

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки Физика

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Позитронная спектроскопия дефектной структуры деформированного сплава Ti-6Al-4V при высокотемпературном вакуумном отжиге и наводороживании

УДК 620.179.1:620.19:621.785.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ61	Чжан Чэнхао		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Лаптев Р.С	к.т.н., ассистент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская М.В.	к.экон.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	д.т.н., профессор		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск-2018 г

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по основной образовательной программе высшего профессионального образования,
направление подготовки 03.04.02 Физика,
квалификация - магистр

Код результата	Результат обучения (компетенции выпускника)
P1	Способен самостоятельно приобретать новые знания, использовать современные образовательные и информационные технологии, совершенствовать и развивать свой профессиональный уровень, поддерживать здоровый образ жизни
P2	Способен к поиску, обработке и интерпретации с использованием современных информационных технологий данных, необходимых для формирования суждений по соответствующим социальным, научным и этическим проблемам как в коллективе, так и индивидуально (на родном и иностранном языке)
P3	Способен критически переосмысливать свой накопленный социальный и профессиональный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, следовать этическим и правовым нормам и нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности
Профессиональные компетенции	
P4	Способен к овладению и применению базовых знаний в области естественных наук и математики для решения профессиональных задач, к усвоению основных педагогических моделей, форм и приемов педагогического воздействия на личность; закономерностей педагогического мастерства
P5	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, экспериментальные методы исследования конденсированного состояния вещества, методы анализа поверхности твердых тел и тонких пленок
P6	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, современную электронику в электрофизических и плазменных установках, а также учесть взаимодействие излучения и плазмы с веществом, современные достижения водородной энергетики и плазменных технологий
P7	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, базовые естественнонаучные и математические знания, методы исследования в области профессиональной деятельности, при получении и исследовании материалов атомной промышленности и наноматериалов
P8	Способен понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, к применению на практике полученных знаний при обработке, анализе и синтезе полученных физических данных в соответствии с профилем профессиональной деятельности, осуществлять презентацию научной деятельности

Р9	Способен понимать и использовать на практике теоретические основы планирования и организации физических исследований, представлять результаты и применять на практике методы управления в сфере природопользования
Р10	Способен формировать суждения о значении и последствиях своей профессиональной деятельности с учетом социальных, правовых, этических и природоохранных аспектов, при необходимости применить ресурсо- и энергосберегающие технологии

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Группа	ФИО
ОБМ61	Чжан Чэнхао

Студенту:

Институт	Физико-технический	Отделение	Экспериментальная физика
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	Физика

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Стоимость материалов. 2. Амортизационное отчисление оборудования. 3. Зарботная плата руководителя проекта. 4. Зарботная плата исполнителей проекта
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	1. Нормы рабочего времени, выполнения проекта
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	1. Ставка налога отчисления во внебюджетные фонды. 2. Процент дополнительной заработной платы.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Оценка конкурентоспособности проекта. 2. Планирование работ в течении осуществления проекта.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1. Планирование и расчет бюджета научной-исследовательской работы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	1. Определение эффективности и перспектив научного исследования.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения и бюджет НИ 4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ 5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования 6. Сравнительная эффективность разработки	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.экон.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ61	Чжан Чэнхао		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ61	Чжан Чэнхао

Институт	Физико-технический	Отделение	Экспериментальная физика
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	03.04.02 «Физика» Профиль «Физика конденсированного состояния вещества»

**Тема дипломной работы: ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДОРОДА В ТИТАНЕ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>Работа проводилась в лаборатории на подвальном этаже в третьем корпусе Национального исследовательского Томского политехнического университета.</p> <p>В процессе возникли следующие вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. отклонение показателей микроклимата в помещении 2. превышение уровней шума; 3. превышение уровней электромагнитных и ионизирующих излучений 4. недостаточная освещенность рабочей зоны; <p>и опасный фактор – электрический ток.</p>
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	ГОСТ и СанПиН
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	Вредные факторы: 1. Отклонение показательней микроклимата на рабочем месте 2. Шум 3. Электромагнитное излучение 4. Освещенность
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности	Опасные факторы: 1 . Электрическое напряжение 2 . Пожар
3. Охрана окружающей среды:	После разделения отходов на 2 подгруппы: сталь и окси нитриды титана, нужно их перевести на специальные места на переработку.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях:	В связи с использованием водорода в процессе выполнения работы насыщения водородом, существуют опасности пожар и взрыв. Чтобы избежать такой опасности необходимы следующие мероприятия: 1). создание запасов средств индивидуальной защиты и поддержание их в готовности; 2). наличие и поддержание в постоянной
<ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; 	

– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	готовности системы общего оперативного и локального оповещения и информации о пожаре и взрыве; 3). проектирование, размещение, строительство и эксплуатация объектов инфраструктуры, в том числе и потенциально опасных.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	1. Организационные мероприятия обеспечения безопасности. 2. Особенности законодательного регулирования проектных решений. 3. Привести перечень ГОСТ СНиПов использованных в работе
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	План размещ светильников План Эвакуации

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМб1	Чжан Чэнхао		

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки Физика

Уровень образования Магистр

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

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)
02.05.2018	Обзор литературы	20
10.05.2018	Объект и методы исследования	25
20.05.2018	Расчет и аналитический анализ	25
25.05.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2018	Социальная ответственность	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Лаптев Р.С	к.т.н., ассистент		

СОГЛАСОВАНО:

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

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки Физика

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Лидер А.М.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ61	Чжан Чэнхао

Тема работы:

Исследование содержания водорода в титане электрическими методами

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе .	Исходный материал: Титановый сплав Ti-6Al-4V марки ВТ6, необходимая материально-техническая база, необходимая литература Целью работы является исследование дефектной структуры деформированного сплава Ti-6Al-4V при высокотемпературном вакуумном отжиге и наводороживании.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Литературный обзор, включающий физические основы методов электрон-позитронной аннигиляции. 2. Подготовка образцов и проведение холоднокатаной пластической деформации до различных степеней деформации. 3. Измерение параметров аннигиляции позитронов в образцах до и после прокатки. 4. Определение типа и концентрации дефектов методами позитронной спектроскопии. 5. Исследование зависимости изменения аннигиляционных характеристик образцов титанового сплава Ti-6Al-4V после пластической деформации при высокотемпературном вакуумном отжиге. 6. Газофазное гидрирование образцов деформированного сплава Ti-6Al-4V до различных концентраций.

	7. Измерение параметров аннигиляции позитронов в образцах деформированного сплава Ti-6Al-4V с различным содержанием водорода. 8. Анализ полученных результатов.
Перечень графического материала	Графики зависимости характеристики позитронной аннигиляций, графики зависимости твердости образца от степени деформации.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Литературный обзор	Ассистент ОЭФ Лаптев Р.С.
Материал и методы исследования	Ассистент ОЭФ Лаптев Р.С.
Результаты эксперимента	Ассистент ОЭФ Лаптев Р.С.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП. Верховская М.В.
Социальная ответственность	Профессор д.т.н. Федорчук Ю.М.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент. ОЭФ	Лаптев.Р.С	к.т.н., Ассистент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ61	Чжан Чэнхао		

Приложение А

Введение, Глава №3, Глава №4.1

Theoretical part

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ61	Чжан Чэнхао		

Руководитель ВКР ___ Лаптев Р.С. _____

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент. ОЭФ	Лаптев Р.С	к.т.н, ассистент		

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ	Кабрышева О.П.	Старший преподаватель		

ШКОЛА Инженерная школа ядерных технологий
Отделение школы (НОЦ) отделение экспериментальной физики

**ОТЧЕТ О РАБОТЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ
КОМИССИИ**

ПО НАПРАВЛЕНИЮ (СПЕЦИАЛЬНОСТИ)

03.04.02 физика конденсированного состояния вещества

(код и наименование направления (специальности))

СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ (ПРОФИЛЬ)

магистр

(наименование специализации/профиля)

Форма подготовки

очная

(очная, очно-заочная, заочная)

Уровень подготовки

магистратура

(бакалавриат, магистратура, специалитет)

Реферат

Выпускная квалификационная работа 101 с., 21 рисунков, 20 таблицы, 36 источника, 1 приложения.

Ключевые слова: позитронная аннигиляция, дислокации, вакансионный комплекс, холодная прокатка, наводороживание, титановый сплав, поглощенная водорода, позитронная спектроскопия.

Объектом исследования являются образцы сплава Ti-6Al-4V марки BT6.

Цель работы – исследование закономерностей изменения дефектной структуры сплава Ti-6Al-4V при холодной пластической деформации и наводороживании.

В результате исследования была установлена динамика изменения структуры материала на основе временного распределения аннигиляционных позитронов и доплеровского уширения аннигиляционной линии. Структура дефектов в титановом сплаве определена по второй и третьей компоненте времени жизни, которые связаны с аннигиляцией позитронов в дислокациях и тривакансиях. Проведен расчет плотности дислокации и концентрации тривакансий по трехкомпонентной модели захвата позитронов.

Определена температура отжига, при которой тривакансии и дислокации полностью удаляются, что в свою очередь позволило выбрать температуру дальнейшего наводороживания. Наводороживание приводит к существенным изменениям временного и импульсного распределения аннигиляции позитронов.

В первой главе описаны особенности аннигиляции позитронов в деформационных и водород-индуцированных дефектах

Во второй главе представлены материал и методы исследования.

Третья глава посвящена применению позитронной спектроскопии для деформированного сплава Ti-6Al-4V и результаты изменение позитронной

аннигиляционных характеристик после холоднокатаной пластической деформации.

В четвертой главе приведены результаты измерения параметров аннигиляции позитронов в образцах деформированного сплава Ti-6Al-4V с различным содержанием водорода.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2016.

Оглавление	
Введение.....	3
1. Особенности аннигиляции позитронов в деформационных и водород-индуцированных дефектах	5
1.1 Влияние пластической деформации на дефектную структуру титановых сплавов	5
1.2 Влияние наводороживания на структуру и свойства титановых сплавов	7
1.3 Позитронная спектрометрия как метод исследования деформационных дефектов	10
2. Материал и методы исследования.....	14
2.1 Титановый сплав Ti-6Al-4V марки BT6	14
2.2 Холодная прокатка.....	15
2.3 Измерение микротвердости	17
2.4 Рентгеноструктурный анализ.....	17
2.5 Позитронная спектроскопия.....	17
2.5.1 Временное распределение аннигиляции позитронов	18
2.5.2 Спектрометрия совпадений доплеровского уширения аннигиляционной линии	23
2.6 Насыщение водородом из газовой среды	25
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	27
5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	27
5.2 SWOT-анализ.....	30
5.3 Планирование научно-исследовательских работ	35
5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	35
5.3.2 Разработка графика проведения научного исследования.....	36
5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	41
5.5 Организационная структура проекта	46
5.6 Матрица ответственности	47
5.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	49

6. Социальная ответственность	54
6.1 Техника безопасности.....	54
6.1.1 Промсанитария.....	55
6.1.2 Радиоактивность	56
6.1.3 Электрическое напряжение.....	56
6.1.4 Шум	58
6.1.5 Освещенность.....	59
6.1.6 Электробезопасность.....	62
6.1.7 Пожар взрывоопасность.....	64
6.2 Охрана окружающей среды	67
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	68
6.4 Перечень законодательного документа.....	69
Заключение	72
Список используемых источников.....	73

Введение

Данная работа посвящена исследованию структурных дефектов титанового сплава Ti-6Al-4V после деформации и наводороживании методами позитронной спектроскопии.

Исследование системы титан – водород имеет ряд специфических особенностей. Водород обладает высокой подвижностью в титане и высокой реакционной способностью образования сложных комплексов с дефектами в кристалле. Водород не только активно взаимодействует с дефектами в кристалле, но и индуцирует образование новых дефектов. Однако природа и механизм образования такого рода дефектов до сих пор до конца не изучены.

Методы электрон – позитронной аннигиляции (ЭПА) представляет собой эффективные лабораторные методики для исследования электронной структуры материалов в физике твердого тела. Для исследования структурных дефектов может быть использован метод спектрометрии по времени жизни позитронов (СВЖП). Данный метод имеет высокую чувствительность к различным дефектам, таких как: вакансии, дислокации и объемные дефекты. С помощью метода СВЖП, возможно исследовать механизм и динамику возникновения, превращения, и исчезновения дефектов. Для получения дополнительной информации о структуре металла, возможно использовать другие вспомогательные методы: метод доплеровского уширения аннигиляционной линии, электронная микроскопия и рентгеноструктурный анализ.

Цель работы – исследование закономерностей изменения дефектной структуры сплава Ti-6Al-4V при холодной пластической деформации и наводороживании.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Подготовка образцов и проведение холоднокатаной пластической деформации до различных степеней деформации;

2. Измерение параметров аннигиляции позитронов в образцах сплава Ti-6Al-4V до и после холоднокатаной пластической деформации;
3. Определение типа и концентрации дефектов в образцах сплава Ti-6Al-4V после холоднокатаной пластической деформации методами позитронной спектроскопии;
4. Исследование зависимости изменения аннигиляционных характеристик образцов титанового сплава Ti-6Al-4V после пластической деформации при высокотемпературном вакуумном отжиге.
5. Газофазное гидрирование образцов деформированного сплава Ti-6Al-4V до различных концентраций.
6. Измерение параметров аннигиляции позитронов в образцах деформированного сплава Ti-6Al-4V с различным содержанием водорода.
7. Анализ полученных результатов.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Установлено, что при холодной пластической деформации от 0,8 до 11,9 % титанового сплава Ti-6Al-4V формируются два типа дефектов: дислокации с временем жизни позитронов 161 ± 1 пс и тривакансии с временем жизни 2732 ± 3 пс;
2. Показано, что тривакансии и дислокации полностью отжигаются при температурах больше $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, соответственно.

1. Особенности аннигиляции позитронов в деформационных и водород-индуцированных дефектах

1.1 Влияние пластической деформации на дефектную структуру титановых сплавов

Механические свойства титановых сплавов в значительной мере определяются их микроструктурой, которая формируется в процессе деформации. Исследования показали, что пластическая деформация металлов и их сплавов связана с их кристаллической структурой, и эти исследования способствуют развитию теории дислокаций. Дислокации относятся к микроскопическому внутреннему дефекту в кристалле материалах, что является несовершенством расположения внутренней части кристаллической решетки. Дислокация является линейным дефектом, который можно рассматривать как границу между частью скольжения и бездефектной областью в кристалле.

Кристаллический сдвиг обеспечивается движением дислокаций. Дислокации перемещаются из внутренней части материала в поверхностную область материала. Дислокации движутся из объема материала к поверхности, что обеспечивает скольжение между плоскостями, необходимыми для пластической деформации. Соответственно дислокации продолжают двигаться к поверхности кристалла во время пластической деформации, так что плотность дислокаций в кристалле непрерывно уменьшается, но верно и обратное. После сильной деформации металлического кристалла плотность дислокаций может увеличиться на 4-5 порядков, данный факт показывает, что количество дислокаций в процессе деформации постоянно возрастает. Количество дислокаций, первоначально расположенных на плоскости скольжения, не слишком велико, однако при пластической деформации возникают множественные скольжения. Таким образом, что исходные дислокации способствуют генерации новых дислокаций при низком

напряжении [1]. Так теория Frank-Read [2] утверждает, что генерация новых дислокаций является следствием гиперплазии исходных дислокаций.

Когда дислокации во время скольжения сталкиваются с препятствиями, такими как вторичные фазы или границы зерен, они могут останавливаться. В то же время интенсивная гиперплазия дислокаций может также привести к их блокировке.

Под действием внешних сил источники дислокации непрерывно генерируют новые дислокации, а число дислокаций в кластере блокировки постепенно увеличивается. Однако, когда число дислокаций достигает определенного уровня, кластер блокировки будет подавлять генерацию дислокаций. Чем больше число дислокаций, тем с большей силой давит кластер на препятствии. Когда сила препятствия высока, дислокации движения могут обходить препятствие и формировать дислокационную петлю вокруг препятствия [3].

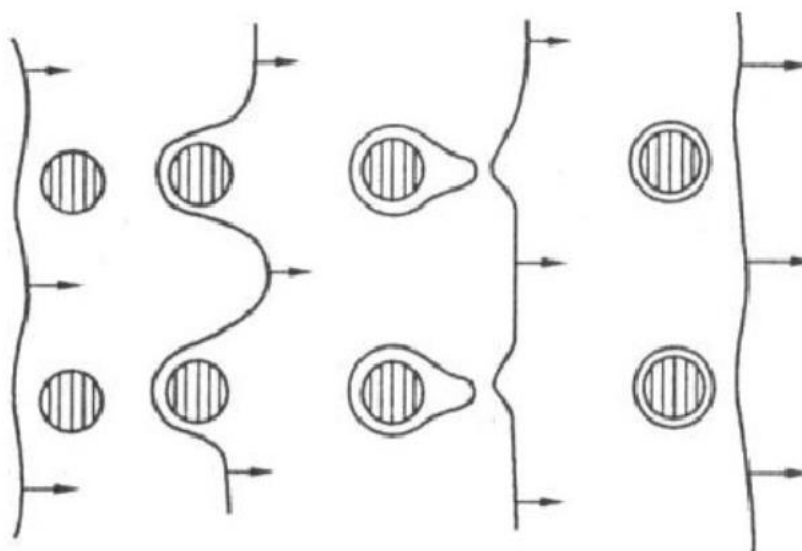


Рисунок 1. Дислокационная петля [3]

Таким образом, процесс пластической деформации - это процесс гиперплазии дислокации.

В процессе деформации возникают новые дислокации, и их плотность повышается от 10^8 до 10^{12} см⁻². Изменение свойств, вызванное пластической деформацией, называется наклепом – упрочнением металла при

деформировании, обусловленным повышением плотности дислокаций, а также, их взаимным торможением при пересечении. Движению дислокаций мешают различные препятствия – границы зерен, межфазные поверхности, дислокации, пересекающие плоскость скольжения.

1.2 Влияние наводороживания на структуру и свойства титановых сплавов

Титан, отожженный предварительно в высоком вакууме, начинает поглощать водород уже при комнатной температуре [4]. Попав в металл, водород ионизируется под влиянием потенциального поля ядер. Ионизация в предельных случаях приводит к образованию либо положительно заряженных ионов – протонов, либо отрицательно заряженных ионов водорода. Протоны перемещаются в металле в результате слабого постоянного электрического поля. В первом случае протон входит в металлическую решетку, не нарушая ее. Во втором случае образуются химические соединения с ионным типом связи, обладающие специфической решеткой и не проявляющие металлических свойств. Сродство водорода и титана высокое. При определенной температуре молекулы водорода нагреваются до разложения на атомы водорода и адсорбируются на поверхности титанового сплава. Когда внешнее давление водорода поддерживается, атомы водорода постепенно проникают во внутреннюю часть кристалла через многочисленные пути. Сначала концентрация водорода достигает максимального значения на поверхности образца и постепенно уменьшается от поверхности к объему, и наконец, водород равномерно распределяется в титане и титановом сплаве.

Gong Bo [5] наводороживал пластину сплава Ti-6Al-4V и обнаружили что, грубая видманштеттенова структура значительно усовершенствуется, но исходные границы зерен β не могут быть устранены. Однако после наводороживания кованого сплава Ti-5Al-2.5Fe было обнаружено, что грубая деформированная микроструктура была усовершенствована, а исходные границы β -зерен были устранены из-за перекристаллизации вовремя

наводороживания. Наводороживание также может способствовать рекристаллизации α_2 -фазы в сплаве на основе TiAl, тем самым улучшая α_2 -фазу.

Сплавы Ti-25Al-10Nb-3V-1Mo на основе Ti3Al был наводороживались до 0,3 ат. % при температурах 650 ~ 980 °С, а затем удалялся водород при 650 °С под вакуумом в течение 48 ч. После этого, хотя микроструктура была не изменена, объемная доля В2- фазы и О - фазы увеличилась, и структура была улучшена [6]. Дин Хуа в исследовании обнаружил, что водород увеличивает объемную долю В2-фазы в сплаве Ti3Al, и может способствовать движению дислокаций в α_2 фазе за счет динамической рекристаллизации. После удаления водорода в сплаве зеренная структура О-фазы была значительно улучшена [7].

На следующем рисунке представлена диаграмма состояния системы Ti-H. Ось абсцисс показывает содержание водорода в атомных процентах в Ti (внизу) и в массовых процентах в Ti (сверху), Ось ординат показывает температурная зависимость в градусах Цельсия.

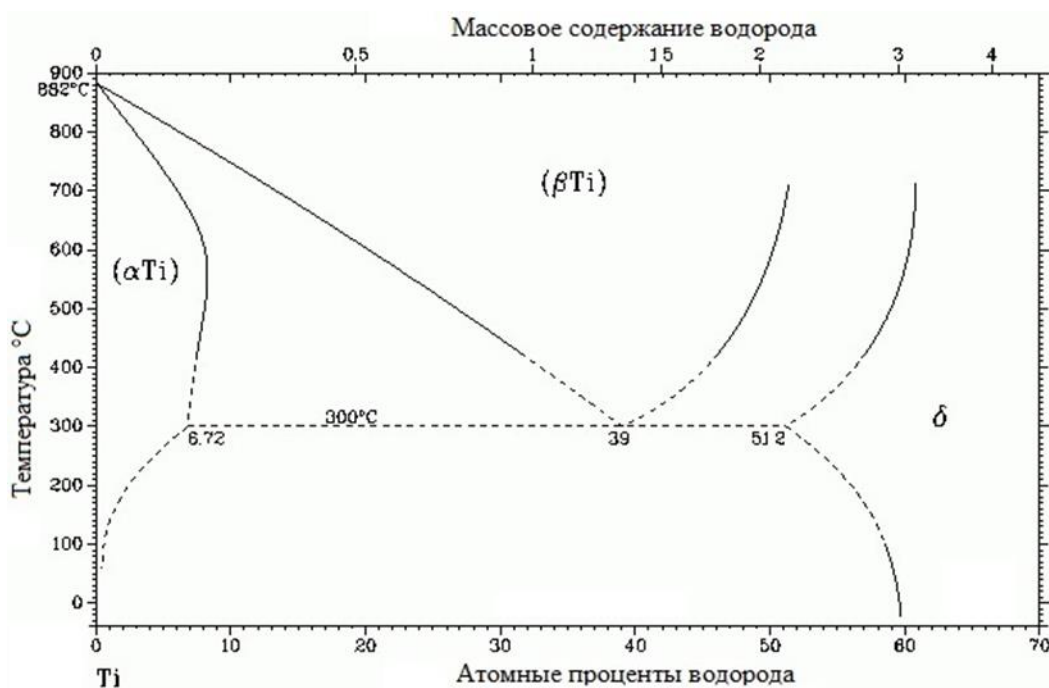


Рисунок 2. Диаграмма состояния системы титан-водород [7]

Система Ti-H обладает тремя фазами: α , β , δ и гетерогенных областей их сосуществования. Из диаграммы состояния Ti-H может определить состояния фазы при наводороживании.

Кроме того, при исследовании поведения водорода в металлах следует обратить внимание на взаимодействие водорода со структурными микро- и макродефектами [8]. В основе механизма, по которому водород разрушает механические свойства металлов, лежит характеристики взаимодействия водорода с имеющимися в структуре решетки дефектами. В процессе диффузии в решетке металла, водород накапливается в дефектах, таких как внедренных атомах примеси, дислокациях, границах зерен и т.д.

Попадая в решетку металла и занимая междоузельные пространства, водород так вызывает расширение и искажение кристаллической решетки, что обуславливает образование дефектов открытого типа, их движение и коагуляцию в кластеры. В результате чего образуются скопления вакансионных кластеров и крупные объемные дефекты [9,10].

Значительно накапливаясь в крупных ловушках, атомы водорода образуют молекулу H₂. Газообразная фаза, создаваемая накопленными молекулами, образует высокое давление внутри материала, что способствует к появлению дефектов [11]

Многие эксперименты показали, что водород способствует пластической деформации в железе и стали. Электронная микроскопия, особенно в водородной среде, показывает, что водород может способствовать движению дислокаций и их распространению. Чтобы проанализировать поведение водорода при пластической деформации, Ву [12] изучили изменение параметров с изменением процента деформации высокочистого железа. Эксперименты показывают, что водород может способствовать распространению и движению дислокаций, в то же время, приводя к образованию вакансий.

1.3 Позитронная спектрометрия как метод исследования деформационных дефектов

Позитроны возникают при следующих ситуациях:

- (1) Распад радиоактивного элемента.
- (2) Фотон с энергией больше 1,022 МэВ взаимодействует с веществом.

В экспериментах с использованием методов ЭПА чаще всего используются радиоактивные изотопы, которые должны иметь подходящие периоды полураспада.

Основным методом получения позитронов являются радиоактивные источники позитронов. Реакция описывается следующим уравнением:



где X – материнское ядро, X' – дочернее ядро Z и A – зарядовые и массовые числа, e^+ – позитрон, ν – нейтрино. Результатом β^+ распада является непрерывный энергетический спектр испускаемых позитронов.

После излучения позитрона и нейтрино дочерние ядра для многих β^+ -источников остаются в возбужденном состоянии. Эти ядра за короткое время возвращаются в исходное состояние, излучая 1 или 2 γ -кванта. Эти ядерные γ -кванты именуется вторичными и применяются в технологии СВЖП для регистрации момента рождения позитрона.

В данной работе используется радиоактивный изотоп титана (${}^{44}_{22}\text{Ti}$). Высокое значение максимальной кинетической энергии позитронов, излучаемых данным изотопом (1,47 МэВ) [13], позволяет исследовать более глубокие слои материалов. Изотоп обладает периодом полураспада 47 лет, что обеспечивает длительный срок службы данного источника позитронов. Процесс β^+ -распада данного изотопа представлен ниже:

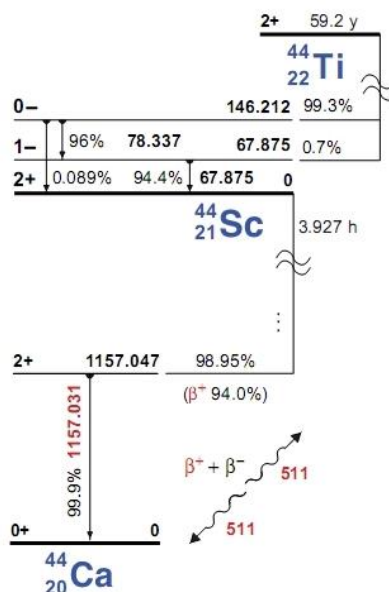


Рисунок 3. Процесс β^+ -распада изотопа ${}^{44}_{22}\text{Ti}$ [13]

Когда позитроны проникают в материал и испытывают процессы неупругого столкновения с другими частицами, их кинетическая энергия уменьшается до теплового значения $E = KT \approx 0,025$ эВ . Процесс термализации происходит в очень короткий промежуток времени по сравнению со временем жизни позитронов. Время термализации оценивается в 3-4 пс. Время термализации зависит от энергии позитрона и параметров среды и обычно не превышает нескольких пикосекунд, за это время позитроны проникают сквозь материал примерно на 100 нм. После термализации позитроны беспорядочно диффундируют по решетке. Длина проникновения позитронов через материала составляет 20-300 мкм. В связи с этим в практическом эксперименте толщина образца требуется не меньше 1 мм для обеспечения полной аннигиляции позитронов в образце.

В идеальной бездефектной решетке металла термализованные позитроны находятся в блоховских состояниях, таких же, как и у электронов [14]. Такие позитроны называются «свободными», далее позитроны аннигилируют с электронами среды. После аннигиляции позитронов масса электрон-позитронной пары преобразуется в энергию γ -квантов. После аннигиляции наиболее вероятная ситуация образование 2 γ -квантов. Время

жизни позитронов зависит от скорости аннигиляции, которая определяется плотностью окружающих электронов.

Более того, позитроны активно захватываются свободными объёмами (дефектами) в решетке, потому что в дефекте отсутствует отталкивающий потенциал положительно заряженных ионов решетки, дефекты захватывают позитроны. При наличии дефектов в твердых телах, таких как вакансии, дислокации и др., электронная плотность ниже, чем в бездефектном кристалле за счет этого увеличивается среднее время жизни позитронов.

В вопросе о природе захвата позитронов дефектами, не имеющими открытого объема, считается, что краевая дислокация представляет собой только неглубокую ловушку для позитронов, то есть энергия связи позитрона с дислокацией мала и при температурах выше комнатных позитрон высвобождается из ловушки на дислокационной линии или захватывается другими дефектами, связанными с дислокацией, в основном вакансиями [15].

Таким образом, при наличии дефектов позитрон аннигилирует из захваченных состояний с более медленной скоростью, чем из свободных состояний, что приводит к значительному изменению аннигиляционных характеристик. В результате время аннигиляции позитронов больше, чем бездефектном кристалле.

Феноменологическая модель захвата позитронов дефектами может, использована для определения концентрации дефектов кристаллического строения. В простейшем случае, если имеется только один тип дефекта, например, вакансии, которые захватывают позитроны, изменение концентрации позитронов через время $t_0 + dt$, где t_0 - начальный момент времени, когда позитрон попал в образец, можно записать следующими кинетическими уравнениями [16]:

$$\begin{aligned}\frac{dN_d}{dt} &= -\lambda_d N_d + N_0 K \\ \frac{dN_d}{dt} &= -(\lambda_0 + K)N\end{aligned}\tag{2}$$

Здесь K - скорость захвата позитронов в дефектной части образца; λ_d - скорость аннигиляции позитронов с электронами в районе дефекта; N_0 - количество позитронов в образце при $t = 0$; λ_0 - скорость аннигиляции позитронов в бездефектной части образца; N - количество позитронов в какой-то момент времени t . N_d - количество позитронов, которые захватываются дефектом. Следует отметить, что, поскольку энергия связи позитрона с вакансией высока, в этом случае обратным выходом позитрона из ловушки можно пренебречь [17].

Скорость захвата позитронов в дефекте пропорциональна концентрации этих дефектов $K = \mu \rho_d$, где $\mu = \sigma v_+$ - удельная скорость захвата позитронов, которая определяется природой дефекта и материала [18].

Спектр времени жизни позитрона в этой модели захвата позитронов дефектами имеет следующий формулы [18]:

$$N(t) = (1 - I_2)\lambda_1 \exp(-\lambda_1 t) + I_2\lambda_2 \exp(-\lambda_2 t) \quad (3)$$

где $\lambda_1 = \frac{1}{\tau_1} = \lambda_d + K$, $\lambda_2 = \frac{1}{\tau_2} = \lambda_0$, λ_1, λ_2 - скорости захвата позитронов первой и второй компоненты соответственно;

Первая компонента связана со временем жизни позитронов в решетке образца, вторая компонента характеризует аннигиляцию позитронов из нелокализованного состояния в области дефекта.

$I_2 = \frac{K}{\lambda_d - \lambda_0 + K}$ - интенсивность второй компоненты. Интенсивность первой компоненты всегда стремится к максимуму - 100%

По параметрам τ_2 и I_2 определяют информацию о природе дефекта и концентрации дефектов.

Таким образом, аннигиляционные характеристики зависят от типа дефектов-ловушек позитронов, с помощью ПАС можно прецизионно исследовать дефектную структуру материала, определить концентрации, размер и тип дефектов материала.

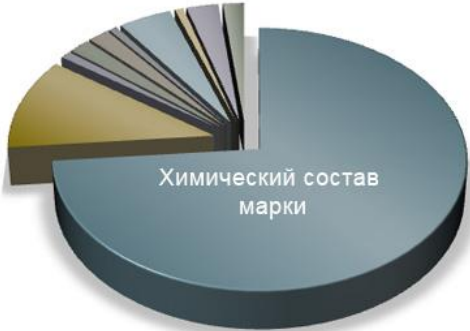
2. Материал и методы исследования

2.1 Титановый сплав Ti-6Al-4V марки BT6

Состав титанового сплава BT6 представляет собой Ti-6Al-4V, который относится к ($\alpha + \beta$) титановому сплаву и обладает хорошими механическими свойствами.

В таблице 1 показан его химический состав [19].

Химический состав в % сплава BT6	
Титан	87-91
Алюминий	5,5-7,0
Ванадий	4,2-6,0
Углерод	До 0,1
Железа	До 0,3
Кремний	До 0,15
Кислород	До 0,2
Азот	До 0,05
Водород	До 0,015
Цирконий	До 0,3



Сплав BT6 имеет превосходную пластичность и легко деформируется в разогретом состоянии. Для работы с титаном подходит любой вид сварки, включая диффузионную.

Для проведения исследований были вырезаны прямоугольные плоские образцы BT6 с размерами 20×20×2 мм. Образцы были механически отшлифованы, отполированы для удаления поверхностных дефектов.

Шлифование осуществлялось с использованием кремневой шлифовальной бумаги с размером зерна 1000, 1500 и 2000 мкм.

Для удаления дефектов и снятия поверхностных напряжений образцы были отожжены в вакууме при температуре 850 °С в течение 12 часов с последующим медленным охлаждением до комнатной температуры.

2.2 Холодная прокатка

Прокатка представляет собой процесс деформации металла в результате его обжатия между двумя вращающимися валками. Для прокатки целью является получение металла определенной формы и размера. Прокатку используют при производстве полос, листов, ленты, сортового металла и т.д. Прокатка является одним из способов обработки металлов давлением.

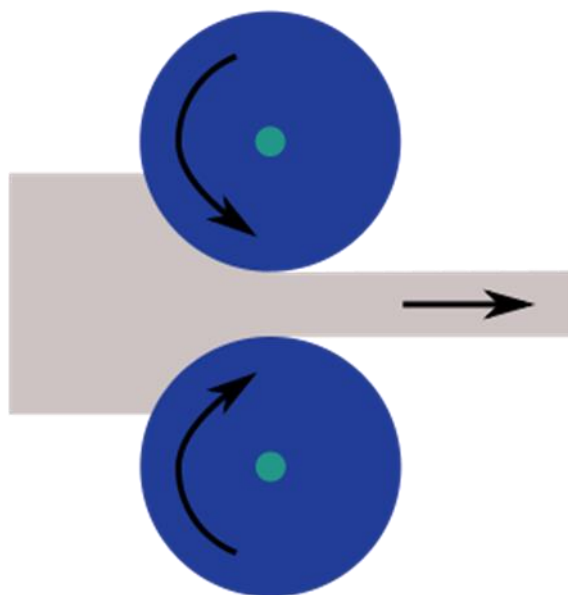


Рисунок 4. Схема прокатки [20]

При прокатке металл, находящийся в зазоре между валками, деформируется. Эту область называют очагом деформации. Поверхности соприкосновения прокатываемого металла и валков называются контактными. Отношение размера полосы после деформации и до нее называют коэффициентом деформации. Когда к металлу применяется достаточная нагрузка, это приведет к изменению формы материала. Это изменение формы

называется деформацией. Если временное изменение формы могут само восстанавливаться, так что объект возвращается к первоначальной форме, называется упругой деформацией. Такой тип деформации только включает связь растяжений, но атомы не проскальзывают друг за другом. Пластической деформацией является необратимые деформации, вызванные изменением напряжений. Как обсуждалось в разделе о дефектах кристалла, принцип пластической деформации с помощью движением дислокаций нарушает атомный порядок. Пластическая деформация в реальных кристаллах осуществляется путем последовательного перемещения дислокаций [20].

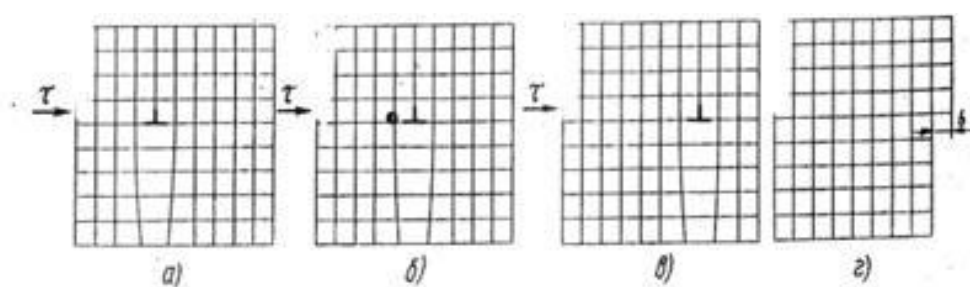


Рис 5. Перемещение дислокаций

При постоянно действующем напряжении дислокация как бы по эстафете передается от одной атомной плоскости к другой, последовательно вытесняя при этом каждый соседний «правильный» ряд атомов. Процесс повторяется до тех пор, пока дислокация не выйдет на поверхность кристалла и его верхняя часть сдвинется относительно нижней части на одно межатомное расстояние (рис. 5г). При этом на поверхности образуется ступенька в одно межатомное расстояние. В плоскости скольжения обычно расположены десятки дислокаций. Их последовательное перемещение вдоль плоскости скольжения развивает процесс пластической деформации. Высота ступеньки, образующейся при этом на поверхности кристалла, увеличивается пропорционально числу дислокаций, выходящих на поверхность кристалла.

Процесс прокатки металла в большей степени определяется внешним (контактным) трением. Условия трения при прокатке определяют качество поверхности металла, скоростные и силовые параметры процесса, износ валков, расход энергии.

Многочисленные исследования показывают, что при холодной прокатке на величину коэффициента трения влияют следующие основные факторы:

- шероховатость поверхности валков;
- состав и свойства технологической смазки;
- скорость прокатки;
- обжатие.

2.3 Измерение микротвердости

Для исследования влияния пластической деформации на дефектную структуру титановых сплавов ВТ6 проведен анализ микротвердости в зависимости от степени деформации. После холодной прокатки измерялась микротвердость образцов вт6 методом Виккерса. Измерение микротвердости проводилось на автоматическом микротвердомере KB30S Prüftechnik GmbH при нормальных условиях при нагрузке 100 г. Виккерса определяется при помощи индентера пирамидальной формы с противолежащим углом 136° , полная формула приведена ниже [21]

$$HV = \frac{1.8544F}{d^2} \quad (4)$$

где HV – твёрдость по методу Виккерса (кг/мм^2); F – испытательное усилие; d – средняя длина диагонали отпечатка (мм).

2.4 Рентгеноструктурный анализ

Рентгеноструктурный анализ на дифрактометре Shimadzu XRD 7000s. Съёмки производились на медном излучении ($K\alpha$) по схеме Брегга - Бретано с напряжением 40 кВ и током пучка 30 мА. Дифрактограммы были получены в угловом интервале $10^\circ - 90^\circ$ с шагом $0,025^\circ$, время экспозиции в точке 0,6 с.

2.5 Позитронная спектроскопия

2.5.1 Временное распределение аннигиляции позитронов

Временной интервал после термализации до аннигиляции позитронов в веществе тесно связан с микроструктурой вещества. Однако время термализации позитронов после попадания в материале составляет всего несколько пс, по сравнению со временем между окончанием термализации и аннигиляцией позитронов им можно пренебречь. Таким образом, с помощью время аннигиляции позитронов можно исследовать микроструктуру материалов.

Принцип измерения время жизни позитронов следующий: Источник позитронов располагается между двумя образцами. В эксперименте источником позитронов служит ^{44}Ti , который излучает γ квант с энергией 1,157 МэВ в качестве сигнала рождения позитронов, γ квант с энергией 0,511 МэВ который излучается после аннигиляции может рассматриваться в качестве сигнала об исчезновении позитрона [22]. Измерение интервала время между двумя сигналами позволяет получить время жизни позитронов.

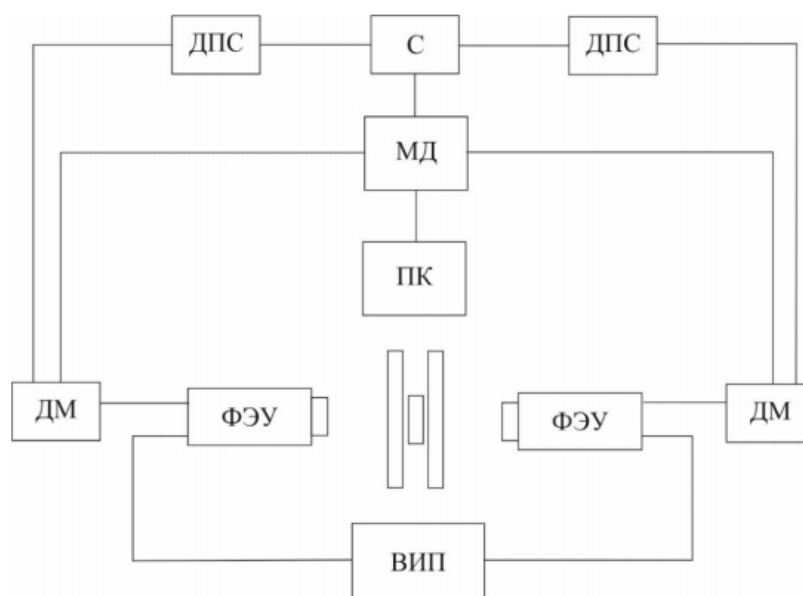


Рисунок 5. Схема модуля спектрометрии по времени жизни позитронов с системой внешней синхронизации: ФЭУ – фотоэлектронные умножители, ВИП – высоковольтный источник питания, ДМ – делитель мощности, ДПС –

дискриминатор постоянной составляющей, С – сумматор, МД – многоканальный дигитайзер, ПК – персональный компьютер [23]

Под действием падающего пучка фотонов сцинтилятор поглощает энергию заряженных частиц. Эта энергия ионизирует и возбуждает атомы и молекулы сцинтилятора. Атомы или молекулы, возбужденные ионизацией, образуют фотоны флуоресценций. Под действием фотонов флуоресценций происходит фотоэффект на фотокатоде с вылетом электронов. В результате вторичной электронной эмиссии на динодах количество электронов кратно увеличивается до несколько порядков. После кратно увеличения на нагрузке последнего динода ФЭУ создается амплитуда импульса напряжения. Эти сигналы поступают на делитель мощности (ДМ) и разделяются на два сигнала. Сигнал с большей амплитудой подается прямо на дигитайзер для последующей записи в память персонального компьютера, при появлении управляющего импульса на входе внешнего триггера от системы внешней синхронизации. Сигнал с меньшей амплитудой подается на интегральный ДПС для предварительной амплитудной селекции.

Далее сигналы с двух дискриминаторов поступают на сумматор, откуда сформированный управляющий импульс попадает на вход внешнего триггера дигитайзера.

При достаточном количестве события аннигиляции, измерив время, необходимое для каждого события аннигиляции мы можем получить спектры времени жизни аннигиляции позитронов, удовлетворяющий требованиям к погрешности счета. Как правило, выбирается количество события - 10^6 [24].

На рисунке представлен спектр времени аннигиляции позитронов. Он составляет из двух компонента времени жизни: τ_1 и τ_2 . Время жизни τ_1 относительно невелико, в эту компоненту главный вклад вносят свободная аннигиляция позитронов и P-Ps аннигиляция. Время жизни τ_2 несколько больше, в данную компоненту главный вклад вносят o-Ps аннигиляция, его интенсивность в спектре времени жизни позитронов составляет 3.0%, ее вклад

очень мал. Этот рисунок является полулогарифмическим графиком. Спектр времени жизни позитронов формируется путем наложения двух прямых линий.

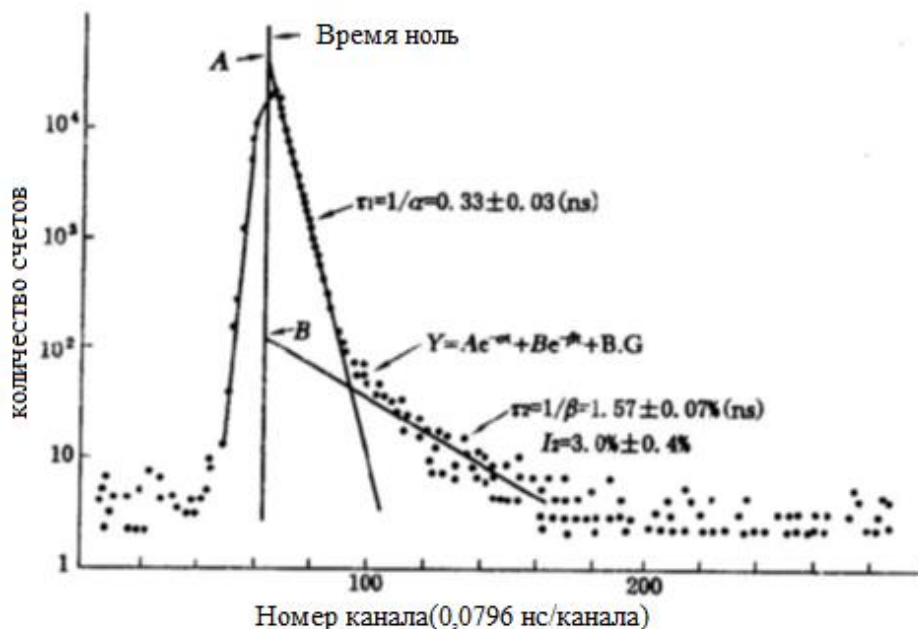


Рисунок 6. Спектр времени жизни аннигиляции позитронов [25]

Для определения операционного временного разрешения модуля ВРАП и оценки корректности проводимых измерений использованы калибровочные образцы (Al, Ti, Fe, Ni, Cu, Zn, Zr, Sn, Pb). С помощью программы LT10 анализируется спектр времени жизни позитронов. Спектры были обработаны при помощи мультиэкспоненциальной модели, были использованы 4 временные компоненты и соответствующие им интенсивности: исследуемый материал, материал капсулы источника, $^{44}\text{TiCl}$ (материал соли источника), позитроний. В настоящей работе последние 3 компоненты фиксировались постоянными для всех спектров. Все спектры раскладывались на 2 компонента, характеризуемые временем жизни τ и интенсивностью I каждая. Результаты обработки временных спектров представлены в таблице 1 и 2.

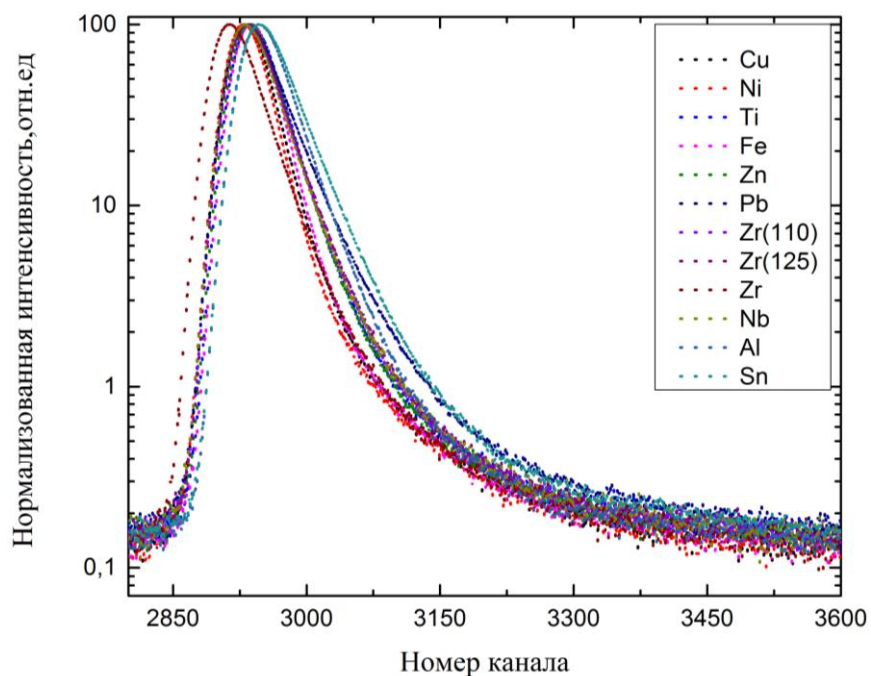


Рисунок 7. Спектры временного распределения аннигиляции позитронов
 Результаты обработки временных спектров представлены в следующей
 таблице.

Таблица 2. Среднее время жизни позитронов в образцах составило τ_{cp}
 [25]

Образцы	Al	Fe	Ni	Cu	Zn	Zr	Sn	Pb
$T_{экс}$	$168 \pm$	$108 \pm$	$104 \pm$	$116 \pm$	$150 \pm$	$158 \pm$	$202 \pm 0,1$	$203 \pm$
пс	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2		0,1
$T_{теор,}$ пс[25]	165	111	109	120	153	164	200	204

Временное разрешение спектрометра составляет 170 ± 7 пс.

Таблица 3. Определение вклада источника позитронов для различных
 металлов.

Вклад источника	Время жизни позитронов, пс	Интенсивность, %
материал капсулы источника (Ti) τ_1	146±2	51±1
материал соли источника ($^{44}\text{TiCl}_4$) τ_2	380±10	41±1
Позитроний (ортопозитроний) τ_3	1304±40	7±1

Временная компонента $\tau_1 = 146 \pm 2$ пс соответствует аннигиляции позитронов в материале защитной капсулы. Временная компонента τ_2 соответствует аннигиляции позитронов в соли источника позитронов $^{44}\text{TiCl}_4$. Компонента τ_3 связана с аннигиляцией ортопозитроний. Временные компоненты τ_1 , τ_2 , τ_3 характеризуют аннигиляцию позитронов в источнике, в зависимости вклада источника позитронов от видов материалов, они отличаются друг от друга.

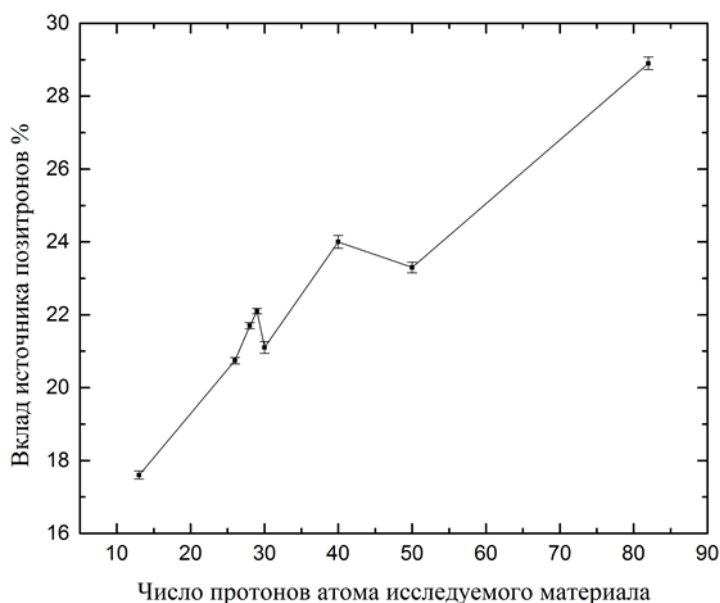


Рисунок 8. Зависимости вклада источника позитронов от видов материалов.

В работе определяется вклад источника позитронов для различных металлов. С ростом Z металлов (от Al к Pb) вклад источника увеличивается с 17% до 30%. Вклад источника состоит из трех компонентов $\tau_1=146\pm 0,2$ пс с интенсивностью $51,3\pm 0,1\%$, $\tau_2=380\pm 0,3$ пс с интенсивностью $41,7\pm 0,1\%$ и $\tau_3=1304\pm 4$ пс с интенсивностью $7,3\pm 0,1\%$, соответствующих аннигиляции позитронов в титановой капсуле, радиоактивной соли $^{44}\text{TiCl}$ и ортопозитроний, который образуется в воздушном зазоре между источником и образцами. Среднее время жизни позитронов в образцах исследуемого материала хорошо согласуется с литературными данными.

2.5.2 Спектрометрия совпадений доплеровского уширения аннигиляционной линии

Закон сохранения импульса, применительно к явлению электрон-позитронной аннигиляции, выражается в переходе импульса $e^- - e^+$ пары в импульс аннигиляционных фотонов с энергией 511 кэВ каждый, разлетающихся в противоположные стороны [26].

В связи с тем, что импульс аннигилирующего позитрона пренебрежимо мал (следствие термализации), основной вклад в импульс $e^- - e^+$ пары вносит импульс электрона. Таким образом, аннигиляционное излучение несет в себе информацию об импульсном распределении электронной структуры в месте аннигиляции позитронов. Из измерения большого количество событий аннигиляции видно, что распределение энергии фотонов является симметричным распределением с центром на 0,511 МэВ. Форма кривой распределения определяется распределением импульсов электронов.

Таким образом, анализ формы энергетического пика 0,511 МэВ позволяет получить информацию об электронном распределении импульсов образца.

Для реализации системы для модуля совпадений ДУАЛ были использованы два одноканальных анализатора импульсов модели Fast

ComTech SCA 103, два формирующих усилителя псевдо-гауссовой формы импульсов и схема совпадений модели Canberra 2040 [28]. На рисунке 9 представлена схема модуля совпадений ДУАЛ с системой внешней синхронизации.

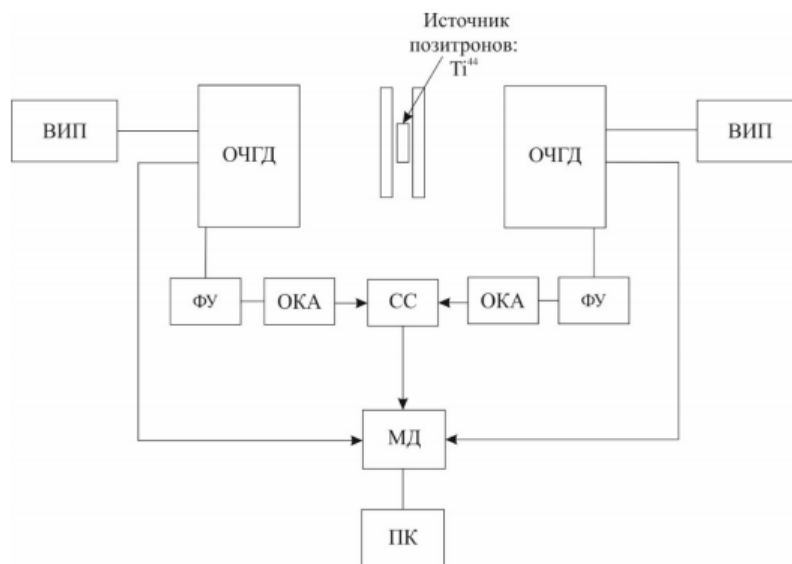


Рисунок 9. Схема модуля совпадений доплеровского уширения аннигиляционной линии с системой внешней синхронизации: ВИП – высоковольтный источник питания, ОЧГД – детектор на основе особо чистого германия, ФУ – формирующий усилитель, ОКА – одноканальный анализатор, СС – схема совпадений, МД – многоканальный дигитайзер, ПК – персональный компьютер [29]

Из рисунка видно, что при измерении ДУАЛ применяется детектор ОЧГ, который является полупроводниковым детектором типа р–п из Структура «источник – образец– источник» такая же, как и при измерении времени жизни позитронов.

Записав и обработав двухмерный спектр доплеровского уширения, можно получить одномерный спектр, для которого соотношение сигнала/шума достигло до 10^5 и выше, а также энергетическое разрешение повышается в $\sqrt{2}$ раз [30]. Аннигиляционный сигнал, обнаруженный усилителем, усиливается и вводится в анализатор.

Основываясь на вышесказанном механизме, спектрометр ДУАЛ применяет два детектора. Биполярные сигналы, выходные из двух усилителей, вводятся одновременно в два одноканальных анализаторов соответственно и затем в схему совпадения. С помощью одноканальных анализаторов выбираются только сигналы аннигиляционных γ -квантов с энергией 0,511 МэВ. Таким образом, только тогда, когда два детектора детектируют два γ -кванта, излучаемых в результате аннигиляции одного и того же позитрона, выходные сигналы из прибора совпадения открывают же дверь дигитайзера, который записывает полученные сигналы.

2.6 Насыщение водородом из газовой среды

Насыщение водородом было проведено на автоматизированном комплексе Gas Reaction Controller LPB фирмы Advanced Materials Corporation по методу Сивертса в автоматическом режиме до заданных концентраций при температуре 450 °С и давлении водорода в камере 67 кПа.

Автоматизированный комплекс Gas Reaction Controller для разработан определения количества сорбированного газа различными твердыми телами в различных диапазонах температур и давлений. На рисунке представлена схема работы GRC.



Рисунок 10. Схема работы автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller

Содержание водорода определено с помощью манометрического метода в процессе насыщения и дополнительно контролировалось путем прироста массы на аналитических весах.

В резервуар напускается водород заданного количества, молярный объем (N_0) которого определяется давлением и температурой. После открытия клапана между резервуаром и реакционной камерой происходит передача молекул водорода из резервуара в реакционную камеру.

После того как водород внедряется в титановый сплав ВТ 6 проводится расчет общего молярного количества водорода в камере с образцом и в резервуаре.

Для проведения экспериментов по изучению процессов сорбции и десорбции водорода необходимо выполнять следующие этапы:

- (1) Взвешивание образцов;
- (2) Введение масс и плотности в программу;
- (3) помещение образца в камеру;
- (4) подсоединение камеры к вакуумной системе и вакуумирование ;
- (5) осуществление линейного охлаждения (либо нагрева) при непрерывной откачке;
- (6) выполнения напуска водорода в камеру;
- (7) откачка водорода из камеры и охлаждение (либо нагрев).

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В процессе поиска источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов, оценка коммерческой ценности работы является необходимым условием. При этом разработчики должны представить настоящее состояние и перспективы проводимых ими научных исследований.

Помимо превышения технических параметров над предыдущими разработками необходимо понимать коммерческую привлекательность научного исследования.

Таким образом, целью данного раздела «ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Для достижения цели следует решить следующие задачи:

- 1) Определение коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- 2) Планирование научно-исследовательских работ;
- 3) Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное

исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- 1) технические характеристики разработки;
- 2) конкурентоспособность разработки;
- 3) уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- 4) бюджет разработки;
- 5) уровень проникновения на рынок;
- 6) финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

В качестве конкурентов метода позитронной аннигиляции для исследования свойств Ti_6Al_4V выступает метод XRD(к1) и метода ПЭМ(к2).

Для оценки конкурентности использованы следующие критерии:

- 1) Энергоэкономичность – затрата прибора на электрическую энергию;
- 2) Уровень шума – шум машины оказывает негативное влияние на здоровья человека, чем меньше уровень шума при осуществлении эксперимента, тем лучше метод;

3) Безопасность – проборы и материалы возможно опасны для человека, например, источник позитронов обладает радиоактивностью, ПЭМ производит электрическое поле вокруг человека, Рентген может привести к повреждению тканей человека.

4) Простота эксплуатации – эта критерия связана с количеством этапов проведения исследования;

5) Качество интеллектуального интерфейса – в процессе проведения исследования какой дозой работы занимаются машины или компьютер,

например, современная специальная программа LTO позволяет точно и быстро обрабатывать спектры полученных данных ВРАП;

б) Ремонтпригодность приборов – сложность ремонта приборов;

7) Потребность в материальных ресурсах – количество образцов, необходимое для проведения исследования и получения результатов;

8) Детектирование микродефектов порядка нанометров в металлах

9) Простота анализа данных – количество данных, средство для анализа данных и количество информации, которые надо получить из данных для определения дефектных структурах;

10) Количество и степень влияния внешних факторов на полученные результаты – чем меньше количество и степень влияния внешних факторов на полученные результаты, тем точнее результаты и более простая эксплуатация метода. Например, на качество спектра временного распределения аннигиляционной линии влияние оказывают временное разрешение сцинтиллятора, при измерении поверхностной структуры материалов с различной степенью гладкости ПЭМ необходимо использовать различные модель измерения.;

11) Стоимость прибора для осуществления метода;

12) Определение количество вакансии в вакансионных дефектов – это позволяет получить более полную информацию о структуре дефектов.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в таблице 9.

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Энергоэкономичность	0,04	4	3	5	0,16	0,12	0,2
2. Уровень шума	0,11	5	4	2	0,55	0,44	0,22

3. Безопасность	0,12	5	3	3	0,6	0,36	0,36
4. Простота эксплуатации	0,08	4	5	5	0,32	0,4	0,4
5. Качество интеллектуального интерфейса	0,02	4	4	4	0,08	0,08	0,08
6. Ремонтопригодность приборов	0,08	4	3	3	0,32	0,24	0,24
7. Потребность в материальных ресурсах	0,1	3	4	4	0,3	0,4	0,4
8. Детектирование дефектов порядка нанометров в металлах	0,2	4	5	2	0,8	0,1	0,4
9. Простота анализа данных	0,05	5	2	2	0,25	0,1	0,1
10. Количество и степень влияния внешних факторов на полученные результаты	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
11. Стоимость прибора для осуществления метода	0,02	4	5	2	0,08	0,1	0,04
12. Определение тип дефектов	0,08	5	2	4	0,4	0,16	0,32
итого	1				4,36	2,9	3,16

Из оценочной карты видно, что по способности детектирования дефектов и простоте эксплуатации, а также по общей конкурентности метод позитронной аннигиляции значительно преобладает над методом XRD(к1) и методом ПЭМ(к2).

5.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды выполняемого научного исследования был проведён SWOT-анализ. SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы).

В таблице 10 представлена матрица SWOT.

Таблица 10 – Матрица SWOT.

<p style="text-align: center;">Сильные стороны</p> <p>C1. Актуальность тематики.</p> <p>C2. Заявленная экономичность технологии.</p> <p>C3. Квалифицированный персонал.</p> <p>C4. Быстрый анализ полученных данных.</p> <p>C5. Неразрушающий контроль материалов.</p> <p>C6. Чувствительность к изменению концентрации дефектов порядка нанометров в металлах.</p> <p>C7. Безопасность проведения исследований.</p>	<p style="text-align: center;">Слабые стороны</p> <p>Сл1. Недостаточное количество измерений.</p> <p>Сл2. Недостаточная активность у источника позитрона.</p> <p>Сл3. Недостаточные приборы эксперимента.</p> <p>Сл4. Большой срок экспериментального периода.</p> <p>Сл5. Сложность обработка спектры времени жизни позитронов</p>
<p style="text-align: center;">Возможности</p> <p>В1. Использование источника, имеющего большую радиоактивность.</p> <p>В2. Возможность появления новых условий измерений.</p> <p>В3. Использование новых приборов синхротрон.</p> <p>В5. Возможность работать вместе с другими институтами, в котором используют спектрометр позитронной аннигиляции новой</p>	<p style="text-align: center;">Угрозы</p> <p>У1. Недостаток финансового обеспечения научного исследования со стороны государства</p> <p>У2. Разработанная новая технология пэм, позволяющая исследовать тип дефектов в объеме полимеров.</p> <p>У3. Проведение подобных экспериментов в других учебных заведениях.</p>

серии. В6. Полученный результаты откроют новое направление в исследованиях система – водорода .	
--	--

Использование интерактивной матрицы помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей SWOT. Интерактивные матрицы проекта представлена в таблицах3-6.

Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0»– если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 3 – Интерактивная матрица проекта.

Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	B1	0	+	-	-	+	+	+
	B2	0	+	+	+	+	+	+
	B3	+	+	+	+	-	-	-
	B4	+	+	+	+	-	+	+
	B5	+	+	+	+	0	+	0
B6	-	-	+	+	-	+	+	

Таблица 4 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	+	+	-	-
	B2	+	-	+	-	-
	B3	+	+	+	-	-
	B4	-	-	-	+	-
	B5	+	+	+	-	+
B6	-	-	-	-	-	

Таблица 5 – Интерактивная матрица проекта

Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	У1	+	+	+	-	-	-	-
	У2	-	-	0	+	+	+	+
У3	-	-	+	-	-	-	-	

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта

Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	0	+	-
	У2	+	+	+	+	0
	У3	+	+	-	+	+

В таблице 7 составлена итоговая матрица SWOT-анализа.

Таблица 7 – SWOT-анализ.

	<p>С1. Актуальность тематики.</p> <p>С2. Заявленная экономичность технологии.</p> <p>С3. Квалифицированный персонал.</p> <p>С4. Быстрый анализ полученных данных.</p> <p>С5. Неразрушающий контроль материалов.</p> <p>С6. Чувствительность к изменению концентрации дефектов порядка нанометров в металлах.</p> <p>С7. Безопасность проведения исследований.</p>	<p>Слабые стороны</p> <p>Сл1. Недостаточное количество измерений.</p> <p>Сл2. Недостаточная активность у источника позитрона.</p> <p>Сл3. Недостаточные приборы эксперимента.</p> <p>Сл4. Большой срок экспериментального периода.</p> <p>Сл5. Сложность обработка спектры времени жизни позитронов</p>
<p>В1. Использование источника, имеющего большую радиоактивность.</p> <p>В2. Возможность появления новых условий измерений.</p> <p>В3. Использование новых приборов синхротрон.</p> <p>В5. Возможность работать вместе с</p>	<p>В3В4В5С3С4 – используя новых приборов синхротрон, на основе существующих результатов и ресурсов квалифицированного персонала получить новые результаты исследования, разработать новые продукты и привлекать финансовые ресурсы.</p>	<p>В2В5Сл1 – С помощью новых условий измерений и другого современного прибора в других институтах возможно увеличить количество измерений.</p> <p>В4Сл4 – Искать новых источник позитронов у которого есть высокая активность</p> <p>В5Сл5 – В интернете получить метод обработки спектры</p>

<p>другими институтами, в котором используют спектрометр позитронной аннигиляции новой серии.</p> <p>В6. Полученный результаты откроют новое направление в исследованиях система – водорода .</p>		
<p>Угрозы</p> <p>У1. Недостаток финансового обеспечения научного исследования со стороны государства</p> <p>У2. Разработанная новая технология пэм, позволяющая исследовать тип дефектов в объеме полимеров.</p> <p>У3. Проведение подобных экспериментов в других учебных заведениях.</p>	<p>С1С2С3У1 -Актуальность тематики, экономичность технологии и квалифицированный персонал может привлекать государственные финансовые ресурсы.</p> <p>С5С6С7У2– Метод позитронной аннигиляции преобладает над методом ПЭМ тем, что он не разрушает ни поверхности, ни объема материала, а также он позволяет детектировать дефекты в 0,1-1нм.</p> <p>С3У3- Квалифицированный персонал кафедры владеет как богатыми знаниями о методе позитронной аннигиляции и материаловедении, так и отличной способностью осуществлять ряд сложных исследований, поэтому это может поспособствовать обойти конкурентов в области новых исследований.</p>	<p>У1Сл4– Привлечение государственных финансовых ресурсов и усиление сотрудничества с немецкой фирмой.</p> <p>У2Сл4–С5 помощью источника медленных позитронов немецкой фирмы, начать исследование распределения дефектов по глубине (объеме) материала.</p>

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества используемого метода преобладают над его недостатками по сравнению с другими методами, при этом следует обратить внимание на следующие преимущества метода позитронной аннигиляции, такие как неразрушающий контроль материалов, чувствительность к изменению концентрации дефектов порядка нанометров в материалах,

определение дефектов в объеме полимеров, и детектирование дефектов размера 0,1–1 нм. Эти сильные стороны позволяют в большой степени устранить угрозы. К тому же, тесная связь нашей кафедры с другими институтами помогает легко преодолеть слабые стороны самого метода.

5.3 Планирование научно-исследовательских работ

Для выполнения и планирования данной работы по теме исследования влияния степени деформации на дефектную структуру методом позитронной аннигиляции, сначала нужно ее разделить на несколько частей, то есть различные этапы:

- 1) Подготовительный этап. Выбор темы; изучение, анализ информации по выбранной теме. Техничко-экономическое обоснование целесообразности проведения исследований по данной теме. Определение рабочей группы;
- 2) Формирование теоретической части.
- 3) Выявление возможных направлений исследования;
- 4) Проведение экспериментов по теоретической части;
- 5) Количественная оценка экспериментального исследования, выбор параметров, проведение численного моделирования;
- 6) Корректировка разработанных параметров после получения результатов эксперимента;
- 7) Выводы и предложения по теме, обобщение результатов разработки;
- 8) Составление технологического отчета;
- 9) Завершающий этап. Проведение анализа результатов исследования всей рабочей группы. Утверждение результатов работы. Подготовка отчетной документации.

5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Выдача задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение теории и материалов по теме	инженер
	3	Выбор направления исследования	инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Разработка исследования дефектного структура втб методами позитронной аннигиляций	инженер
Практические вопросы	5	Планирование проверки разработанной системы	Руководитель, инженер
Проектные работы	6	Проверочный эксперимент	инженер
	7	Исследование эталонного образца	инженер
	8	Исследование образцов, после прокатки	инженер
Обсуждение результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер
	10	Определение целесообразности проведения НИР	Руководитель инженер
Оформление отчета	11	Составление пояснительной записки	инженер
Защита отчета	12	Подготовка защиты ВКР	инженер

5.3.2 Разработка графика проведения научного исследования

Для выполнения научных исследований была сформирована рабочая группа, в состав которой входили преподаватель и инженер (магистр). По каждому виду работ устанавливалась соответствующая должность исполнителя.

Важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования. Ожидаемое значение трудоемкости:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{min} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (11)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы;

t_{min} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы.

Для обоснованного расчета заработной платы необходима продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p ,

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (12)$$

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

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Для планирования НТИ была выбрана диаграмма Ганта. Она представляет собой тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (13)$$

Коэффициент календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 105 - 13} = 1,48$$

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.

Все рассчитанные значения представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	$t_{\text{ма}}$	$t_{\text{ож}}$			
1	2	3	3.2	Руководитель	2,4	5
2	12	17	14	инженер	14	21
3	3	5	3.8	инженер	3,8	6
4	5	7	5.8	инженер	5,4	5
5	5	6	5.8	Руководитель, инженер	2,9	4
6	6	8	6.8	инженер	3,4	5
7	10	12	10.8	инженер	10,8	16
8	11	16	13	инженер	12	18
9	1	2	2	Руководитель, инженер	1	1
10	3	5	3.8	Руководитель инженер	1,9	3
11	3	7	4.6	инженер	4,6	7
12	5	7	5.8	инженер	4,6	7

График строится в виде таблицы 9с разбивкой по месяцам за период времени полтора выполнения научного проекта. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 10 -Календарный план-график проведения НИРМ по теме

Этапы и подэтапы		Содержаниеработ	Т _к , кал.дн.	Время выполнения работ													
				Февр.		Март		Апрель		Май		Июнь					
1	1	Составление и утверждение технического задания	2	1													
2	2	Подбор и изучение теории и материалов по теме	23	1	2												
	3	Выбор направления исследования	5		1												
3	4	Разработка системы для анализа свободных объемов в ПВДФ методами позитронной аннигиляций	8			1	2										
4	5	Планирование проверки разработанной системы	4				1	2									
5	6	Проверочный эксперимент	10					1	2								
	7	Исследование эталонного образца	14						1								
	8	Исследование образцов, облученных α частицами различной дозы.	21							1	2						
6	9	Оценка эффективности полученных результатов	1								1						
	10	Определение целесообразности проведения НИР	3									1					
7	11	Составление пояснительной записки	14										1				
	12	Подготовка защиты ВКР	14											1			
Итого дней			119	1													

научный руководитель, инженер, руководитель + инженер.

5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета научного исследования учитывается полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе данного исследования формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- а) материальные затраты НТИ;
- б) основная заработная плата исполнителей темы;
- в) дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- г) отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- д) накладные расходы.

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения научной работы. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх } i}, \quad (14)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх } i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, m^2 и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./ m^2 и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (15-25%) от стоимости материалов. от стоимости материалов). Например, как показано в таблице 7,

Стоимость всех материальных затрат, используемых при разработке проекта приведена в таблице 11.

Таблица 11 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Техническая документация	шт	1	2000	2000
Канцелярские товары	шт	5	100	500
Компьютер	шт	1	45000	45000
Всего за материалы				47500
Транспортно-заготовительные расходы (20%)				9500
Итого по статье З _М				57000

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Амортизационное отчисление рассчитано по следующей формуле:

$$A = \frac{C_{\text{перв}} \times N_a}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \times T_{\text{раб-обор}}, \quad (15)$$

где $C_{\text{перв}}$ – первоначальная стоимость оборудования;

N_a – норма амортизационных отчислений (в процентах);

$T_{\text{раб-обор}}$ – количество рабочих дней использования оборудования.

В этапах научной работы 6, 7, 8 использованы спектрометр и источник позитронов. Из таблицы 9 получено:

$$T_{\text{раб-обор}} = 6,2 + 9 + 13,6 = 28,8$$

N_a для спектрометра и источника позитронов составляет около 10-15%, принимаем $N_a = 12\%$ для спектрометра, $N_a = 15\%$ для источника позитронов.

Таким образом, для спектрометра

$$A = \frac{3500000 \times 12\%}{365 - 105 - 13} \times 28,8 = 48971,7 \text{ руб}$$

для источника позитронов:

$$A = \frac{500000 \times 15\%}{365 - 105 - 13} \times 28,8 = 8744,9 \text{ руб}$$

Таблица 12 – Амортизационное отчисление оборудования.

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу	Процент амортизации, %	Амортизационное отчисление,
--------------	-------------------	------------	-----------------	------------------------	-----------------------------

	ия		цу, руб.		руб
Спектромет р	шт	1	350000 0	12	48971,7
Источник позитронов	шт	1	500000	15	8744,9
Итого					57716,6

Зарботная плата

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

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (16)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) отпредприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается поформуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (17)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (18)$$

Где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 13).

Таблица 13 – баланс рабочего времени.

Показатели рабочего времени	Руководитель	инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
– выходные дни;	53	105
– праздничные дни	13	13
Потери рабочего времени:		
– отпуск;	48	24
– невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{ок} \cdot K_p, \quad (19)$$

где $Z_{ок}$ – заработная плата по окладу, руб.;

K_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Руководителем данной научно-исследовательской работы является сотрудник с должностью ассистента и ученой степенью кандидата технических наук, заработная плата по окладу которого составляет 20800 рублей.

$$Z_m = Z_{тс} \cdot K_p = 20800 \cdot 1,3 = 27040 \text{ руб.}$$

Следовательно, можно получить среднедневную заработную плату научного руководителя:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{27040 \cdot 10,4}{251} = 1120,38 \text{ руб.}$$

А основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} = 1120,38 \cdot 6,6 = 7394,51 \text{ руб.}$$

Инженер во время прохождения преддипломной практики получает оклад, равный 9489 руб/месяц. Среднедневная зарплата составляет:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{9489 \cdot 1,3 \cdot 11,2}{223} = 619,55 \text{ руб.}$$

Основной заработок инженера, за время преддипломной практики, равен:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} = 619,55 \cdot 75,6 = 46837,98 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10–15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (20)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$K_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Дополнительная заработная плата руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 7394,51 \cdot 0,12 = 887,34 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата инженера:

$$Z_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 46837,98 \cdot 0,12 = 5620,56 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (21)$$

Где $K_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды ($K_{\text{внеб}} = 0,271$).

Для научного руководителя отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,271 \cdot (7394,51 + 887,34) = 2244,38 \text{ руб.}$$

Для инженера отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,271 \cdot (46837,98 + 5620,56) = 14219,26 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = K_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (22)$$

где $K_{\text{накл}}$ – Накладные расходы в ТПУ составляют 25-35 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении

темы. Примем $K_{\text{накл}} = 30\%$.

Для научного руководителя накладные расходы:

$$C_{\text{накл}} = K_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (7394,51 + 887,34) = 2484,56 \text{руб.}$$

Для инженера отчисления во внебюджетные фонды:

$$C_{\text{накл}} = K_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (46837,98 + 5620,56) = 15737,56 \text{руб.}$$

Полученный расчет бюджета затрат представлен в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет бюджета затрат.

Наименование статьи	Научный руководитель руб.	Инженер руб.	Итого руб.
Материальные затраты	-	57000	57000
Амортизационное отчисление оборудования	-	57716,6	57716,6
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	7394,51	46837,98	54232,49
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	887,34	5620,56	6507,9
Отчисления во внебюджетные фонды	2244,38	14219,26	16463,64
Накладные расходы	2484,56	15737,56	18222,12
Бюджет затрат	13010,79	197131,96	210142,75

5.5 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представляет собой временное структурное образование, создаваемое для достижения поставленных целей и

задач проекта и включающее в себя всех участников процесса выполнения работ на каждом этапе.

Данной исследовательской работе соответствует функциональная структура организации. То есть организация рабочего процесса выстроена иерархически: у каждого участника проекта есть непосредственный руководитель, сотрудники разделены по областям специализации, каждой группой руководит компетентный специалист (функциональный руководитель).

Организационная структура научного проекта представлена на рисунке 1.



Рисунок 19 – Организационная структура научного проекта

5.6 Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в таблице 15.

Таблица 15– Матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель	Консультант раздела «Финансовый менеджмент»	Консультант раздела «Соответственность»	Консультант по языковому разделу	Студент
Составление и утверждение технического задания	О				
Подбор и изучение теории и материалов по теме	С				И
Выбор направления исследования	О				
Разработка системы для анализа свободных объемов в ПВДФ методами позитронной аннигиляций	С				И
Планирование проверки разработанной системы	С				И
Проверочный эксперимент					И
Исследование эталонного образца					И
Исследование образцов, облученных α частицами различной дозы.					И
Выполнение оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения		С			И
Выполнение раздела по социальной ответственности			С		И
Выполнение перевода части работы на английский язык				С	И
Оценка эффективности полученных результатов	С				И

Определение целесообразности проведения НИР	С				И
Составление пояснительной записки	С				И
Подготовка защиты ВКР	О				И

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

- 1) ответственный (О)– лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- 2) исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта.
- 3) Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение);
- 4) согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

5.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 3.12). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (23)$$

где I_{Φ}^p – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{210142,75}{210142,75} = 1$$

Для аналогов соответственно:

$$I_{\Phi}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{max}} = \frac{229055,60}{210142,75} = 1,09$$

$$I_{\Phi}^{a2} = \frac{\Phi_{a2}}{\Phi_{max}} = \frac{250069,87}{210142,75} = 1,19,$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad (24)$$

где I_m^a – интегральный показатель ресурсоэффективности для аналога;

I_m^p – интегральный показатель ресурсоэффективности для разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

Таблица 16 –Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Позволяет получить полную информацию о структуре втб	0.3	4	4	3
2. Удобство в эксплуатации измерения структуры	0.1	5	2	3
3. Помехоустойчивость спектрометра	0.15	4	3	3
4. Энергосбережение спектрометра	0.15	4	4	3
5. Надежность полученных данных	0.25	5	4	4
6. Затраты на	0.05	4	4	4
ИТОГО	1	4,35	3,65	3,3

$$I_{\text{тп}}=4*0,3+5*0,1+4*0,15+4*0,15+5*0,25+4*0,05=4,35$$

$$\text{Аналог 1}=4*0,3+2*0,1+3*0,15+4*0,15+4*0,25+4*0,05=3,65$$

$$\text{Аналог 2}=3*0,3+3*0,1+3*0,15+3*0,15+4*0,25+4*0,05=3,3$$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{\text{финр}}^P$) и аналога ($I_{\text{фина}}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^P = \frac{I_m^P}{I_{\phi}^P} \cdot I_{\text{фина}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a}, \quad (25)$$

В результате

$$I_{\text{финр}}^P = \frac{I_m^P}{I_{\phi}^P} = \frac{4,35}{1} = 4,35;$$

$$I_{\text{фина1}}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\phi}^{a1}} = \frac{3,65}{1,09} = 3,35;$$

$$I_{\text{фина2}}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\phi}^{a2}} = \frac{3,3}{1,19} = 2,77;$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^P}{I_{\text{фина}}^a}, \quad (26)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта; $I_{\text{финр}}^P$ – интегральный показатель эффективности разработки; $I_{\text{фина}}^a$ – интегральный показатель эффективности аналога.

Таблица 17 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1,09	1,19	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,65	3,3	4,35
3	Интегральный показатель эффективности	3.35	2.77	4,35
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,3	1,57	1

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Вывод

При планировании научно-исследовательской работы был произведен подсчет бюджета исследования. В процессе формирования бюджета были использованы группировки по материальным затратам (57000 руб), по амортизационному отчислению оборудования (57716,6 руб), затратам по основной заработной плате исполнителей (54232,49 руб), затратам по дополнительной заработной плате (6507,9 руб), отчислениям во внебюджетные фонды (16463,64 руб) и накладным расходам (18222,12 руб). Всего бюджет составил 210142,75 руб. Основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

6. Социальная ответственность.

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды. В данной работе рассмотрен спектрометр для измерения позитронной спектра, который является лабораторной установкой. Радиоактивный материал, который может быть использован в качестве источника позитронов, помещает на рабочем месте. При проектировании лаборатории необходимо уделить внимание и охране окружающей среды, а в частности. Также необходимо учитывать возможность чрезвычайных ситуаций. Так как лаборатория находится в городе, наиболее типичной ЧС является воздействие радиации.

6.1 Техника безопасности

В нашей лаборатории, различные оборудования, а также используемые ^{44}Tl в качестве источника позитронов, могут делать следующие вредные факторы: промсанитария, радиоактивность, электрическое напряжение и т.д. При проведении работ на данной установке возможно воздействие таких вредных факторов таких, как:

1. Промсанитария;
2. Радиоактивность;
3. Электрическое напряжение;
4. Шумовые эффекты;
5. Освещенность рабочего места и в целом лаборатории.

Также возможно воздействие следующих опасных производственных факторов:

1. Электрическое напряжение;
2. Пожарная и взрывная природа;
3. Охрана окружающей среды;

4. Защита объектов в чрезвычайных ситуациях.

6.1.1 Промсанитария

ПДК - концентрации, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 ч или при другой продолжительности, но не более 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не могут вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

ПДК для большинства веществ являются максимально разовыми, т.е. содержание вещества в зоне дыхания, работающих усреднено периодом кратковременного отбора проб воздуха: 15 мин. для токсических веществ и 30 мин. для веществ преимущественно фиброгенного действия. Для высококумулятивных веществ наряду с максимально разовой установлена среднесменная ПДК - средняя концентрация, полученная при непрерывном или прерывистом отборе проб воздуха при суммарном времени не менее 75% продолжительности рабочей смены или концентрация, средневзвешенная во времени длительности всей смены в зоне дыхания, работающих на местах постоянного или временного их пребывания.

Рабочая зона - пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или временного (непостоянного) пребывания работающих. Постоянное рабочее место - место, на котором работающий находится большую часть своего рабочего времени (более 50% или более 2 ч непрерывно). Если при этом работа осуществляется в различных пунктах рабочей зоны, постоянным рабочим местом считается вся рабочая зона.

Наименование веществ в таблице дано в алфавитном порядке с указанием синонимов и наиболее распространенных торговых и фирменных названий, приведенных в Приложении. Наряду с величинами ПДК указан класс опасности

и преимущественное агрегатное состояние вещества в воздухе в условиях производства. По степени воздействия на организм человека вредные вещества подразделены на четыре класса опасности: I - вещества чрезвычайно опасные, II - вещества высоко опасные, III - вещества умеренно опасные, IV - вещества мало опасные, в соответствии с классификацией ГОСТ 12.1.007-76 "ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности".

Водород, выделяющийся при электролизе, уже при содержании 0,4 об. % может образовывать с воздухом взрывоопасную смесь. Предельно допустимая взрывобезопасная концентрация водорода в производственном помещении согласно СНиП П-М.2—72 принимается около 10 % от нижнего предела взрываемости, т. е. 0,4 об. %.

6.1.2 Радиоактивность

Источник для получения позитронов является ^{44}Ti . ^{44}Ti (Изотопы титана) - твердое тело, изотоп неустойчивый, с периодом полураспада 59 лет. Он распадается на изотоп ^{44}Ca , который представляет собой 2% -ную примесь к элементарному кальцию. Этот распад и, следовательно, нуклеосинтез ^{44}Ti считается доминирующим, если не единственным, производственным каналом для ^{44}Ca ; Поэтому исследование космического ^{44}Ti может показать, как образуется космический Кальций. Согласно действующим в РФ нормам РБ организационными мероприятиями, обеспечивающими радиационную безопасность работ, являются: оформление работы нарядом или распоряжением; допуск к работе; надзор во время работы; оформление перерывов в работе; оформление окончания работы.

6.1.3 Электрическое напряжение

Научно-исследовательская работа выполнялась с помощью персональных компьютеров (РС). Электромагнитное излучение является основным вредным

фактором для инженера-исследователя. Оно влияет на костные ткани, ухудшает зрение, повышает утомляемость, вызывает ослабление памяти и возникновение онкологических заболеваний.

Таблица 3.2. Временные допустимые уровни (ВДУ) электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Безопасные уровни излучений регламентируются нормами СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 и представлены в таблице 3.2.

Для того, чтобы снизить вредное влияние электромагнитного излучения при работе с ПК необходимо соблюдать следующие общие гигиенические требования:

1. Продолжительность непрерывной работы взрослого пользователя не должна превышать 2 ч, ребенка – 10 - 20 мин, в зависимости от возраста. В процессе работы желательно менять тип и содержание деятельности, например, чередовать редактирование и ввод данных и их считывание. Санитарными нормами предусматриваются обязательные перерывы в работе на ПК, во время которых рекомендуется делать простейшие упражнения для глаз, рук и опорно-двигательного аппарата.

2. Рабочее место с ПК должно располагаться по отношению к оконным проемам так, чтобы свет падал сбоку, предпочтительнее слева. При наличии

нескольких компьютеров расстояние между экраном одного монитора и задней стенкой другого должно быть не менее 2 м, а расстояние между боковыми стенками соседних мониторов – 1,2 м. Экран монитора должен находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии 60÷70 см, но не ближе 50 см

3. Для ослабления влияния рассеянного рентгеновского излучения от монитора ПК рекомендуется использовать защитные экраны из металлической сетки и металлических прутков в виде навесов, козырьков, и допустимая величина защитного сопротивления заземления экранирующих устройств не должна быть более 4 Ом.

Кроме этих, к средствам индивидуальной защиты (СИЗ) от статического электричества и электрических полей промышленной частоты относят защитные халаты, комбинезоны, очки, спец обувь, заземляющие браслеты.

Материалом для защитных халатов, комбинезонов, фартуков служит специальная ткань, в структуре которой используются тонкие металлические нити, скрученные с хлопчатобумажными.

Очки изготавливаются из стекол специальных марок, металлизированных диоксидом олова.

6.1.4 Шум

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

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

Для постоянных шумов нормируются уровни звукового давления в

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

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

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

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

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

6.1.5 Освещенность

Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение производственных помещений оказывает положительное воздействие на работающих, способствует повышению эффективности и безопасности труда, снижает утомление и травматизм, сохраняет высокую работоспособность.

Основной задачей данной части является определение требуемой мощности электрической осветительной установки для создания заданной

освещенности.

Для производственных помещений всех назначений применяются системы общего (равномерного или локализованного) освещения и комбинированного (общего и местного) освещения. При учете особенностей процесса работ с установкой вихревого тока ЗМА (ТПУ, Россия) (не требует освещения для работ высокой точности) допускается применение системы общего равномерного освещения.

Длина помещения $a=6000$ мм, ширина $b=4200$ мм.

Выбираем лампу дневного света ЛХБ, световой поток которой равен $\Phi_{\text{ЛД}} = 3100$ Лм при мощности 40Вт.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОД-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1230 мм, ширина – 266 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda=1,1$.

Высота помещения: $H = 3600$ мм.

Расстояние светильников от перекрытия: $h_c = 400$ мм.

Высота светильника над полом, высота подвеса:

$$h_n = H - h_c = 3600 - 400 = 3200 \text{ мм}$$

Высота рабочей поверхности над полом: $h_{\text{рп}} = 1000$ мм.

Расчетная высота, высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = h_n - h_{\text{рп}} = 3200 - 1000 = 2200 \text{ мм}$$

Для двухламповых светильников ОД при одиночной установке или непрерывных рядах из одиночных светильников в соответствии с требованиями наименьшая допустимая высота подвеса над полом составляет 3,5 м. Рассчитанная величина $h = 2200$ мм не соответствует требованиям.

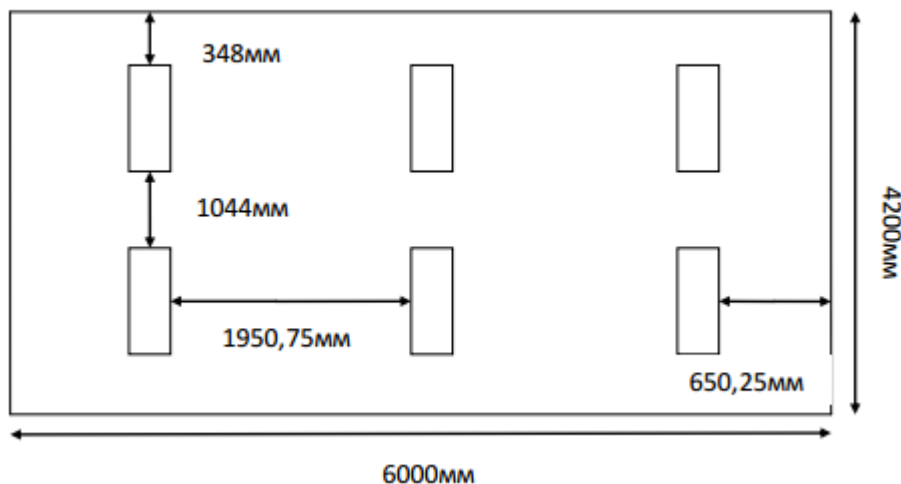


Рисунок 20. Схема размещения светильников в помещении

Оптимальное расстояние между светильниками L должно составлять:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2,2 = 2,24\text{м}$$

Расстояние от крайних светильников до стены является оптимальным, так как рекомендуемая величина равна $L/3 = 2,42/3 = 0,8\text{м}$

Расчет общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} \quad (27)$$

где нормируемая минимальная освещенность (по СНиП 23-05-95): $E_n = 300$ Лк (разряд зрительной работы V: малой точности);

Площадь освещаемого освещения: $S = 25,2$ м²;

Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, наличие в атмосфере дыма, пыли: $K_3 = 1,8$ (помещение с малым выделением пыли);

Коэффициент неравномерности освещения: $Z=1,1$ (для люминесцентных ламп);

Коэффициент использования светового потока: $\eta = 0,42$.

Тогда число ламп в помещении:

$$N = \frac{E_n \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{\Phi_{\text{лд}} \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 1,8 \cdot 25,2 \cdot 1,1}{3100 \cdot 0,42} = 11,50;$$

Расчет искусственного освещения показал, что нужно 12 ламп для

освещения, т.е. 6 светильников ОД-2-40.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\Pi} = \frac{E_H \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 25,2 \cdot 1,8 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,42} = 3005,36 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{3100 - 3005,36}{3100} \cdot 100\% = 3,05\%$$

Таким образом: $-10\% \leq 3,05\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Для планирования расположения светильников нужно рассчитать расстояние между светильниками и расстояние от светильника до края помещения.

Расстояние между светильниками по длине помещения L_a определяется по формуле:

$$2 \cdot L_a + 3 \cdot 266 + 2 \cdot L_a / 3 = 6000 \text{ мм.}$$

Получено $L_a = 1950,75 \text{ мм}$, и $L_a / 3 = 650,25 \text{ мм}$. Видно, что значение L_a меньше оптимального расстояния между светильниками L . Аналогично расстояние между светильниками по ширине помещения $L_b = 1044 \text{ мм}$, и $L_b / 3 = 348 \text{ мм}$.

Результат планирования расположения светильников показан на рисунке 19.

6.1.6 Электробезопасность

Основными причинами воздействия тока на человека являются:

1. Случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям;
2. Появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции или ошибочных действий персонала;

3. Шаговое напряжение на поверхности земли в результате замыкания провода на землю;

4. Появление напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых работают люди, вследствие ошибочного включения установки;

5. Освобождение другого человека, находящегося под напряжением;

6. Воздействие атмосферного электричества, грозových разрядов.

Неисправность проводки установки может стать причиной поражения электрическим током. Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и повреждение различных органов. Пороговый не отпускающий ток составляет 50 Гц (6-16мА). Защита от воздействия электрического тока осуществляется путем проведения организационных, инженерно-технических и лечебно-профилактических мероприятий.

Согласно ГОСТ 12.1.019. ССБТ, электробезопасность должна обеспечиваться конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты. Электроустановки и их части выполнены таким образом, чтобы работающие не подвергались опасным и вредным воздействиям электрического тока и электромагнитных полей, и соответствовать требованиям электробезопасности.

Согласно ПУЭ 7.4 «Правила устройства электроустановок» помещение, в котором находится установка, предназначенная для нанесения оксидов и оксинитридов титана на стальные подложки, относится к помещениям без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность. К таким условиям относятся: сырость (влажность более 75 %), токопроводящей пыли, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.); высокие температуры (выше 35 °С); возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей технологическим аппаратам, механизмам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой. В лаборатории находятся электрические установки с классами напряжения до 1 кВ, в которых, согласно ГОСТ12.1.038-82

ССБТ, предельно допустимые безопасные значения тока, напряжения и сопротивления не должны превышать значений 0,1 мА, 36В и 4 Ом соответственно.

Для предотвращения поражения электрическим током следует проводить следующие мероприятия:

1. содержать оборудование в работоспособном состоянии и эксплуатировать его в соответствии с нормативно-техническими документами;
2. своевременно проводить техническое обслуживание;
3. соблюдать технику безопасности при работе с оборудованием;
4. проводить инструктаж для работников.

В качестве мероприятий по обеспечению безопасности работы с электрооборудованием могут быть использованы:

1. изоляция токоведущих частей;
2. малое напряжение в электрических цепях;
3. защитное заземление, зануление, защитное отключение;
4. применение разделяющих трансформаторов;
5. использование оболочек и блокировок для предотвращения возможности случайного прикосновения к токоведущим частям и ошибочных действий или операций;
6. средства индивидуальной защиты и предохранительные приспособления: диэлектрические перчатки, галоши, изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, диэлектрические резиновые ковры, указатели напряжения.

6.1.7 Пожар взрывоопасность

Согласно НПБ 105-03 используемое помещение относится к категории пожароопасной В4, т.е. в которых находятся горючие и трудно горючие жидкости, вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), но удельная пожарная нагрузка на участке находится в интервале 1-180МДж*м⁻².

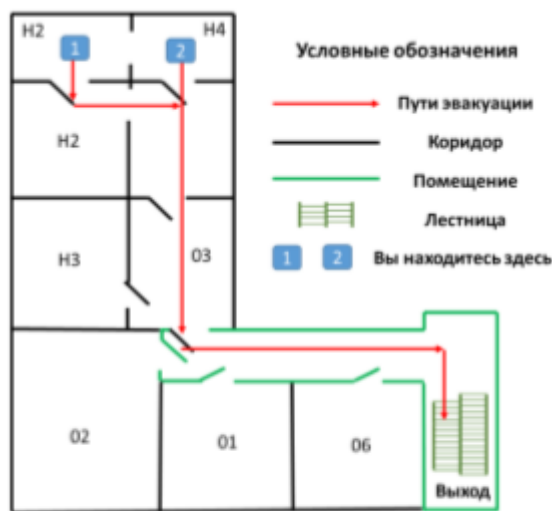
В лаборатории разработаны инструкции о мерах пожарной безопасности для каждого взрывопожароопасного и пожароопасного участка (мастерской, цеха и т. п.) в соответствии с приложением № 1 ППБ 01-03.

Согласно НПБ 105-95 и СНиП 21-01-97 работники допускаются к работе только после прохождения инструктажа о мерах пожарной безопасности, во всех помещениях вывешены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны и таблички с направлением пути эвакуации и план эвакуации.

Согласно ППБ 01-03 в здании, где ведутся работы, предусмотрены инженерно-технические решения, которые обеспечивают в случае пожара эвакуацию людей (аварийные выходы), подачу средств пожаротушения к очагу, есть сигнализация и работает оповещение о пожаре.

Пожарные краны, огнетушители и другая пожарная техника для защиты объектов соответствует (ГОСТ 12.1.004-91 с измен. 21.10.1993 г).

На рисунке 21. представлен план эвакуации Н2 лаборатории 3 корпуса, где находится установка позитронной спектроскопии. По плану виден основные эвакуационные выходы и огнетушители.



План эвакуации из лаборатории

Рисунок 21. План эвакуации из рабочего помещения

Из огнетушителей разных видов наиболее широко используются углекислотные, порошковые и воздушно-пенные. Огнетушители воздушно-

пенные используются при тушении пожаров классов А и В (дерево, краски и ГСМ) не допускается применять для тушения электроустановок под напряжением, а также щелочных металлов; эксплуатируются при температуре от +5 до +50°С.

Порошковые огнетушители (ОБ-5) используются в качестве первичного средства тушения пожаров класса А (твердых веществ), В (жидких веществ), С (газообразных веществ) и электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В; огнетушители не пригодны для тушения загораний щелочных и щелочноземельных металлов и других материалов, горение которых может происходить без доступа воздуха.

Огнетушители углекислотные (ОУ-2) предназначены для тушения загораний различных веществ, горение которых не может происходить без доступа воздуха, загораний на электрифицированном железнодорожном транспорте, электроустановок, находящихся под напряжением не более 10кВ. Преимуществом углекислотных огнетушителей является отсутствие следов тушения. Огнетушители не предназначены для тушения загораний веществ, горение которых может происходить без доступа воздуха (алюминий, магний и их сплавы, натрий, калий).

В лабораториях расположены огнетушители порошковые ОП-4(з)-АВСЕ-02 (предназначен для тушения твердых, жидких и газообразных веществ и электроустановок до 1000В).

Причинами возникновения пожара могут быть:

1. Нарушение правил эксплуатации электрического оборудования;
2. Курение в неустановленных местах;
3. Перегрузка электрических сетей;
4. Нарушение правил пожарной безопасности;
5. Неправильное хранение возгорающихся веществ.

При работе на установке используются баллоны с аргоном и азотом. Эксплуатация баллонов связана с рядом опасных факторов. Наполненный сжатым газом баллон обладает большой энергией, и если в нем образуется

отверстия, то газ истекает из него с критической скоростью. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, находящихся под высоким давлением описаны в ПБ 03-576-03 и ГОСТ 12.2.085-2002. В целях безопасности, выполнены общие правила эксплуатации баллонов:

1. Баллоны установлены вертикально и надежно закреплены в таком положении металлическим хомутом, а также защищены от падения на них сверху каких-либо предметов.

2. Баллоны с газом, устанавливаемые в помещении находятся от радиаторов отопления и других отопительных приборов на расстоянии не менее 1 метра и от печей и других источников тепла с открытым огнем не менее 5 метров. При невозможности выдержать необходимое расстояние, необходимо применять защитные экраны, предохраняющие баллоны от местного разогрева, располагая баллон не ближе 0.1 м от экрана. Установленные баллоны также необходимо предохранять от действия солнечных лучей.

3. Выпуск газов из баллона производится через редуктор, предназначенный исключительно для данного газа и окрашенный в соответствующий цвет. Камера низкого давления редуктора имеет манометр и пружинный предохранительный клапан, отрегулированный на соответствующее давление в емкости; во всех случаях открывать и закрывать вентиль баллона необходимо медленно.

6.2 Охрана окружающей среды

Охрана окружающей среды - это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения - это 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. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

При работе с установкой спектрометров ЭПА возможно образование отходов: бумага и металл (ВТ6). Бумагу используют для записи результатов экспериментов. Эти отходы могут вызвать загрязнение литосферы. Для охраны поверхностных и подземных вод от загрязнения и истощения, можно использовать бумагу повторно и перерабатывать отходы металлов методом повторного изготовления.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

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

Первый случай: остановка производства в результате сильных морозов.

Меры по предупреждению ЧС:

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

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

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

4. Обеспечение устойчивости системы водоотведения. Повышение устойчивости системы канализации достигается созданием резервной сети труб, по которым может отводиться загрязненная вода при аварии основной сети. Должна быть разработана схема аварийного выпуска сточных вод непосредственно в водоемы. Насосы, используемые для перекачки загрязненной воды, комплектуются надежными источниками электропитания.

Второй случай: диверсия.

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

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

6.4 Перечень законодательного документа

К работе на установки спектрометров ЭПА допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинские противопоказания, прошедшие обучение безопасности труда и инструктаж на рабочем месте.

К самостоятельной работе допускаются работники после специального обучения и проверки знаний норма и правил работы с электроустановками, правил безопасности работы с газовыми баллонами, приобретенных навыков и безопасных способов выполнения работы на установке спектрометров ЭПА, имеющие не менее II группы по электробезопасности и получившие допуск к

работе с газовыми баллонами.

Повторная проверка знаний норм и правил электробезопасности, правил безопасной работы с газовыми баллонами проводится с работниками не реже 1 раза в 12 месяцев, повторный инструктаж на рабочем месте – не реже 1 раза в 3 месяца.

Проведение всех видов инструктажа должно оформляться в Журнале регистрации инструктажа установленного образца, с обязательными подписями получившего и проводившего инструктаж, с указанием даты проведения инструктажа, наименования и номеров инструкции на виды работ, по которым проводится инструктаж.

По данной теме рассматриваются законодательный и нормативные документы:

1. инструкция № 2-25 по охране труда при выполнении работ на установки спектрометров ЭПА;

2. инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 2000 В;

3. инструкция № 2-07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением.

Документы по воздействию ПЭВМ:

1. инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ;

2. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы;

3. ГОСТ Р 50948-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности;

4. ГОСТ Р 50949-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности;

Микроклимат:

1. ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху

рабочей зоны;

2. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

Шум:

1. ГОСТ 12.1. 003 – 83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

2. СНиП П-12-77. Защита от шума.

Освещенность:

1. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.

Заключение

В ходе рассмотрения безопасности и гигиены труда при осуществлении работ по наводороживанию с помощью установки для послойного анализа и спектрометров позитронной аннигиляций, были выявлены вредные и опасные факторы рабочей зоны, причины и средства защиты, рассмотрены чрезвычайные ситуации и поведение в них.

Заключение

В результате проделанной работы были проведены измерения параметров аннигиляции позитронов в образцах сплава Ti-6Al-4V до и после холоднокатаной пластической деформации, определён тип и концентрации дефектов в образцах сплава Ti-6Al-4V после холоднокатаной пластической деформации методами позитронной спектроскопии. Исследована зависимость изменения аннигиляционных характеристик образцов титанового сплава Ti-6Al-4V после пластической деформации при высокотемпературном вакуумном отжиге, а также проведено газофазное гидрирование образцов деформированного сплава Ti-6Al-4V до различных концентраций.

Основываясь на результатах исследований, показано, что высокая плотность дислокаций и концентрация вакансионных комплексов формируются в результате холодного прокатки. Позитроны захватываются вакансионными комплексами, объединяющими 3 моновакансий (тривакансии) и дислокациями. При увеличении степени деформации выше 2 %, все позитроны захватываются дефектами, то есть происходит насыщенный захват. На основе τ_a , τ_b , τ_f рассчитаны плотность дислокаций и концентрация тривакансий. Показано, что тривакансии и дислокации полностью отжигаются при температурах больше 300 °C и 600 °C, соответственно.

Было проведено наводороживание деформированного титанового сплава Ti-6Al-4V в диапазоне 0-0,05 масс. %. Наводороживание деформированного сплава ВТ6 приводит к формированию новых типов дефектов, предположительно крупных водород-вакансионных комплексов и водородной атмосферы вокруг дислокаций.

Метод позитронной спектроскопии позволяет успешно исследовать закономерности изменения дефектной структуры сплава Ti-6Al-4V при холодной пластической деформации и наводороживании.

Список используемых источников

1. Perkins A., Carbotte J.P. - Phys. Rev. B. – 1970. – 1. – P. 101; Valkealahti S., Nieminen R.M. – Appl. Phys. B. – 1983. – 32. – P. 95.
2. Беспалов В.И. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом. – изд.2–е, переруб. и доп. – Томск, 2006. – С. 368.
3. Ritchie R.H. – Phys. Rev. – 1959. – 144. – P. 644.
4. Jensen K.O., Walker A. – J. Phys.: Condense. Matter – 1990. – 2. – P. 9757.
5. Brandt W., in: Proceedings International School of Physics «Enrico Fermi», Course LXXXIII. – 1983. – P. 1.
6. Ritchie R. H. Interaction of charged particles with a degenerate Fermi–Diracelectron gas //Physical Review. – 1959. – Vol. 114. – №. 3. – P. 644.
7. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978. – С.
8. Saarinen K., Hautojarvi P., Corbel C. Identification of Defects in Semiconductors// Academic Press. – 1998. – New York.
9. Графутин В. И., Прокопьев Е. П., Применение позитронной аннигиляционной спектроскопии для изучения строения вещества// Успехи физических наук. – 2002. – Т.172(1). – С. 67-84.
10. Bisi A., Faini G., Gatti E., Zappa L. Positron lifetime in metals. – Phys. Rev. Letters. – 1960. – 2, V5. – P.59– 60.
11. Reino Aavikko. Positron Lifetime Sptroscopy: Digital Spectrometer and experiments in SiC. – Helsinki University of Technology. – 2006. – P. 52.
12. Л.В. Спивак. Водород в металлах: учеб. Пособие: в 2 ч./ Пермский гос. Ун-тю – Пермь, 2011. – Ч.1, 177с
13. Фридель Ж. Дислокации. М: Мир, 1967, 644 с..
14. Лотте И. Теория дислокаций. М.: Атомиздат, 1972, 600 с
15. Sticking G. J., Huber B.//Ber. Bussenges. phys. Chem. 1983, Bd. 87. P.418-424;
16. H.Stoll, M.Koch, U.Lautff, et al. Annihilation of incompletely thermalized positronium studied be age-momentum correlation. Appl. Surf. Sci, 1995.

17. Deutsch M. Three-Quantum Decay of Positronium [J]. *Physical Review*, 1951,83: 866-867.
18. Paul D A L, Saint-Pierre L. Rapid Annihilations of Positrons in Polyatomic Gases [J]. *Physical Review Letters*, 1963, 11:493-496.
19. Zhang S B, Northrup J.E. Chemical potential dependence of defect formation energies in GaAs: Application to Ga self-diffusion [J]. *Physical Review Letters*, 1991, 67:2339-2342.
20. Seong H, Lewis L J. Tight-binding molecular-dynamics study of point defects in GaAs [J]. *Physical Review B*, 1995, 52:5675-5684.
21. P.Asoka-Kumar, M.Alatalo, V.J.Ghosh, et al. Increased Elemental Specificity of Positron Annihilation Spectra *Phys. Rev. Lett.* 1996. 77: 2097.
22. S. Szpala, P.Asoka-Kumar, B. Nielsen, et al, Defect identification using the core-electron contribution in Doppler-broadening spectroscopy of positron-annihilation radiation. *Phys. Rev. B.* 1996. 54: 4722. Abstracts of 12th International Conference on Positron Annihilation, Aug. 2000
23. P.G. Coleman, C.P. Burrows, R. Mahapatra, et al. Vacance-type defects in Ti/Si/SiC dielectric stacks [J]. *Appl. Phys.*, 2007. 102(1): 014106.
24. J. Kuriplach, M. Sob, G. Brauer, et al. Positron affinity in semiconductors: Theoretical and experimental studies [J]. *Phys. Rev. B*, 1999. 59(3): 1948.
25. M.J. Puska, R.M. Nieminen. Theory of positrons in solids and on solid surfaces [J]. *Rev. Modern Phys.* 1994, 66(3): 841.
26. H. Takenaka, D.J. Singh. Positron potential and wave function in LaFeAsO [J]. *Phys. Rev. B*, 2008. 77(15):155132.
27. Sawada, S., Yabuuchi, A., Maekawa, M., et al. (2013) Location and Size of Nanoscale Free-Volume Holes in Crosslinked-Poly Tetrafluoroethylene-Based Graft-Type Polymer Electrolyte Membranes Determined by Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy. *Radiation Physics and Chemistry*, 87, 46-52
28. Chen, H., Cheng, M.L., Jean, Y., et al. (2008) Effect of CO₂ Exposure on Free

Volumes in Polystyrene Studied by Positron Annihilation Spectroscopy.
Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 46, 388-405.

29. Zhao C J, Liu Y, Zhang J Y, Sun L, Ding L, Zhang P, Wang B Y, Cao X Z, Yu G H 2012 Appl. Phys. Lett. 101 072404
30. Zhao C J, Ding L, Zhao Z D, Zhang P, Cao X Z, Wang B Y, Zhang J Y, Yu G H 2013 Appl. Phys. A 116 845
31. Maheshwari P, Dutta D, Mukherjee S, Madhu P K, Mote K R, Pujari P K 2016 Phys. Chem. Chem. Phys. 18 12886
32. Subashiev A V, Nee H H. Hydrogen trapping at divacancies and impurity-vacancy complexes in nickel: first principles study[J]. Journal of Nuclear Materials, 2017, 487: 135-142. DOI:10.1016/j.jnucmat.2017.01.037
33. Cizek J, Melikhova O, Prochazka I. Hydrogen-induced defects and multiplication of dislocations in Palladium[J]. Journal of Alloys & Compounds, 2015, 645(1): S312-S315. DOI:10.1016/j.jallcom.2014.12.155
34. Chen Q Z, Zhou G H, Huang Y Z, et al. Hydrogen-inducing nanovoids in thin crystals of 310 stainless steel[J]. Journal of Materials Science, 1998, 33(19): 4813-4819. DOI:10.1023/A:100442621
35. Nagai Y, Takadate K, Tang Z, et al. Positron annihilation study of vacancy-solute complex evolution in Fe-based alloys[J]. Physical Review B, 2003, 67(22): 224202. DOI:10.1103/PhysRevB.67.224202

1.3 Positron spectrometry as a method for studying deformation defects

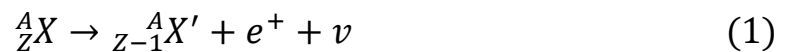
Positrons arise in the following situations:

(1) Decay of the radioactive element.

(2) A photon with an energy greater than 1.022 MeV interacts with the substance.

In experiments using EPA methods, radioactive isotopes are most often used, which should have suitable half-lives.

The main method for obtaining positrons is radioactive sources of positrons. The reaction is described by the following equation:



where X is the mother nucleus, X 'is the daughter nucleus of Z and A is the charge and mass numbers, the positron, and the neutrino. The result of β^+ decay is the continuous energy spectrum of emitted positrons.

After the emission of a positron and a neutrino subsidiary of the kernel for many of the sources remain in an excited state. These nuclei return to their initial state in a short time, emitting 1 or 2 γ -rays. These nuclear γ -rays are called secondary and are used in technology SWIP to register the birth of the positron.

In this work, radioactive titanium ${}^{44}_{22}\text{Ti}$ is used. The high value of the maximum kinetic energy of positrons emitted by this isotope (1.47 MeV) [13] allows us to investigate deeper layers of materials. The isotope has a half-life of 47 years, which ensures a long lifetime of this positron source. The decay process of this isotope is presented below:

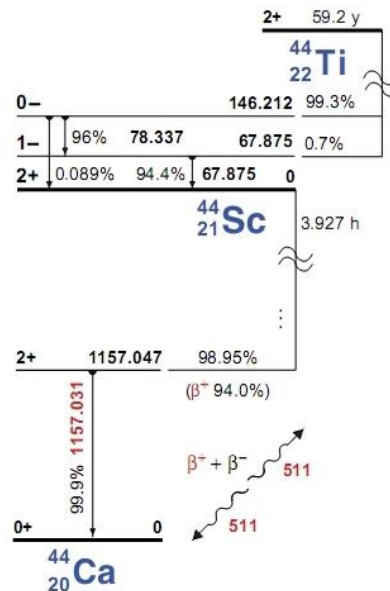


Figure 1. Isotope decay process

When positrons penetrate the material and undergo inelastic collision processes with other particles, their kinetic energy passes into thermal energy $E = KT$. The thermalization process takes place in a very short period of time in comparison with the positron lifetime. The thermalization time is estimated at 3-4 ps. Time thermalization depends on the energy of the positron and the parameters of the medium and usually does not exceed several picoseconds, during this time the positrons penetrate through the material at about 100 nm.

After thermalization, the positrons diffuse randomly along the lattice. The penetration length of positrons through the material is 20-300 μm . In this connection, in a practical experiment, the thickness of the sample is required not less than 1 mm to ensure complete annihilation of the positrons in the sample.

In an ideal defect-free metal lattice, thermalized positrons are in the Bloch states, the same as for electrons [14]. Such positrons are called "free". In many materials, until the end, the positron annihilates with electrons in the substance. After annihilation of positrons, the mass of the electron-positron pair is converted into the energy of γ -quanta. After annihilation, the most probable situation is formed by a 2 γ -quantum. The lifetime of positrons depends on the rate of annihilation, which determines the density of surrounding electrons.

Moreover, positrons are actively combined with a free volume of defects in the lattice. because there is no repulsive potential of positively charged lattice ions in the defect, the defects capture positrons.

In the presence of defects in solids, such as vacancies, dislocations, etc., the electron density is lower than in a defect-free crystal.

In the question of the nature of the capture of positrons by defects that do not have an open volume, it is considered that the edge dislocation is only a shallow trap for positrons, that is, the positron binding energy with dislocation is small and at temperatures above room positrons it is released from the trap on a dislocation line or captured by other defects , associated with a dislocation, mainly vacancies [15].

Thus, in the presence of defects, the positron annihilates from trapped states at a slower rate than from free states, which leads to a significant change in the annihilation characteristics. As a result, the positron annihilation time is longer than a defect-free crystal.

The phenomenological model of positron capture by defects can be used to determine the concentration of crystal structure defects. In the simplest case, if there is only one type of defect, for example, vacancies that capture positrons, the change in the positron concentration through the time to + dt, where to is the initial time instant when the positron enters the sample, can be written down by the following kinetic equations [16]:

$$\begin{aligned}\frac{dN_d}{dt} &= -\lambda_d N_d + N_0 K \\ \frac{dN}{dt} &= -(\lambda_0 + K)N\end{aligned}\quad (2)$$

Here K is the rate of capture of positrons in the defective part of the sample; λ_d is the annihilation rate of positrons with electrons in the defect region; N_0 is the number of positrons in the sample at $t = 0$; λ_0 is the positron annihilation rate in the defect-free part of the sample; N is the number of positrons at some time t. N_d is the number of positrons that are captured by a defect. It should be noted that, since the binding energy of a positron with a vacancy is high, this approach neglects the reverse exit of a positron from the trap [17].

The rate of capture of positrons in the defect is proportional to the concentration of these defects $K=\mu\rho_d$, where $\mu=\sigma v_+$ is the specific capture rate of positrons, which is determined by the nature of the defect and material [18].

The positron lifetime spectrum in this model of positron capture by defects has the following formulas [18]:

$$N(t) = (1 - I_2)\lambda_1 \exp(-\lambda_1 t) + I_2\lambda_2 \exp(-\lambda_2 t) \quad (3)$$

Where $\lambda_1 = \frac{1}{\tau_1} = \lambda_d + K$, $\lambda_2 = \frac{1}{\tau_2} = \lambda_d$, λ_1, λ_2 – the positron capture rates of the first and second components, respectively;

The first component is related to the lifetime of positrons in the lattice of the sample, the second component characterizes annihilation of positrons from the non-localized state in the defect region.

$I_2 = \frac{K}{\lambda_d - \lambda_0 + K}$ – intensity of the second component. The intensity of the first component always tends to a maximum of 100%

The parameters τ_2 and I_2 determine information about the nature of the defect and the concentration of defects.

In addition to the fact that the annihilation characteristics depend on the type of positron trap traps, it is possible to accurately study the defect structure of a material using PAS, to determine the concentrations, size and type of material defects.

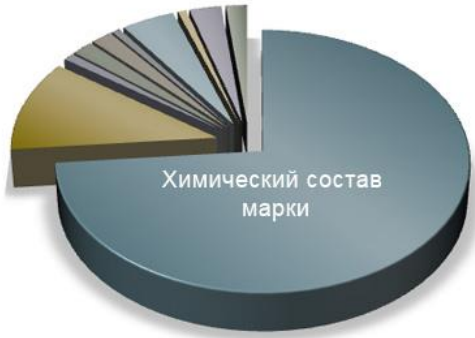
2. Material and methods of investigation

2.1 Titanium alloy Ti-6Al-4V brand VT6

The composition of the titanium alloy VT6 is Ti-6Al-4V, which belongs to the ($\alpha + \beta$) titanium alloy and has good mechanical properties.

Table 1 shows its chemical composition [19].

Chemical composition in% of alloy BT6	
Titanium	87-91
Aluminum	5,5-7,0
Vanadium	4,2-6,0
Carbon	To 0,1
Gland	To 0,3
Silicon	To 0,15
Oxygen	To 0,2
Nitrogen	To 0,05
Hydrogen	To 0,015
Zirconium	To 0,3



Alloy VT6 has excellent ductility and easily deforms when heated. To work with titanium, any type of welding, including diffusion welding, is suitable.

For carrying out the research, rectangular flat samples of VT6 with dimensions of $20 \times 20 \times 2$ mm were cut out. Samples were mechanically ground, polished to remove surface defects. Grinding was carried out with the use of flint grinding paper with a grain size of 1000, 1500 and 2000 microns.

To remove defects and remove surface stresses, the samples were annealed in a vacuum at 750°C for 60 minutes, followed by slow cooling to room temperature.

2.2 Cold rolling

Rolling is a process of deformation of the metal as a result of its compression between two rotating rolls. For rolling, the goal is to obtain a metal of a certain shape and size. Rolling is used in the production of strips, sheets, ribbons, bars, etc. Rolling is one of the ways of metal working with pressure.

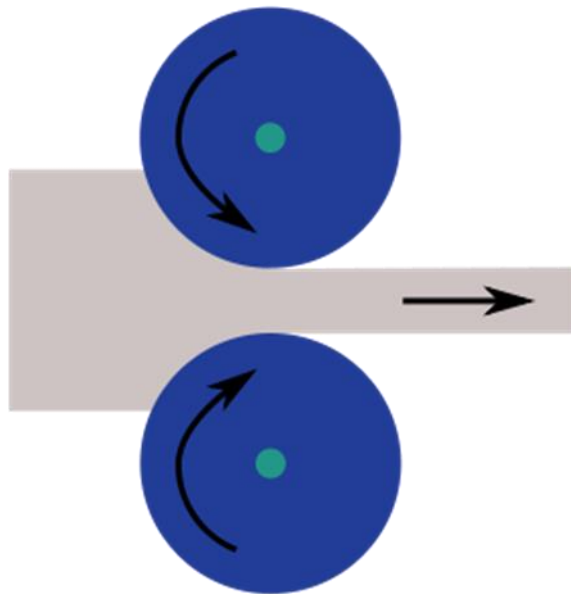


Figure 2. The rolling scheme [20]

During rolling, the metal in the gap between the rollers is deformed. This region is called the focus of deformation. The contact surfaces of the rolled metal and rolls are called contact surfaces. The ratio of the size of the strip after deformation and up to it is called the coefficient of deformation. When a sufficient load is applied to the metal, this will change the shape of the material. This change in shape is called deformation. If the temporary change in shape can itself be restored, so that the object returns to its original form, it is called elastic deformation. Such a type of deformation only includes the connection of stretching, but atoms do not slip one after another. Plastic deformations are irreversible deformations caused by changes in stresses. As discussed in the section on crystal defects, the principle of plastic deformation by the motion of dislocations violates atomic bonds. Plastic deformation in real crystals is realized by successive displacement of dislocations [20].

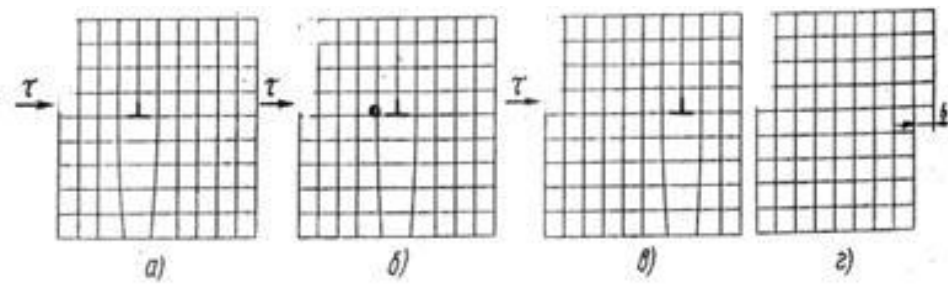


Figure 3. Moving of dislocations

With a constantly acting voltage, the dislocation, as it were, is transferred from one atomic plane to another along the relay, successively replacing each neighboring "regular" series of atoms. The process is repeated until the dislocation reaches the surface of the crystal and its upper part moves relative to the lower part by one interatomic distance (Fig. 2d). At the same time, a step is formed on the surface into one interatomic distance. In the slip plane, dozens of dislocations are usually located. Their successive movement along the slip plane develops the process of plastic deformation. The height of the step formed in this case on the surface of the crystal increases in proportion to the number of dislocations emerging on the surface of the crystal.

The process of rolling metal is largely determined by external (contact) friction. The friction conditions during rolling determine the quality of the metal surface, the speed and power parameters of the process, the wear of the rolls, and the energy consumption.

Numerous studies show that when cold rolling the friction coefficient is affected by the following main factors:

- ♣ Rough surface roughness;
- ♣ composition and properties of process lubrication;
- ♣ rolling speed;
- ♣ Compression.

Practice and theory of rolling show that the conditions of friction during steel rolling are optimal when the magnitude of frictional forces is minimal, but sufficient to securely grip the strip.

To reduce the coefficient of friction when rolling a sheet, technological lubricants are intended. As lubricants for rolling metal used vegetable, animal or mineral oils, synthetic lubricants, either in pure form, or mixed with water, or as emulsions. Additives are added to lubricants to improve lubrication characteristics, anti-wear, improve corrosion resistance, and others.

2.3 Measurement of microhardness

To study the effect of plastic deformation on the defect structure of titanium alloys VT6, an analysis of microhardness is performed depending on the degree of deformation. After cold rolling, the microhardness of the samples was measured by the Vickers method. The microhardness was measured on an automatic microhardness analyzer KB30S Prüftechnik GmbH under normal conditions at a load of 100 g. Vickers is determined using an indenter of a pyramidal shape with an opposing angle of 136 °, the full formula is given below [21]

$$HV = \frac{1.8544F}{d^2} \quad (4)$$

where HV is the hardness by the Vickers method (kg / mm²); F - test force; d is the average length of the print diagonal (mm).

2.4 X-ray diffraction analysis (XRD-7000S (Shimadzu);)

X-ray diffraction analysis using a Shimadzu XRD 7000s diffractometer. Filming was carried out on copper radiation (K α) according to the Bregg-Bretagne scheme with a voltage of 40 kV and a beam current of 30 mA. Diffractograms were obtained in the angular interval 10 ° - 90 ° in steps of 0.025 °, the exposure time at the point 0.6 s.

2.5 Positron Spectroscopy (Digital Complex)

2.5.1 Time distribution of annihilation positrons

The time interval after thermalization prior to the annihilation of positrons in matter is closely related to the microstructure of the substance. However, the time for thermalization of positrons after entering the material is only a few ps, in comparison with the time between the end of the thermalization and the annihilation of positrons,

they can be neglected. Thus, using the annihilation time of positrons, one can investigate the microstructure of materials.

The principle of measuring the positron lifetime is as follows: The positron source is located between two samples. In the experiment, the source of positrons is ^{44}Ti , which emits a γ quantum with an energy of 1.157 MeV as a positron production signal, a γ quantum with an energy of 0.511 MeV that is emitted after annihilation can be regarded as a signal for the disappearance of positrons [22].

Measurement of the time interval between two signals allows the positron lifetime to be obtained.

(1) Under the action of the incident photon beam, the scintillator absorbs the energy of the charged particles. This energy ionizes and excites the atoms and molecules of the scintillator.

(2) Atoms or molecules excited by ionization form photons of fluorescence.

(3) Under the action of photons of fluorescence, a photoelectric effect takes place on the photocathode with emission of electrons.

(4) As a result of secondary electron emission on dynodes, the number of electrons multiply increases to several orders of magnitude. After a multiple increase in the load of the last dynode, the photomultiplier creates a voltage pulse amplitude.

(5) These signals arrive at the processed DM and are divided into two signals. A signal with a larger amplitude is fed directly to the digitizer for subsequent writing to the memory of the personal computer, when a control pulse appears at the input of the external trigger from the external synchronization system. A signal with a smaller amplitude is fed to integral DPS for pre-amplitude selection. Then the signals from the two discriminators are fed to the adder, from where the generated control pulse hits the input of the external trigger of the digitizer.

With a sufficient amount of the annihilation event, by measuring the time required for each annihilation event, we can obtain the positron annihilation lifetime spectra satisfying the error count requirements. As a rule, the number of the event is 10^6 [24].

The figure shows the time spectrum of positron annihilation. It consists of two components of the lifetime: τ_1 and τ_2 . The lifetime τ_1 is short, in which the main contribution is made by free annihilation of positrons and P-Ps annihilation. The lifetime τ_2 is long, in which o-Ps annihilation contributes, its intensity in the positron lifetime spectrum is 3.0%, its contribution is small. This figure is a semi-log plot. The positron lifetime spectrum is formed by superimposing two straight lines.

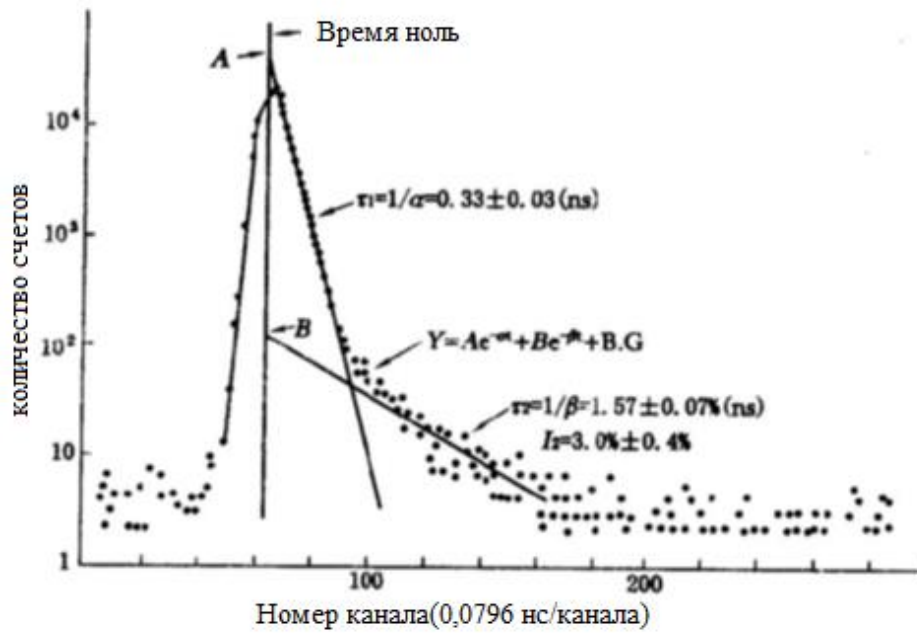


Figure 4. The positron annihilation lifetime spectrum

Reference

1. Perkins A., Carbotte J.P. - Phys. Rev. B. – 1970. – 1. – P. 101; Valkealahti S., Nieminen R.M. – Appl. Phys. B. – 1983. – 32. – P. 95.
2. Беспалов В.И. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом. – изд.2–е, переруб. и доп. – Томск, 2006. – С. 368.
3. Ritchie R.H. – Phys. Rev. – 1959. – 144. – P. 644.
4. Jensen K.O., Walker A. – J. Phys.: Condense. Matter – 1990. – 2. – P. 9757.
5. Brandt W., in: Proceedings International School of Physics «Enrico Fermi», Course LXXXIII. – 1983. – P. 1.
6. Ritchie R. H. Interaction of charged particles with a degenerate Fermi–Diracelectron gas //Physical Review. – 1959. – Vol. 114. – №. 3. – P. 644.
7. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978. – С.
8. Saarinen K., Hautojarvi P., Corbel C. Identification of Defects in Semiconductors// Academic Press. – 1998. – New York.
9. Графутин В. И., Прокопьев Е. П., Применение позитронной аннигиляционной спектроскопии для изучения строения вещества// Успехи физических наук. – 2002. – Т.172(1). – С. 67-84.
10. Bisi A., Faini G., Gatti E., Zappa L. Positron lifetime in metals. – Phys. Rev. Letters. – 1960. – 2, V5. – P.59– 60.
11. Reino Aavikko. Positron Lifetime Sptroscopy: Digital Spectrometer and experiments in SiC. – Helsinki University of Technology. – 2006. – P. 52.
12. Л.В. Спивак. Водород в металлах: учеб. Пособие: в 2 ч./ Пермский гос. Ун-тю – Пермь, 2011. – Ч.1, 177с
13. Фридель Ж. Дислокации. М: Мир, 1967, 644 с..
14. Лотте И. Теория дислокаций. М.: Атомиздат, 1972, 600 с
15. Sticking G. J., Huber B.//Ber. Bussenges. phys. Chem. 1983, Bd. 87. P.418-424;