1см)	штук	40	2	80
Защитные перчатки	штук	25	8	200
Итого:				5460

5.2.2 Расчет заработной платы

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{дн-т}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дн-т} = \frac{МО}{\frac{298}{12}} = \frac{МО}{24,83}$$

Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:

$$К_{ПР} = 1,1; К_{доп.ЗП} = 1,188; К_{р} = 1,3.$$

Поэтому необходимо добавить тарифы к базовой зарплате и оценить соответствующий коэффициент. Формула для расчета коэффициента выглядит следующим образом

$$К_{и} = К_{ПР} * К_{доп.ЗП} * К_{р} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699.$$

Таблицы 5.5 Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Ежедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	33 664	1343	76	1,699	173413,53
СД	15 470	617	75	1,699	78621,22
Итого:					252034,75

5.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту.

$$C_{\text{соц.}} = C_{\text{зп}} * 0,3 = 252034,75 * 0,3 = 75610,43 \text{ руб.}$$

5.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Рассчитайте счет за электроэнергию, необходимый для теста. Вам нужно знать местную цену на электроэнергию, мощность устройства и сколько времени использовать, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл. об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot C_{\text{э}}$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность кВт;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

$C_{\text{э}}$ – цена на 1 кВт·час; $C_{\text{э}} = 5,748 \text{ руб./кВт.час}$ (в ТПУ).

Поскольку спектральные данные были записаны, экспериментальное оборудование работало 24 часа, и данные были получены в режиме реального времени с помощью удаленного компьютера. Поскольку экспериментальный метод имеет излучение частиц высокой энергии, он минимизирует контакт между людьми и оборудованием. Эта операция приведет к тому, что рабочее время экспериментального оборудования будет больше рабочего времени человека.

В таких случаях $t_{\text{об}}$ определяется путем прямого учета, особенно если использование соответствующего оборудования ограничено.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном.}} * K_{\text{с}}$$

где $P_{\text{ном.}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_{\text{с}} = 1$ (оборудование малой мощности).

Результаты расчета стоимости электроэнергии следующие таблице

Таблице 5.6

№ п/п	Наименование оборудования	Время работы $t_{об}$ (ч)	Потребляемая Мощность $P_{об}$ (кВт)	Цена единицы оборудования, $C_э$ (кВт/ч);	Затраты на электроэнергию, руб.
1.	Детекторы	648	0,05	5,748	186,2
2.	ФЭУ	648	0,01		37,2
3.	ДПС	648	0,03		111,7
4.	Системы совпадения	648	0,02		74,5
5.	Источник питания	710	0,03		122,4
6.	Компьютер многоканального анализа	648	0,2		744,9
7	Монитор	110	0,09		56,9
	Итого	4060	0,43		1333,9

5.2.5 Расчет амортизационных расходов

В учете затрат учитывается не только счет за электроэнергию оборудования, но и амортизация оборудования. Используется формула.

$$C_{AM} = \frac{N_A * C_{ОБ} * t_{рф} * n}{F_D}$$

где N_A – годовая норма амортизации; ($N_A=12,5\%$ по приложению 1)

$C_{ОБ}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР.

F_D – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования. ($301*24=7224$ ч)

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, задается исполнителем проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Результаты расчета нормы амортизации в таблице 5.7

Таблицы 5.7

№ п/п	Наименование оборудования	Количество (n).	Цена единицы оборудования, руб ($C_{ОБ}$)	Общая стоимость оборудования, руб.	Время работы $t_{рф}$ (ч)	Амортизация руб
1.	Детекторы	2	5800	11600	648	130,0
2.	ФЭУ	2	3900	7800	648	87,5

3.	Системы совпадения	1	8500	8500	648	95,3
4.	ДПС	2	12000	24000	648	269,1
5.	Источник питания	1	5 700	5700	710	70,1
	Итого			51900		652,0

5.2.6 Расчет прочих расходов

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) \cdot 0,1 = 10712 \text{ руб}$$

5.2.7 Стоимость всех проектов

Консолидировать и суммировать расходы по вышеуказанным разделам. Все затраты на этот эксперимент представлены в таблице 5.8 ниже.

Таблицы 5.8 Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	5460
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	252034,8
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	75610,4
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	1333,9
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	652,0
прочих расход	$C_{\text{проч.}}$	10712
Итого:		345803,1

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 345803,1$ руб. Этот эксперимент не имеет рыночного значения, только для изучения защиты материалов из сплава циркония в ядерных реакторах.

Приложение 1

Амортизационная группа	Срок полезного использования основного средства в годах	Срок полезного использования основного средства в месяцах	Годовая норма амортизации для целей бухучета (линейный способ, способ уменьшаемого остатка), %	Месячная норма амортизации для целей налогового учета (линейный способ), %
Первая группа – все недолговечное имущество со сроком полезного использования от 1 года до 2 лет включительно	1,5	18	66,6667	5,5556
	2	24	50	4,1667
Вторая группа – имущество со сроком полезного использования свыше 2 лет до 3 лет включительно	2,5	30	40	3,3333
	3	36	33,3333	2,7778
Третья группа – имущество со сроком полезного использования свыше 3 лет до 5 лет включительно	4	48	25	2,0833
	5	60	20	1,6667
Четвертая группа – имущество со сроком полезного использования свыше 5 лет до 7 лет включительно	6	72	16,6667	1,3889
	7	84	14,2857	1,1905
Пятая группа – имущество со сроком полезного использования свыше 7 лет до 10 лет включительно	8	96	12,5	1,0417
	9	108	11,1111	0,9259
	10	120	10	0,8333
Шестая группа – имущество со сроком полезного использования свыше 10 лет до 15 лет включительно	11	132	9,0909	0,7576
	12	144	8,3333	0,6944
	13	156	7,6923	0,641
	14	168	7,1429	0,5952
	15	180	6,6667	0,5556

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang K. // Material Science and Engineering: A. 1996. Volume 213, Issues 1-2. P. 134-137.
2. Gurrappa I. // Materials Characterization. 2003. V.51, Is.2-3.P.131-139.
3. Schutz R. W., Watkins H. B. // Materials Science and Engineering: A. 1998. Volume 243, Issues 1-2. P. 305-315.
4. Yamada M. // Material Science and Engineering: A. 1996. Volume 213, Issues 1-2. P. 8-15.
5. Brewer W. D., Bird R. K., Wallace T. A. // Materials Science and Engineering: A. 1998. V. 243, Is. 1-2. P. 299-304.
6. Immarigeon J-P., Holt R. T., Koul A. K. et al. // Materials Characterization. 1995. V. 35, Issue 1. P. 41-67.
7. Boyer R.R. // Materials Science and Engineering: A. 1996. Volume 213, Issues 1-2. P. 103-114.
8. Zhou Y. G., Zeng W. D., Yu H. Q. // Materials Science and Engineering: A. 2005. Volume 393, Issues 1-2. P. 204-212.
9. Xu J. J., Cheung H. Y., Shi S. Q. // Journal of Alloys and Compounds. 2007. No. 436. P. 82-85.
10. Christ H-J., Senemmar A., Decker M. et al. // Sadhana. 2003. Vol. 28, Parts 3 & 4. P. 453-465.
11. Yan L., Ramamurthy S., Noel J. J. et al. // Electrochimica Acta. 2006. No. 52. P. 1169-1181.
12. Madina V., Azkarate I. // International Journal of Hydrogen Energy. 2009. No. 34. P. 5976-5980.
13. Кудияров В.Н., Лидер А.М., Пушилина Н.С., Кренинг Х.В. // Альтернативная энергетика и экология. - 2012 - №. 11 - С. 14. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019)

15. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ № 45н «Об утверждении норм и условий бесплатной выдачи работникам, занятым на работах с вредными условиями труда, молока или других равноценных пищевых продуктов»
16. Генеральное соглашение между общероссийскими объединениями профсоюзов, общероссийскими объединениями работодателей и Правительством Российской Федерации на 2014 – 2016 годы
17. ГН 2.2.5.1313 – 03. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
18. Правительством российской федерации постановление от 24 декабря 2009 г. N 1213 об утверждении технического регламента о безопасности средств индивидуальной защиты.
19. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
20. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение.
21. ГОСТ 12.1.003 – 2014.ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Шум.
22. ГОСТ ISO 9612-2015* Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека. Метод измерений на рабочих местах.
23. ГОСТ 12.1.019- 2009 ССБТ . Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
24. Пожарная безопасность. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности N 123-ФЗ.
25. Охрана окружающей среды: Учеб. Пособие для студентов вузов / Под ред. Белова С.В. – М.: Высш. Школа, 1983. – 264 с.
26. ГОСТ 17.2.3.02—78. Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями.

27. Федеральный закон об охране окружающей среды от 10.01.2002 (с изменением на 29 декабря 2015 года) введенной в действие с 1 января 2015 года Федеральным законом от 21 июля 2014 года N 219-ФЗ.

28. ГОСТ Р 22.0.02 – 94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

29. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ № 45н «Об утверждении норм и условий бесплатной выдачи работникам, занятым на работах с вредными условиями труда, молока или других равноценных пищевых продуктов»