

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
Исследование структурно-фазового состояния и дефектной структуры субмикроструктурного сплава ВТ6

УДК __ 669.295:620.19 __

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ61	Лю Цан		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Степанова Е.Н	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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
P9	Способен понимать и использовать на практике теоретические основы планирования и организации физических исследований, представлять результаты и применять на практике методы управления в сфере природопользования
P10	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, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Группа	ФИО
ОБМ61	Лю Цан

Студенту:

Школа	ИЯТШ	Отделение	экспериментальной физики
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 НИИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ
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 ОСГН ШБИП	Верховская М.В.	к.экон.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ61	Лю Цан		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ61	Лю Цан

Школа	ИЯТШ	Отделение	экспериментальной физики
Уровень образования	Магистр	Направление/ специальность	Физика

Тема дипломной работы: Исследование структурно-фазового состояния и дефектной структуры субмикроструктурного сплава ВТ6

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Целью данной работы исследования структурно-фазового состояния и дефектной структуры субмикроструктурного (СМК) титанового сплава ВТ6

Описание рабочего места на предмет возникновения:

– вредных проявлений факторов производственной среды

(для обслуживающего персонала необходимо обеспечить оптимальные, в крайнем случае, допустимые значения радиоактивности на рабочем месте, исключить контакт с вредными, радиоактивными веществами – рентгеновская трубка, которые могут использоваться в процессе работы установки, обеспечить безопасные используемые методы электромагнитного напряжения от риска утечки.);

– опасных проявлений факторов производственной среды

(в связи с присутствием радиоактивного вещества для питания позитронов, наличии свинцовых кирпич необходимо предусмотреть. Если ситуация не контролируется, то перечислить средства коллективной и индивидуальной защиты от воздействия радиации);

– необходимо обеспечить устойчивую работу вашего производственного участка при возникновении чрезвычайных ситуаций – человеческий фактор, утечка низкотемпературного жидкого азота, потеря небольших радиоактивных источников.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

а) приводится перечень всех используемых в работе реагентов, их агрегатное состояние, класс опасности (токсичности), механизм воздействия их на организм человека, единицы измерения количества (концентрации); приводится перечень средств коллективной и индивидуальной защиты персонала, а также защиты окружающей среды;

б) приводятся данные по оптимальным и допустимым значениям микроклимата на рабочем месте, перечисляются методы обеспечения этих значений; приводится 1 из расчетов (расчет освещенности на рабочем месте, расчет потребного воздухообмена на рабочем месте, расчет необходимого времени эвакуации рабочего персонала);

в) приводятся данные по реальным значениям шума на рабочем месте, разрабатываются или, если уже есть, перечисляются мероприятия по защите персонала от шума, при этом приводятся значения ПДУ, средства коллективной защиты, СИЗ;

г) приводятся данные по реальным значениям электромагнитных полей на рабочем месте, в том числе от компьютера или процессора, если они используются, перечисляются СКЗ и СИЗ;

д) приводятся допустимые нормы с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);

е) предлагаются средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)

2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности

а) приводятся данные по значениям напряжения используемого оборудования, классификация помещения по электробезопасности, допустимые безопасные для человека значения напряжения, тока и заземления (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты); перечисляются СКЗ и СИЗ;

б) приводится классификация пожароопасности помещений, указывается класс пожароопасности вашего помещения, перечисляются средства пожаробнаружения и принцип их работы, средства пожаротушения, принцип работы, назначение (какие пожары можно тушить, какие – нет),

с) приводится пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия)

3. Охрана окружающей среды: организация безотходного производства (приводится перечень радиоактивных веществ при эксплуатации установки, перечисляются методы улавливания, переработки, хранения и утилизации).
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: а) Приводятся возможные для Сибири ЧС; Возможные ЧС: морозы, диверсия; б) разрабатываются превентивные меры по предупреждению ЧС; в) разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; г) разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства (приводится перечень ГОСТов, СНиПов и др. законодательных документов, использованных в своей работе);
Перечень графического материала: 1) Пути эвакуации 2) План размещения светильников на потолке рабочего помещения

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ61	Лю Цан		

Требования к выполнению части ВКР на иностранном языке

1. Раздел, выполненный на иностранном языке, в дальнейшем – раздел на ИЯ, в структуре текстового документа ВКР размещается в Приложении.
2. Раздел на ИЯ может быть выполнен как
 - 2.1. обзор аутентичной литературы по теме исследования (3-5 иноязычных источников)
 - 2.2. перевод части диплома на иностранный язык (неотредактированный перевод с помощью электронных переводчиков не допускается). Для перевода используется раздел основной части ВКР, содержащий информационно-аналитический обзор, в котором описательная часть доминирует над информацией, представляемой в виде рисунков, таблиц, зависимостей и т.п., и позволяет выпускнику продемонстрировать языковые аспекты письменной речи. Его проработка основывается на широком спектре информационных источников: учебники, методические пособия, официальные нормативные документы, патенты, периодические издания, технологические бюллетени, статистические сборники, Интернет публикации зарубежных компаний и др.
3. Раздел на ИЯ не является дословным переводом раздела ВКР, выполняемого на русском языке, но отражает его полное содержание.
4. Объем раздела на ИЯ составляет не менее 20 % от объема основной части ВКР, что составляет не более 18 страниц.
5. Первым листом раздела на ИЯ является титульный лист, содержащий в приведенной последовательности следующие данные:
 - 5.1. Наверху посередине листа (страницы) на русском языке печатают строчными буквами с первой прописной буквой слово “Приложение”.
 - 5.2. Под ним в скобках приводят на русском языке степень необходимости приложения – (справочное). Заголовок раздела приводится посередине листа на английском (немецком) языке строчными буквами с первой прописной и выделяется полужирным шрифтом.
 - 5.3. Сведения о студенте и консультантах приводятся в соответствии с формой титульного листа.
6. Раздел, выполненный на иностранном языке, предоставляется в электронном виде на почту лингвиста-консультанта не позднее 14 дней до размещения работы в ЭБС.

Приложение II
(справочное)

**Investigation of the structural-phase state and the defect structure of the
submicrocrystalline titanium alloy Ti-6Al-4V**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ61	Лю Цан		

Руководитель ВКР _____

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент .	Степанова Е.Н	к.т.н		

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

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

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

Инженерная школа ядерных технологий _____
 Направление подготовки (специальность) 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
Доцент	Степанова Е.Н.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

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

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 (специальность) 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	Лю Цан

Тема работы:

Исследование структурно-фазового состояния и дефектной структуры субмикроструктурного сплава ВТ6

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

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

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Литературный обзор	Доцент отд. ЭФ Степанова Е.Н.
Материал и методы исследования	Доцент отд. ЭФ Степанова Е.Н.
Результаты эксперимента	Доцент отд. ЭФ Степанова Е.Н.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент к.экон.н. 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
Доцент отд. ЭФ	Степанова Е.Н.	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ61	Лю Цан		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 125 с., 42 рис., 25 табл., 68 источников литературы.

Ключевые слова: титановый сплав, субмикроструктурная структура, отжиг, дефектная структура, микротвердость, сопротивление, электрон-позитронная аннигиляция.

Объектом исследования являются образцы сплава ВТ6 в МЗ и СМК состояниях.

Цель работы – исследование структурно-фазового состояния и дефектной структуры субмикроструктурного сплава ВТ6.

Для исследований были использованы методы оптической и просвечивающей электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, измерения микротвердости и сопротивления. В результате исследования было обнаружено, что после прессования в сплаве ВТ6 формируется двухфазная ($\alpha+\beta$) СМК структура со средним размером зерен 0,24 мкм. Часовые отжики в интервале температур 300-500°C не изменяют размера зерна. Сопротивление сплава ВТ6 в МЗ состоянии значительно уменьшается после отжига при 800 °C 1 час, что может обусловлено отжигом большей части имеющихся дефектов в образце.

В первой главе рассмотрены структура и свойства СМК материалов и основные методы формирования СМК состояния.

Во второй главе описаны материал и методы исследования.

В третьей главе описаны экспериментальные результаты и их обсуждение.

В четвертой главе описан финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение данной работы.

В пятой главе описана социальная ответственность проведенного исследования.

В шестой главе приведена часть диплома на английском языке.

Определения, обозначения, сокращения

МЗ – мелкозернистый

УМЗ – ультрамелкозернистый

СМК – субмикрористаллический

ЭПА – электрон-позитронной аннигиляции

ИПД – интенсивная пластическая деформация

РКУ – равноканальное угловое прессование

КВД – кручение под высоким давлением

РФА – рентгенофазовый анализ

РСА – рентгеноструктурный анализ

ДУАЛ – доплеровское уширение аннигиляционной линии

ЧС – чрезвычайные ситуации

Содержание

Введение.....	14
1. Теоретическая часть.....	18
1.1 Титановые сплавы	18
1.2. Основные методы формирования СМК состояния.....	20
1.3. Структура и свойства СМК материалов	23
2. Материал и методы исследования	31
2.1. Просвечивающая электронная микроскопия	31
2.2. Рентгеноструктурный анализ.....	35
2.3 Плотность дислокаций.....	40
2.4. Отжиг.....	41
2.5 Электрон позитронная аннигиляция.....	43
2.6 Измерение сопротивления.....	49
2.7. Измерение микротвердости материалов.....	52
3. Результаты экспериментальных исследований	54
3.1 Микроструктура ВТ6 в МЗ и СМК состоянии и плотности дислокаций СМК сплава ВТ6	54
3.2 Сопротивление и микротвердость МЗ и СМК ВТ6.....	65
3.3 Результаты ЭПА.....	68
Выводы	74
Финансовая часть	15
Социальная часть	99
Список использованных источников.....	118
Английская часть: Investigation of the structural-phase state and the defect structure of the submicrocrystalline titanium alloy Ti-6AL-4V	125

Введение

В настоящее время титановые сплавы составляют около 90% титановых сплавов, используемых в промышленности. Например, в фармацевтической и аэрокосмической промышленности титановые сплавы являются очень важными материалами [1]. Титан также используется в газотурбинных двигателях, турбовентиляторных двигателях. Титановые сплавы в основном используются для производства корпусов авиационных двигателей, воздухозаборников и других компонентов. В других областях титановые сплавы в основном используются для производства промышленных химикатов, транспорта, оборудования и некоторых бытовых приборов. В автомобильной промышленности титановые сплавы используются для изготовления шатунов, впускных клапанов и выпускных клапанов. Титан имеет среднюю твердость и высокотемпературные свойства, поэтому его также можно использовать в автомобильных двигателях. Титан и он также может быть совместим с живой тканью, что означает, что титановые сплавы также могут быть использованы для медицины. Титан обладает высокой прочностью и полностью совместим с человеческим телом, что означает, что титан можно использовать для изготовления искусственных и искусственных зубов [2].

Коэффициент линейного расширения титана ниже, чем у магния, алюминия, медь, железо или никеля. Титан и его сплавы являются ферромагнитными и являются парамагнетиками. Титан имеет высокую чистоту, низкую прочность и высокую пластичность [3-4]. Желательные механические свойства титанового сплава, полученные для получения материала, содержащего Al, V, молибден, хром, железо и другие элементы. Составные элементы и их число будут в значительной степени влиять на свойства сплава. Прочность на разрыв титановых сплавов, используемых в промышленности, колеблется от 400 МПа (низколегированный мягкий сплав)

до 1600 МПа (высоколегированный сплав с повышенным содержанием тепла) [5].

Еще одним способом повышения свойств уже непосредственно сплавов титана является измельчение размера структурных элементов материалов до субмикронных методами интенсивной пластической деформации. В настоящее время хорошо известно, что металлы с субмикроструктурной структурой обладают высокими прочностными характеристиками. В то же время при реализации различных методов интенсивной пластической деформации часть энергии деформации будет запасена в виде различных дефектов структуры (дислокации, границы разного типа, вакансии и их комплексы). При этом неравновесные границы зерен с пониженной плотностью (повышенным свободным объемом) играют наиболее важную роль в формировании улучшенных свойств субмикроструктурных материалов. В то же самое время неравновесность структуры обуславливает ее метастабильность, что может приводить в процессе эксплуатации к рекристаллизации, локализации деформации и разрушению. Чтобы снизить степень неравновесности структуры, материалы с СМК структурой подвергают дорекристаллизационным отжигам (для исключения роста зерен и снижения свойств). При таких отжигам СМК материалов происходит релаксация неравновесных дефектов структуры, развитие процессов возврата в кристаллитах и границах зерен. Кинетика процессов, наблюдающихся при отжигам зависит от материала и степени его чистоты, степени накопленной деформации и использованного метода интенсивной пластической деформации. Поэтому исследование низкотемпературного отжига СМК материалов является актуальным. При этом желательно использовать прямые методы, которые имеют высокую чувствительность и избирательность к определенному типу дефектов.

Исходя из сказанного выше, **целью** данной работы было исследование структурно-фазового состояния и дефектной структуры субмикроструктурного (СМК) титанового сплава ВТ6.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Подготовить образцы титанового сплава ВТ6 в мелкозернистом (МЗ) и СМК состояниях.
2. Провести дорекристаллизационные отжиги исходного СМК сплава ВТ6.
3. Методами рентгеноструктурного анализа, оптической металлографии и просвечивающей электронной микроскопии провести анализ структуры образцов МЗ и СМК сплава ВТ6 в исходном состоянии и после отжигов.
4. Измерить механические свойства и сопротивление сплава ВТ6 в исходных МЗ и СМК состояниях и после отжигов.
5. Провести анализ дефектной структуры методами электрон-позитронной аннигиляции (ЭПА).

Положения, выносимые в защиту

1. Методами просвечивающей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа были выявлены закономерности эволюции структурно-фазового состояния в СМК титановом сплаве ВТ6 при низкотемпературных отжигах в интервале температур 300-500°C.
2. Методами ЭПА было установлено, что основными типами дефектов, захватывающими позитроны, в СМК титановом сплаве ВТ6 являются дислокации и вакансионные комплексы со временами жизни 161 пс и 264 пс, соответственно.

1. Теоретическая часть

1.1 Титановые сплавы

Наиболее важными преимуществами титановых сплавов по сравнению с другими конструкционными материалами являются их высокая удельная прочность и термическая коррозионная стойкость. Кроме того, титан и его сплавы имеют хорошую свариваемость, парамагнетизм и другие подобные свойства, что имеет большое значение для технологии соединения. Титановые сплавы имеют высокие перспективы применения в технической области, и эти области требуют высокой удельной прочности, высокой температуры и высокой долговечности. Титановые сплавы подходят для производства самолетов, ракетной техники, судостроения, химической, пищевой и транспортной техники и других инженерных отделов.

Учитывая свойства титановых сплавов, его можно также использовать для создания конструкций космических аппаратов.

Титановые сплавы можно разделить на три типа:

1. Высокопрочная структура из титанового сплава обеспечивает наилучшую прочность на растяжение и пластичность.
2. Термостойкий титановый сплав, образованный внутри твердого раствора, может обеспечить лучшую термическую стабильность для титановых сплавов.
3. Существует также огнеупорный титановый сплав, который выдерживает более высокие температуры, чем термостойкие титановые сплавы. И, что интересно, плотность этого титанового сплава очень мала.

В настоящее время титановый сплав является одним из самых важных металлических материалов за почти 200 лет, и его перспектива также является самой впечатляющей.

При разработке технологии термической обработки титана и его сплавов следует учитывать следующие присущие им особенности: а) полиморфное превращение; б) низкую теплопроводность; в) высокую химическую активность; г) склонность к наводороживанию.

Сплавы типа ВТ6

Двухфазный ($\alpha + \beta$) титановый сплав ВТ6 (Ti-6Al-4V) является наиболее широко используемым титановым сплавом, его можно использовать для изготовления больших конструкций самолетов, а также для изготовления цилиндров для работы между 196 °С и 450 °С и многими другими конструктивными элементами. В аэрокосмической промышленности по меньшей мере 50% используемого конструкционного материала представляет собой титановый сплав ВТ6.

Причина, по которой этот титановый сплав широко используется, объясняется его композицией сплава. В этом титановом сплаве алюминий увеличивает его твердость и термостойкость. Ванадий представляет собой небольшое количество легирующих элементов в титановых сплавах, что может повысить твердость титановых сплавов, а также повысить его пластичность.

Титановый сплав ВТ6 легче менять свою форму после нагревания. Он может использоваться для производства прутков, труб, профилей, поковок, тиснения, пластин и листов. Они используют традиционные методы сварки, но также включают диффузию. При сварке прочность материала сварного шва почти такая же, как и у основного материала, который отличается от прочности титанового сплава ВТ22. Сплав ВТ6 можно также использовать в отожженном и термически закаленном состоянии. Для тонких пластин из титанового сплава, тонкостенных труб, профилей и других компонентов отжиг обычно проводят при 750-800 °С, затем охлаждают на воздухе или в огне. Бары, поковки, штамповки и большие материалы и детали также можно отжигать при 750-800 °С. Охлаждение в больших полуфабрикатах предотвращает образование материала. Охлаждение в небольших печах предотвращает частичное упрочнение материала. Температура отжига предпочтительно повышается до 900-950 °С, что приводит к повышенной вязкости разрушения и вязкости при сохранении высокой пластичности из-за

образования гибридной структуры с большинством компонентов пластины. Двойной отжиг также улучшает вязкость разрушения и коррозионную стойкость.

Механические свойства этих сплавов существенно зависят от микроструктуры и фазового состава. Эффективным способом повышения механических свойств титановых сплавов указанного типа, в том числе и сверхпластичных, является измельчение зерна [6]. Известно, что механические свойства титана и его сплавов можно в значительной мере повысить путем создания в них субмикроструктурной (СМК) структуры методами интенсивной пластической деформации (ИПД) [7-9].

1.2. Основные методы формирования СМК состояния

Существует множество способов получения материалов СМК, таких как быстрое тушение, электроосаждение, интенсивная пластическая деформация (ИПД), конденсация в атмосфере инертного газа, методы аэрозолей и химического синтеза и т. д. С практической точки зрения наиболее широко используемым методом в настоящее время является ИПД. Этот метод может легко получить материал в СМК состоянии. В этом состоянии зерен материалов имеет зернистую структуру с высокоугловой границей. Основными методами, используемыми для производства ИПД в сверхмелкозернистых состояниях в металлических материалах, являются кручение под высоким давлением (КВД), равноканальное угловое прессование (РКУ) и всенаправленное прессование с многочисленными вариациями сменой оси прессования.

Метод РКУ прессования. В этом методе большое количество образцов может быть деформировано простым сдвигом (рис. 1). Этот метод был изобретен в начале 1990-х годов для получения материалов в УМЗ состоянии [10]. В процессе равноканальной угловой прессования заготовка необходимо многократно сжимать в 2 каналах специальных инструментов. Углы двух каналов равны соответственно 90° и 120° . Для материалов, которые трудно

деформируют, надо осуществлять при повышенных температурах.

При прессовании РКУ направление и количество проходов заготовки через каналы очень важны для формирования структуры. Различают следующие маршруты заготовок (рис.1):

а) Маршрут А: заготовка должна быть ориентирована одинаково с каждым проходом;

б) Маршрут В: после каждого прохода заготовка должна вращаться примерно на 90° вокруг продольной оси;

в) Маршрут С: после каждого прохода заготовка должна поворачиваться примерно на 180° относительно продольной оси.

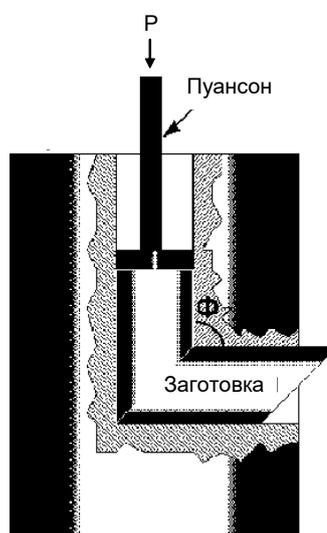


Рисунок 1– ИПД посредством применения метода РКУ-прессования

Разница в этих маршрутах лежит в направлении сдвига повторных проходов заготовки через пересекающиеся каналы. Маршрут В наиболее распространен, так как позволяет получить самую однородную структуру УМЗ в заготовках. В качестве основных недостатков этого метода следует отметить многократное повторение операции штамповки и загрязнение материала из-за наличия смазки в канале инструмента.

Деформация кручением под высоким давлением

Этот метод был впервые реализован с помощью установок, основанных на идее наковальни Бриджмена. Образец, помещенный между нападающими под приложенным давлением (несколько гигапаскалей), сжимается (рис. 2), а когда нижний пуансон вращается, сила трения поверхности вызывает деформацию образца путем сдвига. В основном, материал деформируется при гидростатическом сжатии, когда приложенное давление и давление прикладываются к внешним слоям образца из-за особой геометрической формы образцов. В результате, несмотря на большие степени деформации, образец не разрушается.

Образцы, полученные этим методом ИПД, обычно получают в виде дисков с размерами: диаметр - 10-20 мм и толщиной - 0,2-0,5 мм. Структура будет раздавлена после деформации на пол-оборота, но для формирования структуры УМЗ необходимы несколько скоростей вращения. Метод КВД позволяет получить в титановых и титановых сплавах структуру УМЗ, средний размер частиц которой (0,1-0,5) мкм. Недостатками этого метода являются неоднородность структуры УМЗ по отношению к диаметру образца и небольшому объему материала, в котором он может быть получен.

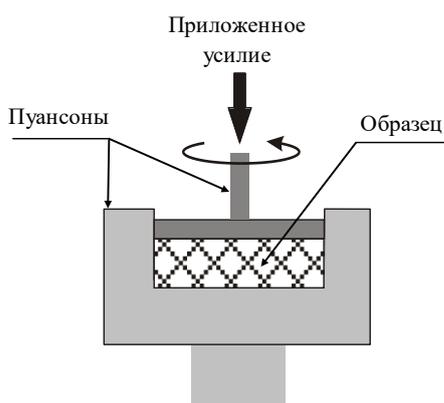


Рисунок 2 – ИПД, осуществляемая методом КВД

1.3. Структура и свойства СМК материалов

Формирование структуры субмикроструктурного (СМК, $0,1 < d < 1$ мкм) в металлах и сплавах является перспективным методом улучшения механических свойств, таких как прочность и усталостная прочность [11]. Усовершенствование микроструктуры приводит также к значительному снижению сверхпластической температуры [12,13], что приводит к снижению затрат на обработку инструмента и экономии материала за счет снижения загрязнения [14]. Низкотемпературная сверхпластичность в титановых сплавах может быть использована для получения структурных компонентов путем сверхпластического формования или изотермическойковки при значительно более низких температурах (600-700 °С), чем те, которые используются в настоящее время (850-950 °С) [15]. Однако для этого требуются методы, с помощью которых структура СМК может быть разработана в крупномасштабных заготовках. Субмикроструктурная структура может быть получена в сыпучем материале с помощью интенсивной пластической деформации (ИПД) с использованием таких методов, как равноканальная угловая экструзия [16] или многоступенчатая изотермическаяковка [17]. Особенностью обоих методов является повторение деформации для накопления больших деформаций в образце. В любом случае разработка структуры СМК требует более низких рабочих температур, чем те, которые обычно используются в традиционном производстве полуфабрикатов. В дополнение к определению режима деформации-температуры также должна быть установлена начальная (исполнительная) микроструктура, поскольку она может существенно повлиять на кинетику очистки зерна. Для двухфазных (α / β) титановых сплавов исходные микроструктуры обычно являются шаровидными, бимодальными или пластинчатыми. После горячей или тепловой работы характеристики этих сплавов и их окончательных микроструктур будут разными. Однако в литературе нет информации о

влиянии исходной микроструктуры на развитие однородной структуры СМК во время ИПД.

Эволюция микроструктуры сплава ВТ6 в β -отожженном и закаленном в газе.

Деформация сплава ВТ6, β -отожженного и закаленного при температурах между 450 и 800 °С привела к отчетливо глобулированной структуре разносных α - и β -фазных зерен или подрезов. Для температур деформации 650 °С и ниже размер зерен / субзерен находился в субмикронном диапазоне (рис.3а). Просвечивающая электронная микроскопия образцов с структурой СМК выявила значительное количество контраста с интерферометрией, указывающее на упругое искажение решетки, а также повышенную плотность дислокаций в большом количестве зерен / субзерен (рис.3, б). Исходя из этих исходных результатов, последующие теплые рабочие испытания проводились при 550 °С для исследования микроструктуры и механического поведения.

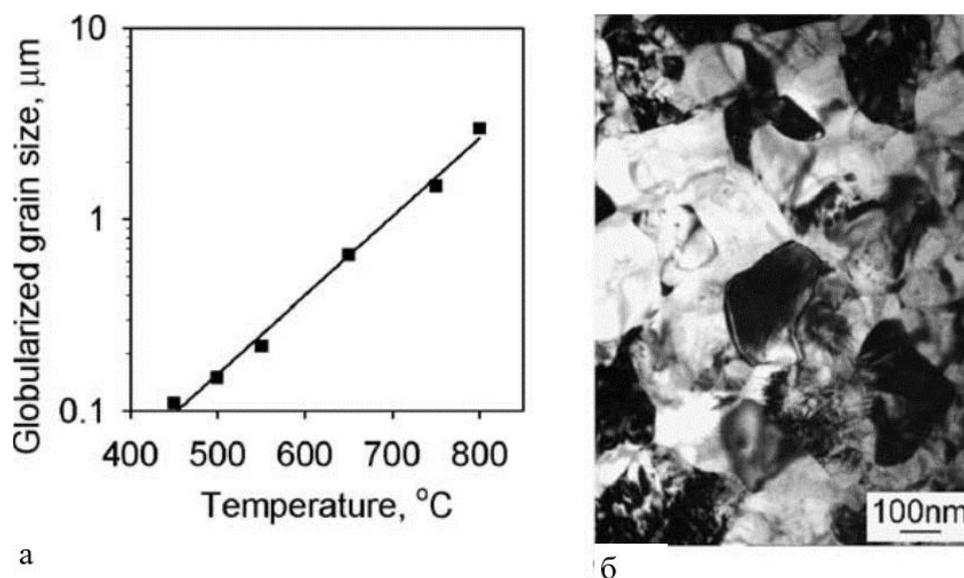


Рисунок 3 – Результаты горячего прессования для β -отожженного и закаленного сплава ВТ6: а) зависимость размера глобулярного зерна от температуры деформации для образцов, спрессованных до уменьшения высоты 70% при скорости деформации 10^{-3} с^{-1} и (б) микрофотография ПЭМ для образца, сжатого 70% при 550 °С и 10^{-3} с^{-1}

Используя метод многоступенчатой изотермическойковки в лабораторных условиях (рис.4а), легко определялось поведение пластического течения в терминах напряжения и кумулятивной деформации ($S-\Sigma\varepsilon$). Такие результаты для деформации при $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 10^{-3} c^{-1} показаны на рис.4б. Кумулятивная кривая $S-\Sigma\varepsilon$ имела пиковое напряжение, размягчение потока и установившийся поток при больших деформациях. Данные напряженного напряжения показали, что при каждом приращении деформации стресс потока уменьшался и становился почти постоянным. Чувствительность к деформации m при $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 10^{-3} c^{-1} была равна $0,17$ для $\varepsilon = 0,4$ и $0,35$ для $\Sigma\varepsilon = 0,9$. Наличие стационарной стадии течения на истинной кривой деформации напряжений и значение чувствительности скорости деформации m продемонстрировали, что пластический поток превратился в сверхпластичный режим в процессе деформации «abc».

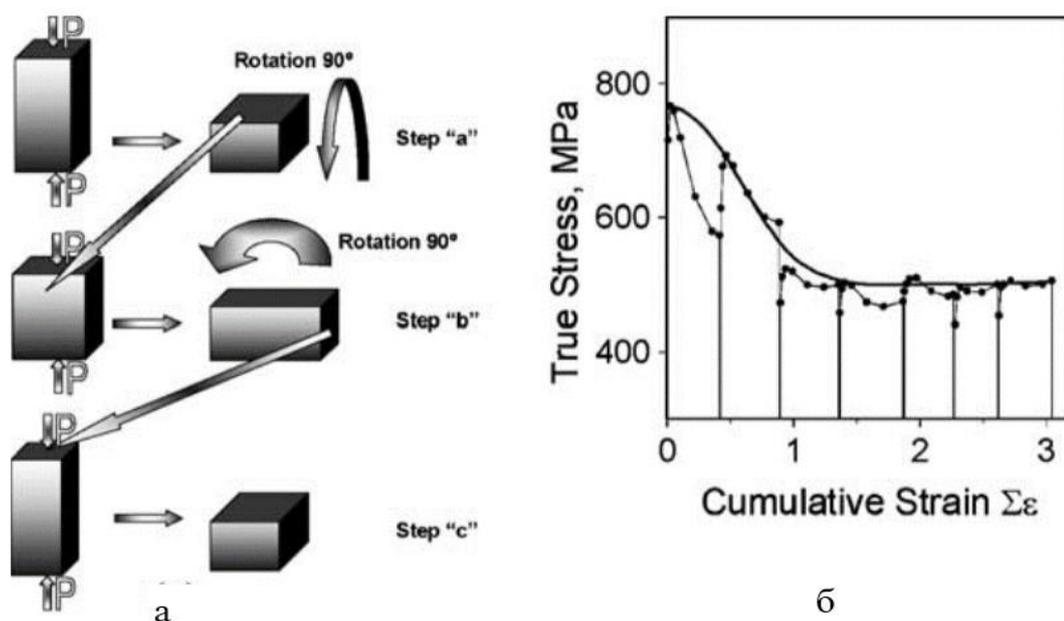


Рисунок 4 – Многоступенчатая деформация β -отожженного и закаленного в воду сплава ВТ6: (а) последовательности деформации и (б) кумулятивных кривых $S-\Sigma\varepsilon$ для «abc» деформации при 10^{-3} c^{-1} и температурах $550\text{ }^{\circ}\text{C}$

Эволюция микроструктуры при деформации двухфазного титанового сплава сильно зависит от начальной ориентации ламелей [18]. В благоприятно ориентированных колониях (витиевато-базальное и призматическое скольжение, ось с-наклонена между $15-75^\circ$ по оси сжатия) поперечные низко-угловые границы были сформированы в фазе путем накопления и перераспределения дислокаций [19]. Деформация менее благоприятно ориентированных ламелей (с наклонами оси с около 20 или 75°) была реализована главным образом через деформацию сдвига (рис.4а). Вероятно, влияние деформации сдвига возрастает по мере уменьшения температуры деформации. Деформация сдвига перегибала пластинчатую микроструктуру и индуцировала образование поперечных внутрифазных границ с разориентацией, изменяющейся от низкого до высокого угла [20]. Одновременно изгиб ламелей вращал части пластин и уменьшал его сопротивление скольжению. Однако некоторые области с очень жесткой ориентацией (с осью с, наклоненной менее чем на 15° от оси сжатия) имеют самые медленные скорости сфероидизации при простом сжатии [21,22]. Такие области имеют небольшие изменения в микроструктуре, и ламели способны выжить целыми даже при больших деформациях в окружающих регионах. Поэтому многократное сжатие с изменением направления нагрузки должно ускорять сфероидизацию пластинчатой структуры, поскольку на каждом проходе деформации действуют различные системы скольжения.

С дальнейшим усилением разориентация внутрифазных низко-угловых границ возрастала (вплоть до высокоугловой разориентации), поскольку дислокации поглощались в границах субзерен. Одновременно границы полукогерентных межфазных α / β трансформировались в некогерентные. Из-за трансформации интерфейсы и развития внутрипластичных границ массоперенос становился более быстрым [23], а на поверхности α -пластин образовывались канавки, приводящие к сегментации

альфа-пластин (рис.4, б) [24,25]. Таким образом, фрагментированные β -прослой и α -пластины были сфероидизированы.

Влияние начальной микроструктуры на формирование СМК структуры.

Исследования микроструктуры выявили заметный эффект первоначальной микроструктуры образования СМК-структуры в сплаве ВТ6. После сжатия сплава с исходными мартенситными и мелкозернистыми глобулярными α - β микроструктурами с уменьшением высоты 70% при 550°C была сформирована однородная шаровидная структура СМК с размером зерна / субзерна 0,3 мкм. В результате деформации при 550 ° С в образцах с крупнослойной исходной структурой также образовывались зерна / субзерна СМК размером 0,3 мкм. Однако в этом случае микроструктура была заметно гетерогенной, поскольку ламеллярный компонент (около 30%) был сохранен до уменьшения высоты на 70%. Для бимодальной (глобулярно-пластинчатой) исходной микроструктуры только пластинчатый компонент подвергался трансформации для получения зерна, очищенные до субмикронного размера; крупные α -глобулы слегка удлиняются в направлении потока металла.

Проверка / масштабирование процесса. Одноосное сжатие в лабораторных условиях и «abc» что разработка гомогенной СМК структуры в сплаве ВТ6 должна проводиться посредством теплой обработки при температуре, равной или ниже 700°C (для скорости деформации 10^{-3} c^{-1}). Кроме того, исходная микроструктура должна состоять предпочтительно из мартенситных или глобулярных зерен α / β . Поскольку критический штамм для инициирования глобуларизации резко возрастает при более низких температурах, полная деформация не менее $\sum \varepsilon = 3$ должна быть наложена во всем объеме заготовки. Используя эти рекомендации, однородная структура СМК была изготовлена в большой заготовке сплава ВТ6 диаметром 150 мм и многоступенчатой изотермическойковки длиной 200 мм (рис.5а).

Металлографический анализ заготовки показал, что его макроструктура была однородной по всему разрезу (рис.5б), и ее микроструктура состояла из равномерно распределенных шарообразных частиц α - и β -фазы, размер которых не превышал 0,5 мкм (рис. 5в). Распределение разориентации границы зерен (рис.5г) показало, что α -фаза СМК структуры большой заготовки сплава ВТ6 составляет около 30% низко-угловых границ. Поскольку сильно деформированная структура всегда содержит некоторую долю низко-угловых границ (не менее 15-20%) [26], полученный результат был довольно типичным для субмикроструктурной структуры, вызванной сильной пластической деформацией. Кроме того, следует учитывать наличие межфазных границ α / β в сплаве. Межфазные границы не могут быть описаны в терминах разориентации, однако их влияние на механические свойства, по-видимому, очень похоже на границы с высоким углом зерен.

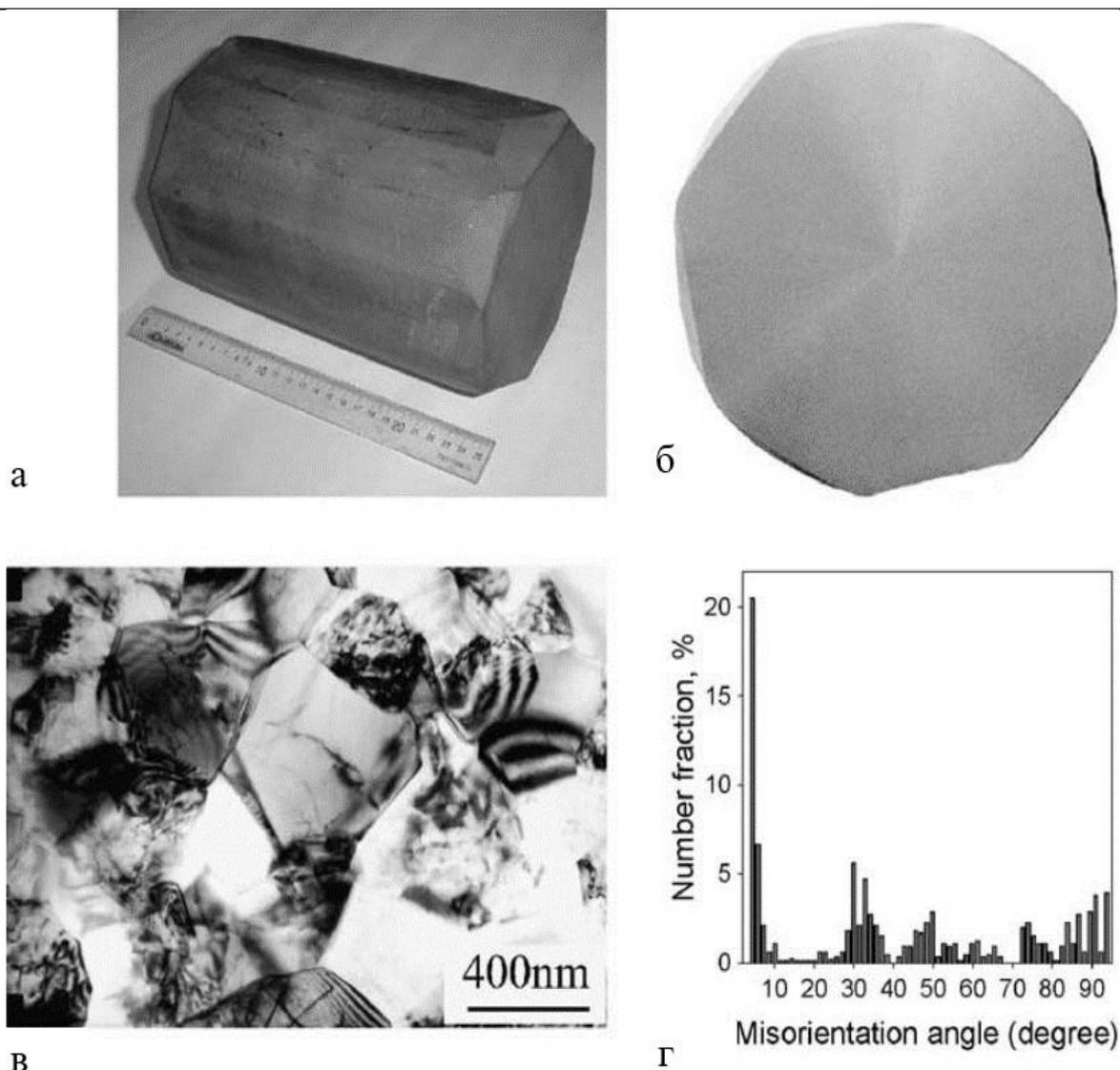


Рисунок 5. Заготовка СМК сплава ВТ6 с диаметром 150 мм и длиной 200 мм: (а) обработанная заготовка, (б) макроструктура, (в) микроструктура ПЭМ и (г) распределение разориентации границы зерна в α фазы после отжига мельницы при 650°C в течение 24 часов.

Действительно, механические свойства заготовки СМК сплава были превосходными. После многоступенчатой изотермическойковки предельная прочность на растяжение была очень высокой (1360 МПа), а общее удлинение составляло 7% (таблица 1). Свойства были равномерными вдоль радиального и касательного направлений. Эти значения можно сравнить с таковыми в микрокристаллическом сплаве ВТ6. После обработки и старения раствора

обычный сплав ВТ6 обычно имеет предельную прочность на разрыв не выше 1100 МПа и максимальное удлинение приблизительно 8%.

Таблица 1 – Механические свойства образцов, вырезанных из заготовки СМК
ВТ6

Направление выборки	Предел текучести (МПа)	Предельное растягивающее напряжение (МПа)	Максимальное удлинение (%)	Уменьшение площади (%)
радиальный	1350	1360	7	62
тангенциальный	1335	1355	7	61

2. Материал и методы исследования

В работе исследования проводили на сплаве ВТ6 в МЗ и СМК состоянии. Состав сплава показан в таблице 2.

Таблица 2 – Состав исследуемого титанового сплава ВТ6

Ti	Al	V	Zr	Si	Fe	C	O	N	H	Cr+Mn	Cu+Ni
основа	6,1	3,9	0,05	0,04	0,18	0,02	0,17	0,01	0,002	<0,07	<0,1

СМК состояние в сплаве ВТ6 было получено с помощью деформации методом прессования со сменой оси деформации и постепенным понижением температуры по следующей схеме: закалка от 850°C (выдержка 20 минут), затем 4 цикла прессования при температурах 800, 700, 600 и 550 °С. Каждый цикл прессования состоял из 3 прессований на 40-50%.

2.1. Просвечивающая электронная микроскопия 0

Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) представляет собой метод микроскопии, в котором пучок электронов пропускается через образец для формирования изображения. Образец чаще всего представляет собой ультратонкий разрез толщиной менее 100 нм или суспензию на сетке. Образ формируется из взаимодействия электронов с образцом, когда пучок передается через образец [27].

ПЭМ способны визуализировать с значительно более высоким разрешением, чем световые микроскопы, из-за меньшей длины волны Де-Бройля электронов. Это позволяет прибору захватывать мелкие детали, даже малые, как один столбец атомов, который в тысячи раз меньше разрешаемого объекта, видимого в оптическом микроскопе.

ПЭМ состоит из нескольких компонентов, которые включают в себя вакуумную систему, в которой движутся электроны, источник электронной эмиссии для генерации электронного потока, ряд электромагнитных линз, а также электростатические пластины. Последние два позволяют оператору

направлять и манипулировать лучом по мере необходимости. Также требуется устройство, позволяющее вставлять, перемещать внутри и удалять образцы из пути луча. Впоследствии устройства формирования изображения используются для создания изображения от электронов, выходящих из системы.

Вакуумная система

Чтобы увеличить длину свободного пробега электронного взаимодействия газа, стандартный ПЭМ откачивается до низких давлений, обычно порядка 10^{-4} Па [28]. Потребность в этом двоякая: во-первых, учет разности напряжений между катодом и заземлением без генерации дуги, а во-вторых, чтобы уменьшить частоту столкновений электронов с атомами газа до незначительных уровней - этот эффект характеризуется длиной свободного пробега [29]. Компоненты ПЭМ, такие как держатели образцов и пленочные картриджи, должны регулярно вставляться или заменяться, требуя системы с возможностью повторной эвакуации на регулярной основе. Таким образом, ПЭМ оснащены несколькими насосно-компрессорными системами и воздушными шлюзами и не герметично закрыты вакуумным уплотнением.

Образцы

Стандартные размеры сетки ПЭМ имеют диаметр 3,05 мм, толщина и размер ячеек варьируются от нескольких до 100 мкм [30]. Образец помещают на область сетки, имеющую диаметр приблизительно 2,5 мм. Обычными сетчатыми материалами являются медь, молибден, золото или платина. Эта сетка помещается в держатель образца, который соединен с образцом. Существует широкий спектр конструкций ступеней и держателей, в зависимости от типа выполняемого эксперимента. В дополнение к сеткам 3.05 мм, иногда редко используются решетки 2,3 мм [31]. Эти решетки были особенно полезны в науках о минералах, где может потребоваться большая степень наклона и где материал образца может быть чрезвычайно редкими. Электронные прозрачные образцы имеют толщину обычно менее 100 нм, но

это значение зависит от ускоряющего напряжения.

Электронная пушка [32]

Электронная пушка образована из нескольких компонентов: нити, схемы смещения, крышки Ванельта и экстракционного анода. Соединив нить накаливания с источником отрицательной составляющей, электроны могут «накачиваться» от электронной пушки к анодной пластине и колонке ПЭМ. Электронная пушка предназначена для создания пучка электронов, выходящих из сборки на определенном угле, известном как полуугольник дивергенции пучка α .

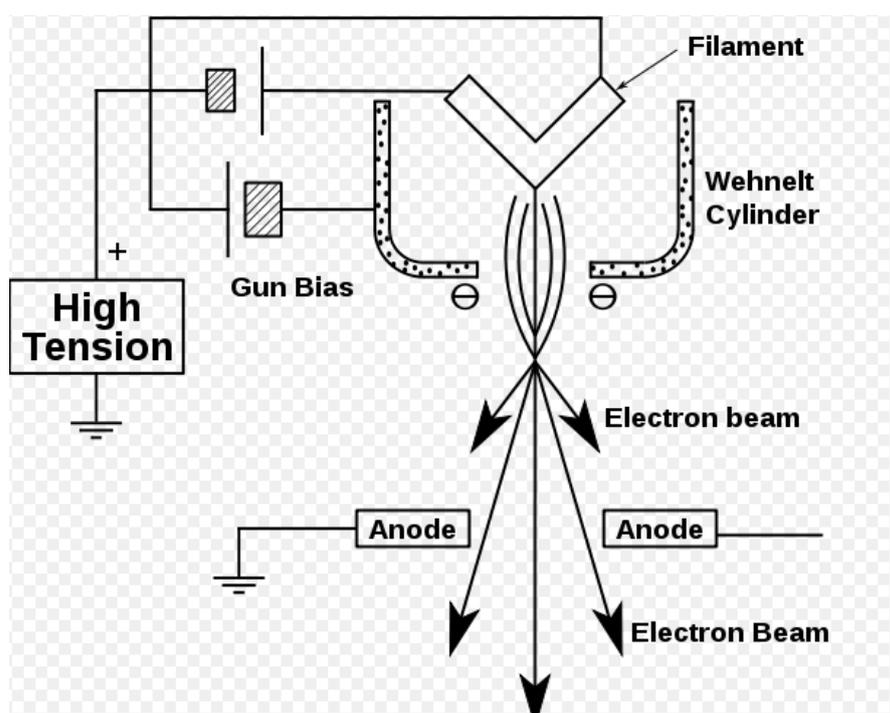


Рисунок 6 – Диаграмма поперечного сечения электронной пушки

Электронные линзы

Электронные линзы разработаны таким образом, чтобы имитировать оптическую линзу. Электронные линзы могут работать электростатически или магнитно. Большинство электронных линз для ПЭМ используют электромагнитные катушки для создания выпуклой линзы. Поле, созданное для линзы, должно быть радиально-симметричным, так как отклонение от радиальной симметрии магнитной линзы вызывает отклонения.

Светлое поле [33]

Наиболее распространенным режимом работы для ПЭМ является светлое поле [34]. В этом режиме формирование контраста происходит из образца, имеющего разную толщину или плотность. Более толстые области образца и более плотные области или области с более высоким атомным номером будут блокировать больше электронов и казаться темными на изображении, тогда как более яркие, более низкие плотности, более низкие области атомного номера и области без образца в пути луча будут яркими.

Дифракция

Путем регулировки магнитных линз таким образом, чтобы задняя фокальная плоскость линзы, а не плоскость формирования изображения была помещена на устройство формирования изображения, может быть сформирована дифракционная картина [35,36]. Для монокристаллического случая дифракционная картина зависит от ориентации образца и структуры образца, освещенного электронным пучком. Это изображение предоставляет исследователю информацию о симметрии космической группы в кристалле и ориентации кристалла на траекторию пучка. Обычно это делается без использования какой-либо информации, кроме положения, при котором появляются дифракционные пятна и наблюдаемые симметрии изображения.

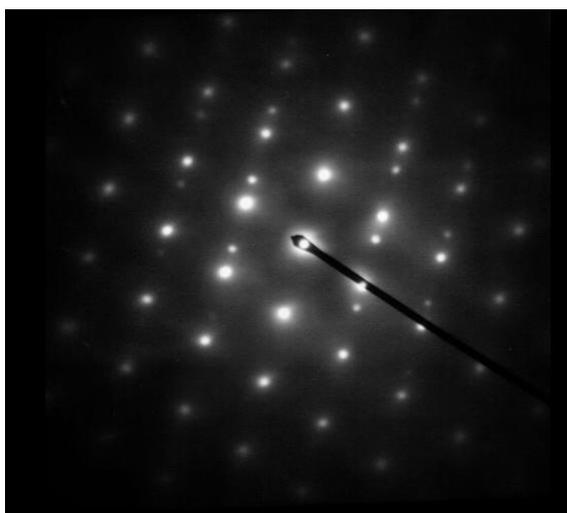


Рисунок 7 – Кристаллическая дифракционная картина из двойникового зерна ОЦК (аустенитная сталь)

Подготовка образцов для ПЭМ

В качестве материала исследования были использованы образцы сплава ВТ6, который был подвергнут интенсивной пластической деформации - прессованием со сменой оси деформации и постепенным понижением температуры. Структуру мелкозернистого сплава мы смотрели в оптический микроскоп. Для исследования субмикроструктурной структуры оптический микроскоп не подходит, т.к. размеры зерен очень маленькие.

Для таких образцов используют просвечивающий электронный микроскоп, и для того, чтобы электронный пучок прошел через образец и получилось хорошее изображение необходимо, чтобы толщина образца была очень-очень малая. Такие образцы называются фольги.

Для подготовки образцов сначала нужно утонять их на шкурке до 100 мкм, а затем надо полировать электрохимически, пока толщина образца не станет очень-очень маленькой.

Для изучения тонкой структуры сплава фольга производится следующим образом:

1. Подготовка просвечивающего электронного микроскопа была предварительно заземлена до толщины 100 мкм.

2. Отрежьте заготовку диаметром 3 мм.

3. В следующем составе электролитов полученные диски электролитически осаждали полировкой распылением на фабрике «Микрон»: 20 мл хлорной кислоты, 80 мл ледяной уксусной кислоты. Напряжение полировки составляет 40 В, а температура электролита составляет $-35 \div -40$ °С. Фольгу промывали ледяной уксусной кислотой, а затем промывали в дистиллированной воде. Все пленки очищали низкотемпературной плазменной струей перед тем, как ее помещали в стойку для пропускания электронного микроскопа.

2.2. Рентгеноструктурный анализ

Рентгеновское излучение - электромагнитные волны, энергия

фотонов которых лежит на шкале электромагнитных волн между ультрафиолетовым излучением и гамма-излучением (от ~ 10 эВ до ~ 1 МэВ), что соответствует длинам волн от $\sim 10^3$ до $\sim 10^{-2}$ Å (от $\sim 10^{-7}$ до $\sim 10^{-12}$ м) [37].

Энергетические диапазоны рентгеновского и гамма (γ)-излучения перекрываются в широком диапазоне энергий. Оба типа излучения представляют собой электромагнитное излучение и при той же энергии фотонов эквивалентны. Терминологическая разница заключается в способе происхождения. Рентгеновские лучи испускаются с участием электронов (поскольку они связаны в атомах или свободны), а гамма-излучение испускается в процессах девозбуждения атомных ядер. Фотоны характеристики (т. е. излучаемой при переходах в электронных оболочках атомов) рентгеновского излучения имеют энергию от 10 эВ до 250 кэВ, что соответствует излучению с частотой от 2×10^{15} до 6×10^{19} Гц и длина волны 0,005-100 нм [38] (общепризнанное определение нижнего граничного диапазона рентгеновских лучей в масштабе длины волны не существует). Мягкое рентгеновское излучение характеризуется низкой энергией фотонов и частотой излучения (и самой длинной длиной волны), а жесткое рентгеновское излучение имеет самую высокую энергию фотонов и частоту излучения (и кратчайшую длину волны). Жесткое рентгеновское излучение используется в основном для промышленных целей. Условная граница между мягким и жестким рентгеновским излучением составляет около 2 Å (≈ 6 кэВ) [39].

Получение рентгеновских лучей

В лаборатории, главный метод для получения рентгеновского луча имеет рентгеновские трубки (рис.8).

Рентгеновская трубка представляет собой вакуумный диод, который работает при высоком напряжении. Содержит два электрода: один для испускания электрона, как катод, а другой для цели электронной бомбардировки, как анод. Обе стадии герметизированы в высоковакуумном

стеклянном или керамическом корпусе.



Рисунок 8 – Рентгеновская трубка

Краткое введение о рентгеновской трубке

Использование поверхности высокоскоростного электронного ударного металла для получения рентгеновской вакуумной электроники. В соответствии с методом получения электронов рентгеновская трубка может быть разделена на два типа: надувная трубка и вакуумная трубка.

Надувная рентгеновская трубка представляет собой раннюю рентгеновскую трубку. В 1895 году В. К. Рентген обнаружил рентгеновские лучи во время эксперимента в трубка Crookes. Трубка Crookes является самой ранней надувной рентгеновской трубкой.

После того, как трубка подключена к высокому давлению, газ в трубке ионизируется. При положительной ионной бомбардировке электроны выходят из катода и сталкиваются с поверхностью мишени для генерации рентгеновского излучения после ускорения. Надувная рентгеновская трубка имеет мала срок службы, и трудно контролировать, редко применялся.

В 1913 году В. Д. Кулидж изобрел вакуумную рентгеновскую трубку. Трубчатый вакуум не менее 10^{-4} Па [40]. Катод представляет собой прямую тепловую спиральную вольфрамовую проволоку, а анод представляет собой металлическую мишень, встроенную в медную торцевую поверхность.

В соответствии с назначением трубки для выбора энергии мишени и электронного пучка, обычно используемый вольфрам в качестве цели. В некоторых случаях используется также серебро, палладий, родий, молибден, медь, никель, кобальт, железо, хром и другие материалы. Рабочая температура катода составляет около 2000 К [41], а испускаемые электроны попадают на поверхность мишени после ускорения от десятков до сотен тысяч вольт. Катод окружен передним концевым металлическим чехлом. Потенциал металлической крышки равен или меньше, чем потенциал катода, заставляя электроны сосредоточиться на узкой области на поверхности мишени, образуя фокусное пятно.

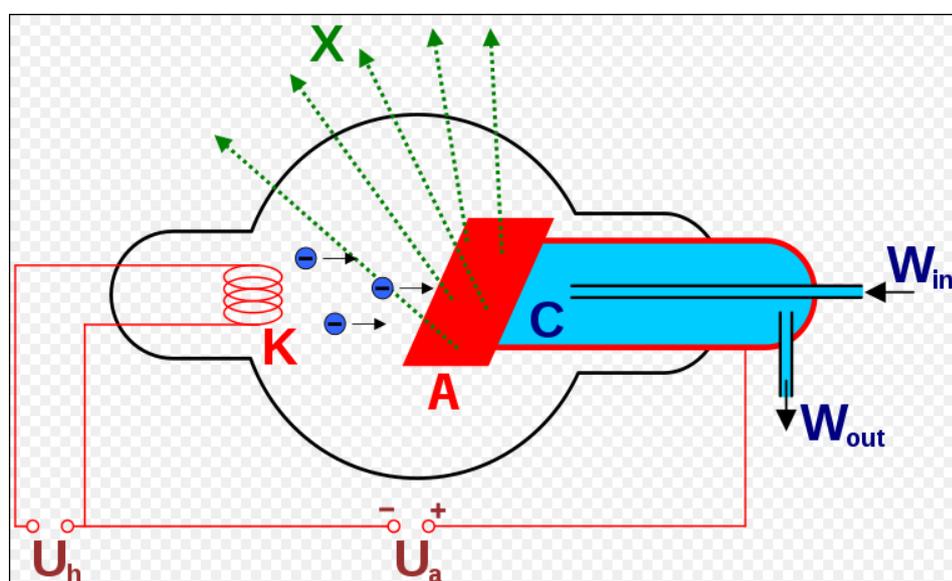


Рисунок 9 – Рентгеновской трубки: X - рентгеновские лучи, K - катод, A - анод (иногда называемый антикатодом), C - теплоотвод, U_h — напряжение накала катода, U_a - ускоряющее напряжение, W_{in} - впуск водяного охлаждения, W_{out} - выпуск водяного охлаждения [42]

Рентгеновское излучение от фокального пятна во всех направлениях, через окно на выходе стенки трубки. Окна, как правило, изготовлены из бериллия, алюминия или легкого стекла, которые поглощают очень мало рентгеновских лучей, причем лучший бериллий.

Рентгеноструктурный анализ [43]

Фаза является частью вещества, которое отделяет интерфейс от других

частей. Проход через него приводит к прерывистому изменению свойств. Для каждой твердой кристаллической фазы характерны характерные особенности ее решетки. Для сложных веществ фазовый состав обычно отличается от его химического состава.

Концепция кристаллической решетки была введена в физику для анализа структуры кристаллов. Решетка представляет собой набор точек, которые образуют определенную структуру. Для удобства анализа эти точки решетки обычно можно комбинировать с центром атома или центром атомов в кристаллическом элементе. Основной характеристикой кристаллического состояния вещества является закономерность расположения атомов в кристаллической решетке. Анизотропия (в случае простого вещества) - это способность вещества кристаллизоваться в разных кристаллических решетках и поэтому имеет совершенно разные свойства. Для любого соединения это явление называется полиморфизмом. В то же время различные вещества могут образовывать единую или изоморфную решетку.

В основе рентгенофазового анализа (РФА) лежит такое физическое явление, как дифракция. Дифракция-явление сильного рассеяния волн на периодической решетке, которая может возникнуть при определенных углах падения и длинах волн. Простейшим случаем этого явления является рассеяние видимого света на дифракционной решетке. При рентгеноструктурном анализе наблюдается аналогичное явление рассеяния рентгеновского излучения на кристаллических структурах. При условии **Вульфа-Брэггов**, интенсивные пики рассеяния наблюдаются (Рис.10) [44]:

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

где d – межплоскостное расстояние между соседними кристаллографическими плоскостями, м;

θ – угол скольжения, град.;

λ – длина волны монохроматического рентгеновского излучения, падающего на кристалл, м;

n – порядок дифракции.

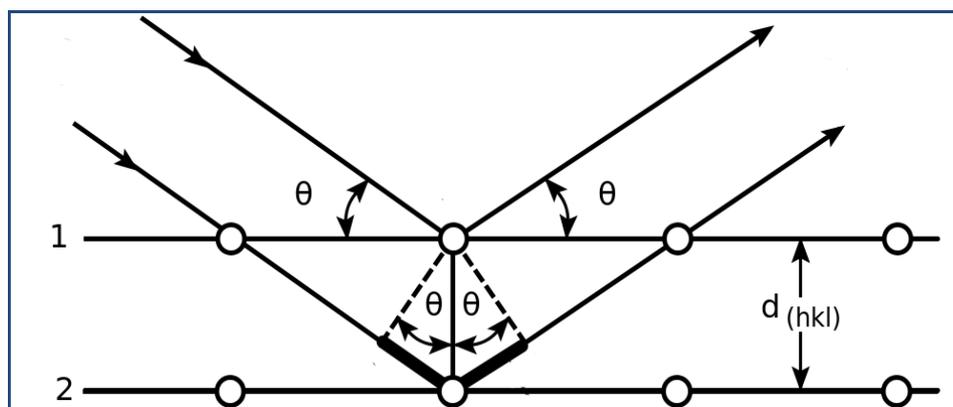


Рисунок 10 – Схематическое изображение падения и отражения рентгеновского излучения на вещество

2.3 Плотность дислокаций

Плотность дислокаций в сплаве определялась стандартным методом рентгеноструктурного анализа для уширения дифракционных максимумов на их полувысоте с использованием аппроксимации Коши [45]. В первом приближении плотность дислокаций (ρ) можно рассчитать по формуле [45]:

$$\rho = \beta_{\varepsilon}^2 / 9b^2,$$

где β_{ε} – уширение дифракционных максимумов, обусловленное микродеформаций решетки; b – тор Бюргера Zr.

Область когерентного рассеяния и микродеформации решетки может способствовать общему уширению дифракционных максимумов (β). В этом случае для приближения Коши уширение дифракционных максимумов:

$$\beta = \beta_D + \beta_{\varepsilon} = \frac{\lambda}{D \cos \theta} + 4\varepsilon \tan \theta,$$

где β_D и β_{ε} – вклады в уширение дифракционного максимума соответственно областей когерентного рассеяния и микродеформации решетки; λ – длина волны рентгеновского излучения; θ – угол дифракции плоскости (hkl); D – размер областей когерентного рассеяния; ε – микродеформация решетки.

В некоторой степени мы часто используем максимумы для соединения с областями когерентной дисперсии и микродеформации решетки в уширение дифракции. Для ГПУ решетки трудно получить максимум второго порядка. Поэтому использовались дифракционные максимумы плоскостей (101), (103) и (112).

2.4. Отжиг

Отжиг, в металлургии и материаловедении, - это термическая обработка, которая изменяет физические, а иногда и химические свойства материала, для повышения его пластичности и снижения его твердости, что делает его более работоспособным [50]. Он включает нагревание материала выше его температуры рекристаллизации, поддержание подходящей температуры, а затем охлаждение.

При отжиге атомы мигрируют в кристаллическую решетку, а число дислокаций уменьшается, что приводит к изменению пластичности и твердости. Когда материал охлаждается, он перекристаллизовывается. Для многих сплавов, включая углеродистую сталь, размер кристаллического зерна и фазовый состав, которые в конечном счете определяют свойства материала, зависят от скорости нагрева и охлаждения. Таким образом, опытный металлист может настраивать материал из твердого и хрупкого, мягкого и вязкого, путем контроля процесса отжига.

В случае меди, стали, серебра и латуни этот процесс выполняется путем нагревания материала (обычно до светящегося) на некоторое время, а затем медленно, чтобы он охлаждался до комнатной температуры в неподвижном воздухе [46]. Медь, серебро и латунь можно медленно охлаждать на воздухе или быстро гасить в воде, в отличие от черных металлов, таких как сталь, которые необходимо медленно охлаждать для отжига. Таким образом, металл размягчается и подготавливается для дальнейшей обработки, такой как формование, штамповка или формование.

Термодинамика [47]

Отжиг происходит путем диффузии атомов в твердом материале, так что материал продвигается к его равновесному состоянию. Тепло увеличивает скорость диффузии, обеспечивая энергию, необходимую для разрыва связей. Движение атомов приводит к перераспределению и искоренению дислокаций в металлах и (в меньшей степени) в керамике. Это изменение существующих дислокаций позволяет более легко деформировать металлический предмет, увеличивая его пластичность.

Процесс инициирования процесса свободной энергии Гиббса в деформированном металле также уменьшается процессом отжига. На практике и в промышленности это сокращение свободной энергии Гиббса называется облегчением стресса. Рельеф внутренних напряжений является термодинамически спонтанным процессом; однако при комнатной температуре это очень медленный процесс. Высокие температуры, при которых происходит отжиг, служат для ускорения этого процесса.

Этапы отжига

Три стадии процесса отжига, которые протекают с температурой материала, увеличиваются: восстановление, рекристаллизация и рост зерна [48]. Первым этапом является восстановление, и это приводит к размягчению металла путем удаления прежде всего линейных дефектов, называемых дислокациями, и внутренних напряжений, которые они вызывают. Восстановление происходит на более низкой температурной стадии всех процессов отжига и до появления новых штаммов без зерен. Размер и форма зерна не меняются. Второй этап - перекристаллизация, где новые свободные от штаммов зерна зарождаются и растут, чтобы заменить те, которые деформированы внутренними напряжениями. Если отжиг разрешается продолжать после завершения перекристаллизации, то происходит рост зерна (третий этап). При росте зерна микроструктура начинает огрубевать и может привести к тому, что металл потеряет значительную часть своей первоначальной силы. Однако это может быть восстановлено с упрочнением.

Нормализация

Нормализация - это процесс отжига, применяемый для ферросплавов, чтобы получить материал однородной мелкозернистой структуры и сделать его менее хрупким [49]. Он включает нагрев стали на 20-50 ° С выше ее верхней критической точки, замачивание ее на короткий период при этой температуре, а затем ее охлаждение на воздухе. Нагрев стали чуть выше ее верхней критической точки создает аустенитные зерна (намного меньше, чем предыдущие ферритные зерна), которые при охлаждении образуют новые ферритные зерна с еще более уточненным размером зерна. Этот процесс производит более жесткий, более пластичный материал и устраняет зернистые зерна и дендритную сегрегацию, которая иногда возникает во время литья. Нормализация улучшает обрабатываемость компонента и обеспечивает стабильность размеров, если они подвергаются дальнейшим процессам термообработки.

Полный и неполный отжиг [50]

Полный отжиг включает нагрев стали до 30-50 ° С выше верхней критической точки, чтобы полностью преобразовать стальную конструкцию в аустенит, а затем медленно охладить до 500-600 ° С с образованием феррита и перлита. Скорость охлаждения углеродистой стали составляет приблизительно 50-100 ° С / час. Если охлаждение выполняется в воздухе, происходит стандартизация.

Неполный отжиг включает нагрев до температуры между нижней критической точкой и верхней критической точкой, а затем медленное охлаждение.

2.5 Электрон позитронная аннигиляция

Использование позитронов для контроля структурных дефектов является свойством позитронов в двух состояниях: делокализованное (квазисвободное) в решетке и локализованное в окрестности дефектов,

причем характеристики аннигиляции для этих состояний существенно различаются

Для изучения материалов методов позитронной спектроскопии (ПС) можно использовать лишь небольшое количество радиоактивных изотопов, подвергнутых β^+ распаду, которые испускают позитроны с широким энергетическим спектром (0,2 ÷ 2) МэВ. Основными являются ^{22}Na (β^+ , γ), ^{44}Ti (β^+ , γ), ^{68}Ge (β^+ , γ), ^{58}Co (β^+ , γ).

Когда вещество входит в вещество, позитрон быстро теряет свою энергию за счет упругого рассеяния и неупругого рассеяния на ядрах и электронах, при уменьшении энергии до 0,1 эВ преобладает фонное рассеяние. Этот процесс определяет глубину проникновения позитронов и называется термализацией. Время термализации зависит от энергии позитрона и материала и обычно составляет несколько пикосекунд. Длина пути позитронов определяется выражением:

$$N(z) = \exp(-\alpha_+ \cdot z)$$

где $\alpha_+ \approx 17 \frac{\rho}{E_{max}^{1,43}}$, ρ – плотность материала; α_+ – коэффициент поглощения позитронов в данном материале.

Протяженность спектр позитронов в металлах может достигать 20-300 мкм, что позволяет эффективно изучать электронную структуру в объеме материала. После термализации позитрон свободно рассеивается в решетке. Длину диффузии позитронов L_+ в материал без дефектов своей жизни τ_b :

$$L_+ = \sqrt{\tau_b \cdot D_+},$$

где коэффициент диффузии $D_+ = \tau_r \frac{k_B \cdot T}{m^*}$, τ_r – время релаксации для доминирующего механизма рассеяния, k_B – постоянная Больцмана, T – температура, m^* – эффективная масса позитрона, $m^* = 1,3-1,7m_0$ из-за рассеяния на фононах, экранирования позитронов электронами и влияния периодичности решетки. Средняя длина и время диффузии для металлов лежат в диапазоне 100-200 нм и 0,1 – 0,2 нс, соответственно.

Далее позитрон либо аннигилирует в решетке, либо захватывается дефектами. Сечение аннигиляции имеет следующий вид:

$$\sigma_{2\gamma} = \frac{\pi r_0^2 c}{v}$$

где v - скорость позитрона, r_0 - классический радиус электрона; c - скорость света в вакууме. При этом вероятность аннигиляции λ зависит от электронной плотности n_e и будет определяться как

$$\lambda = \pi r_0^2 c \cdot n_e$$

Первоначальная конфигурация спектрометра для измерения времени позитрона на рис. 11

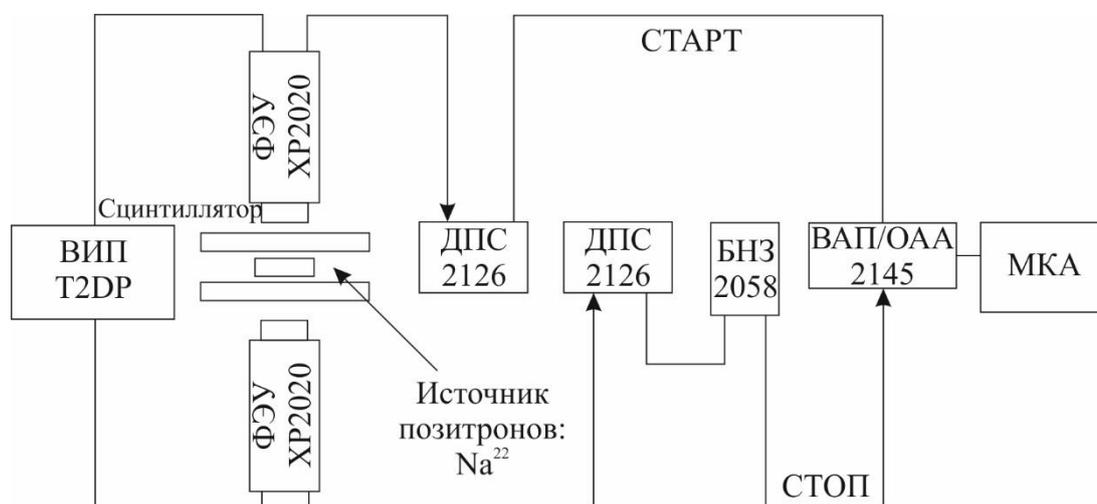


Рисунок 11 – Первоначальная схема аналогового спектрометра временного распределения аннигиляции позитронов (отделение ЭФ ИЯТШ ТПУ, 2005 г.)

Импульсы детекторов направлены на вход дискриминаторов, которые выполняют точный выбор времени и амплитуды. На дискриминаторе «start» порог дискриминации выше, чем самый высокий. Площадь с энергией 0,511 МэВ. Для дискриминатора «stop» порог установлен выше 300 кэВ, так что импульсы, соответствующие аннигиляционным гамма-квантам, проходят. Поскольку он был установлен только для нижнего порога, то в спектре времени существует большое количество случайных некоррелированных событий начала-остановки из аннигиляционных квантов. На рисунке 12

показан энергетический спектр импульсов после дискриминации. «Бит, Canberra 2058», «для остановки» задерживается блоком наносекундной задержки (BNZ, Canberra 2058).

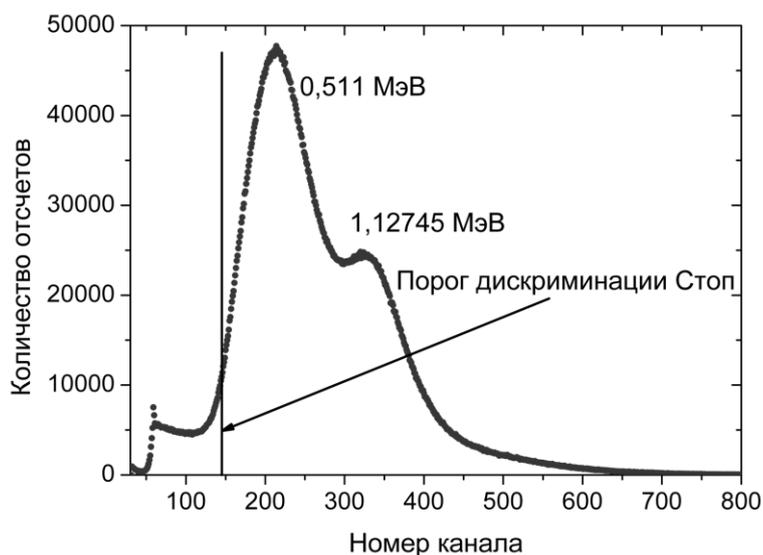


Рисунок 12 – Энергетический спектр импульсов после дискриминации

Временное разрешение спектрометра в такой конфигурации составляет более 400 пс, что позволяет изучать только пористые материалы (цеолиты) и полимеры, срок службы которых намного превышает несколько наносекунд.

В последствии была проведена существенная модернизация спектрометра. В качестве источника позитронов используется изотоп ^{44}Ti с активностью 0,95 МБк и максимальной энергией позитронов 1,467 МэВ. Схема распада и энергетический спектр позитронов представлены на рисунке 19, источник был создан ЗАО «Циклотрон», ул. Обнинск.

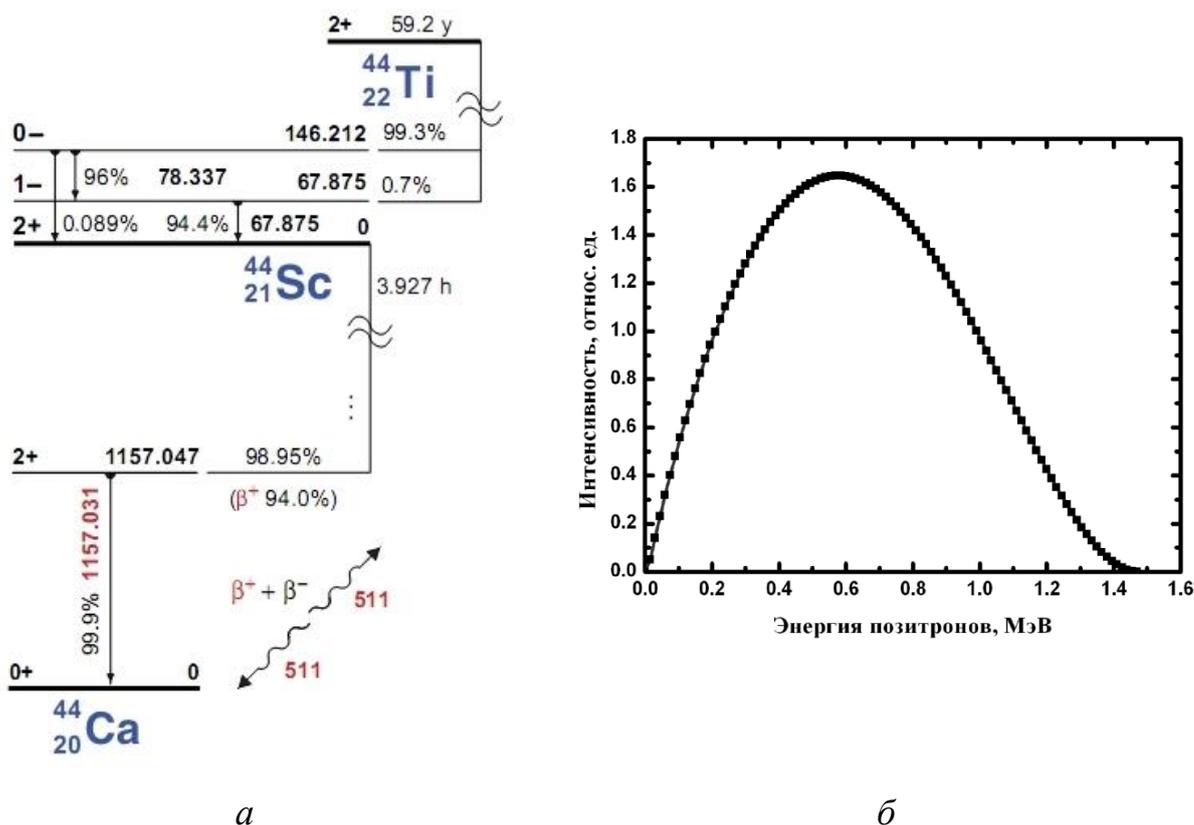


Рисунок 13 – Схема распада (а) и энергетический спектр позитронов (б) изотопа ^{44}Ti

Изотоп ^{44}Ti подходит для измерения как временных, так и импульсных распределений аннигиляции позитронов, поскольку а-квант с энергией 1,177 МэВ испускается практически одновременно с позитроном. По сравнению с обычными источниками на основе ^{22}Na этот изотоп имеет высокий выход позитронов и длительный период полураспада ($T_{1/2} = 47,4$ года), что значительно повышает производительность. Кроме того, высокая энергия позитронов позволяет исследовать большинство металлов на глубинах более 100 мкм. Следует учитывать, что изотоп герметично упакован в защитную капсулу из титана ВТ1-0, поэтому некоторые позитроны, особенно низкоэнергетические, аннигилируют в источнике и материале защитной капсулы, что усложняет обработку экспериментальных данных.

Схема спектрометра после модернизации представлена на рисунке 14.

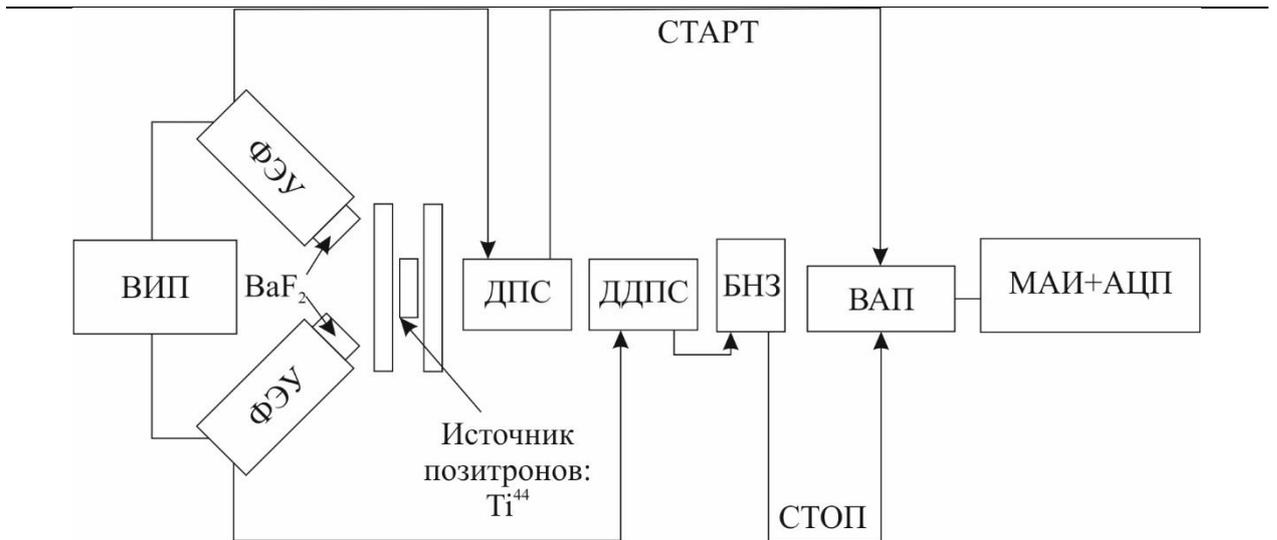
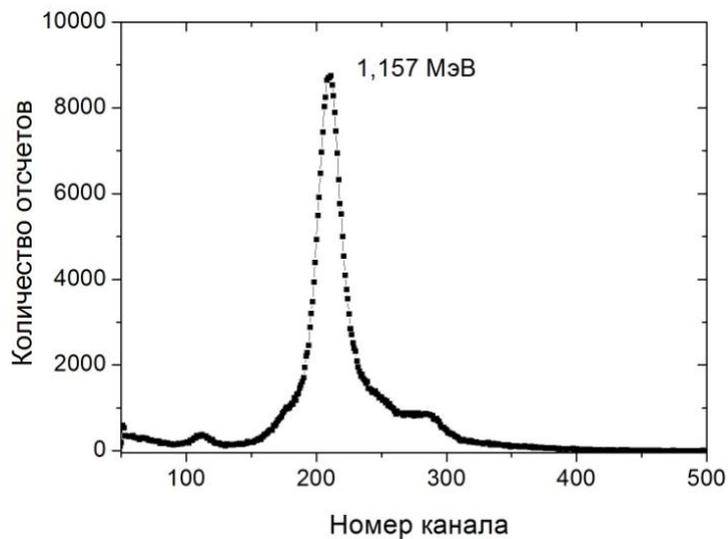
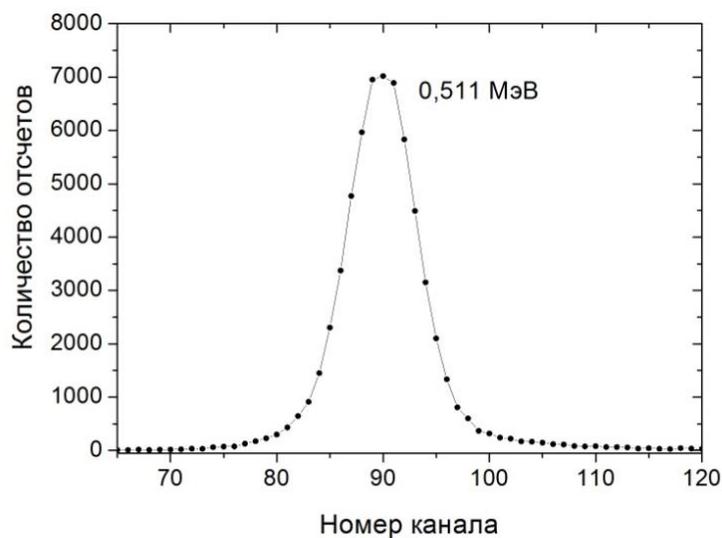


Рисунок 14 – Схема аналогового спектрометра временного распределения аннигиляции позитронов после модернизации

Схема позволяет собирать сигналы и формировать энергетический спектр от детекторов в реальном времени. Когда АЦП включен в режиме антисовпадения, можно регистрировать энергетический спектр от детекторов. Для этого спектрометра «старт» ДПС составлял 0,89 мВ, верхний и нижний пороги для дифференциального останова ДПС составляли 0,89 и 0,9 мВ соответственно (рис. 15).



A



Б

Рисунок 15 – Энергетический спектр распада после определения порогов дискриминации для детекторов «старт» (а) и «стоп» (б)

2.6 Измерение сопротивления

Методы измерения удельного сопротивления можно разделить на две группы:

1. Измерения с подключением проводящих или измерительных контактов к образцу.
2. Бесконтактные измерения.

В этой работе используется первый метод.

В большинстве случаев так называемая контактная разность потенциалов происходит в точке контакта зонда с полупроводником, что влияет на результаты измерений. В этом отношении величину сопротивления полупроводника, как правило, нельзя измерить, просто вставив его в схему омметра. Поэтому метод измерения удельного сопротивления должен обеспечивать расчет или компенсацию этой дополнительной разности потенциалов. Кроме того, необходимо учитывать тот факт, что на результаты измерений могут влиять размеры и форма образца.

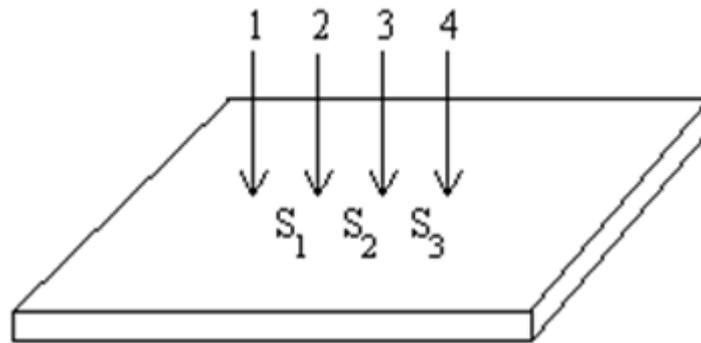


Рисунок 16 – Расположение зондов на пластине

Наиболее распространенным методом определения полупроводникового сопротивления (с учетом вышеизложенного) является четырехзондовый метод. Рассмотрим это со ссылкой на полубесконечный образец полупроводника, определяемый плоской поверхностью. Поместите четыре острых металлических зонда на эту поверхность перпендикулярно к нему (рис. 16). Все четыре зонда расположены на одной прямой линии. Через внешние зонды 1 и 4 электрический ток передается от источника тока ИТ, а разность потенциалов измеряется между зондами 2 и 3 с помощью вольтметра V . Зная J_{14} и U_{23} , легко найти значение удельного сопротивления. Действительно, предполагая полубесконечную природу образца, каждый зонд создает вокруг себя сферическое симметричное поле. В любой точке поверхности полусферы с радиусом r плотность тока, напряженность поля и потенциал, следовательно, будут [51]

$$j = \frac{J}{2 \cdot \pi \cdot r^2}; \quad E = j \cdot \rho; \quad \varphi = \rho \cdot j \cdot r = \frac{J \cdot \rho}{2\pi \cdot r} \quad (1)$$

Разность потенциалов между зондами 2 и 3 должна учитывать влияние поля экстремальных зондов. Поэтому

$$U_{23} = \varphi_2 - \varphi_3 = \frac{J\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{S_1} - \frac{1}{S_2+S_3} \right) - \left(\frac{1}{S_3} - \frac{1}{S_1+S_2} \right) \right] = \frac{J\rho}{2\pi \cdot S} \quad (2)$$

$$\text{Если } S_1=S_2=S_3=S, \text{ то } \rho = \frac{U_{23}}{J} \cdot 2\pi \cdot S \quad (3)$$

Чувствительность этого метода к напряжению $dU / d\rho$ пропорциональна току и обратно пропорциональна S . Ток через образец не подходит для усиления (U_{23} может быть искажен из-за термоэлектрических эффектов при нагревании образца), поэтому для повышения чувствительности S_2 можно увеличить, уменьшив S_1 и S_3 . Когда $S_2 \gg S_1 = S_3$, чувствительность может быть увеличена примерно в 2 раза.

Как упоминалось ранее, при измерении полупроводникового сопротивления основным источником ошибки является переходное сопротивление на контактах металл-полупроводник и термоэлектрическая мощность, присутствующая в нем. Поэтому эти явления должны быть устранены при определении удельного сопротивления. Это достигается за счет использования методов компенсации. На рисунке 17 показана базовая схема этой компенсации при измерении полупроводникового сопротивления с четырьмя зондами.

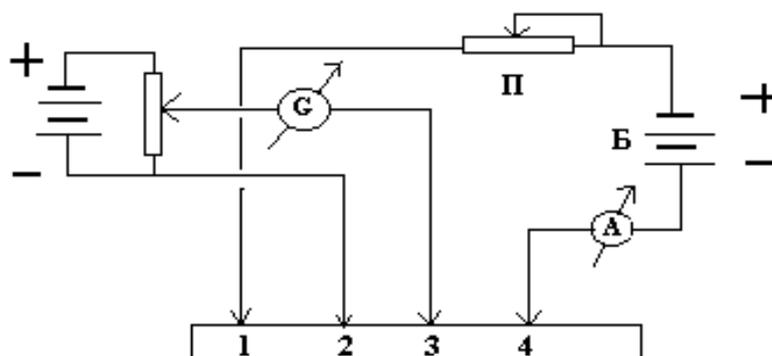


Рисунок 17 – Принципиальная схема компенсационного метода [52]

От батареи Б с помощью контактов 1 и 4 к полупроводнику подводится ток. Разность потенциалов между зондами 2 и 3 измеряется потенциометром П.

Эффект контактного сопротивления контактов устраняется следующим образом. Разность потенциалов между датчиками 2 и 3 компенсируется потенциометром U_p , повернутым против напряжения, и если схема сбалансирована, то есть $U_{2,3} = U_p$, то ток, протекающий через

гальванометр G , равен нулю. Поэтому в момент баланса ток через измерительные зонды 2 и 3 также равен нулю. Поскольку ток отсутствует, падение напряжения между контактом зонда и полупроводника отсутствует. В этом случае контактное сопротивление контактов не влияет на точность измерения удельного сопротивления.

Обычно при измерениях удельного сопротивления всегда наблюдается определенный температурный градиент вдоль образца, что вызывает появление на измерительных щупах термоэлектрической мощности ΔU . Поскольку величина и направление термоэдс остаются постоянными в течение достаточно длительного времени, его эффект можно устранить, измеряя напряжение между зондами 2 и 3 для двух разных направлений тока через образец.

Удельное сопротивление ρ рассчитывали с использованием уравнений [53-54]:

$$\rho = \frac{\pi}{\ln 2} h R f_1 f_2$$

$$f_1 = \frac{\ln 2}{\ln \left[\frac{\sin h (h/s)}{\sin h (h/2s)} \right]}$$

$$f_2 = f_{2c} \frac{d}{s},$$

где h - толщина диска, d - диаметр диска, s - расстояние между двумя зондами (1 мм), а f_{2c} - коэффициент коррекции конечной ширины.

2.7. Измерение микротвердости материалов

Другой вид испытаний на механические свойства – это измерение твердости материалов.

Твердость определяется несколькими способами:

Вследствие различия формы алмазного индентора микротвердость делятся на 2 вида: микротвердость по Виккерсу (Vickers) и микротвердость по Кнупу (Кноор).

Микротвердость по Виккерсу является методом, который использует алмазную пирамиду (все вершинные углы равно 136 градусов), и значение рассчитывается следующим образом:

$$HV = 0,102 \times 2F \sin 68^\circ \div d^2 \approx 0.1891 \times F \div d^2$$

Где:

HV - микротвердость по Виккерсу, МПа

F - экспериментальная сила, Н

d - Длина диагонали отступы, мм.

Микротвердость по Кнупу является методом, который использует алмазную пирамиду (вершинный угол равно 130 и 172.5 градусов). И определяется по следующей форму:

$$HK = 139,54 \times P \div d^2$$

Где:

HK – микротвердость по Кнупу, МПа

P – нагрузка, кг

d – длина диагонали отступы, мм.

Финансовая часть

1. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

Целью работы было исследования структурно-фазового состояния и дефектной структуры субмикроструктурного сплава ВТ6. В настоящее время такие сплавы составляют около 90% используемых в промышленности сплавов титана. Например, в области медицины и аэрокосмической промышленности, сплав титана является очень важным материалом. Титан также применяется в газотурбинных двигателях, а именно в турбовентиляторных двигателях. Титановый сплав используется в основном для производства авиационных двигателей корпуса, воздухозаборники и другие части.

В качестве конкурентов метода позитронной аннигиляции для исследования свойств сплава титана ВТ6 (ф) выступает метод атом-силовой микроскопии (к1) и метода просвечивающей электронной микроскопии (к2).

Атомно-силовой микроскоп — сканирующий зондовый микроскоп высокого разрешения. Используется для определения рельефа поверхности с разрешением от десятков ангстрем вплоть до атомарного. В отличие от сканирующего туннельного микроскопа, с помощью атомно-силового микроскопа можно исследовать как проводящие, так и непроводящие поверхности. Ввиду способности не только сканировать, но и манипулировать атомами, назван силовым.

Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) представляет собой метод микроскопии, в котором пучок электронов пропускается через образец для формирования изображения. Образец чаще всего представляет собой ультратонкий разрез толщиной менее 100 нм или суспензию на сетке.

Образ формируется из взаимодействия электронов с образцом, когда пучок передается через образец.

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 – материалы возможно опасны для человека
- 4) Простота эксплуатации – эта критерия связана с количеством этапов проведения исследования;
- 5) Ремонтопригодность приборов – сложность ремонта приборов;
- 6) Потребность в материальных ресурсах – количество образцов, необходимое для проведения исследования и получения результатов;
- 7) Детектирование дефектов в исходном МЗ и СМК ВТ6 и после отжига;
- 8) Простота анализа данных – количество данных, средство для анализа данных и количество информации, которые надо получить из данных для определения структуры полимеров;
- 9) 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.
- 10) Стоимость прибора для осуществления метода;

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в таблице 1.

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	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,3
2. Уровень шума	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
3. Безопасность	0,15	4	5	5	0,6	0,8	0,7
4. Простота эксплуатации	0,15	5	4	4	0,25	0,2	0,3
5. Ремонтпригодность приборов	0,05	4	3	3	0,2	0,2	0,2
6. Потребность в материальных ресурсах	0,1	4	4	4	0,4	0,3	0,4
7. Детектирование дефектов в исходном МЗ и СМК ВТ6 и после отжига	0,15	5	2	2	0,8	0,5	0,3
8. Простота анализа данных	0,1	3	2	2	0,3	0,2	0,2
9. Количество и степень влияния внешних факторов на полученные результаты	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
10. Стоимость прибора для осуществления метода	0,1	4	4	3	0,5	0,2	0,2
итого	1				4,1	3,2	3,4

Из оценочной карты видно, что для исследования дефектов в образце, по способности детектирования дефектов и простоте эксплуатации, а также по общей конкурентности метод позитронной аннигиляции значительно преобладает над методом атом-силовой микроскопии (к1) и методом просвечивающей электронной микроскопии(к2).

1.2 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 2 представлена матрица SWOT.

Таблица 2 – Матрица SWOT.

Сильные стороны	Слабые стороны
<p>C1. Актуальность тематики.</p> <p>C2. Заявленная экономичность технологии.</p> <p>C3. Квалифицированный персонал.</p> <p>C4. Наличие полученных результатов и выводов.</p> <p>C5. Неразрушающий контроль материалов.</p> <p>C6. Чувствительность к изменению концентрации дефектов.</p> <p>C7. Определение дефектов в ВТ6.</p> <p>C8. Детектирование дефектов размера 0,1–1 нм.</p>	<p>Сл1. Недостаточное количество измерений.</p> <p>Сл2. Недостаточная активность у источника позитрона.</p> <p>Сл3. Большой срок экспериментального периода.</p> <p>Сл4. Отсутствие источника медленных позитронов.</p> <p>Сл5. Отсутствие работников, умеющих работать с программой MELT.</p>
Возможности	Угрозы
<p>V1. Использование источника, имеющего большую радиоактивность.</p> <p>V2. Возможность появления новых условий измерений.</p> <p>V3. Использование инфраструктуры ТПУ.</p>	<p>У1. Недостаток финансового обеспечения научного исследования со стороны государства</p> <p>У2. Титановые сплавы представляют собой редкие материалы, и стоимость исследований может увеличиться</p> <p>У3. Проведение подобных</p>

<p>В4. Использование источника медленных позитронов в немецкой фирме.</p> <p>В5. Возможность работать вместе с университетом Ухань, в котором используют спектрометр позитронной аннигиляции новой серии.</p> <p>В6. Полученный результаты откроют новое направление в исследованиях титаного сплава.</p>	<p>экспериментов в других учебных заведениях.</p>
---	---

Использование интерактивной матрицы помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей SWOT. Интерактивные матрицы проекта представлена в таблицах 3-6.

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		С1	С2	С3	С4	С5	С6	С7	С8
В1	0	+	-	-	+	+	+	+	+
В2	0	+	+	+	+	+	+	+	-
В3	+	+	+	+	-	-	-	-	-
В4	+	+	+	+	-	+	+	+	+
В5	+	+	+	+	0	+	0	0	0
В6	-	-	+	+	-	+	+	+	+

Таблица 4 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
В1		-	+	+	-	-
В2		+	-	+	-	-

	B3	+	+	+	-	-
	B4	-	-	-	+	-
	B5	+	+	+	-	+
	B6	-	-	-	-	-

Таблица 5 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта									
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	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.

	Сильные стороны	Слабые стороны
	С1. Актуальность тематики.	Сл1. Недостаточное количество измерений.
	С2. Заявленная экономичность технологии.	Сл2. Недостаточная активность у источника позитрона.
	С3. Квалифицированный персонал.	Сл3. Большой срок экспериментального периода.
	С4. Наличие полученных результатов и выводов.	Сл4. Отсутствие источника медленных

	<p>С5. Неразрушающий контроль материалов.</p> <p>С6. Чувствительность к изменению концентрации дефектов.</p> <p>С7. Определение дефектов в ВТ6.</p> <p>С8. Детектирование дефектов</p>	<p>позитронов.</p> <p>Сл5. Отсутствие работников, умеющих работать с программой MELT.</p>
<p>В1. Использование источника, имеющего большую радиоактивность.</p> <p>В2. Возможность появления новых условий измерений.</p> <p>В3. Использование инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В4. Использование источника медленных позитронов в немецкой фирме.</p> <p>В5. Возможность работать вместе с университетом Ухань, в котором используют</p>	<p>В3В4В5С3С4 – используя инфраструктуру ТПУ, немецкой фирмы и университета Ухань, 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 университете Ухань возможно увеличить количество измерений.</p> <p>В4Сл4 – Немецкая фирма может предоставить источник медленных позитронов.</p> <p>В5Сл5 – В университете есть специалист, способный работать с программой MELT/</p>

<p>спектрометр позитронной аннигиляции новой серии.</p> <p>В6. Полученный результаты откроют новое направление в исследованиях титаного сплава.</p>		
<p>Угрозы</p> <p>У1. Недостаток финансового обеспечение научного исследования со стороны государства</p> <p>У2. Титановые сплавы представляют собой редкие материалы, и стоимость исследований может увеличиться</p> <p>У3. Проведение подобных экспериментов в других учебных заведениях..</p>	<p>С2С3С4У1 -Актуальность тематики, экономичность технологии и квалифицированный персонал может привлекать государственные финансовые ресурсы.</p> <p>С1С5С6С7С8У2 – Увеличение стоимости материалов приведет к увеличению финансирования исследований</p> <p>С3У3 -Квалифицированный персоналкафедры 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– Если использование материалов не может быть увеличено, увеличение материальных затрат окажет такое же влияние на другие методы исследования.</p> <p>У3Сл5 – усилить сотрудничество с университетом Ухань, пытаться работать с программой MELT, которая более точно обрабатывает спектра.</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 немецкой фирмой и университетом Ухань помогает легко преодолеть слабые стороны самого метода.

1.3 Планирование научно-исследовательских работ

Для выполнения и планирования данной работы по теме исследования влияния облучения α частицами на свойства ПВДФ 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.

1.3.1 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	Анализ дислокаций в МЗ и СМК ВТ6 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 ВТ6 после отжига при разной температуре	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

1.3.2 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:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (1)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы;

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

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы.

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

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (2)$$

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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (3)$$

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			Исполнитель	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни	t_{max}	$t_{\text{ож}}$			
1	1	2	1,4	Руководитель	1,4	2
2	12	20	15,2	инженер	15,2	23
3	2	5	3,2	инженер	3,2	5
4	4	7	5,2	инженер	5,2	8
5	4	7	5,2	Руководитель, инженер	2,6	4
6	5	8	6,2	инженер	6,2	10
7	7	12	9	инженер	9	14
8	12	16	13,6	инженер	13,6	21
9	1	2	1,4	Руководитель, инженер	0,7	1
10	3	5	3,8	Руководитель инженер	1,9	3

11	7	12	9	инженер	9	14
12	7	12	9	инженер	9	14

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.д н.	Время выполнения работ																	
			Февр .	Мар т	Апрел ь	Ма й	Июн ь													
1	1	2	■																	
2	2	23	■																	
	3	5		■																
3	4	8				■														
4	5	4				■														
5	6	10					■													
	7	14						■												
	8	21							■											
6	9	1										■								

$N_{расхi}$ – 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 Z_M				57000

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Амортизационное отчисление рассчитано по следующей формуле:

$$A = \frac{C_{перв} \times N_a}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} \times T_{раб-обор} \times 100, \quad (5)$$

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

N_a – норма амортизационных отчислений (в процентах);

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

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

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

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

$$A = \frac{3500000 \times 12\%}{365 - 105 - 13} \times 28,8 \times 100 = 48971700 \text{ руб}$$

для источника позитронов:

$$A = \frac{500000 \times 15\%}{365 - 105 - 13} \times 28,8 \times 100 = 8744900 \text{ руб}$$

Таблица 12 – Амортизационное отчисление оборудования.

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Процент амортизации, %	Амортизационное отчисление, руб
Спектрометр	шт	1	3500000	12	48971700
Источник позитронов	шт	1	500000	15	8744900
Установка РСА	шт	1	6000000	12	83951400
Итого					14166800

Заработная плата

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

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (6)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (7)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (8)$$

Где $Z_{\text{м}}$ – 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;

$F_{\text{д}}$ – 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:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{ок}} \cdot k_{\text{р}}, \quad (9)$$

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

$k_{\text{р}}$ – 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.

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot k_{\text{р}} = 20800 \cdot 1,3 = 27040 \text{ руб.}$$

Следовательно, можно получить среднедневную заработную плату научного руководителя:

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

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

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

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

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

Основной заработок инженера, за время преддипломной практики, равен:

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

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

$$Z_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (10)$$

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:

$$Z_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (11)$$

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

Для научного руководителя отчисления во внебюджетные фонды:

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

Для инженера отчисления во внебюджетные фонды:

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

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:

$$C_{накл} = K_{накл} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (12)$$

где $K_{накл}$ – Накладные расходы в ТПУ составляют 25-35 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Примем $K_{накл} = 30 \%$.

Для научного руководителя накладные расходы:

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

Для инженера отчисления во внебюджетные фонды:

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

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	-	141668	14166800
Затраты по основной	7394,51	46837,98	54232,49

заработной плате исполнителей темы			
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	14319226,15

1.5 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 1 – Организационная структура научного проекта

1.6 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 «Соцответственность»	Консультант по языковому разделу	Студент
Составление и утверждение задания НИР	О				
Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	С				И
Выбор моделей и способов анализа	О				
Календарное планирование работ	С				И
Разработка моделей для исследования	С				И

Поиск методов решения					И
Реализация моделей					И
Анализ полученных результатов, выводы					И
Оценка эффективности полученных результатов	С				И
Составление пояснительной записки		С			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.

1.7 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 ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (1.7.1)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{237373,7}{244200,88} = 0,97;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{244200,88}{244200,88} = 1;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{230210,12}{244200,88} = 0,94;$$

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

$$I_{\text{pi}} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (1.7.2)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a^i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a . b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 1.7.1).

Таблица 1.7.1. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Надежность	0.2	5	5	4
2. Универсальность	0.2	4	4	5
3. Уровень материалоемкости.	0.15	4	4	5
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0.2	5	5	4
5. Ремонтпригодность	0.1	5	5	5
6. Энергосбережение	0.15	4	4	5
ИТОГО	1	4.5	4,5	4,55

$$I_{p-тек} = 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 = 4,5;$$

$$I_{p-Ан1} = 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 = 4,5;$$

$$I_{p-Ан2} = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 = 4,55.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп i} = \frac{I_{p-исп i}}{I_{финр i}}, \quad (1.7.3)$$

$$I_{тек} = \frac{4,5}{0,97} = 4,64; \quad I_{Ана1} = \frac{4,5}{1} = 4,5; \quad I_{Ана2} = \frac{4,55}{0,94} = 4,84.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.1.7.2) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп i}}{I_{исп max}}, \quad (1.7.4)$$

Таблица 1.7.2. Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,97	1	0,94
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,5	4,55
3	Интегральный показатель эффективности	4,64	4,5	4,84
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,95	0,93	1

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в третьем исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе

с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Социальная часть

Описание рабочего места

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 плазмохимический реактор для конверсии природного газа, который является лабораторной установкой.

Под проектированием рабочего места понимается целесообразное пространственное размещение в горизонтальной и вертикальной плоскостях функционально взаимосвязанных средств производства (оборудования, оснастки, предметов труда и др.), необходимых для осуществления трудового процесса.

При проектировании рабочих мест должны быть учтены освещенность, температура, влажность, давление, шум, наличие вредных веществ, электромагнитных полей и другие санитарно-гигиенические требования к организации рабочих мест.

При проектировании лаборатории необходимо уделить внимание и охране окружающей среды, а в частности, организации безотходного производства.

Также необходимо учитывать возможность чрезвычайных ситуаций. Так как лаборатория находится в городе Томске, наиболее типичной ЧС является мороз. Так же, в связи с неспокойной ситуацией в мире, одной из возможных ЧС может быть диверсия.

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

В лаборатории, где находятся различные электроустановки, магнетрон, а также используется метан в качестве исходного продукта, могут быть следующие вредные факторы: наличие - а) не комфортных метеоусловий; б) вредных веществ; в) производственного шума; г) недостаточной освещенности; д) электромагнитного излучения;

1.1 Метеоусловия

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха.

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, происходит повышенный приток крови к поверхности тела, и выделение тепла в окружающую среду значительно увеличивается. При низкой температуре окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются, приток крови к поверхности тела замедляется, и теплоотдача конвекцией и излучением уменьшается. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Повышенная влажность воздуха ($\varphi > 85\%$) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ($\varphi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 1 [ГОСТ 12.1.005-88].

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года следует применять средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения. В теплый период года необходимо предусмотреть защиту от попадания прямых солнечных лучей.

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, относящаяся к инженерам – разработчикам, относится к категории легких работ. Допустимые значения микроклимата для этого случая даны в таблице.

Таблица - Требования к микроклимату

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	средняя	19 – 24	15 - 75	≤ 0.1
Теплый	средняя	20 - 28	15 - 75	≤ 0.2

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и гидротрубопроводов.

1.2 Вредные вещества

Исходным сырьем для получения водорода и наноуглеродного материала является метан.

Метан (парниковый газ, CH_4) - простейший углеводород, бесцветный газ (в нормальных условиях) без запаха. Малорастворим в воде, легче воздуха. При использовании в быту, промышленности в метан обычно добавляют одоранты (обычно меркаптаны) со специфическим «запахом газа». Метан нетоксичен и неопасен для здоровья человека. Однако имеются данные, что метан относится к токсическим веществам, действующих

на центральную нервную систему. Накапливаясь в закрытом помещении, метан взрывоопасен. Обогащение одорантами делается для того, чтобы человек вовремя заметил утечку газа. На промышленных производствах эту роль выполняют датчики, и во многих случаях метан для лабораторий и промышленных производств остается без запаха.

Метан взрывоопасен при концентрации в воздухе от 4,4 % до 17 %. Наиболее взрывоопасная концентрация 9,5 %. Является наркотиком, действие ослабляется ничтожной растворимостью в воде и крови.

Метан является наиболее инертным соединением из группы парафиновых углеводородов. Физиологическое действие метан оказывает лишь в очень высокой концентрации (из-за малой растворимости метана в воде и крови). Так, при содержании в воздухе 25—30 % метана появляются первые признаки асфиксии (учащение пульса, увеличение объёма дыхания, нарушение координации тонких мышечных движений и т. д.). Более высокие концентрации метана в воздухе вызывают у человека головную боль.

Согласно гигиеническим нормативам "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны ГН 2.2.5.1313-03", утвержденным Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 27 апреля 2003 г, метан относится к 4му классу опасности (4 – умеренно опасные), величина ПДК = 7000 мг/м³, а преимущественное агрегатное состояние в воздухе в условиях производства – пар и/или газ.

1.3. Производственный шум

Вентиляция производственных помещений предназначена для уменьшения запыленности, задымленности и очистки воздуха от вредных выделений производства, а также для сохранности оборудования. Она служит одним из главных средств оздоровления условий труда, повышения производительности и предотвращения опасности профессиональных

заболеваний. Система вентиляции обеспечивает снижение содержания в воздухе помещения пыли, газов до концентрации не превышающей ПДК. Проветривание помещения проводят, открывая форточки. Проветривание помещений в холодный период года допускается не более однократного в час, при этом нужно следить, чтобы не было снижения температуры внутри помещения ниже допустимой. Воздухообмен в помещении можно значительно сократить, если улавливать вредные вещества в местах их выделения, не допуская их распространения по помещению. Для этого используют приточно-вытяжную вентиляцию. Кратность воздухообмена не ниже 3.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА. В нашем случае этот параметр соответствовал значению 75 дБА.

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

СКЗ

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;

- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

СИЗ

- применение спецодежды, спецобуви и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

1.4 Освещенность

Согласно СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 7$ м, ширина $B = 6$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95

необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B,$$

где A – длина, м;

B – ширина, м.

$$S = 7 \times 6 = 42 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{\Gamma} = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_z = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{\text{ЛД}} = 2600 \text{ Лм}$.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda = 1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,3 \text{ м}$.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p,$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $h_n = 3,5 \text{ м}$.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2,0 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

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

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{6}{2,2} = 2,72 \approx 3$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{7}{2,2} = 3,2 \approx 3$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 3 \cdot 3 = 9$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,2}{3} = 0,7 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. На рис.1 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

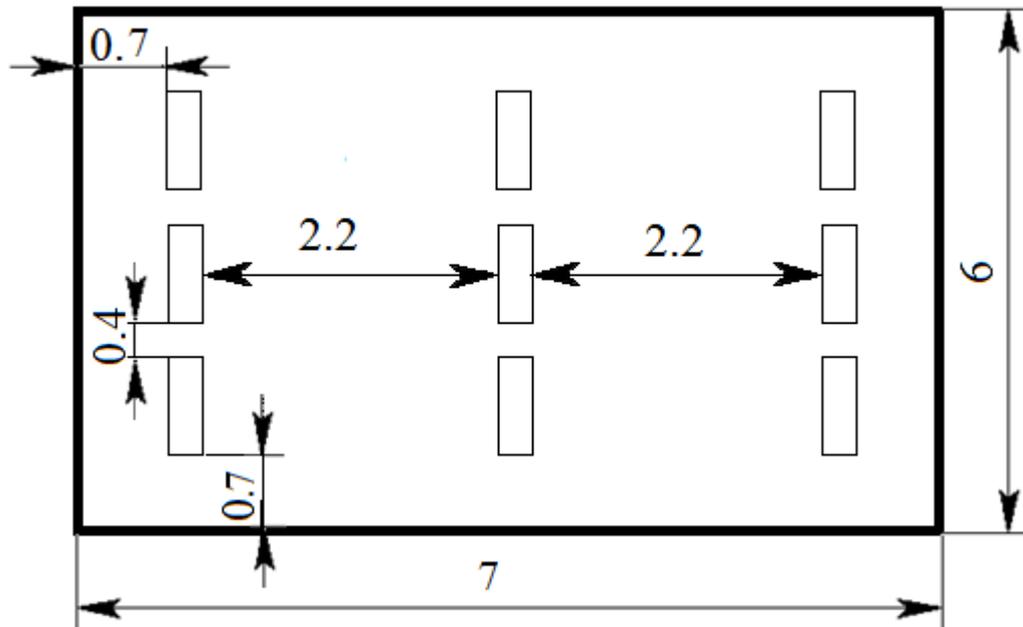


Рис.1 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{7 \cdot 6}{2,0 \cdot (7 + 6)} = 1,6$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{П}} = 70\%$, $\rho_{\text{С}} = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,6$ равен $\eta = 0,47$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{П}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 7 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{9 \cdot 0,47} = 2457,44 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{2600 - 2457,44}{2600} \cdot 100\% = 5,5\%.$$

Таким образом: $-10\% \leq 5,5\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

1.5 Электромагнитные поля

В установке используются магнетронные генераторы при помощи которых происходит подвод СВЧ-энергии к различным частям установки. Таким образом, при организации безопасности труда, необходимо учитывать воздействие электромагнитных полей сверхвысоких частот на организм человека.

Эффект воздействия СВЧ электромагнитного поля на биологические объекты в известной степени определяется количеством проникающей в них и поглощаемой ими электромагнитной энергии. Значительная часть энергии микроволн поглощается тканями организма и превращается в тепло, что объясняют возникновением колебания ионов и дипольных молекул воды, содержащихся в тканях. Наиболее эффективное поглощение микроволн отмечается в тканях с большим содержанием воды: кровь, тканевая жидкость, слизистая желудка, кишок, хрусталик глаза и др.

Нагрев тканей в СВЧ-поле является наиболее простым и очевидным эффектом действия микроволн на организм человека. Положение максимума температуры, его удаление от поверхности тела зависит от проводимости среды, а, следовательно, и от частоты радиоволны, действующей на ткань: с увеличением частоты (укорочением волны) максимум температуры приближается к поверхности.

Длительное и систематическое воздействие на организм СВЧ-излучения вызывает повышенную утомляемость, периодически появляющуюся головную боль, сонливость или нарушение сна, повышение артериального давления и боли в области сердца. Под воздействием электромагнитных полей сверхвысоких частот наблюдаются изменения в крови, увеличение щитовидной железы, катаракта глаз, а у отдельных лиц — изменения в психической сфере (неустойчивые

настроения, ипохондрические реакции) и трофические явления (выпадение волос, ломкость ногтей).

Предельно допустимые уровни облучения (по *ОСТ 54 30013-83*):

В диапазоне СВЧ = 300...300000 МГц допустимая плотность потока мощности (ППМ_{доп}) при времени облучения (τ облуч.) в течение всего рабочего дня составляет 10 мкВт/см², при τ облуч., равном 2 ч,- 100 мкВт/см² и при τ облуч., равном 15...20 мин, - 1000 мкВт/см² (при обязательном использовании защитных очков!). В остальное рабочее время интенсивность облучения не должна превышать 10 мкВт/см². Для лиц, профессионально не связанных с облучением, и для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см².

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

СКЗ

- защита временем;
- защита расстоянием;
- снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
- экранирование источника;
- защита рабочего места от излучения;

СИЗ

Применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), которые включают в себя

- Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера.

Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.

- Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO_2).

Экранирование источника излучения и рабочего места осуществляется специальными экранами по ГОСТ 12.4.154.

К средствам защиты от статического электричества и электрических полей промышленной частоты относят комбинезоны, очки, спецобувь, заземляющие браслеты, заземляющие устройства, устройства для увлажнения воздуха, антиэлектростатические покрытия и пропитки, нейтрализаторы статического электричества.

2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

2.1 Факторы электрической природы

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

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

В отношении опасности поражения людей электрическим током различают:

1. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.
2. Помещения с повышенной опасностью, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную

опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

3. Особо опасные помещения, которые характеризуются наличием оборудования свыше 1000 В и одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости, химически активной или органической среды, одновременно двух или более условий повышенной опасности. Территории размещения наружных электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравниваются к особо опасным помещениям.

Лаборатория относится к помещению с особой опасностью поражения электрическим током. В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

Основными электрозащитными средствами в электроустановках напряжением выше 1000 В являются изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, указатели напряжения, а также изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ (площадки, изолирующие звенья телескопических вышек и пр.).

Работать со штангой разрешается только специально обученному персоналу в присутствии лица, контролирующего действия работающего. При операциях с изолирующей штангой необходимо пользоваться

дополнительными изолирующими защитными средствами — диэлектрическими перчатками и изолирующими основаниями (подставками, ковриками) или диэлектрическими ботами.

Изолирующие клещи применяют в электроустановках до 35 кВ для операций под напряжением с плавкими вставками трубчатых предохранителей, а также для надевания и снятия изолирующих колпаков на ножи однополюсных разъединителей.

При пользовании изолирующими клещами оператор должен надевать диэлектрические перчатки и быть изолированным от пола или грунта; при смене патронов трубчатых предохранителей он должен быть в очках. Клещи нужно держать в вытянутых руках.

Дополнительные электрозащитные средства в электроустановках. К дополнительным изолирующим электрозащитным средствам относятся диэлектрические перчатки, боты, резиновые коврики и дорожки, изолирующие подставки на фарфоровых изоляторах и переносные заземления.

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

2.2 Факторы пожарной и взрывной природы

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории A_n , B_n , V_n , G_n и D_n .

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории Г - негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла,

искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива

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

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

- а) халатное неосторожное обращение с огнем (оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);
- б) утечка метана (при концентрации в воздухе от 4,4 % до 17 % метан взрывоопасен).

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для устранения причин возникновения и локализации пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- а) использование только исправного оборудования;
- б) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- д) отключение электрооборудования, освещения и электропитания при предполагаемом отсутствии обслуживающего персонала или по окончании работ;
- е) курение в строго отведенном месте;
- ж) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

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

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

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

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (рис.2).



Рис. 2. Пути эвакуации.

3 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.

4 Защита в ЧС

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще.

Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности.

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

5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

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

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

6. Выводы

В данной работе рассмотрены безопасность и гигиена труда при осуществлении разработка методики насыщения водородом углеродного материала, содержащего нанотрубки с помощью автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller. Были выявлены вредные и опасные факторы рабочей зоны, причины и средства защиты, рассмотрены чрезвычайные ситуации и поведение в них.

Социальная ответственность представляет диалектическую взаимосвязь между лицом (работодателем) и обществом (работником), характеризующаяся взаимными правами и обязанностями по выполнению социальных норм и наложением воздействия в случае ее нарушения. На основе рассмотрения безопасности в процессе выполнения работы, было ясно, что студент, как будущий руководитель должен нести социальную ответственность за принимаемые решения.

Список использованных источников

1. Давыденко Л.В., Давыденко Р.А., Егорова Ю.Б., Белова С.Б. О возможности применения титановых сплавов в автомобилестроении. - Московский государственный технический университет «МАМИ» и Российский государственный технологический университет - «МАТИ».
2. Трофимов В.В., Федчишин О.В., Клименов В.А., титан, сплавы титана и их применение в стоматологии // трофимов в.в., федчишин о.в., клименов в.а. , 2009. – с. 10-12.
3. С.Ф.Елустенко, А.Н.Первышин. Формирование структуры и свойств титановых сплавов по механическим свойствам в процессах обработки металлов давлением // вестник самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета) , 2011. - №1(25) . – с.110-119.
4. Жеребцов С.В. Формирование субмикроструктурной структуры в титане и титановых сплавах тепловой интенсивной пластической деформацией и их механические свойства, 2002.
5. Колобов Ю.Р., Валиев Р.З., Грабовецкая Г.П., Жилиев А. П., Дударев Е.Ф., Иванов К.В., Иванов М.Б., Кашин О.А., Найденкин Е.В. Зернограничная диффузия и свойства наноструктурных материалов. – Новосибирск: Наука, 2001. – 213 с.
6. Ильин А.А., Мамонтов А.М., Носов В.К., Майстров В.М. О влиянии водорода на диффузионную подвижность атомов металлической подрешетки β -фазы титановых сплавов // Металлы. – 1994. – №5. – С. 99–103.
7. R.Z. Valiev, Y. Estrin, Z. Horita, T.G. Langdon, M.J. Zehetbauer & Y.T. Zhu Fundamentals of Superior Properties in Bulk NanoSPD Materials// Materials Research Letters 2017, V. 4:№1, P. 1-21.
8. E.V. Naydenkin, I.V. Ratochka, G.P. Grabovetskaya. The Aspects of Practical

-
- Application of Ultrafine-Grained Titanium Alloys Produced Severe Plastic Deformation // Journal of Materials Science Forum.– 2011.–Vol. 667-669.– P. 1183-1188.
9. H. Yilmazer, M. Niinomi, M. Nakai, K. Cho, J. Hieda, Y. Todaka, T. Miyazaki. Mechanical properties of a medical β -type titanium alloy with specific microstructural evolution through high-pressure torsion // Materials Science and Engineering C. 2013, V. 33 P. 2499–2507.
 10. W.R. Kerr, P.R. Smith, M.E. Rosenblum, F.J. Gurney, Y.R. Mahajan, L.R. Bidwell, Hydrogen as an alloying element in titanium (Hydrovac), Titanium '80, Science and Technology, Proceedings of the 4th International Conference on Titanium, vol. 4, Metall Soc of AIME, Kyoto, 1980, p. 2477.
 11. J.I. Qazi, O.N. Senkov, J. Rahim, A. Genc, F.H. Froes, Metall. Mater. Trans. A 32 (2001) 2453. Phase transformations in BT6-xH alloys
 12. A.A. Ilyn, B.A. Kolachev, A.M. Mamonov, Phase and structure transformations in titanium alloys under thermohydrogenous treatment, in: Titanium'92 Science and Technology, San Diego, 1992, p. 941.
 13. C.C. Shen, T.P. Perng, Acta Mater. 55 (2007) 1053. Hydrogen as a temporary alloying element in titanium alloys: thermohydrogen processing
 14. J.Y. Lim, C.J. McMahon, D.P. Pope Jr., J.C. Williams, Metall. Trans. A 7 (1976) 139. The effect of oxygen on the structure and mechanical behavior of Aged Ti-8 Wt pct Al
 15. R.R. Boyer, W.F. Spurr, Metall. Trans. A 9 (1978) 1443. Effect of composition, microstructure, and texture on stress-corrosion cracking in Ti-61-4V sheet
 16. G. Welsch, G. Lu" tjerling, K. Gazioglu, W. Bunk, Metall. Trans. A 8 (1977) 169. Deformation characteristics of age hardened BT6
 17. D.G. Lee, S. Lee, C.S. Lee, Mater. Sci. Eng. A 366 (2004) 25. Environmental Hydraulics and Sustainable Water Management
 18. Manchester FD, San-Martin A. In: Manchester FD, editor. Phase diagrams of

-
- binary hydrogen alloys. Materials Park, OH: ASM International; 2000. p. p.238–58.
19. McQuillan AD. An experimental and thermodynamic investigation of the hydrogen–titanium system. Proc R Soc London, Ser A 1951;204:309–22.
20. Lenning GA, Craighead CM, Jaffee RI. Constitution and mechanical properties of titanium–hydrogen alloys. Trans AIME 1954;200:367–76.
21. <http://pandia.ru/text/77/152/14415.php>
22. Колобов Ю.Р., Валиев Р.З., Грабовецкая Г.П., Жилиев А. П., Дударев Е.Ф., Иванов К.В., Иванов М.Б., Кашин О.А., Найденкин Е.В. Зернограничная диффузия и свойства наноструктурных материалов. – Новосибирск: Наука, 2001. – 213 с.
23. Жорин В.А., Шашкин Д.П., Ениколопян Н.С. Дробление кристаллов в процессе пластического течения при высоком давлении // Доклады АН СССР. – 1984. – Т. 278. – №1. – С. 144–147
24. Кузнецов Р.И., Быков В.И., Чернышев В.П. и др. Пластическая деформация твердых тел под давлением. – Свердловск: ИФМ УНЦ РАН, 1982. – Препринт 4/85.
25. Valiev R.Z. and Langdon T.G. The art and science of tailoring materials by nanostructuring for advanced properties using SPD techniques // Adv. Eng. Mater. Vol. 12(8), 2010. – P. 677–691
26. R.Z. Valiev, R.K. Islamgaliev, and I.V. Alexandrov. Bulk Nanostructured Materials from Severe Plastic Deformation// Progress in Materials Science, 2000, Vol. 45, pp. 103-189.
27. 1.Блохин М.А. Рентгеновское излучение // Физическая энциклопедия: [в 5 т.] / Гл. ред. А. М. Прохоров. — М.: Большая российская энциклопедия, 1994. — Т. 4: Пойнтинга — Робертсона — Стримеры. — С. 375—377. — 704 с. — 40 000 экз. — ISBN 5-85270-087-8.
28. CRC Handbook of Chemistry and Physics 75th ed. David R. Lide P.10-227. CRC Press ISBN 0-8493-0475-X

-
29. *Crystallographica*, v1.60a. Oxford Cryosystems 1995—1999.
30. Юрий Ерин. Подтверждена высокая отражательная способность алмаза в диапазоне жесткого рентгеновского излучения. *Элементы — новости науки* (03.03.2010). Проверено 11 мая 2010. Архивировано 27 августа 2011 года.
31. В.А. Лиопо, В.В. Война. "Рентгеновская дифрактометрия" Гродно 2003, стр. 31-35.
32. T. Tuohimaa, M. Otendal, and H. M. Hertz (2007), "Phase-contrast x-ray imaging with a liquid-metal-jet-anode microfocus source", *Appl. Phys. Lett.* 91: 074104
33. Diagram of continuum and characteristic lines Archived February 23, 2008, at the Wayback Machine.
- 34.8. John G. Stears; Joel P. Felmlee; Joel E. Gray (September 1986), "cf., Half-Value-Layer Increase Owing to Tungsten Buildup in the X-ray Tube: Fact or Fiction", *Radiology*, 160 (3): 837–838, doi:10.1148/radiology.160.3.3737925
35. <http://www.handyharmancanada.com/hbpm/silver/silver.htm>
36. Van Vlack, L. H. (1985). *Elements of Materials Science and Engineering*. Addison-Wesley. p. 134.
37. Alvarenga, H. D.; Van de Putte, T.; Van Steenberge, N.; Sietsma, J.; Terryn, H. (Apr 2009). "Influence of Carbide Morphology and Microstructure on the Kinetics of Superficial Decarburization of C-Mn Steels". *Metal Mater Trans A*. doi:10.1007/s11661-014-2600-y.
38. Verhoeven, J.D. *Fundamentals of Physical Metallurgy*, Wiley, New York, 1975, p. 326
39. Печи для термической обработки стали. Проверено 10 июля 2011. Архивировано 18 февраля 2012 года.
40. Синеломкость - сталь - Большая Энциклопедия Нефти и Газа.
41. Fultz, B & Howe, J (2007). *Transmission Electron Microscopy and*

-
- Diffraction of Materials. Springer. ISBN 3-540-73885-1.
42. Rodenburg, J M. "The Vacuum System". rodenburg.org
 43. Ross, L. E, Dykstra, M (2003). Biological Electron Microscopy: Theory, techniques and troubleshooting. Springer. ISBN 0306477491.
 44. Pulokas, James; Green, Carmen; Kisseberth, Nick; Potter, Clinton S.; Carragher, Bridget (1999). "Improving the Positional Accuracy of the Goniometer on the Philips CM Series TEM". *Journal of Structural Biology*. 128 (3): 250–256. doi:10.1006/jsbi.1999.4181. PMID 10633064
 45. Williams, D & Carter, C. B. (1996). *Transmission Electron Microscopy. 1 – Basics*. Plenum Press. ISBN 0-306-45324-X.
 46. Orloff, J, ed. (1997). *Handbook of Electron Optics*. CRC-press. ISBN 0-8493-2513-7.
 47. Cowley, J. M (1995). *Diffraction physics*. Elsevier Science B. V. ISBN 0-444-82218-6.
 48. Frank, J, ed. (2006). *Electron tomography: methods for three-dimensional visualization of structures in the cell*. Springer. ISBN 978-0-387-31234-7.
 49. https://en.wikipedia.org/wiki/Transmission_electron_microscopy
 50. <http://baike.baidu.com>
 - 51.1 Eliaz N, Eliezer D, Olson D L. *Mate Sci Eng A[J]*, 2000, 289: 41
 52. Chen Yexin. Kinetics of Hydrogen Diffusion in BT6 Alloy. *Rare Metal Materials and Engineering*, 2015, 44(3): 0553-0556.
 53. Rin Haraguchi, Yuuki Yoshimatsu, Takashi Nagaoka, Makoto Arita, Kaveh Edalati, and Zenji Horita. Electrical resistivity mapping of titanium and zirconium discs processed by high-pressure torsion for homogeneity and phase transformation evaluation // *J Mater Sci* (2017) 52:6778–6788; Smits FM (1958) Measurement of sheet resistivities with the four-point probe, *Bell Syst. Tech J* 37:711–718.
 54. Uhler A Jr (1955) The potentials of infinite systems of sources and numerical

- solutions of problems in semiconductor engineering, *Bell Syst. Tech J* 34:105–128.
55. Froes F H, Senkov O N, Qazi J I. *Inte Mater Rev*[J], 2004, 49: 227
56. Goltsov V A. *J Alloy Compd*[J], 1999, 293: 844
57. Li F, Chen Y, Wan X et al. *Acta Metall Sin*[J], 2006, 42: 143
58. Официальный сайт Компании ЗАО «Циклотрон». [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.cyclotronzao.ru/?page=titan-44&lng=ru&design=elements>, свободный. – Загл. с экрана.
59. Электронный ресурс].- Режим доступа: http://www.physical-instruments.fr/wp-content/uploads/alimentation-haute-tension-2-voies-t2dp0x_rs232_eng.pdf, свободный. – Загл. с экрана;
60. Canberra Industries Inc. Official site. [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://www.canberra.com>, свободный. – Загл. с экрана;
61. Čížek J., Vlček M., Procházka I. Digital spectrometer for coincidence measurement of Doppler broadening of positron annihilation radiation//*Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*. – 2010. – 623. – P. 982-994;
62. Positron annihilation group, Charles University in Prague. [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://physics.mff.cuni.cz/kfnt/pas/?page=software&lang=en>, свободный. – Загл. с экрана;
63. N. M. Nancheva, K. Saarinen, G.S. Popov. Positron Annihilation in Shock Loaded Titanium, *Phys. Stat. sol. (a)* 95, 531 (1986).
64. Kuznetsov P. V. , Lider A. M. , Bordulev Y. S. , Laptev R. S. , Rakhmatulina T. V. , Korznikov A. V. Grain-Subgrain Structure and Vacancy-Type Defects in Submicrocrystalline Nickel at Low Temperature Annealing // *Acta Physica Polonica A*. - 2015 - Vol. 128 - №. 4. - p. 714-718
65. Kuznetsov P. V. , Mironov Y. P. , Tolmachev A. I. , Bordulev Y. S. , Laptev R.

-
- S. , Lider A. M. , Korznikov A. V. Positron Spectroscopy of Defects in Submicrocrystalline Nickel after LowTemperature Annealing
- 66.Kuznetsov P. V. , Mironov Y. P. , Tolmachev A. I. , Rakhmatulina T. V. , Bordulev Y. S. , Laptev R. S. , Lider A. M. , Mikhaylov A. A. , Korznikov A. V. Positron annihilation spectroscopy of vacancy-type defects hierarchy in submicrocrystalline nickel during annealing // AIP Conference Proceedings. - 2014 - Vol. 1623. - p. 327-330
- 67.J. Čížek, I. Procházka, M. Cieslar, R. Kužel, J. Kuriplach, F. Chmelík, I. Stulíková, F. Bečvář, O. Melikhova, R.K. Islamgaliev: "Thermal stability of ultrafine grained copper", Phys. Rev. B 65, 094106 (2002).
- 68.Čížek J, Melikhova O, Barnovská Z, Procházka I and Islamgaliev R K 2013 J. Phys.: Conf. Ser 443 012008

Английская часть: Investigation of the structural-phase state and the defect structure of the submicrocrystalline titanium alloy Ti-6Al-4V**Introduction**

Currently, such alloys account for about 90% of the titanium alloys used in the industry. For example, in the field of medicine and the aerospace industry, titanium alloy is a very important material [1]. Titanium is also used in gas turbine engines, namely in turbofan engines. Titanium alloy is used mainly for the production of aircraft engine housings, air intakes. In other parts of the country, titanium alloy is used mainly for industrial chemicals, transport, machinery, and the production of some household appliances. In the automotive field, titanium alloys are used to manufacture connecting rods, intake valves and output valves. Titanium has medium hardness and high temperature properties, so it can also be used for automobile engines. Titanium and it can also be compatible with living tissue, which means that titanium alloys can also be used in medicine. Titanium has a high strength and can be fully compatible with the human body, which means that titanium can be used to make artificial limbs and human teeth [2].

The coefficient of linear expansion of titanium is lower than magnesium, aluminum, copper, iron, nickel. Titanium and its alloys do not have ferromagnetic properties, it has a paramagnetic property. Titanium is of high purity, has low strength and high plasticity [3-4]. In order to form the necessary mechanical properties of the alloy, an alloy of titanium with Al, V, Mn, Cr, Fe and some other elements is obtained. The constituent elements and their number will strongly influence the properties of the alloy. The resistance to rupture of titanium alloys used in industry varies in the range from 400 MPa (low-alloy soft alloys) to 1600 MPa (high-alloy thermally strengthened alloys) [5].

To achieve this goal, it is necessary to solve the following tasks:

1. Prepare samples of the titanium alloy VT6 in fine-grained and ultrafine-grained states.
2. Perform pre-recrystallization annealing of the initial ultrafine-grained titanium

alloy BT6.

3. Using the methods of X-ray structural analysis, optical metallography, and transmission electron microscopy, analyze the structure of fine-grained and ultrafine-grained samples of titanium alloy BT6 in the initial state and after annealing.
4. Measure the mechanical properties and resistance of the titanium alloy in the initial fine-grained and ultrafine-grained states.
5. Conduct an analysis of the defect structure using EPA methods.

1.1 Titanium alloys

The most important advantages of titanium alloys in comparison with other structural materials are their high specific strength and thermal corrosion resistance. In addition, titanium and its alloys have good weldability, paramagnetism and other similar properties, which is of great importance for connection technology. Titanium alloys have high prospects of application in the technical field, and these areas require high specific strength, high temperature and high durability. Titanium alloys are suitable for the production of aircraft, missile technology, shipbuilding, chemical, food and transport equipment and other engineering departments.

Taking into account the properties of titanium alloys, it can also be used to create the designs of space vehicles.

Titanium alloys can be divided into three types:

High-strength titanium alloy structure provides the best tensile strength and ductility.

A heat-resistant titanium alloy formed inside a solid solution can provide better thermal stability for titanium alloys.

There is also a refractory titanium alloy that withstands higher temperatures than heat-resistant titanium alloys. And, interestingly, the density of this titanium alloy is very small.

Currently, the titanium alloy is one of the most important metal materials for almost 200 years, and its perspective is also the most impressive.

Alloys of Ti-6Al-4V type

Ti-6Al-4V $\alpha + \beta$ phase is the most widely used titanium alloy, it can be used for the manufacture of large aircraft designs, as well as for the manufacture of cylinders for operation between 196 ° C and 450 ° C and many other structural elements. In the aerospace industry, at least 50% of the structural material used is a titanium alloy Ti-6Al-4V.

The reason why this titanium alloy is widely used is due to its alloy composition. In this titanium alloy, aluminum increases its hardness and heat resistance. Vanadium is a small amount of alloying elements in titanium alloys, which can increase the hardness of titanium alloys, as well as increase its plasticity.

Titanium alloy Ti-6Al-4V is easier to change its shape after heating. It can be used for the production of bars, pipes, profiles, forgings, stamping, plates and sheets. They use traditional methods of welding, but also include diffusion. When welding, the strength of the welded material is almost the same as that of the base material, which differs from the strength of the titanium alloy Ti-6Al-4V. The Ti-6Al-4V alloy can also be used in an annealed and thermally quenched state. For thin plates of titanium alloy, thin-walled pipes, profiles and other components, annealing is usually carried out at 750-800 ° C, then cooled in air or on fire. Bars, forgings, stamping and large materials and parts can also be annealed at 750-800 ° C. Cooling in large semi-finished products prevents the formation of material. Cooling in small ovens prevents partial hardening of the material. The annealing temperature is preferably raised to 900-950 ° C., resulting in increased fracture toughness and viscosity while maintaining high ductility due to the formation of a hybrid structure with most of the plate components. Double annealing also improves fracture toughness and corrosion resistance.

There are many methods for obtaining ultrafine-grained states materials, such as rapid quenching, electrodeposition, intense plastic deformation (IPD), condensation in an inert gas atmosphere, methods of aerosols and chemical synthesis, etc. From a practical point of view, the most widely used method is now

IPD . This method can easily get the material in the ultrafine-grained state. In this state, the grains of materials have a granular structure with a high-angle boundary. The main methods used for the production of IPD in ultrafine-grained states in metallic materials are high-pressure torsion, equal-channel angular pressing (EAP) and omnidirectional pressing with numerous variations with a change in the pressing axis.

The EAP pressing method. In this method, a large number of samples can be deformed by a simple shift (Figure 6). This method was invented in the early 1990s to obtain materials in the ultrafine-grained state [10]. In the process of equal-channel angular pressing, the workpiece must be repeatedly compressed in 2 channels of special tools. The angles of the two channels are 90° and 120° , respectively. For materials that are difficult to deform, it is necessary to carry out at elevated temperatures.

With EAP pressing, the direction and number of passes of the billet through the channels are very significant for forming the structure. Distinguish the following routes of blanks (Fig. 6):

- a) Route A: the workpiece should be oriented equally with each pass;
- b) route B: after each pass, the workpiece should be rotated about 90° about the longitudinal axis;
- c) route C: after each pass, the workpiece must be rotated about 180° about the longitudinal axis.

The difference in these routes lies in the direction of the shift in the repeated passes of the workpiece through the intersecting channels. Route B is most common, because allows you to get the most homogeneous ultrafine-grained structure in the blanks. As the main drawbacks of this method, it should be noted multiple repetition of the punching operation and contamination of the material due to the presence of lubricant in the tooling channel.

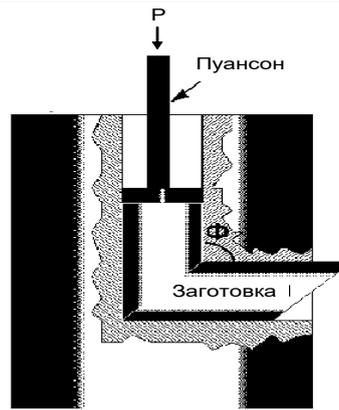


Fig.6. IPD by applying the CGS-pressing method

Torsional strain at high pressure

It was first realized with the help of installations. At the heart of their design is the idea of the Bridgman anvil. The sample placed between the strikers under the applied pressure (several gigapascals) is compressed (Figure 7) and when the lower striker rotates, the surface friction force causes the specimen to deform by shearing. Basically, the material is deformed under hydrostatic compression, when the applied pressure and pressure are applied from the outer layers of the sample due to the special geometric shape of the samples. As a result, despite large degrees of deformation, the sample does not break down.

Samples obtained by this method of IPD are usually obtained in the form of discs with dimensions: diameter - 10-20 mm and thickness - 0.2-0.5 mm. The structure will be crushed after a deformation by half a turn, but several rotational speeds are needed to form the ultrafine-grained states structure. The HPC method makes it possible to obtain in a titanium and titanium alloys a ultrafine-grained states structure whose average grain size is (0.1-0.5) μm . The disadvantages of this method are the heterogeneity of the ultrafine-grained states structure with respect to the diameter of the sample and the small volume of material in which it can be obtained.

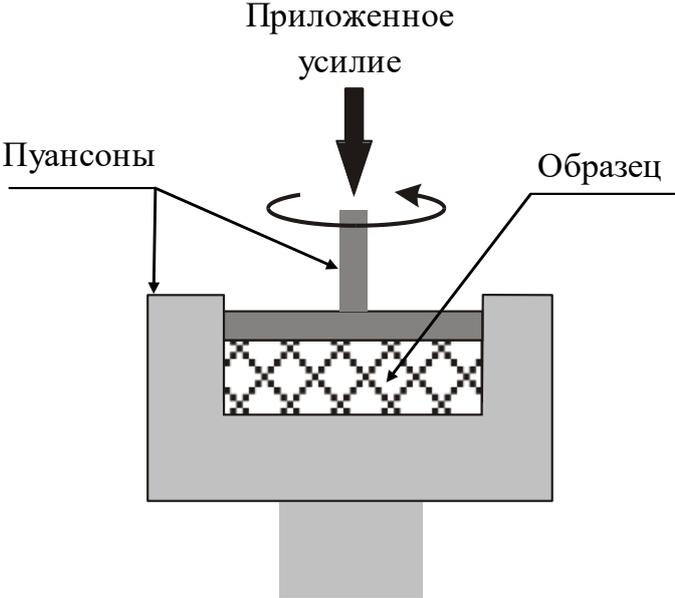


Fig. 7. IPD, carried out by the HPC method