

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 03.04.02 «Физика конденсированного состояния»  
 Отделение школы (НОЦ) – Экспериментальной физики

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы <b>Закономерности микроструктурных изменений в титановом сплаве ВТ6 при деформации и наводороживании</b>
---

УДК 669.295.5:539.3:669.788

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ71	Бабихина Мария Николаевна		

Руководитель магистерской диссертации

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

Консультант

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП	Меньшикова Екатерина Валентиновна	Кандидат философских наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель ООД ШБИП	Исаева Елизавета Сергеевна			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОЭФ ИЯТШ	Лидер Андрей Маркович	д.т.н., доцент		

Томск – 2019 г.

## 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные (универсальные) компетенции</i>		
P1	Понимает необходимость самостоятельного обучения и повышения квалификации в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-7), критерий 5 АИОР
P2	Проявляет способность эффективно работать самостоятельно в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, быть лидером в команде, консультировать по вопросам проектирования научных исследований, а также быть готовым к педагогической деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6, ПК-11), критерий 5 АИОР
P3	Умеет находить зарубежных и отечественных партнеров, владеет иностранным языком, позволяющим работать с зарубежными партнерами с учетом культурных, языковых и социально-экономических условий.	Требования ФГОС (ОК-2, ОК-4), критерий 5 АИОР
P4	Проявляет понимание используемых методов, области их применения, вопросов безопасности и здравоохранения, юридических аспектов, ответственности за профессиональную деятельность и ее влияния на окружающую среду.	Требования ФГОС (ОК-3), критерий 5 АИОР
P5	Следует кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам научно-исследовательской деятельности.	Требования ФГОС (ОК-5), критерий 5 АИОР
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P6	Проявляет глубокие естественнонаучные, математические профессиональные знания в проведении научных исследований в перспективных областях профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-1), критерий 5 АИОР
P7	Принимает участие в фундаментальных исследованиях и проектах в области физики низких температур, конденсированного состояния и материаловедения, а также в модернизации современных и создании новых методов изучения механических, электрических, магнитных и тепловых свойств твердых, жидких и газообразных веществ.	Требования ФГОС (ПК-2), критерий 5 АИОР
P8	Способен обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в профессиональной деятельности, осуществлять презентацию научной деятельности.	Требования ФГОС (ПК-4), критерий 5 АИОР
P9	Способен применять полученные знания для решения нечетко определенных задач, в нестандартных ситуациях, использует творческий	Требования ФГОС (ПК-3), критерий 5 АИОР

	<p>подход для разработки новых оригинальных идей и методов исследования в области физики конденсированного состояния, низких температур и сжижения природного газа.</p>	
P10	<p>Способен планировать проведение аналитических имитационных исследований по профессиональной деятельности с применением современных достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области научных исследований, умеет критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делает выводы, знает правовые основы в области интеллектуальной собственности.</p>	<p>Требования ФГОС (ОК-4, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9), критерий 5 АИОР</p>
P11	<p>Умеет интегрировать знания в различных и смежных областях научных исследований и решает задачи, требующие абстрактного и креативного мышления и оригинальности в разработке концептуальных аспектов проектов научных исследований.</p>	<p>Требования ФГОС (ОК-5, ПК-10), критерий 5 АИОР</p>

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 03.04.02 «Физика конденсированного состояния»  
 Отделение школы (НОЦ) – Экспериментальной физики

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

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
0БМ71	Бабихина Мария Николаевна

Тема работы:

Закономерности микроструктурных изменений в титановом сплаве ВТ6 при деформации и наводороживании
---

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Титановый сплав ВТ6, холоднокатаная пластическая деформация до различных степеней, условия насыщения водородом из газовой среды, спектрометрического комплекса для исследования и контроля дефектов в металлах и их сплавах методом ЭПА, вакуумная установка «Радуга-спектр», автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller LPB фирмы Advanced Material Corporation, анализатор водорода RHEN602 фирмы LECO.</p>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Обзор литературных источников;</li> <li>– Подготовка образцов с различной степенью деформации в диапазоне (0,8 ÷ 11,9) %;</li> <li>– Оценка микроструктуры, механических свойств и аннигиляционных характеристик;</li> <li>– Определение температуры отжига дефектов, полученных в результате холоднокатаной пластической деформации;</li> <li>– Оценка микроструктуры, механических свойств и аннигиляционных характеристик после наводороживания;</li> <li>– Анализ полученных результатов;</li> <li>– Социальная ответственность;</li> <li>– Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</li> <li>– Заключение.</li> </ul>
--	---

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Исаевна Елизавета Сергеевна, старший преподаватель ООД ШБИП
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Екатерина Валентиновна, доцент ОГН ШБИП
Иностранный язык	Шайкина Ольга Игоревна, преподаватель ОИЯ ШБИП

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

**ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

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., доцент		
Старший преподаватель ОЭФ ИЯТШ	Кудияров Виктор Николаевич	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ71	Бабихина Мария Николаевна		

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

Студенту:

<b>Группа</b> ОБМ71	<b>ФИО</b> Бабихина Мария Николаевна
------------------------	---

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа ядерных технологий</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Отделение экспериментальной физики</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Магистрант</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>03.04.02 «Физика конденсированного состояния»</b>

**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>Амортизационные отчисления – 84 392 руб., стоимость потребления электроэнергии – 12 229,3 руб., заработная плата – 139 514,6 руб. и отчисления на социальные нужды – 43 479,7 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Нормы амортизации – 20%, нормы премии по счету заработной платы – 0,3; коэффициент доплат и надбавок – 0,3; районный коэффициент – 1,3; коэффициент дополнительной зарплаты – 15%</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды – 27,1%</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 Разработка анализа конкурентоспособности Выполнение SWOT-анализа проекта.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИ</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Проведение оценки ресурсной и финансовой эффективности исследования.</i>

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

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

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Меньшикова Екатерина Валентиновна	Кандидат философских наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
ОБМ71	Бабихина Мария Николаевна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b> 0БМ71	<b>ФИО</b> Бабихина Мария Николаевна
------------------------	---

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа ядерных технологий</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Отделение экспериментальной физики</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Магистрант</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>03.04.02 «Физика конденсированного состояния»</b>

Тема ВКР:

Закономерности микроструктурных изменений в титановом сплаве ВТ6 при деформации и наводороживании

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

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

*Прибор: анализатор водорода RHEN602 фирмы LECO;  
Рабочая зона: лаборатория;  
Материал: титановый сплав марки ВТ6*

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.

По данной теме рассматриваются законодательный и нормативные документы:

- инструкция №18.16.24 по охране труда при выполнении работ на анализаторе водорода RHEN602;
- инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В;
- инструкция № 2-07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением.

Документы по воздействию ПЭВМ:

- инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ;
- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы;
- ГОСТ Р 50948-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности;
- ГОСТ Р 50949-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности;
- ГОСТ Р 50923-96. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к

	производственной среде. Методы измерения.
<p><b>2. Производственная безопасность:</b>  2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов  2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Анализ вредных и опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего;</li> <li>- Вредные производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде;</li> <li>- Вредные производственные факторы, связанные с электромагнитными полями переменного характера;</li> <li>- Вредные производственные факторы, связанные со световой средой;</li> <li>- Опасные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей; электрических потенциалов;</li> <li>- Пожароопасность.</li> </ul>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>Факторы рабочего места, влияющие на окружающую среду:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Выброс в атмосферу рабочего газа;</li> <li>- Выброс в атмосферу химических веществ;</li> </ul>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p>Возможные ЧС:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выбросы ядовитых веществ;</li> <li>- пожары;</li> <li>- взрывы;</li> <li>- диверсии;</li> <li>- природные катаклизмы.</li> </ul> <p>Наиболее вероятным ЧС является наступление сильных морозов, пожары.</p>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Исаева Елизавета Сергеевна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ71	Бабихина Мария Николаевна		



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 03.04.02 «Физика конденсированного состояния»  
 Уровень образования – магистратура  
 Отделение школы (НОЦ) – Экспериментальной физики  
 Период выполнения \_\_\_\_\_

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
--------------------------

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

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2018	Аналитический обзор литературы	15
01.09.2018	Подготовка образцов титанового сплава ВТ6 с различными дефектами	15
30.12.2018	Наводороживание образцов титанового сплава ВТ6 с различными дефектами	20
30.04.2019	Анализ результатов	15
25.05.2019	Социальная ответственность	15
25.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2019	Заключение	5

#### СОСТАВИЛ:

##### Руководитель ВКР

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

##### Консультант (при наличии)

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

#### СОГЛАСОВАНО:

##### Руководитель ООП

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

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертационная работа 151 страница, 46 рисунков, 36 таблиц, 90 литературных источников, 1 приложение.

Ключевые слова: дефекты различного типа, плотность дислокаций, концентрация вакансий, электрон-позитронная аннигиляция, метод газофазного наводороживания, титановый сплав.

Объектом исследования являются образцы титанового сплава марки ВТ6 прокатанные до различных степеней деформации методом механической прокатки. Исследование дефектной структуры проводилось с использованием методов позитронной спектроскопии, которые могут определять тип и концентрацию дефектов, а также химическое окружение данных дефектов. Однако, для получения количественной и качественной оценки количества дефектов методами позитронной спектроскопии необходима дополнительная информация о базовых дефектах и их влиянии на характеристики позитронной аннигиляции.

Целью работы является анализ структурных изменений в титановом сплаве ВТ6 в зависимости от степени холоднокатаной пластической деформации и после наводороживания.

В процессе исследования проводилась подготовка образцов с различной степенью деформации в диапазоне (0,8 ÷ 11,9) %. Проводилась оценка дефектной структуры полученного материала и расчет плотности дислокаций. Осуществлялось газофазное наводороживание с последующей оценкой влияния водорода на структуру сплава.

В результате исследования было определено, что холоднокатаная пластическая деформация не оказывает существенного влияния на средний размер зерна. Однако, в результате насыщения исследуемого материала происходит увеличение среднего размера зерна на 2 % в сравнении с исходным материалом. Исследования электрон-позитронной аннигиляции проводились в титановом сплаве марки ВТ6 прокатанного до 0,8%

деформации. После полного цикла высокотемпературного вакуумного отжига дефектов было выявлено, что температура отжиг сформированных при холоднокатаной пластической деформации дефектов равна 400 °С. Насыщение водородом из газовой среды проводилось при температуре 350 °С.

В первой главе представлен теоретический обзор выявленной проблемы влияния дефектов на эксплуатационные характеристики титанового сплава, а также их взаимодействия с водородом

Во второй главе описаны экспериментальные установки: механический стан для получения образцов с различной степенью деформации, оптический инвертированный микроскоп AxioVert 40 MAT, твердомер Виккерса KB 30S Pruftechnik GmbH, газофазное насыщения водородом с использованием автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller, дифрактометр Shimadzu XRD-7000S, спектрометрический комплекс ЭПА.

В третьей, четвертой и пятой главах описаны результаты проведенного исследования.

В третьей главе описаны результаты влияния холоднокатаной пластической деформации на микроструктуру, механические свойства и аннигиляционные характеристики.

В четвертой главе представлены результаты влияния высокотемпературного вакуумного отжига на дефектную структуру титанового сплава.

В пятой главе представлены результаты влияния водорода на структуру исследуемого материала.

В качестве основных конструктивных, технологических и технико-эксплуатационных характеристик можно выделить следующее: установлена температура отжига дефектов титанового сплава ВТ6 после холоднокатаной пластической деформации до 0,8%, которая равна 400 °С. Также было

установлено, что при насыщении водородом происходит формирование водород-вакансионных комплексов типа 4V-3H.

Степень внедрения: результаты исследования опубликованы в рецензируемом журнале из списка ВАК и представлены на 5 международных конференциях.

Область применения: результаты работы могут быть применимы для проведения дальнейших исследований с помощью метода позитронной спектроскопии.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	18
ГЛАВА 1. ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ .....	20
1.1. Титан и сплавы на его основе.....	20
1.1.1. $\alpha$ -сплавы .....	24
1.1.2. $\alpha + \beta$ -сплавы .....	25
1.1.3. $\beta$ -сплавы .....	25
1.2. Диаграмма фазовых состояний Ti–H.....	26
1.3. Водородостойкость титана .....	28
1.4. Влияние водорода на механические характеристики титановых сплавов .....	29
1.5. Взаимодействие титана с легирующими элементами .....	30
1.6. Виды обработок сплавов на основе титана.....	34
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	35
2.1. Материал исследования .....	35
2.2. Получение образцов с различной степенью деформации с использованием механического стана .....	36
2.3. Оптическая микроскопия для исследования микроструктуры.....	36
2.4. Исследование распределения микротвердости титанового сплава ВТ6 с использованием твердомера Виккерса КВ 30S фирмы Pruftechnik GmbH.....	37
2.5. Насыщение исследуемого материала из газовой среды с помощью автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller LPB фирмы Advanced Material Corporation.....	38
2.6. Проведение рентгеноструктурного анализа с использованием дифрактометра Shimadzu XRD-7000S .....	41

2.7. Проведение анализа электрон-позитронной аннигиляции для исследования дефектной структуры титанового сплава ВТ6 с использованием цифрового спектрометрического комплекса.....	42
2.8. Определение содержания водорода с помощью анализатора водорода RHEN602 фирмы LECO .....	44
<b>ГЛАВА 3. СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6 ПОСЛЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВАКУУМНОГО ОТЖИГА И ХОЛОДНОКАТАНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ.....</b>	<b>47</b>
3.1. Исследование микроструктуры титанового сплава ВТ6 после высокотемпературного вакуумного отжига и холоднокатаной пластической деформации.....	47
3.2. Исследование распределения микротвердости в титановом сплаве ВТ6 после высокотемпературного вакуумного отжига и холоднокатаной пластической деформации .....	52
3.3. Проведение рентгеноструктурного анализа титанового сплава ВТ6 после высокотемпературного вакуумного отжига и холоднокатаной пластической деформации .....	54
3.4. Проведение анализа электрон-позитронной аннигиляции для исследования дефектной структуры титанового сплава ВТ6 после высокотемпературного вакуумного отжига и холоднокатаной пластической деформации.....	60
3.4.1. Исследование временного и импульсного распределения аннигиляции позитронов в титановом сплаве ВТ6 после высокотемпературного вакуумного отжига.....	61
3.4.2. Исследование временного и импульсного распределения аннигиляции позитронов в титановом сплаве ВТ6 после холоднокатаной пластической деформации .....	62
3.5. Вывод по главе 3.....	67

## ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВАКУУМНОГО ОТЖИГА НА ДЕФЕКТНУЮ СТРУКТУРУ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6 69

- 4.1. Исследование микроструктуры титанового сплава ВТ6 прокатанного до 0,8% деформации после полного цикла высокотемпературного вакуумного отжига..... 69
- 4.2. Исследование распределения микротвердости в титановом сплаве ВТ6 прокатанного до 0,8% деформации после полного цикла высокотемпературного вакуумного отжига..... 71
- 4.3. Проведение рентгеноструктурного анализа титанового сплава ВТ6 прокатанного до 0,8% деформации после полного цикла высокотемпературного вакуумного отжига..... 71
- 4.4. Исследование временного и импульсного распределения аннигиляции позитронов в титановом сплаве ВТ6 прокатанного до 0,8% деформации после полного цикла высокотемпературного вакуумного отжига..... 76
- 4.5. Вывод по главе 4..... 79

## ГЛАВА 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОДОРОДА НА ДЕФЕКТНУЮ СТРУКТУРУ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6 ..... 81

- 5.1. Исследование микроструктуры титанового сплава ВТ6 после холоднокатаной пластической деформации и насыщения из газовой среды  
81

## ГЛАВА 6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ..... 82

- 6.1. Потенциальные потребители исследования ..... 82
- 6.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения..... 83
- 6.3. SWOT-анализ ..... 85
- 6.4. Инициирование проекта..... 86

6.5. Оценка готовности проекта к коммерциализации .....	88
6.6. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	89
6.6. План проекта .....	89
6.7. Бюджет научного исследования.....	92
6.6.1. Сырье, материалы, покупные изделия (за вычетом отходов).....	94
6.6.2. Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	94
6.6.3. Основная заработная плата .....	96
6.6.4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала .....	97
6.6.5. Отчисления на социальные нужды.....	98
6.6.6. Накладные расходы.....	98
6.7. Реестер рисков проекта .....	99
6.8. Определение сравнительной эффективности исследования.....	99
Выводы по главе 6.....	101
<b>ГЛАВА 7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....</b>	<b>102</b>
Введение.....	102
7.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	102
7.2. Анализ вредных факторов .....	105
7.2.1. Недостаточная освещенность рабочей зоны .....	105
7.2.2. Превышение уровня шума .....	109
7.2.3. Отклонение показателей микроклимата .....	111
7.2.4. Отклонение показателей электромагнитного излучения.....	112
7.3. Анализ опасных факторов .....	113



7.3.1. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека .....	113
7.3.2. Повышенное содержание химических веществ в атмосфере окружающей среды.....	116
7.5. Организационные мероприятия обеспечения безопасности .....	117
7.6. Охрана окружающей среды.....	118
7.6.1. Пожарная безопасность .....	120
Выводы по главе 7.....	122
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	123
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	125
Приложение А .....	136

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сплавы на основе титана представляют большой интерес в качестве конструкционных материалов, так как данный сплав обладает стойкостью к агрессивным средам.

Титановый сплав используется в различных отраслях промышленности, из-за высокой механической прочности, коррозионной стойкости и жаропрочности, а также малой плотностью [1]. Титан и сплавы на его основе нашли своё широкое распространение в таких отраслях промышленности как: ракетная и авиационная техника, химическая и нефтегазовая промышленности [2, 3].

При эксплуатации титанового сплава в водородсодержащей среде приводит к проникновению водорода в материал [4, 5]. Наводороживание титанового сплава приводит к его охрупчиванию, появлению макротрещин, и к деградации механических свойств [6 – 8].

Разработка новых и усовершенствование уже известных методов анализа водорода и водородиндуцированных дефектов [7, 11, 12] является актуальным при решении вопроса о влиянии водорода на свойства материала и получении материалов с заданными свойствами при водородной обработке [9, 10].

Также легирование титана различными элементами дает возможным его эксплуатацию в различных условиях. Однако, остается актуальным исследование влияния водорода на титановые сплавы, легированные различными элементами и изучение их структуры. Легирование титана различными элементами дает возможным получение разного типа структур, что в свою очередь оказывает различное влияние на взаимодействие титанового сплава с водородом.

Принимая во внимание все вышесказанное, целью настоящей работы является анализ структурных изменений в титановом сплаве ВТ6 в

зависимости от степени холоднокатаной пластической деформации и после наводороживания.

В соответствии с поставленной целью были сформулированы следующие задачи:

1) Анализ изменения дефектной структуры титанового сплава ВТ6 методами рентгеноструктурного анализа и позитронной спектроскопии в зависимости от степени холоднокатаной пластической деформации;

2) Исследование влияния вакуумного изотермического отжига на закономерности изменения дефектной структуры титанового сплава ВТ6 после холоднокатаной пластической деформации;

3) Исследование влияния газофазного наводороживания на дефектную структуру титанового сплава ВТ6 после холоднокатаной пластической деформации.

В связи со всем выше изложенным на защиту выносятся следующие положения:

1. Установлено, что холоднокатаная пластическая деформация титанового сплава ВТ6 в диапазоне (0,8÷11,9)% приводит к формированию дислокаций и тетравакансий, при этом в диапазоне от 0,8 % до 2,7 % наблюдается увеличение плотности дислокаций от  $1,5 \cdot 10^{14}$  до  $3,1 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-2}$  и концентрации тетравакансий от 0,003 ppm до 5 ppm.

2. Установлено, что газофазное наводороживание при температуре 350 °С до концентрации водорода 100 ppm титанового сплава ВТ6 после холоднокатаной пластической деформации приводит к формированию водород-вакансионных комплексов (4V-3H), при этом увеличение степени деформации от 0,8% до 2,7% приводит к увеличению концентрации водород-вакансионных комплексов (4V-3H) после наводороживания.

# ГЛАВА 1. ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

В данной главе приведен литературный обзор по титановому сплаву, в котором рассматриваются закономерности и механизмы взаимодействия данного сплава с водородом. Показаны системы свойств водород-титан и прочностные характеристики сплава титана после наводороживания. Помимо этого, рассмотрено влияние легирования различных элементов на свойства титана и его взаимодействия с водородом.

## 1.1. Титан и сплавы на его основе

Сплавы на основе титана обладают высокими прочностными характеристиками, по сравнению с другими сплавами. В связи с этим сплавы на основе титана являются предпочтительнее для применения в авиационной и аэрокосмической технике [20]. К негативной стороне данного титанового сплава можно отнести активное поглощение кислорода, азота и водорода, которая приводит к резкому снижению пластичности материала. При взаимодействии титана с углеродом образуются тугоплавкие карбиды, которые обладают высокой твердостью [9]. Титановый сплав обладает высокой степенью деформации.

На рисунке 1.1 показаны две кристаллические модификации титана.

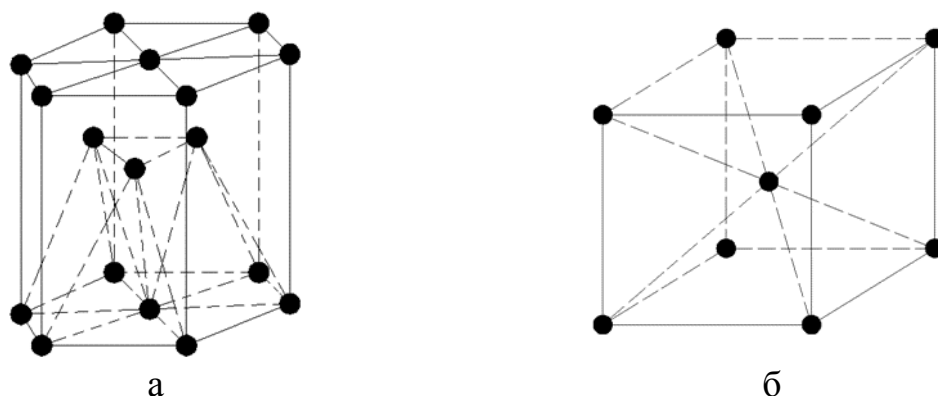


Рисунок 1.1 – Кристаллические модификации а)  $\alpha$ -титана и б)  $\beta$ -титана

Температура перехода из  $\alpha$ - в  $\beta$ -фазу титана составляет  $\sim 881$  °C (895 °C). Для чистого сплава титана температура перехода модификации равна  $882,5$  °C. Низкотемпературная модификация ( $\alpha$ -титан) состоит из ГПУ решетки, высокотемпературная  $\beta$ -модификация - ОЦК [17 – 19]. При переходе из  $\alpha$ - в  $\beta$ -фазу объем конструкционного материала из титана уменьшается [18, 20].

В титановый сплав легируют различные химические элементы для получения заданных механических свойств. Благодаря внедрению легирующих элементов в определенных концентрациях можно получить свойства сплава в широких пределах.

Соотношение осей  $c/a$  для идеальной ГПУ решетки равно  $1,633$ . Для титанового сплава данное соотношение меньше на  $2,9\%$ .

Модуль Юнга для титанового сплава составляет от  $106$  до  $146$  ГПа.

Невзирая на то, что титановый сплав обладает высокой температурой рекристаллизации и плавления, данный материал имеет плохое сопротивление к ползучести [24].

Титан претерпевает аллотропное превращение из ГПУ кристаллической структуры в ОЦК решетку. При температуре  $886$  °C в титановом сплаве наблюдается граница перехода от одной фазы к другой. Легирующие элементы в сплаве титана могут либо стабилизироваться  $\alpha$ -фазу, либо  $\beta$ - фазу. Из легирующих элементов таких как, азот, углерод и особенно кислород оказывают сильное  $\alpha$ -стабилизирующее действие. Тем самым повышают температуру перехода. Водород относится к классу  $\beta$ -стабилизаторов, и снижает температуру перехода.

Увеличение количества легирующих элементов приводит к резкому увеличению прочности, но в то же время к резкому снижению пластичности и повышенному риску охрупчивания [4]. В таблице 1.1 показаны стабилизирующие элементы. В титановых сплавах  $\alpha$ - и  $\beta$ -фазы разделены двухфазной областью  $\alpha + \beta$ . Ширина двухфазной области увеличивается с увеличением концентрации растворенного вещества в сплаве. Поэтому

титановые сплавы делятся на три основные группы:  $\alpha$ -сплавы,  $\alpha + \beta$ -сплавы и  $\beta$ -сплавы, в зависимости от типа и количества легирующих элементов.

Таблица 1.1 Легирующие элементы в сплавах титана

Легирующие элементы	Концентрация, ат.%	Стабилизаторы
Алюминий	от 2 до 7	$\alpha$ -стабилизатор
Олово	от 2 до 6	$\alpha$ -стабилизатор
Ванадий	от 2 до 20	$\beta$ -стабилизатор
Молибден	от 2 до 20	$\beta$ -стабилизатор
Хром	от 2 до 12	$\beta$ -стабилизатор
Медь	от 2 до 6	$\beta$ -стабилизатор
Цирконий	от 0,2 до 1	$\alpha+\beta$ -стабилизатор

Для получения однофазной  $\beta$ -структуры титана необходимо произвести термическую обработку псевдо- $\beta$ -сплава с температур  $\beta$ -области существования сплава.

Сплав ВТ6 представляет собой титановый сплав с  $\alpha+\beta$  фазой. Обладает высокой прочностью, низкой плотностью, высокой текучестью, хорошей коррозионной стойкостью и биосовместимостью [25]. Данный сплав занимает почти половину доли мирового рынка. Сплав ВТ6 был первоначально разработан для авиационных конструкций в 50-х годах. Этот легкий и в тоже время прочный сплав экономит вес в высоконагруженных конструкциях и поэтому чрезвычайно подходит для реактивных двигателей, газовых турбин и др.

Титановые сплавы нашли применение во многих областях. Установлено, что в химических, нефтехимических и морских средах титановые сплавы в значительной степени устойчивы к коррозии. Биосовместимость этого металла высоко ценится в медицинских целях, поскольку изношенные или сломанные части тела можно заменить новыми искусственными компонентами, изготовленными из титана. Например, искусственные колени, тазобедренные суставы и зубы.

Однако одним из крупнейших потребителей титана по-прежнему остается авиационно-космическая промышленность. Титановые сплавы используются в качестве материала в дисках компрессора, лопатках в

реактивных двигателях, конструкции планеров, самолетов и спутников. Основной причиной широкого использования титановых сплавов в аэрокосмической промышленности является их высокий удельный коэффициент прочности. На рисунке 1.2 показано сравнение удельной прочности и температуры для нескольких различных материалов.

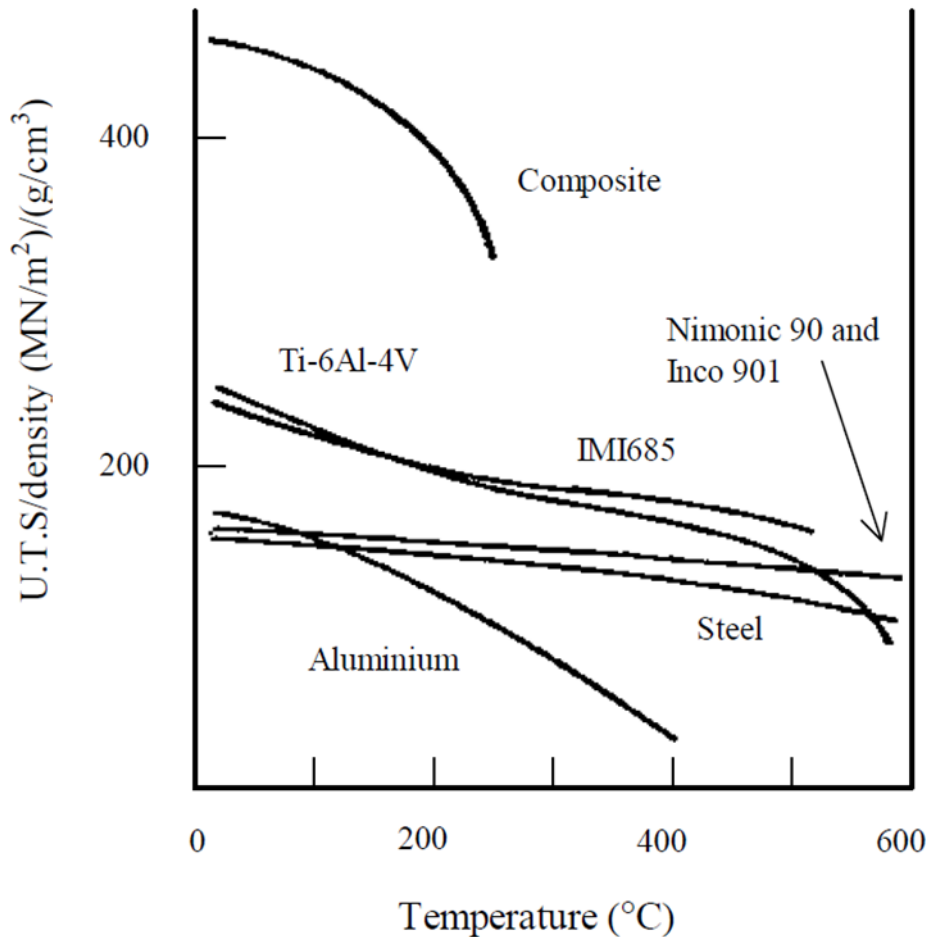


Рисунок 1.2 – Сравнение удельной прочности на растяжение в зависимости от температуры для различных материалов. Сверху вниз кривые при комнатной температуре для композитов: Ti-6Al-4V, IMI-685, Al, Nimonic-90, Inco-901 и сталь

Как видно из рисунка 1.2, титановые сплавы имеют более высокую удельную прочность, чем большинство других металлических материалов, до температурного диапазона 400–500°C. Несмотря на то, что композиты имеют гораздо большую удельную прочность, чем все другие металлические материалы. Их применимость в аэрокосмической промышленности, такой как компоненты реактивного двигателя, в значительной степени снижается из-за их низкой ударной вязкости и пластичности при высоких температурах.

Одним из основных усилий в развитии индустрии реактивных двигателей является увеличение рабочей мощности в двигателе для повышения эффективности процесса сжигания топлива. Это требует новых материалов, подходящих для работы при более высоких температурах. В таблице 1.1 показаны разработки титановых сплавов разных марок и их максимальную рабочую температуру.

Таблица 1.2. Максимальная рабочая температура титановых сплавах

Марка	Состав, вес. %	Максимальная рабочая температура, °C
Ti-64	6Al-4V	300
IMI-550	4Al-2Sn-4Mo-0.5Si	425
Ti-811	8Al-Mo-V	400
IMI-679	2Al-11Sn-5Zr-Mo-0.2Si	450
IMI-685	6Al-5Zr-0.5Mo-0.2Si	520
Ti-11	6Al-2Sn-1.5Zr-Mo-0.1Si-0.3Bi	540
Ti-17	5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr	~350
Ti-642S	6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.1Si	520

Как видно из таблицы, наиболее распространенный титановый сплав Ti-4Al-V обладает максимальной рабочей температурой 300°C. Самая высокая температура, при которой титановый сплав может использоваться в настоящее время, находится чуть ниже 600°C (IMI-834).

### 1.1.1. $\alpha$ -сплавы

Чистый титан и сплавы на его основе с  $\alpha$ -стабилизаторами, такими как алюминий и олово, как по отдельности, так и в комбинации, имеют ГПУ структуру при комнатной температуре и поэтому классифицируются как  $\alpha$ -сплавы, например, сплав Ti5Al-2.5Sn. В зависимости от концентрации  $\alpha$ -стабилизирующего элемента будет повышаться, либо понижаться температура ( $\alpha + \beta$ )/ $\alpha$  области. Эти растворенные вещества обычно являются непереходными металлами, то есть простыми металлами.  $\alpha$ -стабильность, основанная на экранировании электронов, может быть объяснена следующим образом: когда простые металлы, такие как алюминий, растворяются в



титане, на уровне Ферми появляется только несколько электронов, большинство электронов переходят на уровни ниже. d-электроны титана в большинстве случаев не взаимодействуют с атомами алюминия. Данные атомы работают как составляющие в подрешетке титана. Это затем приводит к усилению любой существующей металлической связи титана (Ti-Ti). Это приводит к сохранению кристаллической ГПУ структуры титана. Таким образом, при добавлении простых металлов это приводит к интерметаллическим соединениям, которые также имеют гексагональную структуру [3].

### **1.1.2. $\alpha + \beta$ -сплавы**

Сплавы, принадлежащие к  $\alpha + \beta$ -системе, содержат один или несколько  $\alpha$ -стабилизирующих или  $\alpha$ -растворимых элементов вместе с одним или несколькими  $\beta$ -стабилизирующими элементами. При комнатной температуре  $\alpha$ -фаза имеет гексагональную плотноупакованную решетку (ГПУ),  $\beta$ -фаза объемно-центрированную кубическую структуру (ОЦК) [3, 4].

### **1.1.3. $\beta$ -сплавы**

Растворы переходного металла стабилизируют ОЦК-фазу, поэтому все  $\beta$ -сплавы обычно содержат большое количество одного или нескольких так называемых « $\beta$ -изоморфных» образующих добавок, ванадия, ниобия, тантала (переходные металлы группы V) и молибден (переходный металл VI группы) [3].  $\beta$ -сплавы, несмотря на название, на самом деле метастабильны, и холодная обработка при температуре окружающей среды или нагрев до слегка повышенной температуры может привести к частичному превращению в  $\alpha$ -фазу. После обработки раствора метастабильные  $\beta$ -сплавы обычно выдерживают при температуре от 450 до 650 °C, чтобы частично преобразовать  $\beta$ -фазу в  $\alpha$ -фазу. Затем  $\alpha$ -фаза выпадает в виде

мелкодисперсных частиц в зерне  $\beta$ -фазы, которые по прочностным характеристикам могут превышать значение в  $\alpha + \beta$  сплавах после процесса старения [4].

## 1.2. Диаграмма фазовых состояний Ti–H

Водород – простейший из всех химических элементов, занимающий первое место в периодической системе по своей атомной массе равной 1,0078. В обычных условиях водород находится в виде двухатомных молекул газа  $H_2$  [33].

Водород находится в материале в виде [32]:

- Гидридов;
- Растворенном состоянии;
- Захватываться дефектами и др.

На рисунке 1.4 представлена фазовая диаграмма титан-водород.

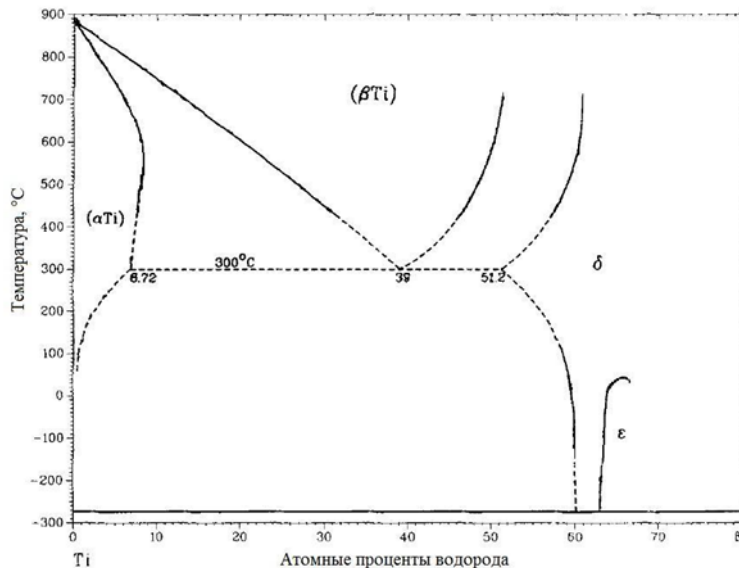


Рисунок – 1.4 Диаграмма фазовых состояний Ti–H

Данная диаграмма характеризуется наличием трёх фаз:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$  и их гетерогенных областей их сосуществования. Из данной диаграммы видно, что при температуре выше 300 °C и концентрации водорода до 7,8 атм.% (0,18 вес.%), титан находится в  $\alpha$ -фазе. Увеличение содержания водорода титан при высокой температуре переходит в  $\alpha+\beta$  фазу и далее  $\beta$  фаза всё

больше замещает  $\alpha$  фазу и наконец, титан переходит полностью в  $\beta$  фазу. При увеличении содержания водорода от 38 атомных процентов и выше  $\beta+\delta$  фаза полностью переходит в  $\delta$  фазу, где  $\delta$ -титан – это гидрид, представляющий собой фазу внедрения переменного состава. При понижении температуры ниже  $300\text{ }^\circ\text{C}$  титан переходит в  $\alpha + \delta$ -фазы [35 – 38].

ГПУ решетка  $\alpha$ -титана имеет два типа пустот: тетрагональная с радиусом  $0,34\text{ \AA}$  (рисунок 1.5а) и октаэдрическая с радиусом  $0,62\text{ \AA}$  (рисунок 1.5 б).

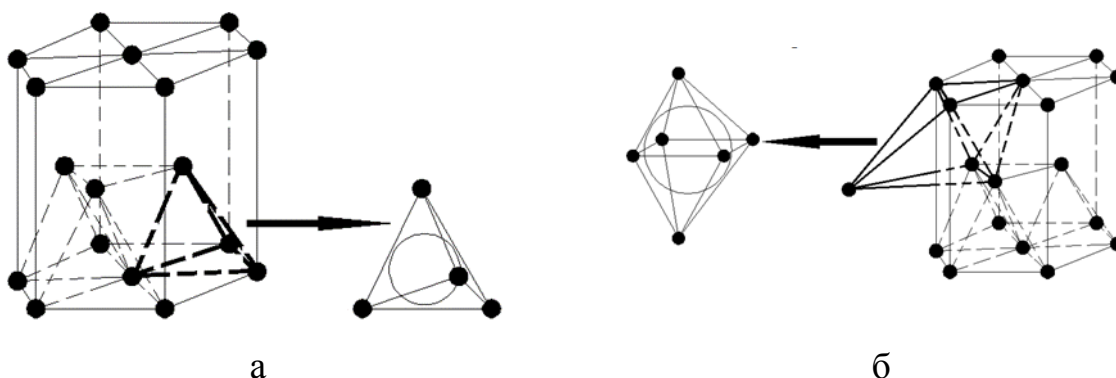


Рисунок 1.5 – а) Тетрагональные и б) октаэдрические пустоты ГПУ решетки  $\alpha$ -титана

Таким образом, растворимость водорода в  $\alpha$ -титане мала. Также  $\alpha$ -титан является термодинамически неустойчивым из-за сравнительно низких концентраций водорода.

В ОЦК решетке  $\beta$ -модификации титана пустоты с радиусом  $0,44\text{ \AA}$ , представленная на рисунке 1.6, почти точно соответствует атомному радиусу водорода. Поэтому водород хорошо растворяется в  $\beta$ -фазе титана, стабилизируя её [39, 40].

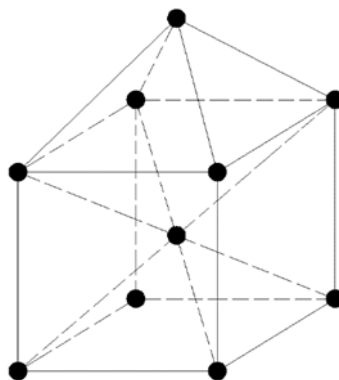


Рисунок 1.6 – ОЦК решетка  $\beta$ -титана

### 1.3. Водородостойкость титана

В работах [41 – 44] было подробно рассмотрено влияние водорода на металлы и сплавы на их основе, а также явление водородной хрупкости.

Большая концентрация водорода в сплаве титана приводит к охрупчиванию материала и снижению механических свойств. При испытаниях на разрыв водород никак не влияет на механические свойства материала.

Для более эффективного снижения эффекта водородного охрупчивания в сплавы титана вводятся дополнительные элементы. Так, например, алюминий снижает скорость образования гидридной фазы и способствует большей растворимости водорода в  $\alpha$ -фазе сплава.

В состоянии  $\beta$ -фазы титана водород может растворяться в больших концентрациях, чем  $\alpha$ -фазе. Поэтому титановые сплавы с  $\beta$ -фазой мало склонны к водородной хрупкости [18].

Содержание водорода в сплаве может существенно возрасти (например, травление). Также возможен процесс наводороживания при эксплуатации титановых изделий. Таким образом, при подборе сплава для той или иной области применения необходимо учитывать вероятность развития процессов водородного охрупчивания [18, 49].

В качестве защитных покрытий применяются различные эмали, которые обеспечивают надежную защиту сплава при высоких температурах. Обычно вакуумный отжиг является одним из наиболее рациональных способов защиты готовых конструкционных изделий от наводороживания [18, 50]. В качестве защитных покрытий применяются различные эмали, которые обеспечивают надежную защиту сплава при высоких температурах.

## 1.4. Влияние водорода на механические характеристики титановых сплавов

Проникая и растворяясь в металлах водород оказывает существенное влияние на упругие свойства и энергию образования твердых растворов.

Работы [41, 51 – 53] посвящены изучению влияния водорода на механические свойства и исследованию хрупкого разрушения титана и его сплавов. При превышении предельно допустимой концентрации водорода, превышающих предельную растворимость в сплавах это пагубно влияет на их пластические свойства (например, при содержании водорода 0,01 вес.% снижается ударная вязкость сплава) [51]. На рисунке 1.7 показано воздействие водорода на физико-механические свойства титана.

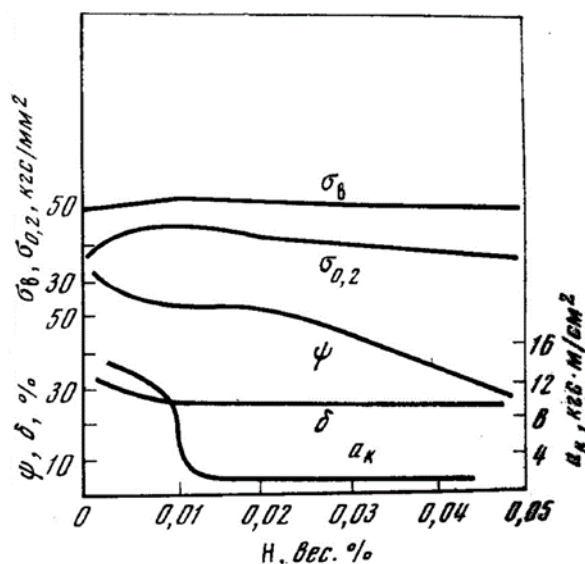


Рисунок 1.7 – Изменение механических свойств сплавов системы Ti-H в зависимости от содержания водорода [54]

С ростом содержания водорода в сплаве происходит линейное возрастание твердости. Данный гидрид титана обладает второй фазой со структурой  $\alpha + \text{TiH}_2$  в  $\alpha$ -титане. Прочность возрастает при увеличении концентрации водорода. При концентрации от 10 до 25 ат.% водорода в сплаве титана не происходит изменений в пластичности. Водород влияет только на механические свойства сплава при ударной вязкости.

Растворение водорода ( $C=0,1$  вес.%) в  $\alpha$ - и  $(\alpha+\beta)$ -сплавах с последующим нагревом до температуры испытаний приводит к добавлению  $\beta$ -фазы. При варьировании концентрации водорода от 0,05 до 0,1 вес.%  $\alpha$ -сплаве приводит к повышению вязкости, а в  $(\alpha+\beta)$ -сплаве, наоборот [56].

### 1.5. Взаимодействие титана с легирующими элементами

В работе [57] показано, что в качестве  $\alpha$ -стабилизатора в сплаве титана выступает гафний, а к  $\beta$ -стабилизаторам Ni, Ta, Cr, Mo и др. Глазунов в своих работах [49, 53, 58] показал, что все легирующие элементы в сплав титана разделяются на три группы.

- Первая группа -  $\alpha$ -стабилизаторы (Al, Ga, Id, C, N и O) повышают температуры перехода фаз (рисунок 1.8 а).

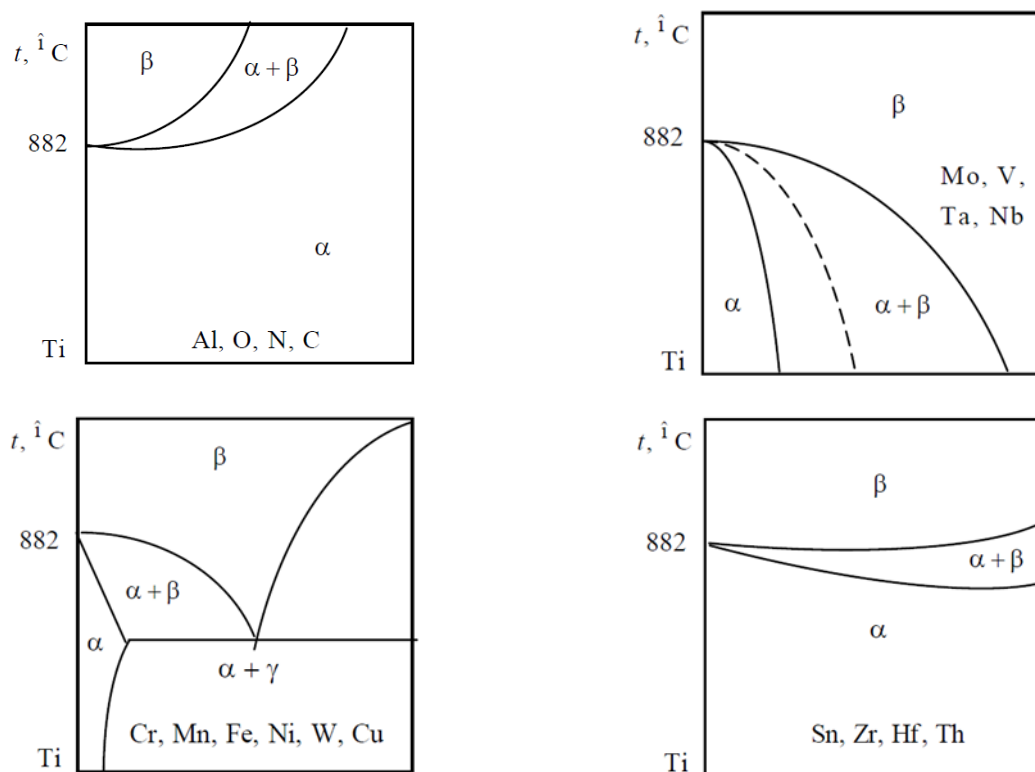


Рисунок 1.8 – Диаграмма состояния легирующих химических элементов в сплавы титана:

- Вторая группа -  $\beta$ -стабилизаторы. Данные стабилизаторы способны понизить температуру перехода фаз в сплаве. К таким стабилизаторам относятся следующие химические элементы: Cr, Fe, Cu, Co.

▪ Третья группа - маловлияющая группа на температуру перехода фаз.  
К такой группе относятся O, Zr, Th и др.

Алюмий является основным легирующим элементов при создании промышленного титанового сплава. Диаграмма состояний системы Ti-Al представлена на рисунке 1.9.

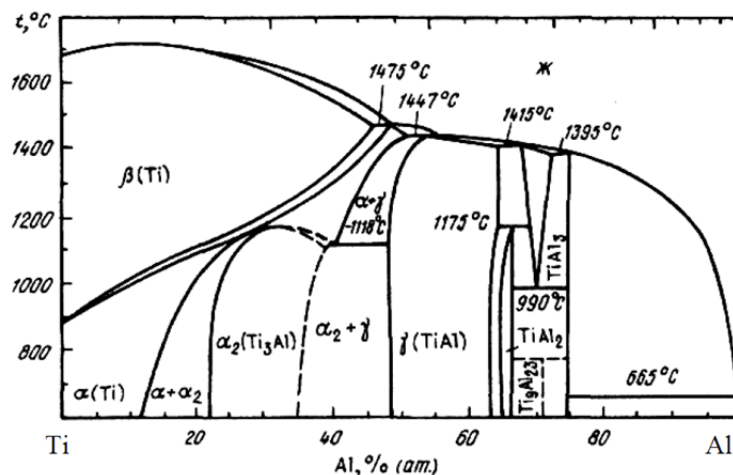


Рисунок 1.9 – Диаграмма состояния системы Ti–Al

Промышленный титановый сплав обладает ГПУ кристаллической структурой и близка к  $\alpha$ -фазе, однако изменен упорядоченное расположения атомов Ti и Al (рисунок 1.10).

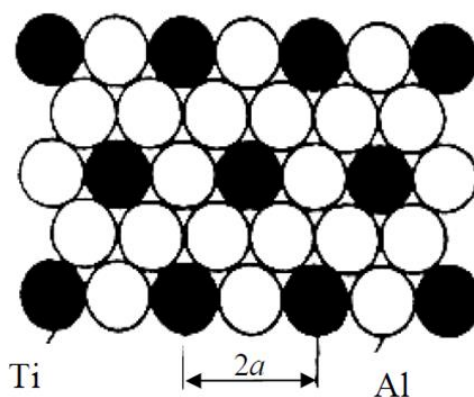


Рисунок 1.10 – Расположение атомов титана и алюминия в плоскости (0001)  $\alpha_2$ -фазы

$\gamma$ -фаза (TiAl) имеет ГЦК структуру, которая состоит из титана и алюминия. Данный сплав обогащенный титаном имеет следующее превращение:

- $(\text{ж} + \beta) \rightarrow \alpha$  (при 1475 °C);
- $(\text{ж} + \alpha) \rightarrow \gamma$  (при 1447 °C).

В работах [18, 31, 50, 59 – 62] при температуре  $\sim 1118$  °C происходит распад  $\alpha$ -фазы  $\alpha \rightarrow \alpha_2 + \gamma$ .

Примеси в сплаве титана оказывают значительное влияние на свойства материала.

В работе [63] представлены легирующие элементы, за счёт которых происходит улучшение эксплуатационных характеристик материала. Особое внимание автор уделяет двум легирующим элементам (Цирконий и Олово), которые приводят к высокотемпературной прочности сплава титана. Легирование олова в титановый сплав приводит к сопротивлению ползучести материала [58, 64].

Легирование алюминия и олова в сплав титана приводит к стабилизации и упрочнению  $\alpha$ -фазы. Легирование цирконием ведёт себя нейтрально к стабилизации  $\alpha$ -фазы, и при концентрации 5% в сплаве упрочняет материал. Обычно легирование цирконием приводит к снижению пластичности сплавов титана. При повышении температуры снижается пластичность.

Чтобы увеличить прочность сплава при высоких температурах необходимы легирования химических элементов из двух-фазных стабилизаторов.

В работе [65] показаны основные требования, которые должны обладать легированные элементы в сплаве титана:

- низкая растворимость в твёрдом состоянии;
- низкий коэффициент диффузии;
- обладать термодинамическими равновесиями.

Добавление молибдена в титановые сплавы приводит к увеличению кратковременной прочности материала при высоких температурах. Добавления ниобия используется в качестве стабилизатора поверхности и снижению окисления материала. Небольшая (0,5%) концентрация кремния в сплаве титана приводит к увеличению прочности изделий. Легирование



хрома, никеля и железа в сплав титана приводит к снижению высокотемпературной стойкости материала.

В работе [67] показаны результаты исследования легирующих элементов на пластичность титановых сплавов. На рисунке 1.11 показаны графики зависимости пластичности материала от его химического состава. Легирование алюминием в сплав титана приводит к снижению пластичности при температуре 550 – 800 °С.

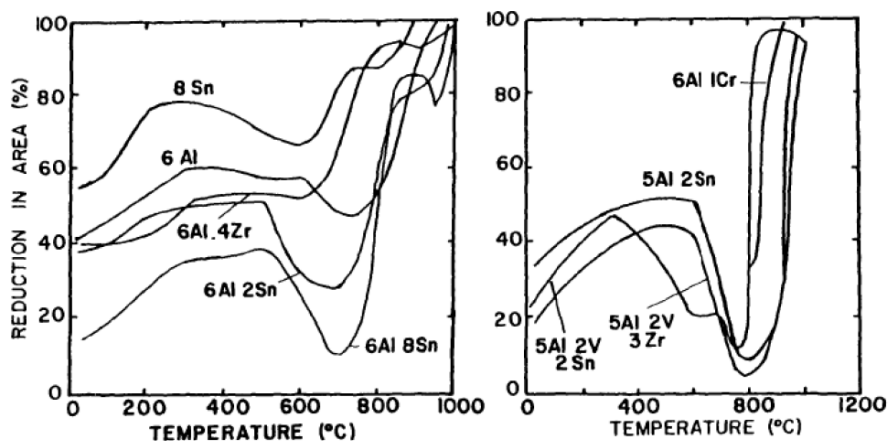


Рисунок 1.11 – Пластичность титанового сплава от легирующих элементов

На рисунке 1.12 показаны результаты влияния  $\beta$ -стабилизаторов на прочность сплава марки ВТ6.

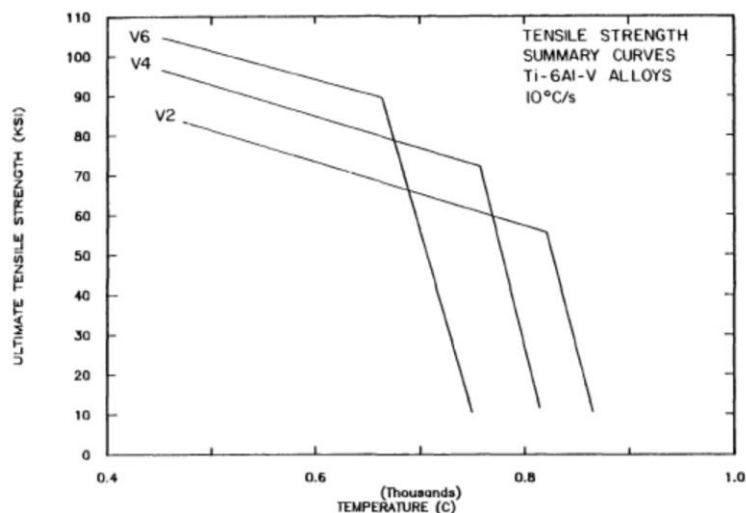


Рисунок 1.12 – Зависимость прочности от количества  $\beta$ -стабилизатора

## **1.6. Виды обработок сплавов на основе титана**

Различные способы термической обработки титановых сплавов позволяют получать материал, имеющий измененную микроструктуру и улучшенные физико-механические свойства. Так, например, для получения мелкозернистой структуры температура отжига не должна превышать начала рекристаллизации. Для упрочнения сплава применяется старение и закалка.

Для повышения однородности сплава проводят термомеханическую обработку (ТМО). Также данный вид обработки позволяет повысить прочностные характеристики на 5 - 30% в сравнении с материалом после закалки и старения.

Химико-термическая обработка (например, азотирование или оксидирование) титановых сплавов способствует повышению износостойкости и жаропрочности, а также упрочнению поверхностных слоев сплава. Наиболее развивающимся на данное время является термоводородная обработка (ТВО) сплавов, принцип работы которой основан на обратном легировании водорода в материал. ТВО способствует улучшению механических характеристик сплава [18, 19, 27, 31, 50, 68 – 75].

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Материал исследования

В качестве материала использовался титановый сплав марки ВТ6 (Ti-6Al-4V) круглой формы, диаметром 10 мм и высотой 4 мм. Элементный состав сплава приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Элементный состав титановых сплавов марок ВТ6[18, 19, 31]

Ма рка	Ti	Al	V	Mo	Sn	Zr	Mn	Cr	Si	Fe	O	H	N	C
ВТ 6	То же	5,3- 6,8	3,5- 5,3	–	–	0,30	–	–	0,10	0,60	0,20	0,01 5	0,05	0,1

Все поверхностные дефекты (вмятины, грубые царапины и т.д.) были удалены в результате механической обработки поверхности при помощи наждачной бумаги с маркировками по ISO-6344 600, 1500, 2000 и 2500 и полировки с использованием алмазной пасты. В течение 10-ти часов производился высокотемпературный вакуумный отжиг (850°C) для удаления дефектов и микронапряжений внутри материала. Для получения различной степени деформации в исследуемых образцах производилась механическая прокатка с использованием механического стана. Для выявления структуры материала производилось травление в растворе кислот: 15 мл HF, 85 мл H<sub>2</sub>O [77]. Поверхность является одной из основополагающих деталей при исследовании материала и проведении металлографического анализа. Шероховатость поверхности исследуемых образцов проводилась на приборе Hommel Tester T1000 и составила Ra=0,03 мкм. С помощью оптического инвертированного микроскопа AxioVert 40 MAT было проведено исследование поверхности. Рентгеноструктурный анализ проводился с использованием дифрактометра Shimadzu XRD-7000S. Анализ электрон-позитронной аннигиляции (ЭПА) проводился на спектрометре, разработанном на базе Томского политехнического университета. Исследование механических характеристик исследуемого материала

проводилось с использованием твердомера Виккерса KB 30S фирмы Pruftechnik GmbH. С помощью автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller проводилась наводороживание образцов методом газофазного гидрирования при температуре 350 °С и давлении 0,6 атм. Концентрация водорода в материале измерялась при помощи газоанализатора RHEN 602 фирмы LECO.

## **2.2. Получение образцов с различной степенью деформации с использованием механического стана**

При помощи прокатного стана были получены образцы с различной степенью деформации. Для получения различной степени деформации у исследуемых образцов контролировалась толщина с помощью микрометра (формула 2.1).

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h} * 100\% \quad (2.1)$$

где  $h_0$  – начальная толщина образца, мкм;  $h$  – толщина после прокатки, мкм.

## **2.3. Оптическая микроскопия для исследования микроструктуры**

Для проведения металлографических исследований использовался оптический инвертированный микроскоп AxioVert 40 MAT. Этот прибор с качественной широкопольной оптикой позволяет применять все доступные методы контрастирования и оснащается на заказ осветителями различного типа и мощности.



Рисунок 2.1 – Внешний вид инвертированного микроскопа CarlZeiss AxioVert 40 MAT

#### 2.4. Исследование распределения микротвердости титанового сплава ВТ6 с использованием твердомера Виккерса KB 30S фирмы Pruftechnik GmbH

Схема твердомер Виккерса KB 30S Pruftechnik GmbH представлена на рисунке 2.2.

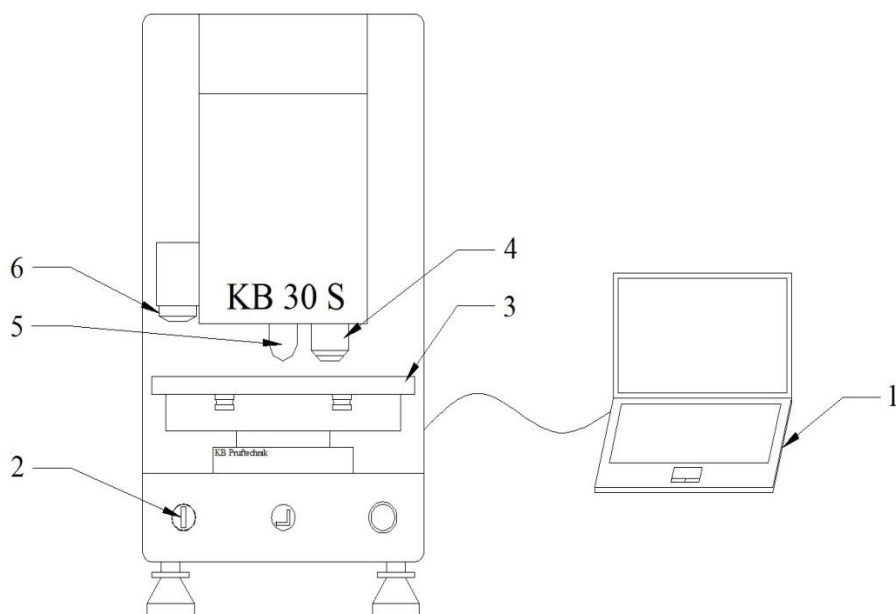


Рисунок 2.2 – Схема твердомера Виккерса KB 30S Pruftechnik GmbH: 1 – компьютер со специальным программным обеспечением; 2 – кнопка включения питания; 3 – столик; 4 – 20X объектив; 5 – индентор (алмазная пирамидка); 6 – обзорная камера.

Исследуемый образец закрепляется на специальном столике, после чего столик поднимается на определенную высоту для измерения

микротвердости. После фокусировки камерой, которая находится в головной части прибора, выставляется нагрузка, при которой будут произведены измерения. После индентации прибор в автоматическом режиме рассчитывает длину диагоналей отпечатков на поверхности исследуемого образца и выдают данные на монитор компьютера.

## 2.5. Насыщение исследуемого материала из газовой среды с помощью автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller LPB фирмы Advanced Material Corporation

Насыщение исследуемого материала производилось на установке Gas Reaction Controller LPB фирмы Advanced Material Corporation. Схема автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller, с помощью которого производилось насыщение, представлена на рисунке 2.3.

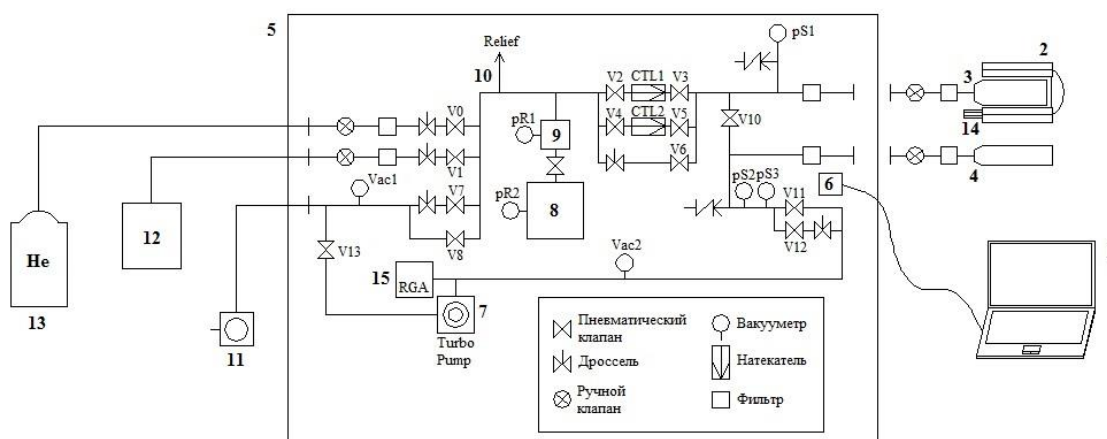


Рисунок 2.3 – Схема автоматизированного комплекса GasReactionController: 1 – компьютер; 2 – высокотемпературная печь; 3 – камера низкого давления; 4 – камера высокого давления; 5 – контроллер; 6 – электронная система управления комплексом; 7 – турбомолекулярный насос; 8 – резервуар низкого давления; 9 – резервуар высокого давления; 10 – система удаления водорода; 11 – вакуумный пост; 12 – генератор водорода; 13 – баллон с гелием; 14 – система охлаждения; 15 – масс-спектрометр.

Исследуемый образец помещается в камеру, которая закрепляется к установке автоматизированного комплекса. Турбомолекулярным насосом откачивается воздух из камеры, в которой находится образец. Затем

происходит нагрев камеры до заданной температуры. На рисунке 2.4 показана схематическое изображение работы GRC.

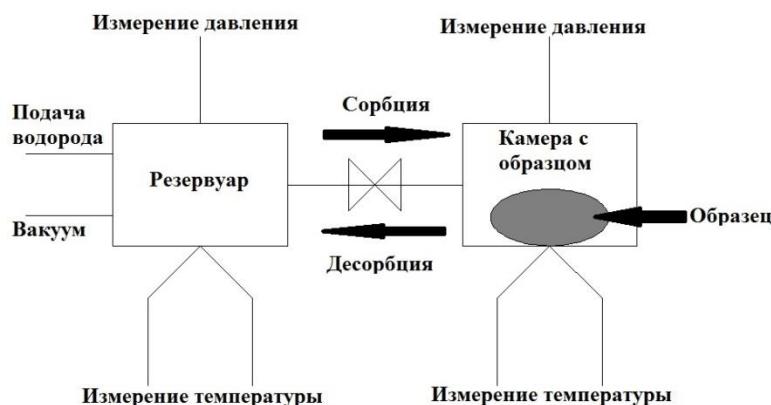


Рисунок 2.4 – Принцип работы автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller

В камеру напускается определенная концентрация водорода, затем по давлению и температуре определяется молярный объем ( $N_0$ ) этого газа. Далее открывается клапан, который установлен между резервуаром и камерой с образцом. Процесс считается завершенным после внедрения водорода в материал всего молярного объема водорода. Затем необходимо вычислить общее молярное количество водорода ( $N_g$ ) во всей системе с образцом.

По формуле (2.2) определяется молярный объем поглощенного твердым телом водорода ( $N_s$ ).

$$N_s = N_0 - N_g \quad (2.2)$$

Если в материале имеется известное количество водорода ( $N_{s0}$ ), то его перед началом эксперимента необходимо внести в программу. В связи с этим при расчете молярного объема водорода необходимо учитывать данное значение. Поэтому формула для расчета примет другой вид (формула 2.3).

$$N_s = N_{s0} + N_0 - N_g \quad (2.3)$$

По закону идеального газа производится расчет молярного объема водорода и в данном случае точность системы зависит от измерения температуры и давления. При поддержании постоянной температуры основным фактором и необходимым условием является измерение давления. При проведении экспериментов по изучению сорбции водорода на GRC при

нормальных условиях точность измеряемого количества водорода равна 0,3 см<sup>3</sup>.

До, в процессе и после насыщения образцов водородом количество внедренного в него водорода в реакционной камере определяется по давлению водорода, его температуре и занимаемому объему. Уравнение для расчета одного моля газа представлено в формуле (2.4).

$$\frac{pV}{RT} = 1 + \frac{B(T)}{V} + \frac{C(T)}{V^2} + \frac{D(T)}{V^3} \quad (2.4)$$

где  $B(T)$ ,  $C(T)$  и  $D(T)$  – второй, третий и четвертый коэффициенты, зависящие от температуры. Расчет коэффициентов представлен в формуле (2.5)

$$\begin{aligned} B(T) &= B_0 - \frac{A_0}{RT} - \frac{c}{T^3}; \\ C(T) &= -B_0b + \frac{A_0a}{RT} - \frac{B_0c}{T^3}; \\ D(T) &= \frac{B_0bc}{T^3}; \end{aligned} \quad (2.5)$$

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

Используя уравнения (2.4) и (2.5), при известном объеме, давлении и температуре количество молекул газа рассчитывается по формуле (2.6).

$$n = \frac{\left(\frac{pV}{RT}\right)}{1 + B(T)\frac{n}{V} + C(T)\frac{n^2}{V^2} + D(T)\frac{n^3}{V^3}} \quad (2.6)$$

Относительное значение количества, поглощенного в массовых процентах ( $wt$ ) определяется по формуле (2.7).

$$wt = \frac{N_S \cdot M_G}{m \cdot 100} \quad (2.7)$$

где  $m$  – масса водорода и  $M_G$  – молярная масса газа (2·1,0079 для водорода).

Дополнительным способом измерения концентрации является гравиметрический способ. Принцип действия данного метода основан на определении массы искомой компоненты анализируемого материала путем взвешивания конечного вещества известного состава, в который переведен



определяемый компонент [78]. Концентрация водорода в исследуемом материале по гравиметрическому методу определяется по формуле 2.8.

$$wt = \frac{m_H}{m_{\text{обр}+H}} \cdot 100\% \quad (2.8)$$

где  $m_H$  – масса водорода,  $m_{\text{обр}+H}$  – масса образца с водородом.

## 2.6. Проведение рентгеноструктурного анализа с использованием дифрактометра Shimadzu XRD-7000S

На рисунке 2.5 представлен дифрактометр Shimadzu XRD-7000S, с помощью которого производился рентгеноструктурный анализ исследуемого материала.



Рисунок 2.5 – Дифрактометр Shimadzu XRD-7000S [79]

Метод рентгеновской дифрактометрии широко используется для определения кристаллической структуры материала, фазового состава, а также возможных содержащихся в материале примесных элементов [79].

Явление дифракции лежит в основе рентгеноструктурного анализа. Под дифракцией понимается явление рассеяния волн на периодической решетке рассеивателя при определенных углах падения и длинах волн. Аналогичное явление рассеяния наблюдается при рассеянии рентгеновского излучения, используемого в рентгенофазовом анализе, в котором в качестве

рассеивателя выступает кристаллическая решетка фазы (рисунок 2.6). При этом интенсивные пики рассеяния наблюдаются тогда, как выполняется условия Вульфа – Брэгга (формула 2.8):

$$2d\sin 2\theta = n\lambda, \quad (2.8)$$

где  $d$  – расстояние между соседними кристаллографическими плоскостями,  $\theta$  – угол, под которым наблюдается дифракция,  $n$  – порядок дифракции,  $\lambda$  – длина волны монохроматических рентгеновских лучей, падающих на кристалл.

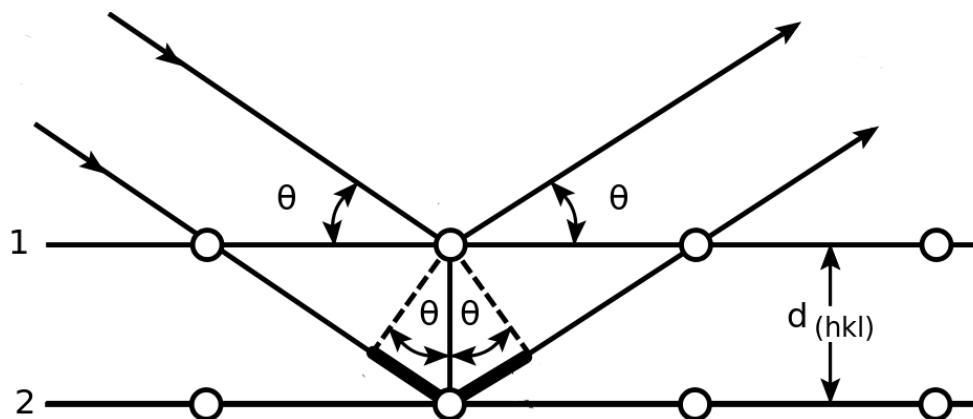


Рисунок 2.6 – Схема падения и отражения рентгеновского луча

## 2.7. Проведение анализа электрон-позитронной аннигиляции для исследования дефектной структуры титанового сплава ВТ6 с использованием цифрового спектрометрического комплекса

На рисунке 2.7 представлена схема спектрометрического комплекса, разработанного на базе ТПУ [80].

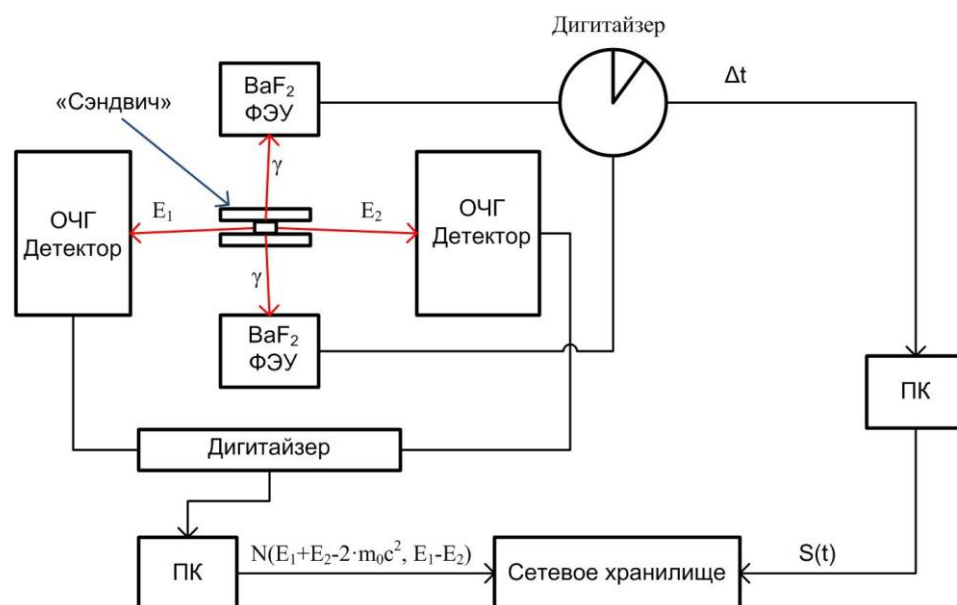


Рисунок 2.7 – Схема спектрометрического комплекса для исследования и контроля дефектов в металлах и их сплавах методом ЭПА [80]

Спектрометрический комплекс для исследования и контроля дефектов состоит из двух модулей:

- анализ временного распределения аннигиляции позитронов;
- доплеровское уширение аннигиляционной линии.

Данные модули используются в совокупности с современными высокоскоростными многоканальными системами сбора и преобразования.

В качестве источника позитронов используется радиоактивный изотоп  $^{44}\text{Ti}(\beta^+, \gamma)$ , который располагается между двумя образцами материала, образуя, так называемую, «сэндвич-геометрию». Данный источник хорошо подходит для исследований представленными методами, так как происходит почти одновременное испускание позитрона и ядерного  $\gamma$ -кванта с энергией 1,157 МэВ.

Сигналы, поступающие с детекторов, оцифровываются с помощью высокоскоростных дигитайзеров и записываются в память ПК. При наборе спектров с необходимой статистикой ( $\sim 10^6$  для каждого модуля) аккумулируется большой объем данных. Для хранения и обработки указанного объема экспериментальных данных используется специальное сетевое хранилище.

Управление спектрометрическим комплексом осуществляется с помощью программного обеспечения [80].

## **2.8. Определение содержания водорода с помощью анализатора водорода RHEN602 фирмы LECO**

Наиболее распространенным методом определения концентрации водорода в исследуемом материале является метод экстракции в среде инертного газа. На данном методе основана работа анализатора водорода RHEN602 фирмы LECO (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Анализатор водорода RHEN602 [81]

Принцип измерения содержания водорода основан на регистрации изменения теплопроводности в измерительной части термокондуктометрической (ТК) ячейки. На рисунке 2.9 приведена блок-схема анализатора RHEN602 фирмы LECO. Принцип работы термокондуктометрической (ТК) ячейки основан на измерении теплопроводности проходящего газа. В полость металлического блока детектора по теплопроводности помещена нить накаливания из металла (например, Pt, W, их сплавы, Ni и др.) с высоким температурным коэффициентом сопротивления. Нить начинает нагреваться при прохождении через неё постоянного тока. При омывании нити накала чистым газом-носителем, её температура остается постоянной, так как она

теряет постоянное количество теплоты. Как только нить накала начинает омывать газ, содержащий примеси, имеющие другие показатели теплопроводности, температура нити начинает изменяться. Это приводит к тому, что происходит изменение сопротивления нити. Изменение сопротивления нити измеряют с помощью мостика Уинстона. Мост находится в равновесии, если температура обеих нитей одинакова и сопротивление, соответственно. При изменении состава газа изменяется сопротивление нитей и происходит нарушение равновесия и формируется выходной сигнал. Работа детектора устроена так, что он реагирует на все компоненты, кроме газа-носителя [82].

Работа анализатора начинается с установления пустого графитового тигля на нижний электрод и нажатии кнопки загрузчика. После закрытия электродов начинается процесс очистки тигля от атмосферных газов, который именуется как дигазация. Данный процесс сопровождается протеканием электрического тока через тигель, который разогревает его до высокой температуры, что способствует высвобождению газов, находящихся в графите. Затем образец из верхнего загрузочного устройства опускается в тигель. На тигель подается ток, который способствует высвобождению газов из образца. Для того, чтобы не происходило дальнейшего процесса дегазирования тигля во время анализа. Подается меньшая сила тока.

Для очистки от кислорода газ-носитель из баллона проходит через медь. Затем он проходит через такие реагенты как Lecosorb и Ангидрон, для удаления CO<sub>2</sub> и влаги, соответственно. Данная процедура очистки газа-носителя проводится для того, чтобы очистить его перед прохождением через опорную часть термокондуктометрической ячейки и попаданием в печь [81].

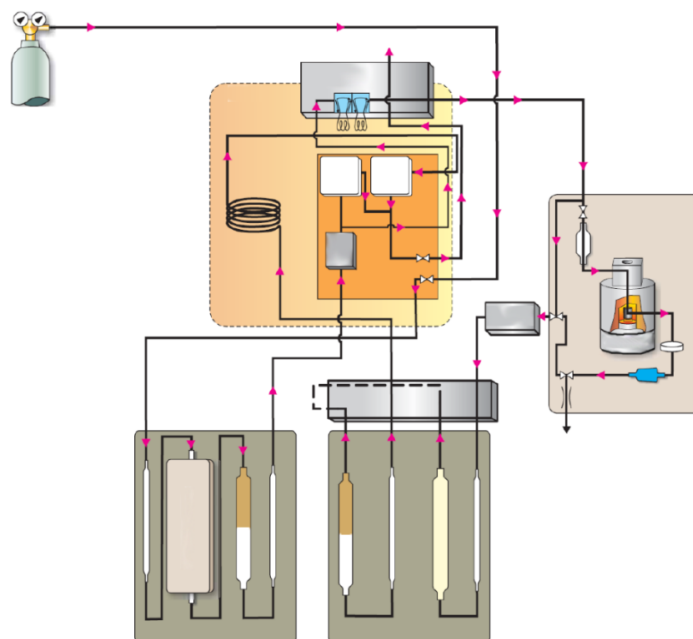


Рисунок 2.9 – Блок-схема анализатора RHEN602 [81]

По мере нагревания образца, водород выделяется в транспортирующий газовый поток и проходит через участок измерения потока системы. Газ образца из печи проходит через контроллер потока массы и через реагент Schutze, который преобразовывает CO в CO<sub>2</sub>. Потом газ образца проходит через реагенты Lecorb и Ангидрон, которые удаляют CO<sub>2</sub> и влагу. На колонку молекулярного фильтра поступает очищенный от примесей газ, где в зависимости от размера молекул разделяется на компоненты газа. Через измерительную часть ТК ячейки проходит только водород, который содержится в образце.

Сигнал, получаемый с измерительной части ТК ячейки, оцифровывается с помощью аналогово-цифрового преобразователя и далее передается на ПК для последующей обработки с помощью программного обеспечения [81].

Концентрация водорода, которая определяется по данному методу, рассчитывается по формуле 2.9.

$$wt = kx + b \quad (2.9)$$

где  $k$  – калибровочная константа. Данная формула описывает калибровочную прямую, которая получается после проведения серии контрольной калибровки анализатора по определенной концентрации.

## **ГЛАВА 6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Тема магистерской диссертации: Закономерности микроструктурных изменений в титановом сплаве ВТ6 при деформации и наводороживании.

Целью данного исследования является установление закономерностей микроструктурных изменений в титановом сплаве ВТ6 при деформации и наводороживании.

### **6.1. Потенциальные потребители исследования**

Для анализа, заинтересованной в результатах исследования, аудитории необходимо провести сегментирование рынка и тщательно проанализировать его целевой сегмент.

Целевой рынок – части (сегменты) рынка, на котором планируется продвигаться, в будущем, товар. В нашем случае - разработка. Сегмент рынка, в свою очередь, – это группы потенциально заинтересованных, в результатах исследования, лиц или организаций, обладающих набором общих признаков.

К потенциальным потребителям результатов исследования можно отнести как потребителей российского, так и международного рынков. На российском рынке потенциальным потребителем изготавливаемой продукции могут выступать университеты, научные центры и производства (например, ВСМПО-АВИСМА, ВНИИНМ им. Бочвара). Международный рынок в качестве потенциального потребителя может представить компанию LECO, Horiba. Также это могут быть международные лаборатории, занимающиеся вопросами водородной энергетики и позитронной спектроскопии.

## **6.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

С целью успешного вывода разработки на рынок, необходимо постоянно и систематически проводить анализ аналогичных товаров конкурирующих групп, т.к. новые разработки постоянно появляются и изменяются с течением времени.

Анализ группы конкурирующих товаров необходимо проводить с целью внесения, в научное исследование, важных корректировок и исправлений, целью которых является постоянное повышение конкурентоспособности товара (разработки) на рынке.

Рассматривая вышеописанный анализ с точки зрения ресурсосбережения и ресурсоэффективности, мы получаем группу показателей сравнительной эффективности научной разработки и определяем пути и возможности ее развития и востребованности в обозримом будущем.

В данной работе проводилось насыщение водородом исследуемого материала из газовой среды по методу Сиверста. После чего производилось измерение концентрации водорода методом экстракции в среде инертного газа. По мимо использованной в данном исследовании методики можно измерять концентрацию водорода гравиметрическим и волюмометрическим методами. Оценочная карта технических решений приведена в таблице 6.1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле 6.1:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i \quad (6.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $\text{Б}_i$  – балл  $i$ -го показателя.

В данном исследовании:

$\text{Б}_{k1}$  – балл, соответствующий измерению концентрации водорода гравиметрическим методом;



$B_{k2}$  – балл, соответствующий измерению концентрации водорода волюмометрическим методом;

$K_{k1}$  – конкурентоспособность гравиметрического метода измерения концентрации водорода;

$K_{k2}$  – конкурентоспособность волюмометрического метода измерения концентрации.

Таблица 6.1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентность		
		$B_{\phi}$	$B_{k1}$	$B_{k2}$	$K_{\phi}$	$K_{k1}$	$K_{k2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Быстрота обработки полученных результатов	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
2. Измерение концентрации водорода с наиболее высокой точностью	0,4	5	4	3	2,0	1,6	1,2
3. Достоверность получаемых результатов	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
4. Простота эксплуатации используемой методики	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
5. Возможность подключения к ЭВМ	0,02	5	4	4	0,1	0,08	0,08
6. Качество интеллектуального интерфейса	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
7. Надежность	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
8. Безопасность	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>38</b>	<b>33</b>	<b>30</b>	<b>4,7</b>	<b>4,1</b>	<b>3,55</b>

По итогам анализа, представленным в карте сравнения оценок конкурентных разработок (технических решений), можно сделать вывод, что измерение концентрации водорода методом экстракции в среде инертного газа опережает своих конкурентов по многим показателям, кроме критериев надежности и безопасности. Имея в своём арсенале целый ряд преимуществ перед конкурирующими разработками (техническими решениями), представленная методика экстракции в среде инертного газа обладает более высокими показателями уровня качества и способности конкурировать с другими разработками при стандартном наборе определяющих параметров.

### 6.3. SWOT-анализ

С целью исследования внешней и внутренней сред разработки применяется комплексный SWOT–анализ научно-исследовательской разработки. Специфика такого анализа характеризуется следующими этапами.

В первую очередь определяются сильные и слабые стороны реализованного, в магистерской диссертации, проекта. На следующем этапе выявляют возможности проекта, которые включают в себя все предпочтительные ситуации, возникающие в окружающей среде проекта. Последним этапом является выявление угроз для проекта, которые включают в себя все неблагоприятные для проекта ситуации, тенденции или изменения в окружающей среде проекта. В конечном счете, производится анализ интерактивной таблицы в виде записи наиболее коррелирующих слабых и сильных сторон и возможностей.

Итогом данного анализа является матрица SWOT, в которой приведены все составляющие данного проекта (таблица 6.2).

Таблица 6.2. SWOT-анализ

	<b>Сильные стороны научно-исследовательской разработки:</b> С1. Возможность насыщения исследуемого материала до различных концентраций с относительно небольшой погрешностью С3. Наличие необходимого оборудования для проведения эксперимента С4. Легкий интерфейс управления. С5. Безопасность проведения исследований. С6. Получение образцов с равномерным распределением водорода по объему материала. С7. Достоверная оценка содержания водорода. С8. Решение фундаментальных задач исследования.	<b>Слабые стороны научно-исследовательской разработки:</b> Сл1. Длительность проведения анализа Сл2. Предварительная подготовка экспериментальных образцов перед анализом Сл3. Дорогостоящее обслуживание Сл4. Длительный срок поставок материалов для проведения научного исследования.
<b>Возможности:</b> В1. Потенциальное использование в других отраслях	Возможность насыщения образцов до различных концентраций способствует	Неоднородное распределение водорода в объеме материала способствует повышению спроса на конкурентные

В2. Исследование взаимодействия водорода с металлом.	появлению дополнительного спроса на проведение подобного исследования	методики
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Несвоевременное финансирование научного исследования при дальнейшем развитии проекта.</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства.</p> <p>У3. Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции.</p>	<p>Проведение аттестации разработанной методики.</p> <p>Получение патента на полезную модель.</p> <p>Внедрение разработанной методики в научно-исследовательские лаборатории</p>	<p>Привлечение дополнительных инвестиций для развития проекта, путем участия в грантах</p>

Опираясь на SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества используемых методов преобладают над его недостатками по сравнению с другими методами.

#### 6.4. Инициирование проекта

Группа процессов инициирования состоит из действий, совершаемых для создания новой научно-технической разработки, или перехода в новую фазу уже существующей. В рамках процесса инициирования формулируются начальные цели и содержание предстоящего проекта. Так же определяются первоначальные финансовые ресурсы. Определяются, заинтересованные в проекте стороны, внешние и внутренние, которые будут влиять на итоговый результат научной разработки. В Уставе проекта записывается вся эта информация.

Устав проекта документально закрепляет потребности нового проекта, текущую формулировку потребностей заказчика научно-технической разработки, а также результат (новую услугу или продукт), который в итоге планируется создать.

Результаты данного исследования могут быть интересны не только выпускающему отделению, но и предприятиям, на базе которых имеются исследовательский лаборатории и институтам, занимающимся исследованиями взаимодействия водорода с металлами. В таблице 6.3

представлен список заинтересованных сторон проекта и их ожидания от результата.

Таблица 6.3. Стороны, заинтересованные в проекте

Стороны, заинтересованные в проекте	Ожидания заинтересованных сторон
Отделение ЭФ ИЯТШ ТПУ	Установление закономерностей микроструктурных изменений в титановом сплаве ВТ6 при деформации и наводороживании
Исследовательские лаборатории и институты	Предложение по внедрению разработанной методики в работу лаборатории

Целью проекта является результат работы, полученный при выполнении ряда задач. В таблице 6.4 приведена информация о целях поставленного проекта и ожидаемых результатах.

Таблица 6.4. Цели и результат проекта

Цели проекта:	Установление закономерностей микроструктурных изменений в титановом сплаве ВТ6 при деформации и наводороживании
Ожидаемые результаты проекта:	Отображены основные закономерности микроструктурных изменений в титановом сплаве ВТ6
Критерии приемки результатов проекта:	Критерии:
	1. Оценка дефектной структуры с использованием различных анализов
	2. Карта основных характеристик
Требования к результату проекта:	Требования:
	1. Минимальная погрешность при расчетах
	2. Аттестация полученных критериев

Следующий вопрос, подлежащий рассмотрению, установление лиц, которые входят в группу данного проекта и определить роль каждого, выполняемые им функции и трудозатраты. В таблице 6.5 приведена информация о рабочей группе проекта.

Таблица 6.5. Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Бабихина Мария Николаевна, отделение Экспериментальной физики ИЯТШ НИ ТПУ, магистрант	Исполнитель проекта	Выполнение всех поставленных задач. Реализация поставленных целей. Подготовка конечного продукта в виде отчета по НИР	690
2	Кудияров Виктор Николаевич, отделение Экспериментальной физики ИЯТШ НИ ТПУ, старший преподаватель	Руководитель проекта	Постановка цели и задач для выполнения проекта.	33
<b>ИТОГО:</b>				723

В результате анализа была определена рабочая группа проекта и определены трудозатраты каждого из участников группы. Также были

описаны цели и результаты, предъявляемые к проекту и круг заинтересованных сторон.

Далее были определены ограничения и допущения по данному проекту, которые представлены в таблице 6.6.

Таблица 6.6. Ограничения и допущения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
1. Бюджет проекта	347 429,27
2. Источник финансирования	НИ ТПУ
3. Сроки проекта:	09.01.2019 – 31.05.2019
4. Дата утверждения плана управления проектом	09.01.2019
5. Дата завершения проекта	31.05.2019

### 6.5. Оценка готовности проекта к коммерциализации

На любой стадии цикла жизни научной разработки необходимо проводить оценку степени готовности данной разработки к коммерциализации. Результаты данных исследований приведены в таблице 6.7.

Таблица 6.7. Таблица оценки степени готовности научно-исследовательской разработки к коммерциализации.

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	2	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	2	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	2	3
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	1	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	3
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	4
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	4
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	3
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	3
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	4
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	5
13.	Проработаны вопросы финансирования	2	5

	коммерциализации научной разработки		
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	5
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	2	5
<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>		28	58

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле 6.2:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (6.2)$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;  $B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

По результатам анализа можно сделать вывод, что перспективность данного исследования находится ниже среднего уровня, так как данное исследование имеет фундаментальный характер исследования.

## 6.6. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

В качестве метода коммерциализации научной разработке был выбран инжиниринг, так как данный проект направлен на установление закономерностей микроструктурных изменений в титановом сплаве ВТ6 при деформации и наводороживании.

### 6.6. План проекта

Таблица 6.8. Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Выбор направления исследования	1	09.01.2019	09.01.2019	Кудияров В.Н.
2	Разработка технического задания	2	10.01.2019	11.01.2019	Кудияров В.Н.
3	Составление плана по исследованию	1	12.01.2019	12.01.2019	Кудияров В.Н.
4	Теоретический обзор литературы по тематике исследования	6	14.01.2019	19.01.2019	Бабихина М.Н.
5	Экспериментальное исследование титанового	44	21.01.2019	14.03.2019	Бабихина М.Н.

	сплава ВТ6 до наводороживания				
6	Экспериментальное исследование по наводороживанию титанового сплава ВТ6	7	15.03.2019	22.03.2019	Бабихина М.Н.
7	Экспериментальное исследование титанового сплава ВТ6 после наводороживания	44	23.03.2019	16.05.2019	Бабихина М.Н.
8	Обобщение и оценка полученных результатов	7	17.05.2019	24.05.2019	Кудияров В.Н. Бабихина М.Н.
9	Подготовка отчета по проведенному исследованию	7	25.05.2019	01.06.2019	Бабихина М.Н.

Перевод длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, осуществляется при помощи следующей формулы 6.3:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (6.3)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;  $T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;  $k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле 6.4:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (6.4)$$

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22$$

На основании представленного плана проекта был разработан план-график проведения НИОКР по магистерской диссертации (таблица 6.9).





Таблица 6.10. Исполнители календарного план-графика

Научный руководитель	
Магистрант	

### **6.7. Бюджет научного исследования**

Расчет материальных затрат включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий.

Таблица 6.11. Группировка расходов по статьям

Статьи							
Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальн ых) работ, руб.	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Отчисления на социальные нужды, руб.	Прочие прямые расходы, руб.	Накладные расходы, руб.	Итого плановая себестоимость, руб.
1 817	120 392	139 514,6	20 927,2	43 479,7	12 229,3	48 132,47	347 429,27

### **6.6.1. Сырье, материалы, покупные изделия (за вычетом отходов)**

В статью расходов входят затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. В таблице 6.12 приведены данные расходов по статье.

Таблица 6.12. Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Лист титанового сплава ВТ6	мм <sup>3</sup>	2 520	1 850	256
Халат	шт.	1	500	500
Резиновые перчатки	шт.	4	21	84
Наждачная бумага	шт.	16	60	960
Плавиковая кислота	мл	20	250	5
Азотная кислота	мл	20	250	5
Спирт	мл	100	67	7
Итого				1 817

### **6.6.2. Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ**

Для выполнения магистерской диссертации использовался анализатор водорода RHEN602 фирмы LECO, работа которого основана на методе экстракции водорода в среде инертного газа, необходимый для проведения работ по научной теме. В качестве расходного материала для данного анализатора используется графитовый тигель, являющийся обязательным материалом для проведения анализа.

Все расчеты по стоимости расходного материала для анализатора представлены в таблице 6.13.

Таблица 6.13. Материальные затраты

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Графитовый тигель обычный	30	1 200	36 000
Итого				36 000

Средства на приобретение анализатора не затрачивались, так как анализатор уже был приобретен университетом. Необходимо рассчитать амортизационные отчисления на данный вид оборудования.

Срок полезного использования анализатора составляет 10 лет, поэтому норма амортизации равна (формула 6.5):

$$H_a = \frac{1}{n} * 100 = \frac{1}{10} * 100 = 10\% \quad (6.5)$$

где  $H_a$  – норма амортизации в процентах,  $n$  – срок полезного использования в годах.

Первоначальная стоимость оборудования составляет 7 000 000 рублей. Из этого следует, что годовая сумма амортизации составит (формула 6.6):

$$A_{\Gamma} = \frac{F_{\Pi} * H_a}{100} = \frac{7\,000\,000 * 10}{100} = 700\,000 (\text{руб.}) \quad (6.6)$$

где  $F_{\Pi}$  – первоначальная стоимость.

В таком случае сумма ежедневных амортизационных расходов составит (формула 6.7):

$$A_M = \frac{A_{\Gamma}}{365} = \frac{700\,000}{365} = 1\,918 (\text{руб.}) \quad (6.7)$$

Срок работы над проектом с использованием данного газоанализатора составляет 44 дня. За время работы сумма амортизации составляет (формула 6.8):

$$A = A_M * 44 = 84\,392 (\text{руб.}) \quad (6.8)$$

Потребляемая мощность анализатора составляет 8,8 кВт/час. Длительность ежедневной работы на анализаторе составляет 5 часов. Стоимость электроэнергии в Томске составляет 5,8 рубля за 1 кВт/час. Следовательно, стоимость электропотребления анализатора за 44 дня составляет (формула 6.9):

$$8,8 * 5 * 5,8 * 44 = 11\,228,8 (\text{руб.}) \quad (6.9)$$

При расчете затрат на электроэнергию при работе за ПК были приняты следующие допущения: с учетом календарного план-графика

проекта, было принято, что на работу было затрачено 115 дней. Средняя мощность компьютера составляет около 0,3 кВт/час. Длительность работы с компьютером средней мощности – 5 часов/день. Следовательно, потребление электроэнергии компьютером в течение работы составляет:

$$0,3 * 5 * 5,8 * 115 = 1\ 000,5 \text{ руб.} \quad (6.10)$$

### 6.6.3. Основная заработная плата

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{ЗП} = З_{осн} + З_{доп} \quad (6.11)$$

$З_{осн}$  – основная заработная плата;  $З_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $З_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по формуле 6.12:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_{раб} \quad (6.12)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;  $T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 6.13:

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \cdot M}{F_g} \quad (6.13)$$

где  $З_{м}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – 10,4 месяца, 6-дневная неделя;  $F_g$  – действительный годовой фонд.

Для расчета основной заработной платы необходимо сформировать баланс рабочего времени, приведенного в таблице 6.14.

Таблица 6.14. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52	52
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48	48
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника (формула 6.14):

$$Z_M = Z_6 \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (6.14)$$

где  $Z_6$  – базовый оклад, руб.;  $k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3;  $k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет 0,3;  $k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

В таблице 6.15 представлен расчет заработной платы.

Таблица 6.15. Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_6$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_M$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	29 568	0,3	0,3	1,3	61 501	2 548,2	5,5	14 015,1
Инженер	12 663	0,3	0,3	1,3	26 339	1 091,3	115	125 499,5
<b>Итого:</b>								<b>139 514,6</b>

#### 6.6.4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении работы (формула 6.15):

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (6.15)$$

где  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата, руб.;  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной зарплаты, который 15 %;  $Z_{осн}$  – основная заработная плата, руб.

В таблице 6.16 приведены результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 6.16. Таблица основной и дополнительной заработной платы.

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	14 015,1	125 499,5
Дополнительная зарплата	2 102,3	18 824,9
Зарплата исполнителя	16 117,3	144 324,4
<b>Итого</b>	<b>160 441,7</b>	

### 6.6.5. Отчисления на социальные нужды

Отчисления во внебюджетные фонды является обязательным фактором, согласно законодательству Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Для расчета отчислений во внебюджетные фонды воспользуемся формулой 6.16:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (6.16)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, равный 27,1%.

Таблица 6.17. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Заработная плата, руб.
Научный руководитель	16 117,3
Инженер	144 324,4
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%
Итого	
Научный руководитель	4 367,8
Инженер	39 111,9

### 6.6.6. Накладные расходы

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле 6.17:

$$C_{\text{внеб}} = K_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (6.17)$$

где  $K_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов, который равен 30 %.

Таблица 6.18. Таблица накладных расходов

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Зарплата	16 117,3	144 324,4
Накладные расходы	4 835,19	43 297,28

### 6.7. Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. В таблице 6.19 сведены возможные риски проекта.

Таблица 6.19. Реестр рисков проектов

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Невыполнение исследований в срок	Наказание за невыполнения контрактных обязательств	2	1	Низкий	Привлечение дополнительных рабочих сил	Систематические остановки экспериментальных исследований
2	Отсутствие необходимого оборудования и образцов	Невозможность проведения необходимых исследований для проекта	3	4	Высокий	Более тщательное планирование проекта	Недостаток финансирования
3	Недостоверность полученных результатов	Низкая точность выводов из эксперимента	2	4	Средний	Тщательное проведение экспериментальных работ	Неправильное использование используемого оборудования

### 6.8. Определение сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный



показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета, с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле 6.18.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (6.18)$$

где  $\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;  $\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле 6.19.

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i \quad (6.19)$$

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

В таблице 6.20 представлена сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта. Под исполнением 1 представлена метод экстракции в среде инертного газа.

Таблица 6.20. Сравнительная оценка характеристик

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

Характеристики имеют схожие критерии, так как методики реализованы для одного прибора. Каждая из представленных методик реализована для определенной задачи, но общие характеристики одинаковы.

Пример расчета интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_p = 0,25 * 5 + 0,15 * 4 + 0,2 * 4 + 0,2 * 5 + 0,2 * 4 = 4,45$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя

ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле 6.20.

$$I_{\text{исп}} = \frac{I_{pi}}{I_{\text{финр}}} \quad (6.20)$$

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле 6.21.

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{д.п.}}}{I_{\text{исп}}} \quad (6.21)$$

В таблице 6.21 представлена сравнительная эффективность разработки.

Таблица 6.21. Сравнительная эффективность

№	Показатели	Данный проект	Исполнитель 1
1	Интегральный финансовый показатель	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,45	4,45
3	Интегральный показатель эффективности	4,45	4,45
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1

## Выводы по главе 6

Данная работа направлена на установление основных закономерностей микроструктурных изменений в титановом сплаве ВТ6 после деформации и наводороживания.

Бюджет затрат, приведенный в таблице 6.11 обусловлен необходимостью набора экспериментальных данных в общую базу.

Полученные в ходе исследования результаты, при затратах в 375 492,27 рублей на реализацию, могут быть использованы для дальнейших исследований систем металл-водород. Работа имеет большую практическую ценность и в полной мере способствует решению многих фундаментальных задач.

## **ГЛАВА 7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Введение**

Для выполнения магистерской диссертации на тему «Закономерности микроструктурных изменений в титановом сплаве ВТ6 при деформации и наводороживании» проводилась серия экспериментов с применением различных установок, помогающих решить поставленные задачи. Одной из таких установок является анализатор водорода RHEN 602 фирмы LECO. Измерение концентрации водорода с целью установления влияния основных закономерностей на свойства титанового сплава, проводилось на анализаторе водорода RHEN 602 фирмы LECO, применяемого в отделении Экспериментальной физики Инженерной школы ядерных технологий для определения содержания водорода в металлах методом экстракции водорода в среде инертного газа. В связи с этим, детальное рассмотрение правил гигиены и безопасности труда при проведении работ на газоанализаторе RHEN 602.

Также в главе проведен анализ опасных и вредных факторов, которые могут возникнуть на производстве. Рассмотрены требования пожарной безопасности, окружающей среды и определены наиболее типичные чрезвычайные ситуации.

### **7.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Одной из установок для проведения исследований по магистерской диссертации является анализатор водорода RHEN 602 фирмы LECO. Основная работа заключалась в измерении концентрации водорода методом экстракции водорода в среде инертного газа в режиме реального времени. Результаты получаемых измерений отображаются на экране ЭВМ. Исходя из

этого необходимо рассматривать эргономические требования для рабочего места оператора, которое связано с наблюдением данных с экрана ЭВМ. Для обоснования эргономических требований используются следующие нормативно правовые документы:

ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования

СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (с изменениями на 21 июня 2016 года)

ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения)

ГОСТ Р ИСО 6385-2016 Эргономика. Применение эргономических принципов при проектировании производственных систем

ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения

Согласно ПНД Ф 12.13.1-03 к работе на аналитическом оборудовании допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование для решения вопроса о возможности работы в лаборатории. Каждый сотрудник лаборатории должен соблюдать правила её безопасности.

Рабочие места должны быть спроектированы таким образом, чтобы способствовать достижению целей производственной системы, в том числе достижению оптимальной общей рабочей нагрузки на сотрудников (ГОСТ Р ИСО 6385-2016). Рабочая среда должна быть разработана и поддерживаться таким образом, чтобы минимизировать неблагоприятные физические, химические, биологические и социальные условия, влияющие на здоровье и безопасность людей, а также на их способность и готовность выполнять стоящие перед ними задачи

Согласно ГОСТ Р 50923-96 рабочее место с дисплеем должно обеспечивать оператору возможность удобного выполнения работ в положении сидя и не создавать перегрузки костно-мышечной системы.

Основными элементами рабочего места оператора являются: рабочий стол, рабочий стул (кресло), дисплей, клавиатура. Рабочий стул должен быть подъемно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья. Требования к каждому из этих элементов рабочего места рассмотрено в ГОСТ Р 50923-96 подробно. Дисплей на рабочем месте оператора должен располагаться так, чтобы изображение в любой его части было различимо без необходимости поднять или опустить голову.

Дисплей на рабочем месте должен быть установлен ниже уровня глаз оператора. Угол наблюдения экрана оператором относительно горизонтальной линии взгляда не должен превышать 60°.

## **7.2. Производственная безопасность**

В данном разделе был проведен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований в лаборатории.

Для идентификации потенциальных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлены в таблице 7.1.

Таблица 7.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	– СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение; – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»; – СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки; – СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений; – ГОСТ 12.1.002-84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах;
2. Превышение уровня шума	-	-	+	
3. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	
4. Отклонение показателей электромагнитного излучения	+	+	+	
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	-	+	+	
6. Повышенное содержание химических веществ в атмосфере окружающей среды	+	+	+	

## 7.2. Анализ вредных факторов

### 7.2.1. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Уровень освещенности, на рабочем месте, должен соответствовать условиям работы и быть оптимальным по яркости. Световой спектр должен максимально соответствовать дневному освещению, так как оно оптимально соответствует человеческой физиологии. Очень высокий уровень освещенности, так же, как и недостаточный, приводит к быстрому утомлению зрения. Освещение должно быть равномерным на всей площади рабочего места, так как при переносе взгляда с более освещенных на менее освещенные участки рабочего места и наоборот происходит понижение остроты зрения на достаточно долгий промежуток времени. Требования к уровню освещенности в производственных помещениях утверждены сводом правил.

Для производственных помещений всех назначений применяются системы общего (равномерного или локализованного) и комбинированного

(общего и местного) освещения. Выбор между равномерным и локализованным освещением проводится с учётом особенностей производственного процесса и размещения технологического оборудования. Система комбинированного освещения применяется для производственных помещений, в которых выполняются точные зрительные работы. Применение одного местного освещения на рабочих местах не допускается.

Учитывая особенности процесса работы на газоанализаторе RHEN 602 (не требуется освещения для проведения работ высокой точности) возможно применение схемы общего равномерного освещения.

Источники света, применяемые для искусственного освещения, делят на две группы – газоразрядные лампы и лампы накаливания.

Для общего освещения, как правило, применяются газоразрядные лампы как энергетически более экономичные и обладающие большим сроком службы. Наиболее распространёнными являются люминесцентные лампы. По спектральному составу видимого света различают лампы дневной (ЛД), холодно-белой (ЛХБ), тёпло-белой (ЛТБ) и белой цветности (ЛБ). Наиболее широко применяются лампы типа ЛБ. При повышенных требованиях к передаче цветов освещением применяются лампы типа ЛХБ, ЛД. Лампа типа ЛТБ применяется для правильной цветопередачи человеческого лица. В данном случае используется лампа ЛХБ.

При выборе типа светильников следует учитывать светотехнические требования, экономические показатели, условия среды.

Наиболее распространёнными типами светильников для люминесцентных ламп являются:

Открытые двухламповые светильники типа ОД, ОДОР, ШОД, ОДО, ООД – для нормальных помещений с хорошим отражением потолка и стен, допускаются при умеренной влажности и запылённости.

Наилучшими вариантами равномерного размещения светильников являются шахматное размещение и по сторонам квадрата (расстояния между светильниками в ряду и между рядами светильников равны).

При равномерном размещении люминесцентных светильников последние располагаются обычно рядами – параллельно рядам оборудования. При высоких уровнях нормированной освещённости люминесцентные светильники обычно располагаются непрерывными рядами, для чего светильники сочленяются друг с другом торцами. Таким образом, была выбрана лампа ЛД, для которой световой поток и мощность составляют 1650 Лм и 30 Вт, соответственно. Тип ламп был выбран ОД размерами 933×204 мм.

Размещение светильников в помещении определяется следующими параметрами:  $H=3$  – высота помещения;  $h_c=0,2$  – расстояние светильников от перекрытия (свес) (м);  $h_n=H-h_c=2,8$  – высота светильника над полом, высота подвеса (м);  $h_{рп}=0,7$  – высота рабочей поверхности над полом (м).

Расчётная высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле 7.1:

$$h = h_n - h_{рп} = 2,8 - 0,7 = 2,1 \quad (7.1)$$

$L$ –расстояние между соседними светильниками или рядами (если по длине (А) и ширине (В) помещения расстояния различны, то они обозначаются  $L_A$  и  $L_B$ ). Расстояние определяется по формуле 7.2:

$$L = \lambda * h = 1,4 * 2,1 = 2,94 \quad (7.2)$$

$l$ –расстояние от крайних светильников или рядов до стены.

Оптимальное расстояние  $l$  от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным  $L/3$  (формула 7.3).

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,94}{3} = 0,98 \quad (7.3)$$

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda = L/h$ , уменьшение которой удорожает устройство и обслуживание освещения, а чрезмерное увеличение ведёт к резкой неравномерности освещённости. Для люминесцентных без защитной решётки типов ОД, ОДО интегральный критерий  $\lambda = 1,4$ .



Необходимо произвести расчет числа рядов и количества светильников в ряду.

Число рядов светильников в помещении:

$$N_A = \frac{A}{L} = \frac{5,8}{2,94} \approx 2 \quad (7.4)$$

Число светильников в ряду:

$$N_B = \frac{B}{L} = \frac{5,31}{2,94} \approx 2 \quad (7.5)$$

Так как помещение больше имеет прямоугольную форму, то разумнее добавить в каждый ряд по одному дополнительному светильнику, тем самым уменьшив расстояние между светильниками в ряду до 50 см. Это позволит усилить освещенность помещения для более благоприятной работы на анализаторе.

Таким образом, общее число светильников в помещении:

$$N = N_a * N_b = 3 * 2 = 6 \quad (7.6)$$

На рисунке 7.1 изображен план лаборатории и расположения источников света с люминесцентными лампами.

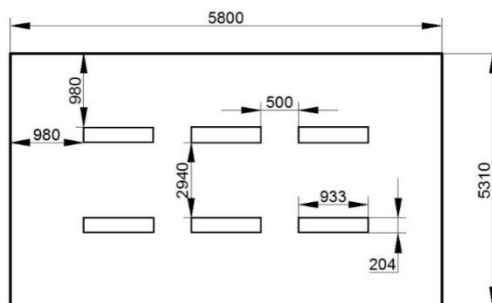


Рисунок 7.1 – План расположения источников света

Расчет общего равномерного уровня искусственного освещения горизонтальной поверхности рабочего места производится способом коэффициента светового потока:

$$\Phi_{\Pi} = \frac{E_n S K_3 Z}{N n} = \frac{200 \cdot 30,8 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,53} = 1598 \text{ Лм} \quad (7.8)$$

Где  $E_n$  – нормируемая минимальная освещённость по СНиП23-05-95,  $E_n=200$  Лк (Характеристика зрительной работы VI: Грубая (очень малой точности));  $S$ –площадь освещаемого помещения, м<sup>2</sup>;  $K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света,

светотехнической арматуры, стенипр., т.е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли,  $K_3=1,5$  (Помещения с малым выделением пыли);  $Z$ –коэффициент неравномерности освещения, отношение  $E_{cp}/E_{min}$ . Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;  $N$ –число ламп в помещении, 12;  $n$ –коэффициент использования светового потока, 0,53.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения  $i$ , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью  $h$  и коэффициентов отражения стен  $\rho_c$  и потолка  $\rho_n$ .

Индекс помещения определяется по формуле 7.9:

$$i = \frac{S}{h(A+B)} = \frac{30,8}{2,1 \cdot 11,11} = 1,3 \quad (7.9)$$

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

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

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{лд} - \Phi_{п}}{\Phi_{лд}} \cdot 100\% \leq 20\% \quad (7.10)$$

$$\frac{\Phi_{лд} - \Phi_{п}}{\Phi_{лд}} \cdot 100\% = \frac{1650 - 1598}{1650} \cdot 100\% = 3,2\%.$$

Таким образом:  $-10\% \leq 3,2\% \leq 20\%$ , необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

## 7.2.2. Превышение уровня шума

Шум – колебания, как правило, беспорядочные, разнообразной физической природы. Такие колебания, отличающиеся сложностью спектральной и временной структуры. Длительное воздействие шумовых колебаний на человека может привести к ослаблению слуха, а в некоторых

случаях – к полной его потере. Установлено, что загрязнение шумовыми колебаниями среды, на рабочем месте, негативно влияет на людей. Как следствие, у работающих, понижается внимание, увеличиваются затраты энергии при идентичной физической нагрузке, тормозятся психические реакции и т.п. Как итог – понижается производительность труда, страдает качество выполняемой работы.

Уровни шума на рабочих местах пользователей персональных компьютеров не должны превышать значений, утверждённых. Рабочая зона соотносится с категорией «Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории; рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, в лабораториях». Максимально допустимые уровни звука, уровни звукового давления и эквивалентные уровни звука для такой категории приведены в таблице 7.2.

Таблица 7.2. Максимально допустимые уровни звука, уровни звукового давления и эквивалентные уровни звука

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами [Гц]									Уровни звука в [дБ]
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	60
93	79	70	68	58	55	52	52	49	

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства коллективной (СКЗ) и индивидуальной защиты (СИЗ).

К СКЗ относятся: устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования; изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения; применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения. В качестве материала можно использовать минеральную вату, гипсокартон, стекловату, базальтовую вату, древесное волокно, вспененный полиэтилен и др. К СИЗ – применение спецодежды, спецобуви и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

### **7.2.3. Отклонение показателей микроклимата**

Микроклиматом производственных помещений – называют метеорологические условия внутри помещений. Эти условия определяются действующим на организм человека рядом факторов. В этот ряд входят температура воздуха, влажность, скорость движения воздуха и тепловое излучение. Так же на микроклимат влияет набор физических факторов, оказывающих влияние на состояние человека. Это теплообмен человека с окружающей средой и факторы, определяющие самочувствие. Такие факторы как работоспособность, здоровье и производительность труда.

Терморегуляция – способность человеческого организма, при изменении микроклимата, регулировать процесс теплообмена с окружающей средой. Тем самым поддерживать температуру тела на стабильно постоянном уровне. Регуляция теплообмена производится путем изменения количества тепла, вырабатываемого внутри организма, а также увеличением или уменьшением теплоотдачи в окружающую среду. В наиболее комфортных, для человека, условиях количество выделяемого тепла, за единицу времени, равно количеству отданного тепла. Это состояние организма именуется тепловым балансом.

Человеческий организм перегревается или переохлаждается в том случае, если параметры, окружающей человека среды, имеют отклонения от комфортных параметров.

Перегрев организма наступает при высокой температуре воздуха и высокой относительной влажности, которые сопровождаются низкой подвижностью воздушной массы. Симптомами перегрева являются – учащение пульса, ощущение слабости, сильное потоотделение, увеличение температуры тела, иногда головная боль.

Переохлаждение организма возникает при наличии низкой температуры воздуха и высокой влажности в сочетании с высокой подвижностью воздушной массы. При наступлении переохлаждения

снижается температура тела, происходит сужение кровеносных сосудов, возникают сбои в работе сердечно-сосудистой системы.

Санитарными нормами, установленными для производственных помещений утверждены оптимальные и допустимые интервалы температуры воздуха, относительной влажности и скорости движения воздушных масс. Нормативы установлены с учетом тяжести выполняемой работы и времени года.

В таблице 7.3 отражены наиболее оптимальные и допустимые климатические параметры в производственных помещениях для категории легких работ. К таковым относятся работы, которые выполняются сидя и не требуют высокого физического напряжения.

Таблица 7.3. Оптимальные и допустимые климатические параметры.

Период года	Температура, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более
Оптимальные параметры			
Холодный	22-24	40-60	0,1
Теплый	23-25	40-60	0,1
Допустимые параметры			
Холодный	20-21 (ниже оптимального значения) 24,1-25 (выше оптимального значения)	15-75	0,1 (ниже оптимального значения) 0,1 (выше оптимального значения)
Теплый	21-22 (ниже оптимального значения) 25,1-26 (выше оптимального значения)	15-75	0,1 (ниже оптимального значения) 0,1 (выше оптимального значения)

#### **7.2.4. Отклонение показателей электромагнитного излучения**

Электромагнитное поле – это силовое поле, образованное вокруг электрического тока, эквивалентное электрическому полю и магнитному полю, расположенным под прямыми углами друг к другу.

Источниками электромагнитного излучения являются приборы, работающие от электрического тока. Например, линии электропередач компьютеры, телефоны, и т.д.

Помещение, в котором располагается научно-исследовательское оборудование, оснащено персональными компьютерами. Исходя из этого

основным источником электромагнитного излучения, в помещении лаборатории, является компьютер. В таблице 7.5 представлены частоты излучения ПК.

Таблица 7.5. Частоты излучения ПК

Источник	Диапазон частот
Монитор:	
• Сетевой трансформатор блока питания	50 Гц
• Статический преобразователь напряжения в импульсном блоке питания	20-100 кГц
• Блок кадровой развертки и синхронизации	48-160 Гц
• Ускоряющее анодное напряжение монитора (только для мониторов с ЭЛТ)	0 Гц (Электростатика)
Системный блок	50 Гц – 1000 МГц
Устройства ввода/вывода информации	0 Гц, 50 Гц
Источники бесперебойного питания	50 Гц, 20 – 100 кГц

В России система стандартов по электромагнитной безопасности складывается из ГОСТ и СанПиН. Максимально допустимые параметры плотности потока энергии электромагнитного поля составляют – 25 мкВт/см<sup>2</sup> в течение 8 часов, 100 мкВт/см<sup>2</sup> максимальное значение не превышает 1000 мкВт/см<sup>2</sup>.

Длительное воздействие электромагнитного излучения на организм человека ведёт к нарушениям процессов в центральной нервной системе, сбоям в работе сердечно-сосудистой системы. Возможно появление катаракты хрусталика глаза, ломкости ногтей и выпадения волос. Первыми симптомами воздействия электромагнитных полей являются быстрая утомляемость, слабость, головные боли, понижение частоты пульса и повышение температуры тела.

### **7.3. Анализ опасных факторов**

#### **7.3.1. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека**

Воздействие электрического тока на человека носит разносторонний и своеобразный характер. Прохождение электрического тока через организм

может вызвать у человека раздражение кожных покровов и повреждения различных внутренних органов. Пороговое значение не отпускающего электрического тока составляет 10 – 15 мА. Проходя через живые ткани организма человека, электрический ток производит электролитическое, термическое, механическое, световое, биологическое, световое воздействие на организм.

Термическое воздействие электрического тока характеризуется повышением температуры кожных покровов и мышечной ткани вплоть до ожогов.

Электролитическое воздействие тока на человека проявляется в разложении жидкостей организма, в том числе крови, на различные составляющие и, как следствие, нарушение их химико-физического состава.

Механическое воздействие электрического тока заключается в расслоении, разрыве тканей организма под воздействием электродинамического эффекта, а также мгновенного, похожего на взрыв, образования пара из жидкости тканей и крови. Так же механическое воздействие электрического тока характеризуется сильным сокращением мышечных тканей, вплоть до их разрыва.

Биологическое воздействие электрического тока проявляется в раздражении живых тканей организма человека и сопровождается судорожными сокращениями мышц.

Световое воздействие возникает при появлении электрической дуги и приводит к ожогу слизистой оболочки глаз.

С целью обеспечения максимальной защиты от поражения электрическим током необходимо доскональное соблюдение правил технической эксплуатации электроустановок и проведение мероприятий по защите от электротравм.

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

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

Лаборатория относится к помещению с особой опасностью поражения электрическим током. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений, расположения токоведущих частей на недоступной высоте. К СКЗ относятся заземление и разделение электрической сети с помощью трансформаторов – в результате изолированные участки сети обладают большим сопротивлением изоляции и малой емкостью проводов относительно земли, за счет чего значительно улучшаются условия безопасности.

Основными электрозащитными средствами в электроустановках напряжением до 1000 В являются изолирующие штанги, указатели напряжения, а также изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ. Также безопасными номиналами являются  $U=12\div36$  В,  $I=0,1$  А,  $R_{\text{заземления}}=4$  Ом.

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

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



### **7.3.2. Повышенное содержание химических веществ в атмосфере окружающей среды**

Водород является легким газообразным химическим элементом, который при взаимодействии с воздухом может превратиться во взрывоопасную смесь. ПДК водорода в воздухе, согласно СНиП РФ равна 10 % от минимального уровня взрываемости 0,04 об.%. Водород по опасности относится к классу 2.

При работе на газоанализаторе в качестве газа-носителя используется особо чистый аргон. Газообразный и жидкий аргон получают из воздуха и остаточных газов аммиачных производств.

Газообразный аргон не оказывает опасного воздействия на окружающую среду. Он тяжелее воздуха и может накапливаться в слабо проветриваемых помещениях у пола. При этом снижается содержание кислорода в воздухе, что вызывает кислородную недостаточность и удушье. Однако, ПДК на данный газ не предусмотрен. Аргон по опасности относится к классу 2. Также необходимо проводить проверку баллонов на наличие неисправностей так как при утечке газа из баллона возможно удушье, поэтому необходимо знать и неукоснительно соблюдать правила пользования газовыми приборами. Проверить целостность газового баллона и прочность его крепления, наличие видимых повреждений. Вентиль газового баллона и резьба должны находиться в исправленном состоянии, редуктор должен соответствовать газу в баллоне.

Для удобства работы в помещении необходима нормировка параметров микроклимата. Необходимо применение защитных мероприятий по способам и средствам защиты от высоких и низких температур, системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, искусственное освещение и т.п.

## **7.5. Организационные мероприятия обеспечения безопасности**

Для обеспечения безопасности работы на газоанализаторе необходимо соблюдать требования инструкций, правила внутреннего трудового распорядка, режим труда и отдыха, а также знать местонахождение аптечки первой помощи и уметь правильно ее использовать при несчастных случаях.

Перед началом работы необходимо надеть спецодежду и подготовить рабочее место, произвести внешний осмотр газоанализатора RHEN 602. Также необходимо проверить отсутствие внешних повреждений электрооборудования, наличие и исправность контрольных, измерительных и сигнальных приборов, компьютера, тумблеров, переключателей и т.п. При нахождении неисправностей необходимо доложить вышестоящему сотруднику, работающему на данной установке, либо руководителю лаборатории.

В дальнейшем необходимо проверить не только сам прибор, но и дополнительные элементы экспериментальной установки, баллоны, их прочность крепления, отсутствие утечки газа, исправность вентилей и их резьбы, а также показания манометров и редукторов, состояние фильтров. Если требуется их замена, сообщить это сотруднику, отвечающему за техническое обслуживание установки. Проверить исправность компьютера и системы охлаждения газоанализатора.

Запрещается приступать к работе, если выявлены неисправности любого используемого оборудования, если истек срок очередного освидетельствования баллона, истек срок проверки манометра, если персонал не прошел в установленном порядке обучение и проверку знаний безопасности труда.

Работа с газоанализатором должна производиться в чистом помещении, свободном от пыли, паров, кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей, вызывающий коррозию.

При работе на установке необходимо следить за состоянием баллонов, их закреплением. При обнаружении опасных ситуаций: повышение давления после редуктора, обнаружение пропусков, принять срочные меры для их устранения. Запрещается производить подтяжку гаек редукторов на баллоне, работающих под давлением. Во время работы необходимо следить за показаниями манометров.

Если во время работы произошел несчастный случай, нарушился технологический процесс, возникли опасные или вредные факторы, которые могут нанести вред здоровью или угрожают жизни персонала, необходимо остановить работу оборудования и срочно сообщить об этом руководителю работ.

После окончания работы с газоанализатором RHEN 602 необходимо:

- закрыть воду;
- закрыть вентиль газового баллона;
- выйти из программы;
- отключить питание компьютера;
- отключить газоанализатор от электросети;
- проверить целостность газовых баллонов, их закрепление, отсутствие утечки газа;
- проверить общее состояние помещения, убедиться в возможности загорания;
- осмотреть и привести в порядок рабочее место, вымыть теплой водой с мылом руки и лицо.

## **7.6. Охрана окружающей среды**

Охрана окружающей среды – комплексная проблема и наиболее активной формой ее решения является сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

Для перехода к безотходным производствам в лаборатории необходимо осуществлять сбор водорода в специальные емкости (в настоящее время он выпускается в воздух).

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика, резины и т. д. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

### **7.9. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Такие природные явления, как землетрясения, наводнения, засухи, ураганы, в данном городе отсутствуют.

Возможными чрезвычайными ситуациями на объекте, в данном случае, могут быть сильные морозы, которые характерны для Сибири и диверсии. Достижение критически низких температур может привести к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы или обморожениям. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. Зачастую такие угрозы оказываются ложными, но случаются взрывы и в действительности.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в

полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

### **7.6.1. Пожарная безопасность**

Самым распространенным видом ЧС является пожар. Под пожаром понимают неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью людей, интересам общества, государству.

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

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории А – вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой или кислородом воздуха.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудно сгораемым материалам). Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, статическое электричество и т.д. Для устранения причин возникновения и локализации пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- а) использование только исправного оборудования;
- б) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- в) отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ;

г) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

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

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

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

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей. План эвакуации представлен на рисунке 7.2.

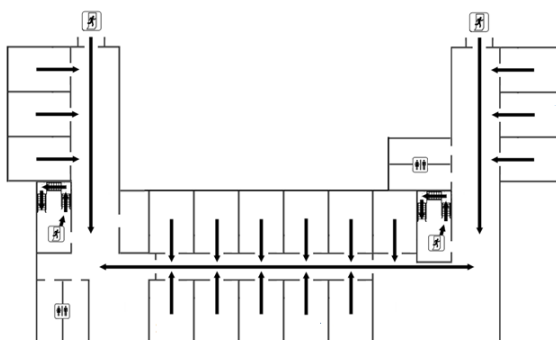


Рисунок 7.2 – План эвакуации людей при пожаре

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

## **Выводы по главе 7**

В результате рассмотрение безопасности работы и гигиены труда при осуществлении эксплуатации газоанализатора RHEN602, для определения содержания водорода в металлах методом экстракции водорода в среде инертного газа, были рассмотрены важные факторы техногенной безопасности, такие как опасность поражения электрическим током, химическими веществами, опасность поражения действием высокой температуры. Также были рассмотрены различные чрезвычайные ситуации при работе на газоанализаторе и поведение в них, а также правила работы с установкой в целях предотвращения несчастных случаев. В целях практической работы, был произведен расчет искусственной освещенности рабочей зоны газоанализатора RHEN602. В результате расчета искусственного освещения было выявлено, что лампы ЛД типа ОД мощностью 30 Вт, применяемые для освещения при работе с газоанализатором RHEN602, соответствуют нормам.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая работа посвящена установлению закономерностей микроструктурных изменений в титановом сплаве ВТ6 при деформации и наводороживании. По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Холоднокатаная пластическая деформация в диапазоне от 0,8 до 11,9 % не оказывает существенного влияния на средний размер зерен сплава ВТ6;

2. С увеличением степени деформации от 0,8 до 11,9 % происходит увеличение плотности дислокаций в 17 раз в сравнении с исходным материалом;

3. С увеличением степени деформации от 0,8 до 11,9 % происходит уменьшение электронной плотности в области стока дефектов и увеличению свободного объема;

4. С увеличением степени деформации происходит рост среднего времени жизни от  $148,3 \pm 0,2$  пс до  $175 \pm 1$  пс.;

5. До 3% деформации в материале присутствуют как дислокации, так и вакансионные комплексы ( $N=4$ ), временные компоненты которых равны  $165,7 \pm 0,1$  пс и  $287,2 \pm 0,8$  пс, соответственно;

6. Цикл вакуумного отжига титанового сплава ВТ6 прокатанного до 0,8% деформации не оказывает существенного влияния на средний размер зерна;

7. Температура отжига 400 °С приводит к незначительному увеличению микротвердости ~2% в сравнение с исходным материалом;

8. С увеличением температуры отжига происходит снижение среднего времени жизни и плотности дислокаций на 2% и 42%, соответственно, в сравнении с исходным материалом;

9. Температура отжига сформированных при холоднокатаной пластической деформации дефектов равна 400 °С;



10. После наводороживания были сформированы дефекты водород-вакансионные комплексы типа 4V-3H.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Остапчук В.В., Семишев Н.И., Сидаченко А.А. Материалы малой плотности и высокой удельной прочности в АКТ: учеб.пособие/В.В. Остапчук, Н.И. Семишев, А.А. Сидаченко. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, – 2006. – С. 77
2. Глазунов С.Г., Ясинский К.К. Титановые сплавы для авиационной техники и других отраслей промышленности/С.Г. Глазунов, К.К. Ясинский//Технология легких сплавов. – 1993. – №7-8
3. Handbook M. vol. 2//Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials. – 1990. – Vol. 102.
4. Титан и титановые сплавы для освоения месторождений нефти и газа на шельфе. Проекты, технологии, оборудование//Сфера Нефтегаз. - 2011. – № 5. – С. 80-82.
5. Чернов И.П., Черданцев Ю.П., Мамонтов А.П., Панин А.В., Никитенков Н.Н., Лидер А.М., Гаранин Г.В., Пушилина Н.С., Иванова С.В. Неразрушающие методы контроля водородного охрупчивания конструкционных материалов/И.П. Чернов, Ю.П. Черданцев, А.П. Мамонтов, А.В. Панин, Н.Н. Никитенков, А.М. Лидер, Г.В. Гаранин, Н.С. Пушилина, С.В. Иванова//Альтернативная энергетика и экология. – 2009. – № 2. – С. 15–22.
6. Водород в металлах: В 2-х т. : пер. с англ./Под ред. Г. Алефельда, И. Фёлькиля. – М.: Мир, 1981.
7. Чернов, И.П., Черданцев Ю.П., Тюрин И.И. Методы исследования систем металл-водород/И.П. Чернов, Ю.П. Черданцев, Ю.И. Тюрин. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – С. 270
8. Yoshimura H., Kin I.K., Hayashi M., Ishii M., Hanamura T., Takamura J.I. Ultra-fine equiaxed grain refinement and improvement of mechanical properties of  $\alpha+\beta$  type titanium alloys by hydrogenation, hot working, heat treatment and dehydrogenation/H. Yoshimura, I.K. Kin, M. Hayashi, M. Ishii,

T. Hanamura, J.I. Takamura//Materials Transactions, JIM. – 1994. – Vol. 35. – №. 4. – P. 266-272.

9. Погрелюк И.Н., Скворцова С.В., Федирко В.Н., Спектор В.С., Лукьяненко А.Г., Ткачук О.В. Антифрикционные характеристики титанового сплава ВТ6 после термоводородной обработки и последующего азотирования/И.Н. Погрелюк, С.В. Скворцова, В.Н. Федирко, В.С. Спектор, А.Г. Лукьяненко, О.В. Ткачук//Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2015. – №3. – С. 90-99

10. Ильин А.А., Скворцова С.В., Мамонов А.М., Пермякова Г.В., Курников Д.А Влияние термоводородной обработки на структуру и свойства отливок из титановых сплавов/А.А. Ильин, С.В. Скворцова, А.М. Мамонов, Г.В. Пермякова, Д.А Курников//Металловедение и термическая обработка металлов. – 2002. – №. 5. – С. 10-13.

11. Поляков В.Н. Катастрофы трубопроводов большого диаметра. Роль полей водорода./В.Н. Поляков//Проблемы прочности. – 1995. – №1. – С. 137–146.

12. Гадельшин М.Ш., Анисимова Л.И., Бойцова Е.С. Водородное пластифицирование титановых сплавов/М.Ш. Гадельшин, Л.И. Анисимова, Е.С. Бойцова//Альтернативная энергетика и экология. – 2004. – Т.17. – № 9. – С. 26-29.

13. Илларионов А.Г., Попов А.А. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов: учебное пособие/А.Г. Илларионов, А.А. Попов. – Екатеринбург : Изд-во Урал.ун-та, – 2014. – С. 137

14. Madina V., Azkarate I. Compatibility of materials with hydrogen. Particular case: Hydrogen embrittlement of titanium alloys/V. Madina, I. Azkarate//International journal of hydrogen energy. – 2009. – Vol. 34. – P. 5976-5980

15. Setoyama D., Matsunaga J., Muta H., Uno M., Yamanaka S. Mechanical properties of titanium hydride/D. Setoyama, J. Matsunaga, H. Muta,

M. Uno, S. Yamanaka//Journal of alloys and Compounds. – 2004. – Vol. 381. – №. 1. – P. 215-220.

16. Welsch G., Boyer R., Collings E.W. (ed.). Materials properties handbook: titanium alloys. – ASM international, – 1993.

17. Гармата В.А. Metallurgy титана/В.А. Гармата, Б.С. Гуляницкий, В.Ю. Крамник. – М.: Metallurgy, 1967. – С. 643

18. Меркулова Г.А. Metallurgy и термическая обработка цветных сплавов: учеб. пособие/Г.А. Меркулова. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2008. – С. 312

19. Афонин В.К., Ермаков Б.С., Лебедев Е.Л., Пряхин Е.И., Самойлов Н.С., Солнцев Ю.П., Шипша В.Г. Metals and alloys: reference book/В.К. Афонин, Б.С. Ермаков, Е.Л. Лебедев, Е.И. Пряхин, Н.С. Самойлов, Ю.П. Солнцев, В.Г. Шипша//СПб.: НПО «Профессионал». – 2003.

20. Давыденко Л.В., Белова С.Б., Давыденко Р.А., Егорова Ю.Б. Opportunities of application of titanium alloys in automobile engineering/Л.В. Давыденко, С.Б. Белова, Р.А. Давыденко, Ю.Б. Егорова//Automotive industry. – 2010. – №10. – С. 41-43.

21. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Titanium alloys. Composition, structure, properties./А.А. Ильин, Б.А. Колачев, И.С. Полькин – М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. – С. 520

22. Колачев Б.А., Полькин И.С., Талалаев В.Д. Titanium alloys of different countries./Б.А. Колачев, И.С. Полькин, В.Д. Талалаев – М.: ВИЛС, – 2000. – С. 316

23. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Metallurgy and thermal treatment of non-ferrous metals and alloys/Б.А. Колачев, В.И. Елагин, В.А. Ливанов. – М.: МИСИС, 2005 – С. 432

24. Leyens C., Peters M. (ed.). Titanium and titanium alloys: fundamentals and applications. – John Wiley & Sons, – 2003.

25. Cui C. et al. Titanium alloy production technology, market prospects and industry development //Materials & Design. – 2011. – Т. 32. – №. 3. – С.

1684-1691., Donachie M. J. Titanium: a technical guide. – ASM international, 2000.

26. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов [Текст]: учеб.для вузов /Б.А. Колачев, В.И. Елагин, В.А. Ливанов. – 3-е изд. – М.: МИСиС, – 2001. – С. 416

27. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов [Текст]: учеб.для вузов /Б.А. Колачев, В.А. Ливанов, В.И. Елагин. – 2-е изд. – М.: Металлургия, – 1981. – С. 416

28. Колачев Б.А., Габидуллин Р.М., Пигузов Ю.В. Технология термической обработки цветных металлов и сплавов [Текст]: учеб.пособие для вузов /Б.А. Колачев, Р.М. Габидуллин, Ю.В. Пигузов. – М.: Металлургия, – 1980. – С. 280

29. Свойства элементов [Текст]: справ.: в ч. Ч. 1. Физические свойства/под ред. Г. В. Самсонова. – 2-е изд. – М.: Металлургия, – 1976. – С. 600

30. Shen C.C., Wang C.M. Effects of hydrogen loading and type of titanium hydride on grain refinement and mechanical properties of Ti–6Al–4V/C.C. Shen, C.M. Wang//Journal of Alloys and Compounds. – 2014. – Vol. 601. – P. 274-279.

31. Моисеев В.Н. Титан в России/В.Н. Моисеев //Металловедение и термическая обработка металлов. – 2005. – №. 8. – С. 23-29.

32. Остапчук В.В., Семишов Н.И., Сидаченко А.А. Материалы малой плотности и высокой удельной прочности в АКТ/В.В. Остапчук, Н.И. Семишов, А.А. Сидаченко – Учеб.пособие. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», – 2006. – с. 77

33. Воеводин В.Н. Конструкционные материалы ядерной энергетики – вызов 21 века/В.Н. Воеводин//Вопросы атомной науки и техники. Серия

«Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. – 2007. – №. 2. – С. 10-22.

34. Steuwer A., Santisteban J.R., Preuss M., Peel M.J., Buslaps T., Harada M. Evidence of stress-induced hydrogen ordering in zirconium hydrides/A. Steuwer, J.R. Santisteban, M. Preuss, M.J. Peel, T. Buslaps, M. Harada//ActaMaterialia. – 2009. – Vol. 57. – №. 1. – P. 145-152.

35. Nagase F. Hydride behavior in Zircaloy cladding tube during high-temperature transients/F. Nagase//Journal of Nuclear Materials. – 2011. – Vol. 415. – №. 1. – P. 117-122.

36. San-Martin A., Manchester F.D. The H– Ti (Hydrogen-Titanium) system/A. San-Martin, F.D. Manchester//Bulletin of alloy phase diagrams. – 1987. – Vol. 8. – №. 1. – P. 30-42.

37. Якмова А.М. Взаимодействие титана с водородом/А.М. Якмова: [Электронный ресурс] – Режим доступа к ст.: <http://chem21.info/page/063252093131055110172004049075039115026149031247/>

38. Мороз Л.С., Чечулин Б.Б. Водородная хрупкость металлов. – 1967.

39. Гельд П.В., Рябов Р.А. Водород в металлах и сплавах. – Металлургия, 1974.

40. Чернов И.П., Черданцев Ю.П., Тюрин Ю.И. Методы исследования систем металл-водород/И.П. Чернов, Ю.П. Черданцев, Ю.И. Тюрин//М.: Энергоатомиздат. – 2004. – С. 270.

41. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. – 1978.

42. Колачев Б.А. Водородная хрупкость цветных металлов./Б.А.Колачев– М.: Металлургия, 1966. – С. 239

43. Ильин А.А., Гольцова М.В. Водородная обработка материалов: Исторический аспект и теоретические основы (обзор современного состояния)/А.А. Ильин, М.В. Гольцова//Металловедение и термическая обработка металлов. – 2008. – №. 6. – С. 3-6.

44. Ильин А.А., Колачев Б.А., Носов В.К., Мамонов А.М. Водородная технология титановых сплавов./А.А. Ильин, Б.А. Колачев, В.К. Носов, А.М. Мамонов – М.: МИСиС, 2002. – С. 392

45. Колачев, Б.А., Шалин Р.Е., Ильин А.А. Сплавы-накопители водорода. Справочник./Б.А. Колачев, Р.Е. Шалин, А.А. Ильин – М.: Металлургия. 1995. — 384 С.

46. Черданцев Ю.П., Чернов И.П., Тюрин Ю.И. Методы исследования систем металл-водород: учебное пособие/Ю.П. Черданцев, И.П. Чернов, Ю.И. Тюрин. – Томск: Изд-во ТПУ. – 2008. – С. 286

47. Немирович-Данченко Л.Ю., Векилова О.Ю., Бажанов Д.И., Еремеев С.В., Кулькова С.Е., Ху Ц.М., Ли Ю.Ж., Хао Ю.Л. Взаимодействие водорода с точечными дефектами и их комплексами в палладии и титане/Л.Ю. Немирович-Данченко, О.Ю. Векилова, Д.И. Бажанов, С.В. Еремеев, С.Е. Кулькова, Ц.М. Ху, Ю.Ж. Ли, Ю.Л. Хао/Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2006. – Т. 3. – №. 1. – С. 17-21.

48. Кудияров В.Н., Лидер А.М., Пушилина Н.С., Тимченко Н.А. Особенности накопления и распределения водорода при насыщении титанового сплава VT1-0 электролитическим методом и из газовой среды/В.Н. Кудияров, А.М. Лидер, Н.С. Пушилина, Н.А. Тимченко//Журнал технической физики. – 2014. – Т. 84. – №. 9. – С. 117-121.

49. Колачев, Б.А. Механические свойства титана и его сплавов/Б.А. Колачев, В.А. Ливанов, А.А. Буханова – М.: Металлургия, – 1974.–С.544

50. Хорев А.И., Белов С.П., Глазунов С.Г. Титановые сплавы. Металловедение титана и его сплавов/А.И. Хорев, С.П. Белов, С.Г. Глазунов; под ред. Б.А. Колачева, С.Г. Глазунова. – М.: Металлургия, – 1992. – С. 352

51. Мельников А.А. Материаловедение. Конспект лекций. Ч. 2. Материаловедение и термическая стабильность сталей и сплавов специального назначения [Электронный ресурс]: электрон.учеб. пособие/А.А. Мельников; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Самара. – 2012. – С. 83

52. Ливанов В.А., Буханова А.А., Колачев Б.А. Водород в титане/В.А. Ливанов, А.А. Буханова, Б.А. Колачев – М.: Metallurgy, – 1962. – С. 245

53. Шоршоров М.Х., Назаров Г.В. Сварка титана и его сплавов/М.Х. Шоршоров, Г.В. Назаров. – М.: Mashgiz, – 1959. – С. 136

54. Молчанова Е.К. Атлас диаграмм состояния титановых сплавов. – М.: Mashinostroyeniye, – 1964. – С. 392

55. Корнилов И.И. Титан. Источники, составы, свойства, металлохимия и применение/И.И. Корнилов – М.: Nauka, – 1975. – С. 310

56. Назаров В.В. Экспериментальное исследование влияния водорода на ползучесть титановых сплавов/В.В. Назаров//Физика прочности и пластичности материалов: сб. тез. XVIII Международной конференции. – Самара: Самарский гос. тех. ун-т, – 2012. – С. 141.

57. Скворцов С.В., Панин П.В., Ночовная Н.А., Грушин И.А., Митропольская Н.Г. Влияние водорода на фазовые и структурные превращения в титановом сплаве ВТ6/С.В. Скворцов, П.В. Панин, Н.А. Ночовная, И.А. Грушин, Н.Г. Митропольская//Технология легких сплавов. – 2011. – № 4

58. Клопотов А.А., Потекаев А.И., Козлов Э.В., Тюрин Ю.И., Арефьев К.П., Солоницина Н.О., Клопотов В.Д. Кристаллогеометрические и кристаллохимические закономерности образования бинарных и тройных соединений на основе титана и никеля: монография/А.А. Клопотов, А.И. Потекаев, Э.В. Козлов, Ю.И. Тюрин, К.П. Арефьев, Н.О. Солоницина, В.Д. Клопотов; под общ.ред. А.И. Потекаева; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2011. – С. 312

59. Солонина О.П., Глазунов С.Г. Жаропрочные титановые сплавы. – Metallurgy, – 1976.

60. Голковский М.Г., Веселов С.В., Батаев И.А., Батаев А.А., Журавина Т.В., Руктуев А.А. Рентгеноструктурные исследования



поверхностных слоев титана, легированного танталом/М.Г. Голковский, С.В. Веселов, И.А. Батаев, А.А. Батаев, Т.В. Журавина, А.А. Руктуев//Ползуновский вестник. – 2012. – №. 3-1. – С. 85.

61. Tian Y.S., Chen C.Z., Li S.T., Huo Q.H. Research progress on laser surface modification of titanium alloys/Y.S. Tian, C.Z. Chen, S.T. Li, Q.H. Huo//Applied Surface Science. – 2005. – Vol. 242. – №. 1. – P. 177-184.

62. Song Y., Xu D.S., Yang R., Li D., Wu W.T., Guo Z.X. Theoretical study of the effects of alloying elements on the strength and modulus of  $\beta$ -type biotitanium alloys/Y. Song, D.S. Xu, R. Yang, D. Li, W.T. Wu, Z.X. Guo//Materials Science and Engineering: A. – 1999. – Vol. 260. – №. 1. – P. 269-274.

63. Кузнецов В.В., Рубцов Э.Р., Шкуряков Н.П. Материаловедение. Цветные металлы и сплавы на их основе. Неметаллические материалы: учеб.пособие./В.В. Кузнецов, Э.Р. Рубцов, Н.П. Шкуряков – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2014. – С. 80

64. Moiseyev V.N. Titanium alloys: Russian aircraft and aerospace applications. – CRC press, – 2005.

65. Солонина О.П., Глазунов С.Г. Современные жаропрочные титановые сплавы и перспективы их применения в двигателях.– М.: Металлургия, – 1974.

66. Квасов Ф.И., Каганович И.Н., Кожевникова Л.И. Титан.Производство, применение, люди. – 1992.

67. Gogia A.K. High-temperature titanium alloys/A.K. Gogia//Defence Science Journal. – 2005. – Vol. 55. – №. 2. – P. 149.

68. Xiao B.L., Ma Z.Y., Bl J. Creep behavior of TiBw/Tiand (TiBw+TiCp)/Tiinsitu composite/B.L. Xiao, Z.Y. Ma, J. Bl//Journal of materials science letters. – 2002. – Vol. 21. – №. 11. – P. 859-861.

69. Вульф Б.К. Термическая обработка титановых сплавов/Б.К. Вульф//М.: Металлургия. – 1969. – С. 375.

70. Гадеев Д.В., Кириллова И.Н., Корелин А.В. Термическая обработка высокопрочного титанового сплава/Д.В. Гадеев, И.Н. Кириллова,

А.В. Корелин//III международная научная школа для молодежи «Материаловедение и металлофизика легких сплавов». – Екатеринбург, – 2014.

71. Novikov I.I., Mordukhovich A.M., Betsofen S.Y., Kuvshinov G.A., Isaev A.V., Dement'ev V.A. Heat treatment of titanium alloys. – 1980.

72. Ueda S., Daikoku T., Takeda Y., Hiromoto A., Nagai N., Moriguchi Y., Ito Y. Heat treatment of titanium alloys : пат. 4167427 США. – 1979.

73. Хорев А.И. Комплексное легирование и термомеханическая обработка титановых сплавов/А.И. Хорев//М.: Машиностроение. – 1979. – Т. 228.

74. Садикова Г.Х., Латыш В.В., Семенова И.П., Валиев Р.З. Влияние интенсивной пластической деформации и термомеханической обработки на структуру и свойства титана/Г.Х. Садикова, В.В. Латыш, И.П. Семенова, Р.З. Валиев//Металловедение и термическая обработка металлов. – 2005. – №. 11. – С. 31-34.

75. Ильин А.А., Колачев Б.А., Носов В.К. Водородная технология титановых сплавов. – 2002.

76. Бурнышев И.Н., Валиахметова О.М., Мутагарова С.А. Химико-термическая обработка титановых сплавов в порошковых средах/И.Н. Бурнышев, О.М. Валиахметова, С.А. Мутагарова//Металловедение и термическая обработка металлов. – 2007. – №. 5. – С. 53-59.

77. Логачёва А.И. Комплексная технология изготовления тонкостенных элементов методом порошковой металлургии для производства деталей из конструкционных и функциональных сплавов на основе титана и никеля для изделий ракетно-космической техники: дис. д-ра тех.наук. ОАО «КОМПОЗИТ», Королев, 2016.

78. Методические указания к лабораторным работам по аналитической химии «Гравиметрические методы анализа» / Сост. Т.Н. Ермолаева. – Липецк: ЛГТУ, 2004. – с. 35., Манахова С.В. Основы количественного анализа: учеб.пособие / СВ. Манахова, Н. В. Шкаева. -

Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет, 2010. – с. 128.

79. MAXima\_XXRD-7000 X-rayDiffractometer [Электронный ресурс] // Shimadzuexcellenceinscience. – Режим доступа: <http://shimadzu.com/an/elemental/xrd/xrd7000.html>

80. Лаптев Р.С. Разработка метода аннигиляции позитронов для контроля дефектной структуры в системах металл-водород дисс. канд.тех.наук. Томский политехнический университет, Томск, 2014

81. Определение общего и поверхностного водорода методом плавления в атмосфере инертного газа: [Электронный ресурс] // LECO Corporation – представительство в России. 2012. – Режим доступа: <http://ru.leco-europe.com/product/rhen602/>.

82. Коротких А.Г. Теплопроводность материалов / А.Г. Коротких - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. ;Волков Д.П., Кораблев В.А., Заричняк Ю.П. Приборы и методы для измерения теплофизических свойств веществ / Д.П. Волков, В.А. Кораблев, Ю.П. Заричняк – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2006.

83. Эгиз В.И., Бабарэко А.А., Хорев А.И., Мартынова М.М., Самарин Е.Б. Образование базисной текстуры в титановом сплаве VT18y//В.И. Эгиз, А.А. Бабарэко, А.И. Хорев, М.М. Мартынова, Е.Б. Самарин/Металловедение и термическая обработка металлов.– 1992.– №6.

84. Deutges M. Hydrogen diffusivities as a measure of relative dislocation densities in palladium and increase of the density by plastic deformation in the presence of dissolved hydrogen/M. Deutges et al.//ActaMaterialia. – 2015. – Vol. 82. – P. 266 – 274.

85. Савицкая Л.К. Методы рентгеноструктурных исследований //Томск: Томский гос. ун т. – 2003.; Грабовецкая Г.П. и др. Диффузия водорода в субмикроструктурном титане //Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. – №. 2. – с. 55-59.

86. Лидер А.М. Позитронная спектроскопия для контроля микроструктурных изменений в системах «металл-водород» дисс. док.тех.наук. Томский политехнический университет, Томск, 2017

87. Giebel D., Kansy J. A new version of LT program for positron lifetime spectra analysis/D. Giebel, J. Kansy//Materials Science Forum. – 2011. – Vol. 666. – P. 138-141.

88. Giebel D., Kansy J. LT10 program for solving basic problems connected with defect detection/D. Giebel, J. Kansy//Physics Procedia. – 2012. – Vol. 35. – P. 122-127.

89. Yamada M. An overview on the development of titanium alloys for non-aerospace application in Japan/M. Yamada//Materials Science and Engineering: A. – 1996. – Vol. 213. – №. 1. – P. 8-15.

90. Čížek J. et al. Hydrogen-induced defects in bulk niobium/J. Čížek et al.//Physical Review B. – 2004. – Vol. 69. – №. 22. – P. 224106.

## Приложение А

### Раздел 2

#### Материалы и методы исследования

---

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ71	Бабихина Мария Николаевна		

Консультант школы отделения (НОЦ) – Экспериментальной физики:

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

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Преподаватель ОИЯ ШБИП	Шайкина Ольга Игоревна			

## CHAPTER 2. THE RESEARCH METHODOLOGY

### 2.1. Study material

The material used was a titanium alloy (Ti-6Al-4V) of circular shape, with a diameter of 10 mm and a height of 4 mm. The elemental composition of the alloy is given in table 2.1.

Table 2.1. The elemental composition of titanium alloys [1 – 3]

Make	Ti	Al	V	Mo	Sn	Zr	Mn	Cr	Si	Fe	O	H	N	C
Ti64	basis	5,3-6,8	3,5-5,3	–	–	0,30	–	–	0,10	0,60	0,20	0,015	0,05	0,1

All surface defects (dents, rough scratches, etc.) were removed as a result of machining the surface using emery paper with markings in accordance with ISO-6344 600, 1500, 2000 and 2500 and polishing using diamond paste. To remove rolling defects and remove internal microstresses, high-temperature vacuum annealing was performed at a temperature of 850 °C for 10 hours. To obtain different degrees of deformation in the samples under study, mechanical rolling was performed using a mechanical mill. To reveal the structure of the material, chemical etching in solution was carried out: 15 ml HF, 85 ml H<sub>2</sub>O [4]. The surface is one of the fundamental details in the study of the material and carrying out metallographic analysis, the roughness was monitored on a Hommel Tester T1000 instrument. The roughness of the initial samples was Ra = 0.03 μm. The surface was examined using an AxioVert 40 MAT optical inverted microscope. X-ray diffraction analysis was performed using a Shimadzu XRD-7000S diffractometer. Analysis of electron-positron annihilation (EPA) was carried out on a spectrometer developed on the basis of Tomsk Polytechnic University. The study of the mechanical characteristics of the material under study was carried out using a Vickers hardness tester KB 30S by Pruftechnik GmbH. The introduction of hydrogen was carried out by gas-phase hydrogenation at a temperature of 350 °C and a pressure of 0.6 atm. using the automated complex Gas Reaction Controller LPB by Advanced Material Corporation. The concentration

was measured using the gas analyzer RHEN 602 by LECO, which is based on an inert gas extraction method.

## **2.2. Obtaining samples with varying degrees of deformation using a mechanical mill**

The rolling mill is a machine for processing by pressure of metal and other materials between rotating rollers, i.e. for carrying out the rolling process. If we talk more broadly, it is an automatic system or machine line (unit) that performs not only rolling, but also auxiliary operations: transporting the original billet from the warehouse to heating furnaces and mill rolls, transferring rolled material from one caliber to another, turning over, transportation of the metal after rolling, cutting into parts, marking or branding, dressing, packaging, transferring finished products to the warehouse, etc.

Thus, to obtain different degrees of deformation in the samples under study, the thickness was controlled using a micrometer (formula 2.1).

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h} * 100\% \quad (2.1)$$

where  $h_0$  is the initial thickness of the sample,  $\mu\text{m}$ ;  $h$  is the thickness after rolling,  $\mu\text{m}$ .

## **2.3. Optical microscopy for microstructure research**

An optical inverted microscope AxioVert 40 MAT was used for metallographic studies. This device with high-quality wide-field optics allows the use of all available methods of contrasting and is equipped to order with illuminators of various types and power. Table 2.2 presents the main characteristics of an optical microscope.

Table 2.2. Technical characteristics of a digital trinocular inverted microscope Carl Zeiss AxioVert 40 MAT with a visualization system and photo documentation for materials science and metallography

Microscopemagnification	50x - 1000x
Lensmagnification	5x, 10x, 20x, 50x, 100x (optionallongfocus, fluorescent)
Eyepiece magnification and field of view	W-PL 10x/23mm
Revolverforattachinglenses	5-position H-D, DIC (coded)
Built-inilluminator	LED 0-12V/20W
Illuminator (optional) with external power supply	HAL 12V/100W (halogen) XBO 75W (xenon); HBO 100W (mercury)
Object table with coaxial handles	removable mechanical two-coordinate 40×40 mm two-coordinate motorized 130×85 mm mechanical with a possibility of rotation
Availableresearchmethods	Light field, dark field, polarization, DICK, C-DICK, fluorescence
Videooutput	Top location (optical adapter required)
Overall dimensions D×H×W, mm	560×355×220
Weight, kg	10.3

Figure 2.1 shows the appearance of an optical microscope.



Figure 2.1 – Appearance of an inverted microscope Carl Zeiss AxioVert 40 MAT

#### 2.4. Investigation of the microhardness distribution of titanium alloy VT6 using the Vickers hardness tester KB 30S by Pruftechnik GmbH



Scheme Vickers hardness tester KB 30S Pruftechnik GmbH is shown in Figure 2.2.

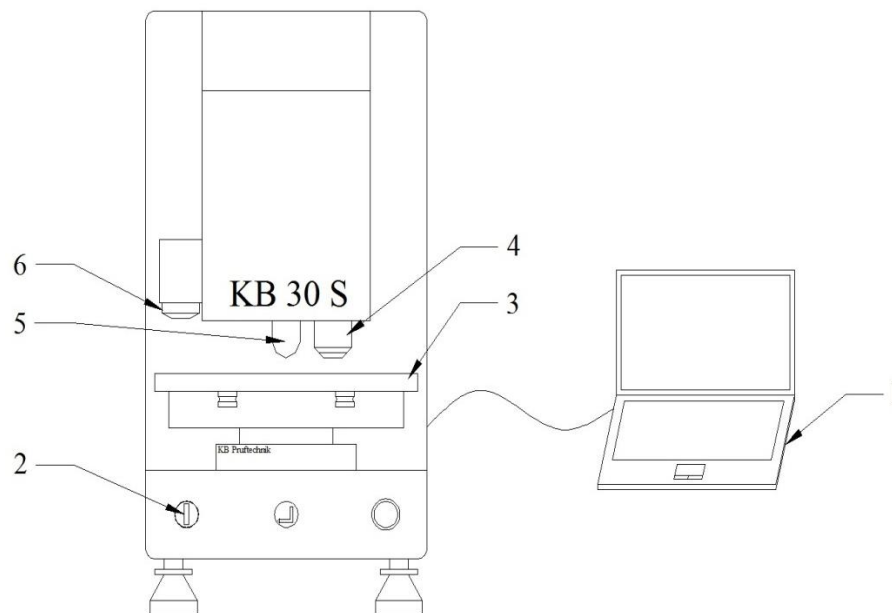


Figure 2.2 – Diagram of the Vickers Hardness Tester KB 30S Pruftechnik GmbH: 1 – a computer with special software; 2 – power button; 3 – table; 4 – 20X lens; 5 – indenter (diamond pyramid); 6 – overview camera.

Vickers Hardness Tester KB 30S of Pruftechnik GmbH consists of a computer with special software (1). After turning on the power button (2), proceed to the measurement of hardness. To do this, place the test sample on the table (3) and raise it to the desired height using special control buttons. Then we adjust the focus of the 20X lens (4), determining the desired surface and setting a certain load, we begin to indent the surface with the help of a diamond pyramid (5). After the indentation, the lengths of the diagonals of the imprint are automatically measured and the hardness is determined by the formula presented above. It is also possible to consider the surface of the sample under study with the help of a survey camera (6) specially designed for finding indentation prints.

Also, using the hardness tester Vickers KB 30S by Pruftechnik GmbH, one can conduct metallographic examinations of the sample surface.

Analysis of metallography allows the study of the structural properties of metallic materials. The structure of the sample can be identified by chemical etching, grinding or polishing.

## 2.5. Saturation of the material under study from the gaseous medium using the automated complex Gas Reaction Controller LPB by Advanced Material Corporation

Saturation of the test material was carried out in the Gas Reaction Controller LPB by Advanced Material Corporation. The scheme of the automated complex Gas Reaction Controller, with the help of which saturation was performed, is shown in Figure 2.3.

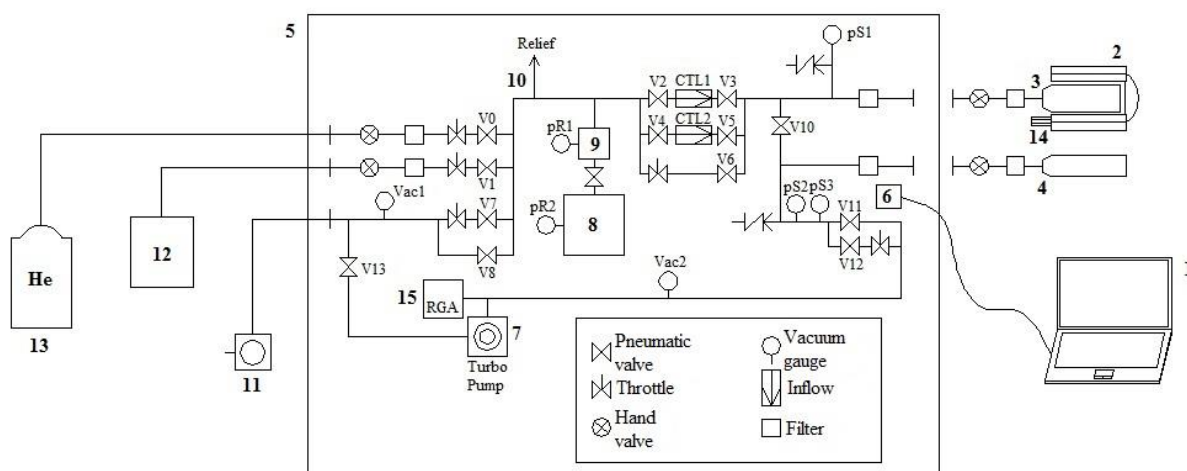


Figure 2.3 – Scheme of the automated complex Gas Reaction Controller: 1 – computer; 2 – high temperature furnace; 3 – low pressure chamber; 4 – high pressure chamber; 5 – controller; 6 – electronic control system of the complex; 7 – turbomolecular pump; 8 – low pressure tank; 9 – high pressure tank; 10 – hydrogen removal system; 11 – vacuum station; 12 – hydrogen generator; 13 – balloon with helium; 14 – cooling system; 15 – mass spectrometer.

Automated complex GRC LPB consists of a computer with special software (1), a high-temperature furnace (2), a chamber for samples of low (3) and high (4) pressures and a controller (5). The controller consists of an electronic control system for the complex (6) and a vacuum part. The vacuum part in turn consists of an integrated turbomolecular pump (7), reservoirs of low (8) and high (9) pressures, a system of manual and pneumatic valves, chokes, vacuum gauges, sprays and filters. For safety reasons, a hydrogen removal system (10) is installed between the tanks (low and high pressure) and sample chambers. The system uses

a vacuum station (11) to create and maintain a vacuum, which consists of a fore-vacuum membrane and turbomolecular pumps. The system can be supplied with hydrogen from the generator (12) or helium from the cylinder (13). To avoid damage to the wires, a cooling system is installed between the furnace and the controller (14). A mass spectrometer (15) is also integrated in the controller, through which hydrogen and other gases in the sample desorbed on the chamber walls can be monitored.

Automated complex Gas Reaction Controller is designed to determine the amount of hydrogen absorbed by various solid and powdered bodies in various temperature and pressure ranges. The principle of GRC is shown in Figure 2.4.

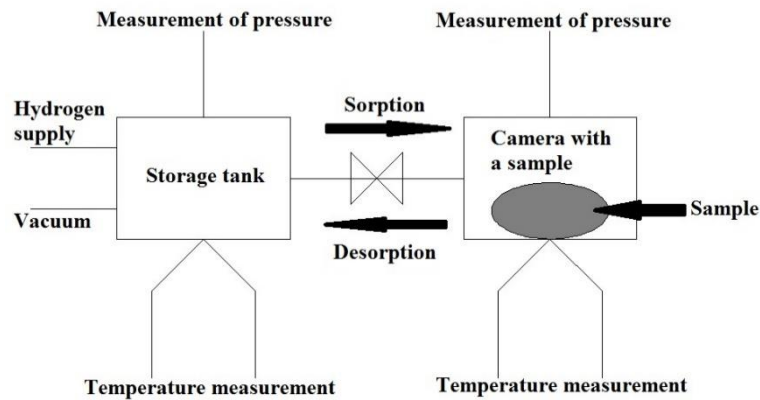


Figure 2.4 – The principle of operation of the automated complex Gas Reaction Controller

A certain amount of hydrogen is poured into the tank and the molar volume ( $N_0$ ) of this gas is determined from the pressure and temperature. Then a valve opens between the reservoir and the reaction chamber, and hydrogen begins to flow into the chamber. The reaction is considered complete after the introduction of hydrogen into the solid. The calculation of the total molar amount of hydrogen ( $N_g$ ) in the entire system with the sample is performed.

According to formula (2.2), the molar volume of hydrogen absorbed by the solid ( $N_s$ ) is determined.

$$N_s = N_0 - N_g \quad (2.2)$$

If some hydrogen content  $N_{s0}$  is known in a solid, then before the start of the reaction it is necessary to introduce a given value of hydrogen into the

program. Taking into account the initial concentration of hydrogen in the solid, the formula for calculating the molar volume of hydrogen absorbed by the solid takes another form (formula (2.3)).

$$N_S = N_{S0} + N_0 - N_g \quad (2.3)$$

According to the ideal gas law, the molar volume of hydrogen is calculated, and in this case the accuracy of the system depends on the measurement of temperature and pressure. While maintaining a constant temperature, the main factor and the necessary condition is the measurement of pressure. Under normal conditions, the accuracy of the measured amount of hydrogen is 0.3 cm<sup>3</sup> when performing experiments to study hydrogen sorption on GRC.

The hydrogen pressure, its temperature and the volume occupied by it, determines the amount of hydrogen in the reaction chamber before, during and after the reaction with the sample. The equation for calculating one mole of gas is given in formula (2.4).

$$\frac{pV}{RT} = 1 + \frac{B(T)}{V} + \frac{C(T)}{V^2} + \frac{D(T)}{V^3} \quad (2.4)$$

where B(T), C(T) and D(T) are the second, third and fourth temperature dependent coefficients. The calculation of the coefficients is given in formula (2.5).

$$\begin{aligned} B(T) &= B_0 - \frac{A_0}{RT} - \frac{c}{T^3}; \\ C(T) &= -B_0b + \frac{A_0a}{RT} - \frac{B_0c}{T^3}; \\ D(T) &= \frac{B_0bc}{T^3}; \end{aligned} \quad (2.5)$$

For hydrogen, the value of the constants:  $A_0 = 0,1975$ ,  $a = -0,00506$ ,  $B_0 = 0,02096$ ,  $b = -0,04359$ ,  $c = 504$ .

We use equations (2.4) and (2.5), for a known volume, pressure, and temperature, the number of gas molecules is calculated by formula (2.6).

$$n = \frac{\left(\frac{pV}{RT}\right)}{1 + B(T)\frac{n}{V} + C(T)\frac{n^2}{V^2} + D(T)\frac{n^3}{V^3}} \quad (2.6)$$

The value of  $n$  is determined by the operating method. The amount of absorbed hydrogen is determined both in absolute value ( $\text{cm}^3$ ) and in relative (mass percent). The absolute value of the amount of absorbed hydrogen is defined as the molar volume of hydrogen absorbed by the solid (calculated by formula (2.2) or (2.3)) multiplied by 22413.6. The relative value of the quantity absorbed in mass percent ( $wt$ ) is determined by the formula (2.7).

$$wt = \frac{N_S \cdot M_G}{m \cdot 100} \quad (2.7)$$

Where  $m$  is the mass of the sample and  $M_G$  is the molar mass of the gas ( $2 \cdot 1.0079$  for hydrogen).

An additional method of measuring the concentration is the gravimetric method. The principle of operation of this method is based on the determination of the mass of the desired component of the analyzed material by weighing a finite substance of a known composition into which the component to be determined is transferred [64, 65]. The concentration of hydrogen in the material under investigation according to the gravimetric method is determined by the formula 2.8.

$$wt = \frac{m_H}{m_{\text{samp}+H}} \cdot 100\% \quad (2.8)$$

Where  $m_H$  is the mass of hydrogen;  $m_{\text{оп}+H}$  is the mass of the sample with hydrogen.

## 2.6. X-ray analysis using a Shimadzu XRD-7000S diffractometer

Figure 2.5 shows the Shimadzu XRD-7000S diffractometer, which was used for the X-ray structural analysis of the material under investigation.



Figure 2.5 – Shimadzu XRD-7000S Diffractometer [5]

The method of X-ray diffractometry is widely used to determine the crystal structure of the material, the phase composition, as well as the possible impurity elements contained in the material [5].

The basis of x-ray diffraction analysis is the phenomenon of diffraction. In this case, diffraction is understood as the phenomenon of strong scattering of waves on a periodic scatterer grating at certain angles of incidence and wavelengths. The simplest case of such a phenomenon arises when light is scattered on a diffraction grating. A similar phenomenon is observed in the X-ray scattering used in X-ray phase analysis, in which the crystal lattice of the phase acts as a scatterer. In this case, intense scattering peaks are observed while the Wulff-Bragg conditions are satisfied (formula 2.8):

$$2d\sin 2\theta = n\lambda, \quad (2.8)$$

where  $d$  is the distance between adjacent crystallographic planes;  $\theta$  is the angle at which diffraction is observed;  $n$  is the diffraction order;  $\lambda$  is the wavelength of monochromatic x-rays incident on the crystal.

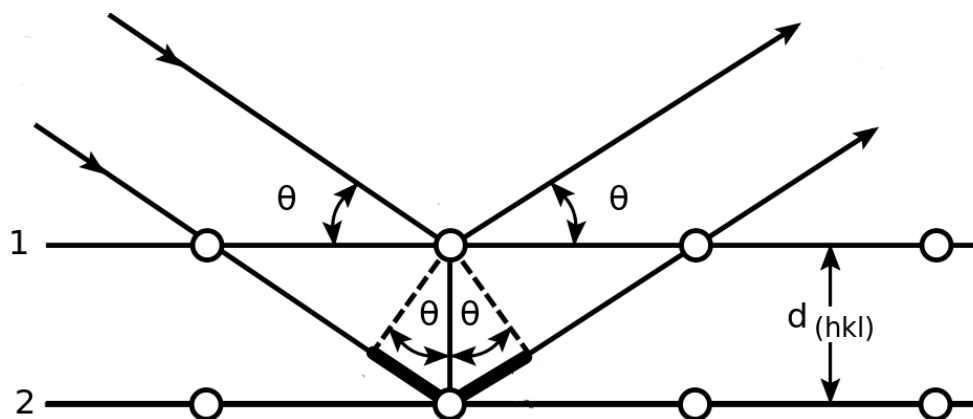


Figure 2.6 – Diagram of the incidence and reflection of x-ray  
 When a sample interacts with monochromatic X-rays for each type of plane, a part of the crystallites falls into the “reflecting” position. In this case, an diffraction maximum is observed at an angle  $\theta$  for a given type of plane, characterized by different intensities. The angular position of the maximum is determined by the value of the interplanar distance. The value of  $d$  is determined by the lattice geometry.

### 2.7. Analysis of electron-positron annihilation to study the defect structure of the titanium alloy using a digital spectrometric complex

Figure 2.7 presents the scheme of the spectrometric complex developed on the basis of TPU [6].

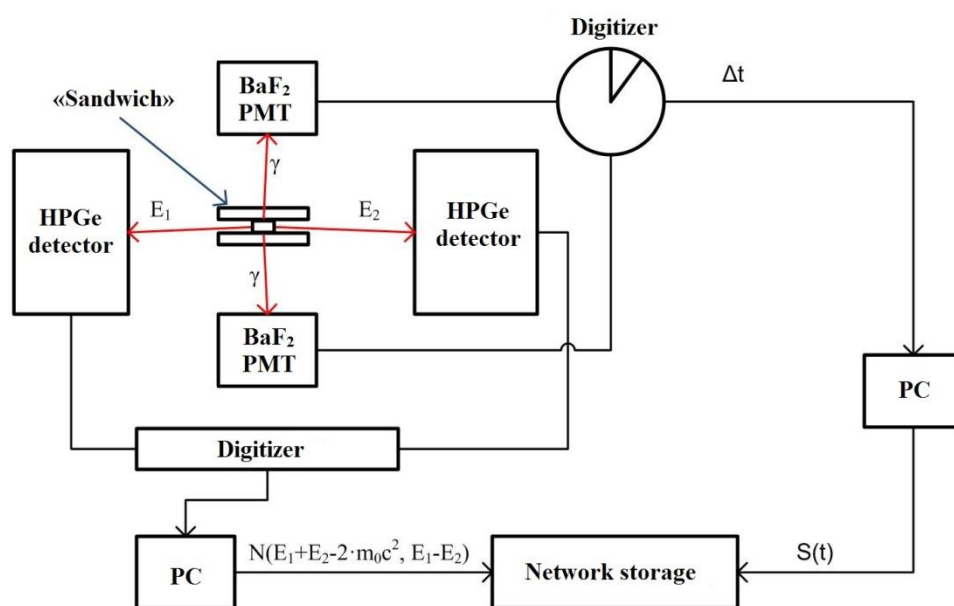


Figure 2.7 – Scheme of the spectrometric complex for the study and control of

defects in metals and their alloys by the method of electron-positron annihilation [6]

The spectrometric complex for investigation and control of defects consists of two modules:

- analysis of the temporal distribution of positron annihilation;
- doppler broadening of the annihilation line.

These modules are used in conjunction with modern high-speed multichannel acquisition and conversion systems.

The source of positrons is the radioactive isotope  $^{44}\text{Ti}$  ( $\beta^+$ ,  $\gamma$ ), which is located between two samples of the material, forming the so-called "sandwich geometry". This source is well suited for research by the presented methods, since there is an almost simultaneous emission of a positron and a nuclear  $\gamma$ -quantum with an energy of 1.157 MeV.

Signals from detectors are digitized using high-speed digitizers and recorded in PC memory. When collecting spectra with the necessary statistics ( $\sim 10^6$  for each module), a large amount of data is accumulated. For storage and processing of the specified amount of experimental data, special network storage is used.

The management of the spectrometry complex is carried out using software [6].

## **2.8. Determining the content of hydrogen using a hydrogen analyzer RHEN602 by LECO**

Hydrogen analyzer RHEN602 by LECO, shown in Figure 2.8, is used to determine the hydrogen content in sample extraction method a hydrogen environment of inert gas (argon).





Figure 2.8 – A hydrogen analyzer RHEN602 [7]

The hydrogen is measured by recording the change in the thermal conductivity of the carrier gas in the thermal conductivity cell. The block diagram of RHEN602 is shown in Figure 2.9. The principle of operation of the thermocondensing (TK) cell is based on the measurement of the thermal conductivity of the passing gas. A filament of metal (for example, Pt, W, their alloys, Ni, etc.) with a high temperature coefficient of resistance is placed in the cavity of the detector's metal block for thermal conductivity. The thread begins to heat up when a direct current passes through it. When washing the filament with a clean carrier gas, its temperature remains constant, as it loses a constant amount of heat. As soon as the filament begins to wash the gas containing impurities that have other parameters of thermal conductivity, the temperature of the filament begins to change. This leads to a change in the resistance of the thread. The change in yarn resistance is measured with a Wheatstone bridge. The bridge is in equilibrium if the temperature of both threads is the same and the resistance, respectively. When the gas composition changes, the resistance of the threads changes and an imbalance occurs and an output signal is formed. The detector operates in such a way that it reacts to all the components except the carrier gas [8, 9].

The analysis starts with setting an empty graphite crucible on the lower electrode and pressing the loader button. After the electrodes are closed, the process of cleaning the crucible from atmospheric gases begins, which is referred to as digestion. This process is accompanied by the flow of electric current through

the crucible, which heats it to a high temperature, which promotes the release of gases in graphite. Then the sample from the upper charging device is lowered into the crucible. The crucible is fed with a current that promotes the release of gases from the sample. To ensure that there is no further process of degassing the crucible during the analysis. A lower current is supplied.

For purification from oxygen, the carrier gas from the balloon passes through copper. It then passes through reagents such as Lecosorb and Anhydron, to remove CO<sub>2</sub> and moisture, respectively. This procedure for cleaning the carrier gas is carried out in order to clean it before passing through the support part of the thermocondensing cell and entering the furnace [7].

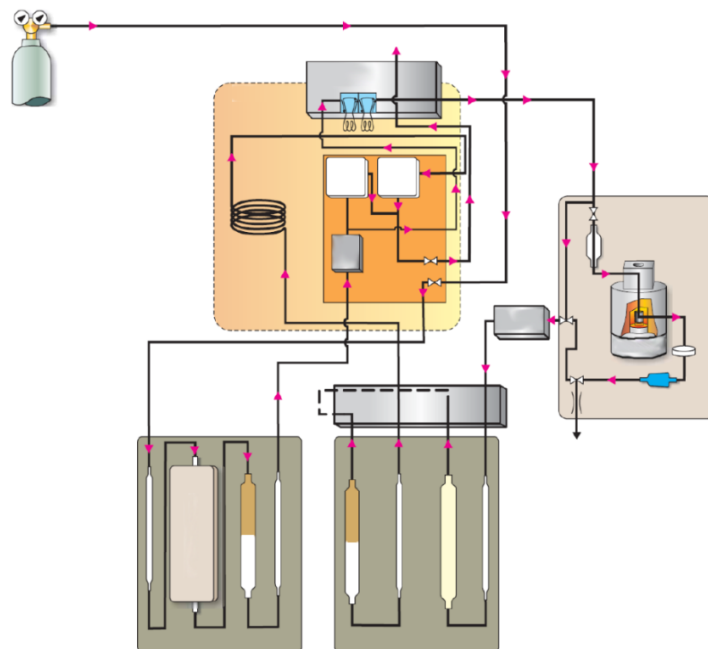


Figure2.9 – Block diagram of the analyzer RHEN602 [7]

As the sample is heated, hydrogen is released into the transport gas stream and passes through the system flow measuring section. The sample gas from the furnace passes through the mass flow controller and through the Schutze reagent, which converts CO into CO<sub>2</sub>. Then the sample gas passes through reagents Lecosorb and Anhydron, which remove CO<sub>2</sub> and moisture. The remaining gas is transferred to the molecular filter column, which separates the gas components, depending on the size of the molecule. Then the sample gas passes through the measuring part of the cell TC, where the hydrogen content is measured.

The signal generated by the TC cell is transmitted to the analog-to-digital converter and then to the computer, and with the help of the program, the hydrogen content is determined [7].

The concentration of hydrogen, which is determined by this method, is calculated by the formula 2.9.

$$wt = kx + b \quad (2.9)$$

where  $k$  is the calibration constant. This formula describes the calibration line, which is obtained after conducting a series of control calibration of the analyzer at a certain concentration.

### **Bibliography**

1. Merkulova G.A. Metal science and heat treatment of non-ferrous alloys: study guide/G.A. Merkulov. – Krasnoyarsk: Sib. Department. University, 2008. – p. 312 – in Russian
2. Afonin V.K., Ermakov B.S., Lebedev E.L., Pryakhin E.I., Samoilov N.S., Solntsev Yu.P., Shipsha V.G. Metals and alloys: a reference book/V.K. Afonin, B.S. Ermakov, E.L. Lebedev, E.I. Pryakhin, N.S. Samoilov, Yu.P. Solntsev, V.G. Shipsha//SPb.: NPO Professional. – 2003. – in Russian
3. Ostapchuk V.V., Semishov N.I., Sidachenko A.A. Materials of low density and high specific strength in AKT/V.V. Ostapchuk, N.I. Semishov, A.A. Sidachenko – Ucheb.posobie. – Kharkov: Nat. aerospace. un-t "Kharkov. Aviation Institute", – 2006. – p. 77. – in Russian
4. Logacheva A.I. Complex manufacturing technology of thin-walled elements by powder metallurgy for the production of parts from structural and functional alloys based on titanium and nickel for products of rocket and space technology: dis. Dr. Technical Sciences. KOMPOZIT JSC, Korolev, 2016. – in Russian

5. MAXima\_XXRD-7000 X-ray Diffractometer [Electronic resource]//Shimadzu excellence in science. – Режим доступа: <http://shimadzu.com/an/elemental/xrd/xrd7000.html>

6. Laptev R.S. Development of a positron annihilation method to control the defect structure in metal-hydrogen systems: dis. - 2014.

7. Determination of total and surface hydrogen by melting in an inert gas atmosphere: [Electronic resource]//LECO Corporation – representative office in Russia. 2012. – Access mode: <http://ru.leco-europe.com/product/rhen602/>.

8. Korotkikh A.G. Thermal conductivity of materials/A.G. Korotkikh - Tomsk: Publishing house of Omsk Polytechnic University, 2011. – in Russian

9. Volkov D.P., Korablev V.A., Zarichnyak Yu.P. Instruments and methods for measuring the thermophysical properties of substances/DP. Volkov, V.A. Korablev, Yu.P. Zarichnyak – St. Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2006. – in Russian