

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 03.04.02 Физика
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ РЕЗКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ТИТАНОВОГО СПЛАВА ТС4

УДК 669.295.5:621.9.014.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ01	Уразова Кристина Дмитриевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Лаптев Роман Сергеевич	К.Т.Н.,		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федорчук Юрий Митрофанович	Д.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2022 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий.
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла.
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели.
УК(У) -4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия.
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия.
УК(У)-6	Способен определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки.
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-3	Способностью к активной социальной мобильности, организации научно-исследовательских и инновационных работ;
ОПК(У)-4	Способностью адаптироваться к изменению научного профиля своей профессиональной деятельности, социокультурных и социальных условий деятельности;
ОПК(У)-5	Способностью использовать свободное владение профессионально-профилированными знаниями в области компьютерных технологий для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами направленности (профиля) подготовки;
ОПК(У)-6	Способностью использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе;

ОПК(У)-7	Способностью демонстрировать знания в области философских вопросов естествознания, истории и методологии физики.
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-2	Способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.
ПК(У) -3	Способностью принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности.
ПК(У)-6	Способностью методически грамотно строить планы лекционных и практических занятий по разделам учебных дисциплин и публично излагать теоретические и практические разделы учебных дисциплин в соответствии с утвержденными учебно-методическими пособиями при реализации программ бакалавриата в области физики.
ПК(У)-7	Способностью руководить научно-исследовательской деятельностью в области физики обучающихся по программам бакалавриата.
ДПК(У)-1	Способностью планировать и проводить фундаментальные исследования в проектах в области ядерно-физических исследований, взаимодействия излучения с веществом, а также модернизация современных и создание методов изучения механических, электрических, магнитных, тепловых свойств твердых тел и критически оценивать полученные результаты.
ДПК(У)-2	Способностью обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в профессиональной деятельности, осуществлять презентацию научной деятельности.

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 03.04.02 Физика
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Лидер А.М.
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ01	Уразова Кристина Дмитриевна

Тема работы:

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ РЕЗКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ТИТАНОВОГО СПЛАВА ТС4	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <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>	<p><i>Объекта исследования – титановый сплав ТС4 (Ti-6Al-4V) Испытания на сухое однофазное резание – станок СА6140А</i></p> <p><i>Варьируемые параметры: глубина резки, скорость резки, скорость подачи заготовки</i></p> <p><i>Метод исследования структуры после испытаний на резание – методы позитронной аннигиляции (спектрометрия времени жизни позитронов, система совпадений доплеровского уширения аннигиляционной линии и поверхностное исследование с применением пусков позитронов переменной энергии.</i></p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Задачи:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Обзор литературы – Проведение измерений в объёме титанового сплава ТС4 после высокоскоростной резки методами спектromетрии времени жизни позитронов и совпадений доплеровского уширения аннигиляционной линии. – Проведение измерений в приповерхностной области титанового сплава ТС4 после высокоскоростной резки с применением пучков позитронов переменной энергии. – Анализ влияния параметров высокоскоростной резки на дефектную структуру титанового сплава ТС4. – Социальная ответственность; – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение; – Заключение.
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Рисунок 1. Станок СА6140А для испытаний однофазного сухого резания,</p> <p>Рисунок 2. Цифровой спектрометрический комплекса позитронной спектроскопии.</p> <p>Рисунок 3. Накопитель позитронов низкой энергии LEPTA,</p> <p>Рисунок 4. Зависимости значений: (а) среднего времени жизни позитронов (б) S, W – параметров для образцов титанового сплава Ti-6Al-4V от скорости резки.</p> <p>Рисунок 5. Зависимости значений: (а) среднего времени жизни позитронов (б) S, W – параметров для образцов титанового сплава Ti-6Al-4V от скорости подачи.</p> <p>Рисунок 6. Зависимости значений: (а) среднего времени жизни позитронов (б) S, W – параметров для образцов титанового сплава Ti-6Al-4V от глубины резки.</p> <p>Рисунок 7. Зависимость $S=f(E)$ для образцов титанового сплава Ti-6Al-4V от скорости резки.</p> <p>Рисунок 8. Зависимость $S=f(E)$ для образцов титанового сплава Ti-6Al-4V от скорости подачи.</p> <p>Рисунок 9. Зависимость $S=f(E)$ для образцов титанового сплава Ti-6Al-4V от глубины резки.</p> <p>Рисунок 10. Относительные кривые СДУАЛ к Si для образцов титанового сплава Ti-6Al-4V при различных параметрах высокоскоростной резки, а также для основных составляющих сплава Ti, Al, V, Fe, C.</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Федорчук Юрий Митрофанович , Профессор ООД ШБИП
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна, Доцент ОСГН ШБИП
Иностранный язык	<u>Лахотюк Любовь Андреевна</u> , старший преподаватель ИЯСГТ ТПУ
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Раздел 3.2. Физические основы и экспериментальные методы позитронной аннигиляционной спектроскопии	

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ01	Уразова Кристина Дмитриевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ01	Уразова Кристина Дмитриевна

Школа	ИШПР	Отделение	Отделение Экспериментальной Физики
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	03.04.02 Физика конденсированного состояния

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
Исследование внутренней структуры сплава Ti-6Al-4V после испытаний на однофазное сухое резание методами позитронной аннигиляции	Работа с научной литературой, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив разработки проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Планирование и формирование бюджета разработки	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение бюджета научного исследования
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности разработки	Проведение оценки экономической эффективности, ресурсоэффективности и

	<i>сравнительной эффективности различных вариантов исполнения</i>
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
<p>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</p> <p>2. Матрица SWOT</p> <p>3. График проведения и бюджет проекта</p> <p>4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности разработки</p>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	31.01.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		31.01.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ01	Урзова Кристина Дмитриевна		31.01.2021

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
ОБМ01	Уразова Кристина Дмитриевна

ШКОЛА	ишнкб	Отделение школы (НОЦ)	
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Физика

Тема дипломной работы: «Исследование влияние параметров высокоскоростной резки на структуру и свойства титанового сплава ТС4»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Введение

- Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.
- Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации

Объект исследования титановый сплав Ti-6Al-4V

Область применения изделия из сплава Ti-6Al-4V

Рабочая зона: лаборатория

Размеры помещения (климатическая зона) 38 м²*

Количество и наименование оборудования рабочей зоны 2 спектрометра, 2 стола, 2 стула, 2 баллона с жидким азотом, Ti⁴⁴

Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне набор спектров времени жизни позитронов и спектров доплеровского уширения аннигиляционной линии.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов</p> <ul style="list-style-type: none"> • Природа воздействия • Действие на организм человека • Нормы воздействия и нормативные документы (для вредных факторов) • СИЗ коллективные и индивидуальные <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Термические источники опасности • Электроопасность • Пожароопасности 	<p>1. Вредные факторы:</p> <p>1.1 Недостаточная освещенность;</p> <p>1.2 Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры;</p> <p>1.3 Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ;</p> <p>1.4 Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ;</p> <p>1.5 УФИ, СКЗ, СИЗ;</p> <p>1.6. ИК излучение, СКЗ, СИЗ;</p> <p>1.7. Наличие токсикантов, ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ;</p> <p>1.8. Ионизирующее излучение, ПДД, критические органы, СКЗ, СИЗ;</p> <p>2. Опасные факторы:</p> <p>2.1 Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R_{заземления}, СКЗ, СИЗ; Проведен расчет освещения рабочего места; представлен рисунок размещения светильников на потолке с размерами в системе СИ;</p>
---	--

	<p>2.2 Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации.</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Выбросы в окружающую среду • Решения по обеспечению экологической безопасности 	<p>Наличие промышленных отходов (бумага-черновики, вторцвет- и чермет, пластмасса, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника) и способы их утилизации;</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> • перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; • разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; • разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Рассмотрены 2 ситуации ЧС: 1) природная – сильные морозы зимой, (аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте); 2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.</p>
<p>4. Перечень нормативно-технической документации.</p>	<p>– ГОСТы, СанПиНы, СНИПы</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		25.05.22 Г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ01	Уразова К. Д.		25.05.22 Г.

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий

Уровень образования Магистратура

Направление подготовки – Физика конденсированного состояния

Отделение школы (НОЦ) – Отделение экспериментальной физики

Период выполнения _____

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.09.2021	Аналитический обзор литературы	15
10.12.2022	Проведение измерений в объёме титанового сплава ТС4 после высокоскоростной резки методами спектроскопии времени жизни позитронов и совпадений доплеровского уширения аннигиляционной линии.	15
14.02.2022	Проведение измерений в приповерхностной области титанового сплава ТС4 после высокоскоростной резки с применением пучков позитронов переменной энергии.	15
14.04.2022	Анализ результатов	20
14.05.2022	Социальная ответственность	13
25.05.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	12
01.06.2022	Раздел ВКР на английском языке	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Лаптев Роман Сергеевич	К.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

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

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертационная работа 131 с., 32 рисунков, 29 таблиц, 108 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: позитронная аннигиляция, спектрометрия времени жизни позитронов, спектрометрия совпадений доплеровского уширения аннигиляционной линии, высокоскоростная однофазная резка, Ti-6Al-4V, вакансии, дислокации, пучок позитронов переменной энергии, титановый сплав

Объектом исследования являются образцы титанового сплава Ti-6Al-4V, подвергнутые испытанию на однофазное высокоскоростное сухое резание. Варьируемые параметры резки: глубина резки (0,1-0,7 мм), скорость резки (110-630 м/мин), скорость подачи (0,1 – 0,71мм/об).

Целью работы является исследование влияние параметров высокоскоростной резки на структуру и свойства титанового сплава ТС4. В качестве контролирующего метода внутренней структуры образцов в данной работе был применен спектрометрический комплекс, комбинирующий спектрометрию времени жизни позитронов и спектрометрию доплеровского уширения аннигиляционной линии.

В рамках настоящей работы проведено исследование влияния параметров высокоскоростной резки на дефектное состояние титанового сплава Ti-6Al-4V методами позитронной аннигиляции. Показано, что импульсное распределение аннигиляции позитронов изменяется при варьировании параметров высокоскоростной резки за счет формирования оксидов различной структуры и стехиометрии на поверхности и накопления термических и деформационных дефектов. При этом изменение глубины резки практически не оказывает влияние на данные процессы, в то время как варьирование скорости подачи и резки позволяют минимизировать их негативное влияние. Наиболее полные данные о структурных дефектах в объеме (до 250 мкм) сплава Ti-6Al-4V были получены

при одновременном применении спектрометрии временного распределения аннигиляции позитронов и совпадений доплеровского уширения аннигиляционной линии. Установлено, что при высокоскоростной резки в объеме титанового сплава Ti-6Al-4V происходит интенсивное накопление дислокаций и вакансионных комплексов (тетравакансии). При этом параметры высокоскоростной резки оказывают влияние на химическое окружение данных дефектов, наиболее заметный вклад оказывают атомы ванадия

Результаты исследований могут быть использованы для подбора параметров резки для достижения требуемого распределения и концентрации дефектов.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	21
Глава 1. Теоретическая часть	24
1.1. Способы механической обработки титановых изделий	24
1.1.1. Проблема образования белого слоя при механической обработке титановых изделий.....	24
1.1.2. Особенности структурно-фазовых превращений при механической обработки изделий из сплава Ti-6Al-4V	26
1.1.3. Высокоскоростная однофазная резка.....	28
1.2. Физические основы и экспериментальные методы позитронной аннигиляционной спектроскопии.....	30
1.2.1. Модель захвата позитронов дефектами	30
1.2.2. Анализ дефектов с применением пучков позитронов переменной энергии.	37
Выводы по главе 1.....	39
Глава 2. Материалы и методы.....	41
2.1. Титановый сплав Ti-6Al-4V и механическая обработка однофазной сухой резкой	41
2.2. Накопитель позитронов низкой энергии LEPTA	45
2.3. Цифровой спектрометрический комплекса позитронной спектроскопии.	47
2.3.1. Модуль спектрометрии временного распределения.	49
2.3.2. Модуль спектрометрии совпадений доплеровского уширения аннигиляционной линии.	51
Выводы по главе 2.....	53

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективности и ресурсосбережение	55
4.1 Предпроектный анализ	56
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	56
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	56
4.1.3 SWOT-анализ	59
4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации	62
4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	64
4.2 Инициация проекта	65
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом	67
4.3.1 Иерархическая структура работ проекта.....	67
4.3.2 План проект	68
4.4 Бюджет научного исследования.....	72
4.5. Операционные затраты.....	80
4.5.1 Организационная структура проекта.....	80
4.5.2 План управления коммуникациями проекта.....	81
4.5.3 Реестр рисков проекта	81
4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	82
4.6.1 Оценка абсолютной эффективности исследования	82
4.6.2 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	88
Глава 5. Социальная ответственность.....	92
1.1. Производственная безопасность	93
1.1.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении.....	93

1.1.2. Превышение уровней шума.....	94
1.1.3. Повышенный уровень электромагнитных излучений	95
1.1.4. Поражение электрическим током	96
1.2. Экологическая безопасность.....	103
1.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	104
Заключение	106
Список литературы	108
Приложение А	117

ВВЕДЕНИЕ

Интерес к исследованию титанового сплава Ti-6Al-4V (TC4) заключается в том, что данный сплав применяется во многих отраслях промышленности: аэрокосмической [1], медицинской [2], автомобиле и судостроении [3]. Такой широкий диапазон применения данный сплав приобрел благодаря своим высокими прочностными характеристиками и стойкостью к коррозии [4 – 5].

Проблемы применения титанового сплава TC4 связаны с трудностями его механической обработки [6]. Любая механическая обработка приводит к нагреву поверхности заготовки, нагрев способен вызвать фазовые переходы в приповерхностных слоях [7]. При многих типах механической обработки (в том числе высокоскоростной сухой резке) в процессе обработки заготовки летит стружка, которая прилипает на обрабатываемый сплав. Помимо этого, любая механическая обработка приводит к пластическим деформациям и скоплению дефектов в области деформации [8]. В совокупности данные факторы приводят к тому, что физико-механические свойства поверхности и матрицы заготовки существенно отличаются. Как правило, твердость поверхности заготовки значительно больше. Это приводит к тому, что режущий инструменты изнашивается быстрее и замедляется скорость обработки заготовки.

Для исследования дефектов, образующихся в структуре титанового сплава в процессе механической обработки, применимы методы позитронной аннигиляционной спектроскопии. Они позволяют одновременно исследовать временное и импульсное распределение аннигиляции позитронов в материале, тем самым получая наиболее полные данные о его дефектной структуре. Подобный спектрометрический комплекс создан и апробирован на кафедре “Экспериментальной физики” Инженерной школы ядерных технологий Томского политехнического университета под руководством профессора Лидера А.М. [9]. Послойный анализ с применением пучков позитронов переменной энергии существенным образом дополняет данные о

дефектной структуре за счет анализа поверхностных слоев (~ 1,5 мкм) и может быть реализован в объединённом институте ядерных исследований в городе Дубна Россия на установке LEPTA [10 – 12].

На основании выше изложенного, целью настоящей работы является исследование влияния параметров высокоскоростной сухой резки на структуру и свойства титанового сплава Ti-6Al-4V. Для достижения поставленной цели в рамках настоящей работы были выполнены следующие задачи:

1. Проведение измерений в объёме титанового сплава TC4 после высокоскоростной резки методами спектрометрии времени жизни позитронов и совпадений доплеровского уширения аннигиляционной линии.
2. Проведение измерений в приповерхностной области титанового сплава TC4 после высокоскоростной резки с применением пучков позитронов переменной энергии.
3. Анализ влияния параметров высокоскоростной резки на дефектную структуру титанового сплава TC4.

ПОЛОЖЕНИЕ, ВЫНОСИМОЕ НА ЗАЩИТУ

1. Механическая обработка однофазным сухим резанием титанового сплава ТС4 приводит к образованию дефектов вакансионного типа и дислокаций в объеме сплава, при этом их концентрация достаточна для обнаружения их методами позитронной аннигиляционной спектроскопии.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Способы механической обработки титановых изделий

Механическая обработка титановых изделий в настоящее время проводится на фрезеровочных, токарных станках, а также путем резания, сверления, протягивания и шлифования [13]. При любой высокоскоростной механической обработке происходит столкновение титановой заготовки и инструмента, при этом происходят следующие процессы: нагрев поверхности заготовки, пластическая деформация, образование белого слоя на поверхности, прилипание титановой стружки и стружки от инструмента, разрушение режущего инструмента. Известно, что микроструктура влияет на обрабатываемость деталей, таким образом, титановые сплавы, имеющие грубую пластинчатую структуру, хуже обрабатываются резанием, чем сплавы с тонкопластинчатой или глобулярной структурами [14-17].

1.1.1. Проблема образования белого слоя при механической обработке титановых изделий

Как было указано выше, обработка титановых сплавов на сегодняшний день имеет несколько трудностей. Одной из них является образование белого слоя на поверхности обрабатываемых титановых изделий. Данный слой образуется в результате термомеханического эффекта, вызванного высокоскоростным взаимодействием инструмента и кромки обрабатываемой заготовки [18]. В настоящее время продолжают исследования механизма образования белого слоя. В работе [19] образование данного слоя объясняется тем, что при высокотемпературном взаимодействии инструмента с поверхностью заготовки, поверхность нагревается достаточно сильно для того, чтобы в ней осуществился А-С аустенитный переход. По причине отслаивания стружки с поверхности заготовки происходит резкое охлаждение и последующий резкий нагрев. В следствии данных процессов происходит закалка

приповерхностного слоя. С точки зрения микроструктурных переходов в данном случае происходит превращение аустенитной фазы в мелкозернистый мартенсит. Таким образом, Чоу считает, что белый слой является совокупностью мелкозернистых субзерен фазы мартенсита и рекристаллизованных зерен.

Другие исследования демонстрируют, что белый слой образуется в результате измельчения зерен при сильной пластической деформации [20]. По мнению авторов работы, [21] совокупность двух факторов: воздействие высокой температуры и пластической деформации приводит к образованию рассматриваемого слоя. Рассмотрение структурных дефектов в работе [22] показало, что пластическая деформация приводит к образованию большого числа дислокаций в приповерхностных слоях заготовки. При этом, при достижении температуры рекристаллизации зерна, претерпевшие деформацию, формируются в новые зерна в зоне ядер субкристалла или же в зоне примесных фаз. Данная перестройка приводит к образованию еще большего количества дислокаций и как следствие образуется визуально отличимый от матрицы белый слой.

Таким образом, на сегодняшний день можно выделить несколько подходов к объяснению образования белого слоя:

1. Совокупность термического фактора и пластической деформации
2. Термическое воздействие, вызывающее фазовый переход в приповерхностной зоне обрабатываемой заготовки
3. Динамическая рекристаллизация
4. Пластическая деформации, вызывающая измельчение зерен

На рисунке 1 продемонстрирован белый слой на поверхности стали.

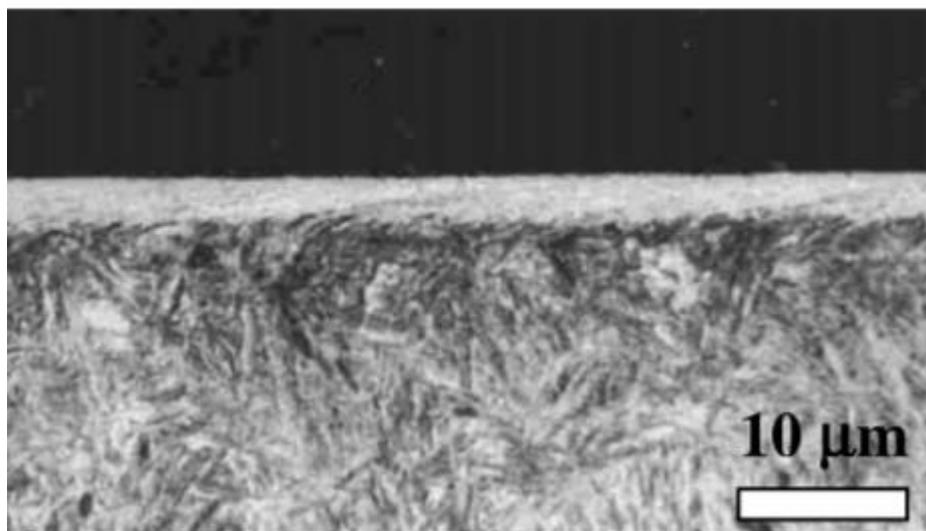


Рисунок 1. Микрофотография в отраженном свете белого слоя в разрезе и протравленной поверхности стали BS 817M40 с твердостью 52 HRC [22].

Толщина деформированного слоя, как правило, составляет от 10 до 50 мкм. Структура и механические свойства белого слоя и матрицы существенно отличаются. Так твердость белого слоя может варьироваться от 800 до 1200 HV [23], что существенно превышает твердость титановой матрицы. Структура данного слоя является ультрамелкозернистой. Образование данного слоя затрудняет дальнейшую обработку детали, а за счет высокой твердости приводит к более быстрому износу режущего инструмента. Помимо этого, дегенерирующий слой может со временем отслоиться с образованием трещины. Трещина может привести к усталостному разрушению основы заготовки [23].

1.1.2. Особенности структурно-фазовых превращений при механической обработке изделий из сплава Ti-6Al-4V

Чувствительность структурно-фазовых превращений к наличию примесей в титановых сплавах изучалась еще в 90х годах [24]. Примеси оказывают влияние на величину энергетического барьера фазовых превращений, а также влияют на относительную стабильность разных фаз. Известно, что влияние междоузельных примесей зависит от их размеров, а заместительные примеси влияют на фазовые превращения посредством изменения концентрации d-

электронов. Наиболее важные примеси, в отношении фазовых переходов, в сплаве Ti-6Al-4V является Al. Легирование титана алюминием в два раза увеличивает величину энергетического барьера в переходе $\alpha \rightarrow \omega$. При данном легировании фаза α подавляет фазу ω [25].

На сегодняшний день известно, что применение в аэрокосмической промышленности чистого титана не является целесообразным по причине того, что при рабочих давлениях порядка 2-9 ГПа происходит мартенситное превращение данного материала [26 – 27]. В тоже время титановые сплавы Ti - A-70 и Ti-6Al-4V не испытывают фазовых переходов в плоть до 35 ГПа [28].

Для предсказания фазового поведения сплава используется моделирование, в основном, применяется методика *ab initio* с использованием VASP [29 - 40]. Данная методика учитывает функционал плотности, потенциалы Вандербиля [31 – 32] и обобщенное градиентное приближение Пердью и Ванга [33]. Результат работы [34] показал, что примесь V в титане снижает энергию ω фазы, однако примесь Al в большей степени повышает энергию той же фазы посредством уменьшения концентрации d-электронов матрицы. Так как, концентрация алюминия в рассматриваемом сплаве больше, чем ванадия происходит подавление фазового перехода $\alpha \rightarrow \omega$.

Помимо влияния концентрации легирующих элементов и их типов, а также макропараметров системы (давление и температура) на фазовые-превращения оказывает влияние пластической деформации [35]. Указанная работа показала влияние высокотемпературной деформации на формирование фаз в низколегированных сталях. Было выявлено, что при деформациях со степенью 50% и при температуре порядка 700⁰C происходит измельчение зерен и последующее разделение аустенитных и ферритных зерен малоугловыми дислокационными границами. Таким образом, формируется феррито-перлитная структура со средним размером зерна 11 баллов. Значение микротвердости при такой обработке составила 260 HV. При повышении температуры до 850 ⁰C происходит не только измельчение зерен, но и рекристаллизация. Это приводит

к формированию двух фаз: феррит и перлит и значение твердости при это составило 60 HV. Дальнейшее повышение температуры не привело к повышению значения твердости.

В сплаве Ti-Al соединение титана и алюминия осуществляется тремя химическими соединениями: TiAl, Ti₃Al и TiAl₃. Данные соединения образуются в результате перетектической реакции при температурах 1460 и 1340 °C соответственно. Соединение Ti₃Al имеет гексагональную решетку, TiAl соответствует тетрагональная решетка. TiAl₃ имеет пространственно-центрированную тетрагональную решетку. Образование фазы Ti₃Al происходит по реакции $\beta + \gamma \rightarrow \alpha_2$. При следующих параметрах деформации: 1000-1100 °C и при скорости деформации от 0,001 с⁻¹ до 0,1 с⁻¹ сплав демонстрировал динамическую рекристаллизацию с формированием мелкозернистой микроструктуры. При температуре 1150 °C и скорости деформации 0,001 с⁻¹ сплав обладает сверхпластичностью [36].

1.1.3. Высокоскоростная однофазная резка

Сила резания описывается двумя составляющими: динамической и стационарной. Стационарная приблизительно равна среднему значению силы резания за некоторый интервал времени. Динамическая составляющая описывается синусоидальной функцией [37]. Аналитическая модель резания показана на рисунке 2. Динамическая составляющая силы резания изменяется очень незначительно по сравнению со стабильной составляющей силы резания, поэтому в рамках данной работы принимается за постоянную величину и не учитывается при дальнейшем анализе. Ниже представлена Аналитическая модель резания.

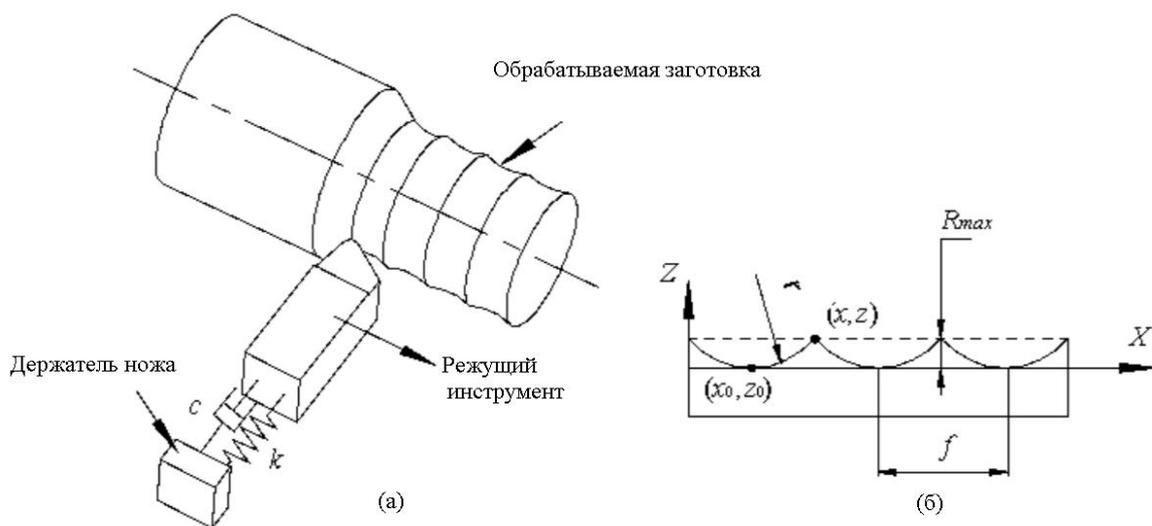


Рисунок 2. Аналитическая модель резания [37].

При данном типе обработки, а именно высокоскоростном резании, на поверхности заготовки возникает зубчатая стружка. По модели Греда [38] при данном механическом воздействии при достижении и преодолении энергетического барьера системы в образовании первой пластической деформации в приповерхностных слоях образуются адиабатические сдвиги (полосы деформации). В макромасштабе данные деформационные полосы представляют собой зубчатую стружку. На рисунке 3 схематично продемонстрированы адиабатические сдвиги.



Рисунок 3. Одномерная модель образования зубчатой стружки [37].

Образующаяся зубчатая стружка влияет на параметры дальнейшей механической обработки заготовок, изменяет вибрационные параметры, колебания силы резания и приводит к более быстрому износу режущего инструмента. В свою очередь образование зубчатой стружки зависит от режимов резания. В работе [39] было выявлено, что чем выше скорость подачи, тем вероятнее образование зубчатой стружки и тем больше степень зубчатости.

1.2. Физические основы и экспериментальные методы позитронной аннигиляционной спектроскопии.

1.2.1. Модель захвата позитронов дефектами

Взаимодействие позитронов с металлами было изучено в прошлом столетии [40], на сегодняшний день известно, что данное взаимодействие описывается несколькими процессами: обратное рассеяние, каналирование, термализация и диффузия. В рамках данной работы достаточным является рассмотрение процессов термализации и диффузии.

Так как позитроны из источников испускаются с кинетической энергией, превышающей тепловую энергию кристаллической решетки металла, проникая в материал происходит нарушение теплового равновесия системы. После относительно короткого времени 10^{-12} с [41 – 42] система приходит в тепловое равновесие - кинетическая энергия позитронов сравнима с энергией кристаллической решетки материала, процесс называется термализацией. При больших значениях начальной кинетической энергии (порядка КэВ) позитронов потеря энергии этих частиц обуславливается ионизацией атомных ядер [43]. Снижая начальную энергию, но продолжая двигаться позитроны возбуждают электроны проводимости в случае металлических материалов. При энергиях порядка эВ позитроны теряют оставшуюся энергию на рассеянии фононов [44]. Процесс термализации иногда описывается теоремой релаксации Больцмана [45].

Существует понятие неполной термализации, при такой термализации позитрон может выйти на поверхность материала. Неполная термализация происходит в случаях облучения материала низкоэнергетическими пучками позитронов [46]. В настоящей работе данный процесс не рассматривается подробно в силу того, что начальная энергия позитронов достаточно высока (порядка КэВ) и неполная термализация не происходит. Профиль глубины проникновения позитронов с кинетической энергией 1- 25 КэВ моделируется методом Монте-Карло [47] и в упрощенной математической форме может быть записан как:

$$P(z) = \exp(-z\alpha), \alpha[\text{см}^{-1}] = 17 * \frac{\rho[\text{грамм}\cdot\text{см}^{-3}]}{E_{max}^{1,43}[\text{МэВ}]} \quad (1)$$

Где α - коэффициент поглощения позитронов, ρ - массовая плотность материала.

Данная формула используется для расчетов минимальной толщины образца. Минимальная толщина образца означает, что при меньших толщинах исследуемого образца набор спектров будет затруднен сигналами, исходящими из прошедших насквозь позитронов. Допустимой является толщина z при которой $P(z) \approx 0,999$. Стоит отметить, что данная формула не используется при исследованиях свойств приповерхностных слоев твердых материалов.

После процесса термализации позитроны продолжают двигаться по объему материала посредством диффузии. Направление диффузии может быть и к поверхности материала. Известно, что в случае термализации и последующей диффузии электроны способны покинуть объем материала. Длина диффузии в металлах составляет приблизительно $6 \cdot 10^{-6}$ см. Из этого следует, что электроны термализованные в толщине 10^{-6} см способны покинуть материал. В 1950 году был проведен эксперимент по наблюдению термализованных позитронов на поверхности металлов [48]. В данном исследовании позитроны,

покинувшие поверхность металлов и жидкостей, не были зафиксированы. Было выдвинуто несколько объяснений, которые годами позже были подтверждены экспериментально. Во-первых, позитроны задерживаются в области избыточного отрицательного потенциала и аннигилируют в объеме не успевая переместиться к поверхности. Во-вторых, позитрон добирается до поверхности, но удерживается ею [49]. Уравнение длины диффузии для бездефектного материала имеет следующий вид:

$$L_+ = \sqrt{\tau_b D_+}, \quad D_+ = \tau_r \frac{k_B T}{m^*} \quad (2)$$

τ_r - время релаксации для преобладающего механизма рассеяния, τ_b - время жизни позитронов в бездефектном материале, D_+ - коэффициент диффузии позитронов (знак +), m^* - эффективная масса 1,3 - 1,7 m_0 , k_B - коэффициент Больцмана.

Эффективная масса позитрона учитывает влияние таких процессов как: рассеяние позитронов на фононах, экранирование электронами и влияние периодического потенциала кристаллической решетки [50].

Данные формулы применимы только в случае теоретических расчетов характеристик диффузии бездефектных материалов. На характеристики диффузии оказывает влияние внутренних и внешних электронных полей [51]. Выявлено, что эффективная длина диффузии имеет прямую зависимость от величины напряженности поля, при этом направление диффузии зависит от знака приложенного напряжения [52]. На сегодняшний день известно, что при небольших скоростях захвата позитронов дефектами влияние диффузии существенно в различных расчетах: S , W - параметров аннигиляции, эффективной длины диффузии и концентрации дефектов.

Диффундируя в объеме реального материала позитрон может быть захвачен дефектной областью атомной структуры. Это происходит в процессе случайного блуждания, а также в силу того, что плотность электронов и

импульсное распределение электронов в дефектной области различно и как следствие у данной области способность захватывать позитроны отличается от идеальной решетки. В математической форме коэффициент захвата выражается:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_{dl}} + \frac{1}{k_{tl}} \quad (3)$$

Внутренняя структура реальных материалов имеет дефекты. Известно, что свободные носители захватываются дефектными областями атомной структуры и в полупроводниках захват происходит посредством радиационного и нерадиационного механизма [53]. Так как радиационные механизмы реализуются в интервале 10 с, а время существования позитронов в материале 10^{-2} с, данные частицы захватываются дефектами посредством нерадиационного механизма. В зависимости от типа дефекта захват позитронов дефектной областью описывается разными моделями. Захват позитронов таким типом дефекта как вакансии изучаются посредством золотого правила Ферми. В 1990 году были проведены соответствующие исследования [54]. В работе отмечено, что в металлах образуются только нейтральные вакансии, в полупроводниках образуются нейтральные и вакансии с зарядом. Выявлено, что скорость захвата нейтральными вакансиями не зависит от температуры. Для заряженных вакансий ситуация противоположная, наблюдается влияние Кулоновского хвоста, который вызывает образование ридберговских состояний (Энергия связи позитрона в ридберговских состояниях составляет около 10 мэВ). Данный процесс приводит к тому, что увеличивается общий коэффициент захвата позитронов для случая низких температур и отрицательно заряженных вакансий. В случае низких температур положительно заряженные вакансии отталкивают позитроны, и локализация позитрона в данной области становится маловероятной. Однако, на основании исследований [54 – 57] можно сказать, что в полупроводниках коэффициент захвата не всегда имеет зависимость от температуры. Так для Si сильно легированного Р температурной зависимости не было обнаружено [58], в данной работе это было объяснено процессом электрон-позитронного экранирования и оже - процессами. Захват позитронов на

отрицательно заряженных вакансиях в чистом кремнии и в области низких температур объясняется моделью каскадов. Схематическое представление взаимодействия позитрона с твердым телом показано на рисунке 4.

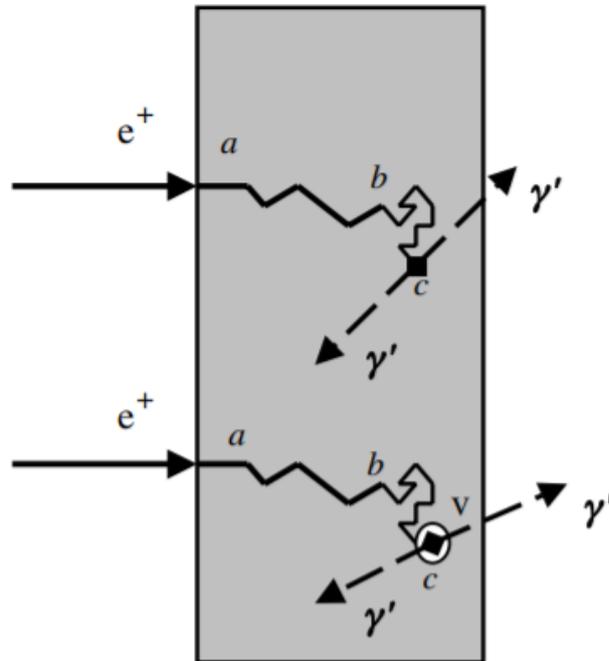


Рисунок 4. Схематическое представление взаимодействия позитрона с твердым телом. Верхний рисунок отображает: а. процесс имплантации, а-б - термализация, б-с - диффузия, с- аннигиляция в бездефектной области (нелокализованное состояние). Нижний рисунок отображает те же процессы, но аннигиляция в дефектной области (локализованное состояние) [58].

Захват позитронов происходит в два этапа: 1. позитроны попадают в ридберговские состояния; 2. Выход из этого состояния и попадание в зону вакансии. В первом состоянии позитроны задерживаются ненадолго, и оно аппроксимируется следующим уравнением:

$$k = \frac{k_R V_R}{V_R + \delta_R} \quad (4)$$

Где V_R – скорость позитронов, покидающих ридберговских состояний;

k_R – коэффициент захвата ридберговских состояний;

δ_R - коэффициент отрыва из данного состояния (возникает из-за воздействия температуры).

Ряд ридберга имеет сложный вид и для количественного описания способности захвата позитронов в 1990 была предложена двусоставная модель, которая сводит ряд ридберга к одному уравнению. Вид уравнения:

$$k = \frac{k_R V_R P_v}{V_R P_v + k_R \left(\frac{m^* k_B T}{2\pi \hbar^2}\right)^{3/2} \exp\left(\frac{-E_R}{k_B T}\right)} \quad (5)$$

Где V_R –

скорость позитронов, покидающих ридберговских состояний;

E_R – энергия связи позитрона с ридберговскими состояниями;

m^* - эффективная масса позитрона; P_v - плотность вакансий .

Степень температуры в данном уравнении переменная величина и зависит от многих факторов: заряд вакансии, взаимосвязь диффузии и температуры, и др. [59].

Существует понятие о неглубоких ловушках для позитронов. Позитроны в данных ловушках имеют небольшие энергии связи. В стандартных экспериментах по позитронной аннигиляции ловушки такого типа не регистрируются (не изменяется среднее значение жизни позитронов и параметр S). Методом регистрации таких дефектов являются эксперименты по обратной диффузии с использованием низкоэнергетических пучков позитронов. В рамках данной работы подробно не рассматриваются.

Распространенным дефектом атомной структуры, помимо вакансий, являются дислокации. В твердых телах данный тип дефекта появляется после пластических деформаций. Самый простой метод рассмотрения дислокаций - представление дислокации как ряд вакансий, расположенных в одну линию. В

данном рассмотрении дислокации являются открытым типом дефекта, как и вакансии. В расчетах коэффициента захвата используется следующая формула:

$$k_{dl} = \frac{4\pi D_+ p_{dis}}{\ln(\pi p_{dis} r_d^2)^{-1}} \quad (6)$$

Где p_{dis} - плотность дислокаций

В представлении захвата дислокациями в рамках ограниченного диффузионного процесса расчет коэффициента захвата дислокациями отличается от того же коэффициента для вакансий [60] соответствующей концентрацией и логарифмическим множителем, который отображает цилиндрическую форму дислокаций (в отличие от сферической формы вакансий). Во стандартных экспериментах по аннигиляции позитронов не учитывается процесс выхода позитронов из дислокационной ловушки и вероятность этого процесса принимается за ноль [61]. Для данного вида дефекта характерна энергия связи около 1 эВ. Захват дислокациями рассматривается как два этапа, подобно рассмотренной ситуации для отрицательной заряженной вакансии. Однако, природа образования предшествующего этапа захвата отлична и в соответствии с литературными данными [62] определяется выражением:

$$\frac{\delta}{k} = \frac{m^* k_B T}{2 p_{dis} h^2} \operatorname{erf}^{-1} \left(\sqrt{\frac{E_{dis}}{k_B T}} \right) \exp \left(\frac{-E_{dis}}{k_B T} \right) \quad (7)$$

Где E_{dis} - энергия связи позитрона с невозмущенной линией дислокации;

δ - скорость захвата позитронов.

Зачастую рассмотрение дислокации в полупроводниках и металлах не отличается [63 – 65]. Характерные параметры времен жизни позитронов (в вакансиях, дислокациях и бездефектной структуре) для простых материалов можно найти в работе [66].

1.2.2. Анализ дефектов с применением пучков позитронов переменной энергии.

Использование пучков позитронов различной энергии позволяет проводить послойный анализ дефектной структуры материалов [67]. Впервые исследования по дефектной структуре приповерхностных слоев было выполнено в 1986 году [68]. Основой такого метода является анализ профиля глубины имплантации позитронов и профиля распределения дефектов. Профиль глубины имплантации позитронов (и других частиц) моделируется по схеме Монте-Карло и осуществляется с помощью компьютерной программы TRIM [69]. Как правило, анализируются преимущественно S параметры. На сегодняшний день проведено много исследований с использованием пучков переменных энергий [70 – 72]. Перечисленные работы посвящены изучению дефектной структуры после имплантации или облучения частицами. Результат исследований демонстрируется в виде зависимости нормированного S параметра на величину S_{bulk} бездефектного образца от дозы имплантации, рисунок 5.

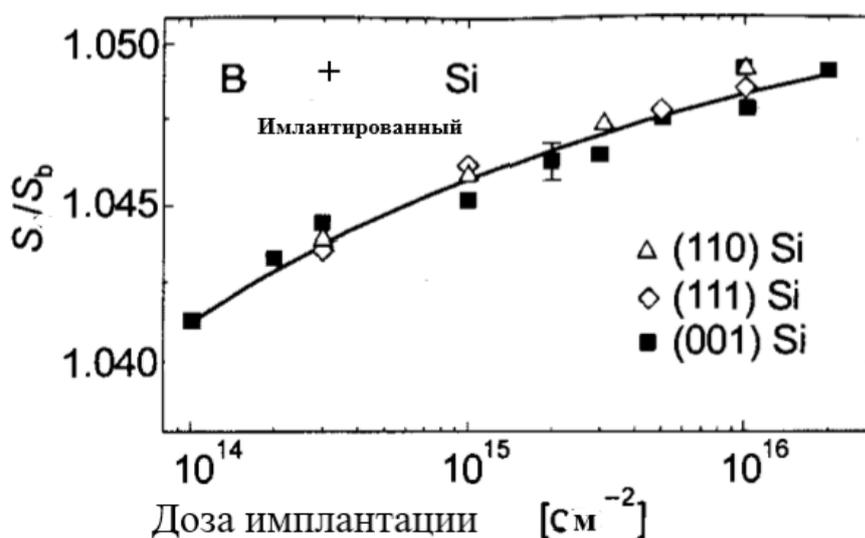


Рисунок 5. Пример результатов послойного исследования бора, имплантированного в кремний [73].

В указанной работе (рис. 1) проводилось исследование S параметров не только от глубины имплантации, но и от направления имплантации по

плоскостям кристалла кремния. Энергии имплантации: 50, 150 и 300 кэВ. Из приведенного графика видно, что нет зависимости параметра S от ориентации кристалла кремния. Это означает, что распределение дефектов, вызванных имплантацией бора, равномерно распределено во всех плоскостях. При повышении дозы имплантации увеличивается параметр S , что соответствует увеличению концентрации и размера дефектов вакансионного типа.

Помимо исследования вакансионных дефектов, по данной методике исследуются материалы после пластической деформации [74 – 75]. Спектр дефектов, образующихся после пластических деформаций намного сложнее, чем при имплантации. Это объясняется тем, что дефектами при пластических деформациях являются дислокации. Дислокации способны эволюционировать по более сложным механизмам, чем вакансии [76].

По данной методике изучаются процессы усталостного разрушения [77].

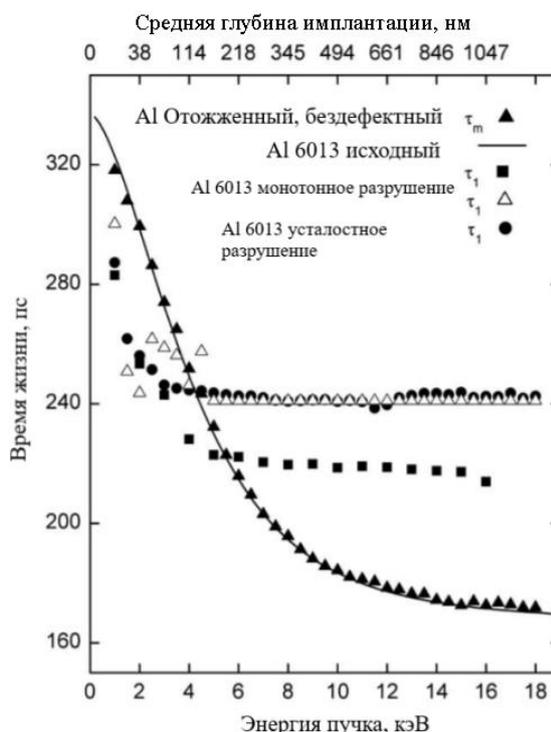


Рисунок 6. Пример результатов исследования усталостного разрушения Al методом позитронной аннигиляции с применением пучка позитронов переменной энергии [78].

Из приведенного графика видно, что имеется сходимость времени жизни к значению 240 пс, данное значение отображает аннигиляцию в области появившейся трещины при разрушении. Образец без изломов отображен сплошными квадратами, как видно значения времени жизни сходятся к значению 216 пс, что соответствует аннигиляции позитронов на электронах, соответствующих легирующему материалу - Mg. Помимо этого, по данному графику можно оценить диффузию. Так диффузия в чистом алюминии более ограничена, чем в сплаве. При детальном рассмотрении зависимости времени жизни от энергии пучка позитронов было выявлено, что в спектрах присутствует временная компонента со значениями 300 - 460 пс. Данная компонента имеет тенденцию к уменьшению значения при увеличении глубины имплантации и соответствует времени жизни позитронов в вакансионных кластерах. Указанная работа экспериментально подтвердила теоретическое предположение об образовании вакансионных кластеров при циклическом разрушении образцов [79].

Зачастую свойства приповерхностных слоев сильно отличаются от свойств материала в объеме. Различные механические обработки сплавов приводят не только к пластическим деформациям, но и к перегреву поверхности материала, в силу чего может измениться структура приповерхностных слоев. Образуется граница раздела - область концентрации дефектов. Данная методика отлично себя зарекомендовала для анализа подобных структур.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1.

На основании выше изложенного становится ясно, что титановый сплав Ti-6Al-4V обладает высокими прочностными характеристиками и соответственно применяется во многих отраслях промышленности. Однако, любая механическая обработка приводит к образованию белого слоя на поверхности заготовок из данного сплава. Изменение физико-механических свойств поверхности

заготовок приводит к быстрому износу режущего инструмента и замедлению процессов обработки деталей.

Анализ литературы показал, что механическая обработка приводит к образованию внутренних дефектов, их перераспределению. Одним из наиболее чувствительных методов к таким дефектам являются методы позитронной аннигиляции.

На основании представленной теоретической части была сформулирована цель настоящей работы: Исследование влияния параметров резки на структуру и свойства титанового сплава Ti-6Al-4V методами позитронной аннигиляции.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1. Титановый сплав Ti-6Al-4V и механическая обработка однофазной сухой резкой

В настоящей работе были изучены отожженные образцы титанового сплава TC4 (Ti-6Al-4V) подвергнутым различным режимам механической обработки резанием. Исходная заготовка для экспериментальных образцов представляет собой сплошной с длиной 300 мм и 90 мм в диаметре, рисунок 7. Данная заготовка была разделена на несколько сегментов. Каждому сегменту соответствовал определенный режим последующей механической обработки. Обработка была проведена на станке CA6140A, рисунок 7.

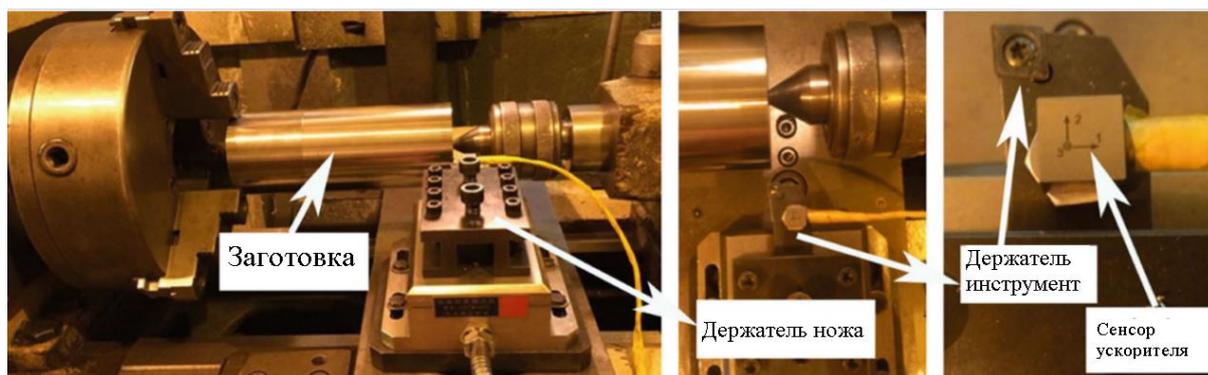


Рисунок 7. Станок CA6140A для испытаний однофазного сухого резания.

Химический состав заготовки представлен в таблице 1. Применяемые в данной работе режимы резки представлены в таблице 2.



Рисунок 8. Исходная заготовка ТС4 (Ti-6Al-4V).

После описанных операций образцы для исследования представляют собой пронумерованные прямоугольные пластины, рисунок 9.

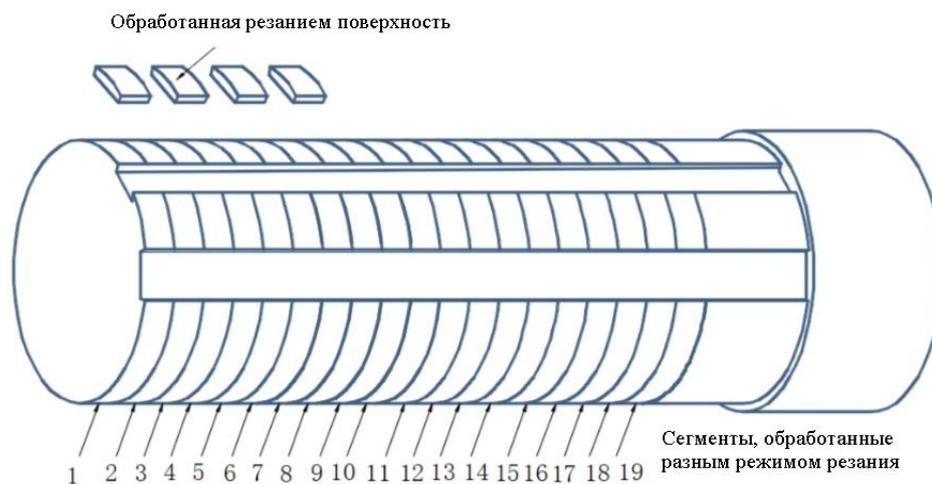


Рисунок 9. Изготовление образцов для исследований методом электроэрозионной обработки.

Таблица 1. Химический состав сплава Ti-6Al-4V.

материалы	Al(wt.%)	V(wt.%)	Fe(wt.%)	C(wt.%)	N(wt.%)	H(wt.%)	O(wt.%)
-----------	----------	---------	----------	---------	---------	---------	---------

TC4

5.5~6.8

3.5~4.5

0.3

0.08

0.05

0.015

0.20

Таблица 2. Серии образцов и параметры высокоскоростной резки.

Серия	Скорость резки, м/мин	Скорость подачи, мм/об	Глубина, мм
a1	355	0,2	0,1
a2			0,2
a3			0,3
a4			0,4
a5			0,5
a6			0,6
a7			0,7
v1	110		
v2	220		
v3	280		

v4	355	0,2	0,2
v5	450		
v6	560		
v7	630		
f1	355	0,1	0,2
f2		0,2	
f3		0,3	
f4		0,41	
f5		0,51	
f6		0,61	
f7		0,71	

Предварительная термическая обработка проводилась по следующему режиму: нагрев до 750°C, выдержка в течение 2 часов, скорость охлаждения 40°C/ч, температура отжига 200°C. Операции нагрева и охлаждения проводились в вакуумных печах, рисунок 10.



Рисунок 10. Вакуумные печи для термической обработки исследуемых образцов.

2.2. Накопитель позитронов низкой энергии LEPTA

Как было отмечено в ранних разделах механическая обработка приводит к образованию внутренних дефектов в области поверхности заготовки. Для послойного анализа импульсного распределения позитронов применялся спектрометрический комплекс с варьируемой энергией позитронов. Данный комплекс реализован с 2000 года в лаборатории ядерных проблем им. В. П. Желепова (г. Дубна Россия) [80]. Для варьирования энергии позитронов в диапазоне от 50 эВ и 35 кэВ используется позитронный инжектор, который генерирует непрерывный пучок медленных позитронов, и тороидальный позитронный ускоритель низкой энергии.

В качестве источника позитронов используется изотоп Na^{22} . Для замедления позитронов используется твердый неон. В совокупности данная установка позволяет достичь интенсивность пучка около 10^5 э⁺/с с широким энергетическим спектром. Спектр характеризуется энергетическим разрешением (FWHM) 3,4 эВ.

Настоящая установка позволяет имплантировать моноэнергетические позитроны с энергией от нескольких десятков электрон-вольт до нескольких десятков килоэлектрон – вольт в образец. При этом имеется возможность

контролировать и определять местоположение на заданной глубине до нескольких микрометров.

Схема инжектора представлена на рисунке 11.

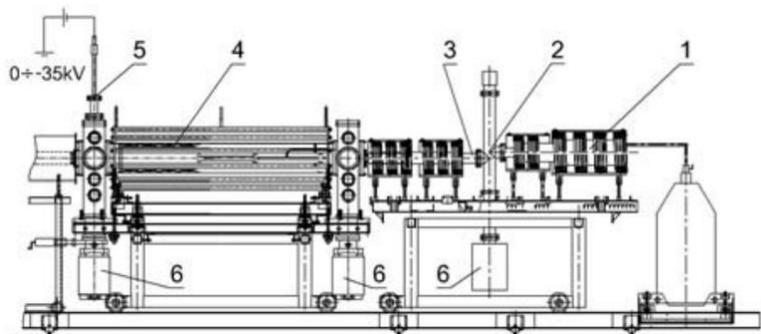


Рисунок 11. Схема позитронного инжектора на установке LEPTA [11].

Установка: 1 - источник позитронов ^{22}Na (+50 В); 2 - диафрагма; 3 - канал переноса; 4 - ловушка позитронов [81]; 5 - вставка мишени; 6 - вакуумные насосы.

Позитроны, испускаемые изотопом ^{22}Na с энергией до 0,545 МэВ, замедляются до нескольких электрон-вольт на замороженном неоне. Капсула с ^{22}Na расположена внутри медного цилиндра с прорезью в форме конуса перед активной поверхностью. Перед этой системой размещено кольцо с четырьмя соплами. Все защищено окружающими тепловыми экранами. Жидкий гелий охлаждает цилиндр с источником до температуры 7 К, в то время как температура вокруг него равна 30 К. Неоновый газ впрыскивается в конус и создает на поверхности твердый слой, выполняющий роль замедлителя. При стандартных исследованиях методами позитронной аннигиляции элемент 4 отключен.

На выходе из замедлителя как быстрые, так и медленные появляются позитроны. Далее они разделяются под действием комбинацией продольного магнитного поля и двух участков поперечного магнитного поля противоположного направления, расположенных один за другим. В результате

медленные позитроны имеют траекторию, подобную траектории лыжников слалом, когда они подходят к апертурной диафрагме. Только низкоэнергетические позитроны попадают в камеру для образцов. Камера с образцами находится на расстоянии около 2 м от источника, и позитроны направляются в продольном магнитном поле силой 100 Гаусс. Держатель с образцами подвешенный на вертикально движущемся стержне, находится под потенциалом, который может быть изменен в диапазоне от 0 до -35 кВ. Таким образом, позитроны могут быть ускорены до ожидаемых энергий. Ток позитронов, полученный в устройстве составляет около 10^5 э⁺/с.

В настоящем исследовании на данной установке были набраны спектры доплеровского уширения аннигиляционной линии.

2.3. Цифровой спектрометрический комплекса позитронной спектроскопии.

Для наборов спектров времени жизни позитронов и доплеровского уширения аннигиляционной линий в настоящей работе был применен цифровой спектрометрический комплекс с системой внешней синхронизации. Данный комплекс был собран и апробирован в 2017 на кафедре общей физики ТПУ в рамках диссертации Лидера А.М. по исследованию микроструктурных изменений в системах "металл-водород" [82].

Цифровой спектрометрический комплекс состоит из двух модулей: анализ временного распределения аннигиляции позитронов и доплеровское уширения аннигиляционной линии. Управление каждым модулем реализуется с помощью ПК по PCI магистрали, оцифрованные сигналы сохраняются и обрабатываются на внешнем хранилище данных. Сигналы обрабатываются после того как все спектры будут набраны и зафиксированы в памяти на внешнем носителе. Обработка сигналов происходит по следующему алгоритму (рисунок 12).

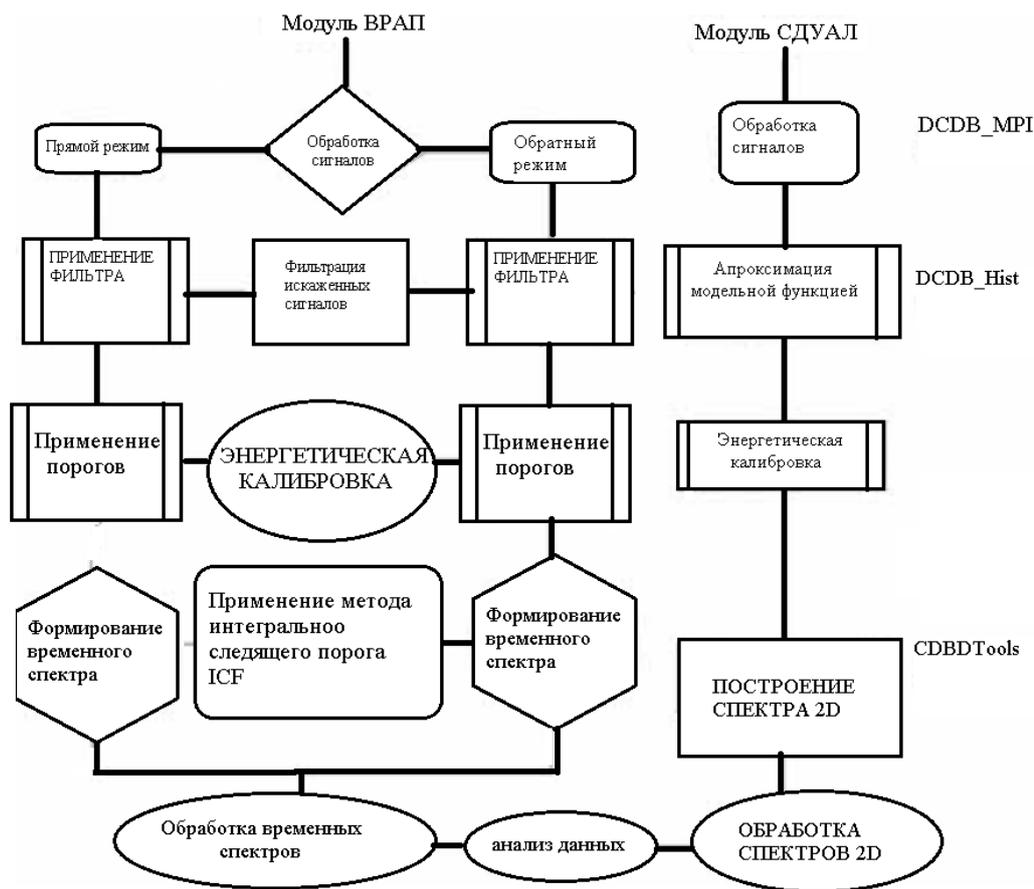


Рисунок 12. Алгоритм обработка сигналов с цифрового спектрометрического комплекса позитронной спектроскопии [82].

В отличие от аналоговых спектрометров, в цифровых системах отсутствует классификация детекторов по сигналам “Старт” и “Стоп”. Применяемое программное обеспечение позволяет проводить наборы спектров в 65-ти режимах: прямой (детектор 1 – «старт», детектор 2 – «стоп») и обратный (детектор 1 – «стоп», детектор 2 – «старт»).

В настоящей работе в качестве источника позитронов применяется изотопа ^{44}Ti с активностью 0,91 МБк [82]. Для уменьшения числа фоновых событий применяется система внешней синхронизации (ВС). К цепи подключается внешний контур, который реализует предварительный отбор сигналов и формирует управляющий импульс. Данный импульс направляется на вход триггера дигитайзера. Затем дигитайзер осуществляет последующую обработку только «нужных» сигналов.

Из представленной информации становится ясно, что применяемый цифровой комплекс позитронной спектроскопии сочетает цифровые модули и аналоговый модуль внешней синхронизации.

2.3.1. Модуль спектрометрии временного распределения.

Спектрометрия времени жизни позитронов (СВЖП) основывается на измерении промежутков рождения и аннигиляции позитрона. Так как зафиксировать позитрон является сложной задачей, в данной методике фиксируются гамма-кванты. Первый гамма-квант соответствует обусловленному рождению позитрона. На рисунке 14 представлена схема модуля спектрометрии по времени жизни позитронов с системой внешней синхронизации.

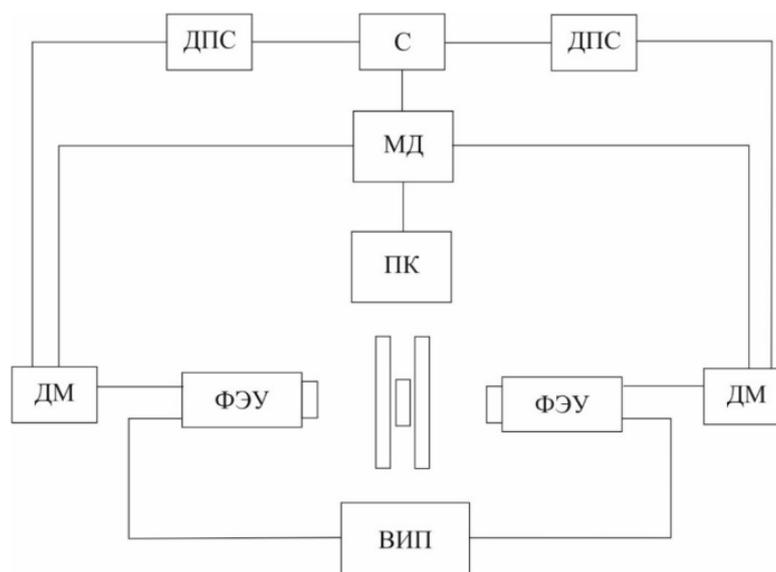


Рисунок 13. Структурная схема модуля спектрометрии по времени жизни позитронов с системой внешней синхронизации: ФЭУ – фотоэлектронные умножители, ВИП – высоковольтный источник питания, ДМ – делитель мощности, ДПС – дискриминатор постоянной составляющей, С – сумматор, МД – многоканальный дигитайзер, ПК – персональный компьютер [82].

Для реализации системы ВС для модуля спектрометрии по времени жизни позитронов применяются два пассивных делителя мощности, на основе

высокочастотного широкополосного (диапазон рабочих частот 5 - 500 МГц) трансформатора LPRS-2-1 и два быстрых интегральных дискриминатора постоянной составляющей модели Canberra 2126 (ДПС).

Сигналы с двух сцинтилляционных детекторов (СД) проходят операцию деления на делителе мощности (ДМ). После этого получается два сигнала, амплитуды, которых отличны друг от друга в $\sqrt{2}$ раз. Сигнал, которому соответствует большая амплитуда, отправляется прямо на дигитайзер. Затем в момент появления управляющего импульса на входе внешнего триггера от системы внешней синхронизации сохраняется в памяти ПК.

Сигнал, амплитуда которого в $\sqrt{2}$ раз меньше, направляется на интегральный ДПС для предварительной амплитудной селекции. Значение порога дискриминации ставится на уровень, соответствующий энергии γ -квантов ≈ 480 кэВ.

Функция разрешения состоит из двух гауссиан (FWHM1 и FWHM2), при этом интенсивности разделены поровну, каждому соответствует 50%. Суммарное разрешение (FWHM) определяется как $FWHM = FWHM1 * 0,5 + FWHM2 * 0,5$. Разрешение характеризует операционное временное разрешение спектрометра при различных режимах работы.

В данном модуле порог дискриминации позволяет исключить влияние низкоэнергетических импульсов, происходящих в процессе распада изотопа ^{44}Ti . Затем сигналы с двух дискриминаторов попадают на сумматор. После этого участка цепи сформированный управляющий импульс отправляется на вход внешнего триггера дигитайзера.

Порог внешней синхронизации задается в программном обеспечении так, чтобы убрать сигналы с суммарной амплитудой меньше чем 500 мВ. Следующие этапы по сбору данных и обработки проходят в соответствии с цифровой схемой (рисунок 12) [82].

Среднее значение скорости сбора для данного модуля составляет 90 ± 30 соб./с. Спектры, набранные в прямом и обратном режиме, можно обрабатывать в одной серии. Таким образом, за один сбор сигналов создаются два временных спектра, что улучшает качество дальнейшей обработки.

2.3.2. Модуль спектрометрии совпадений доплеровского уширения аннигиляционной линии.

Спектрометрия доплеровского уширения аннигиляционной линии (ДУАЛ) основывается на измерениях энергетического распределения фотонов в веществе (после аннигиляции позитронов). За номинальное значение принят пик на $0,511$ МэВ. Энергетическое распределение фотонов зависит от области аннигиляции позитронов, при этом происходит изменение спектра аннигиляционной линии.

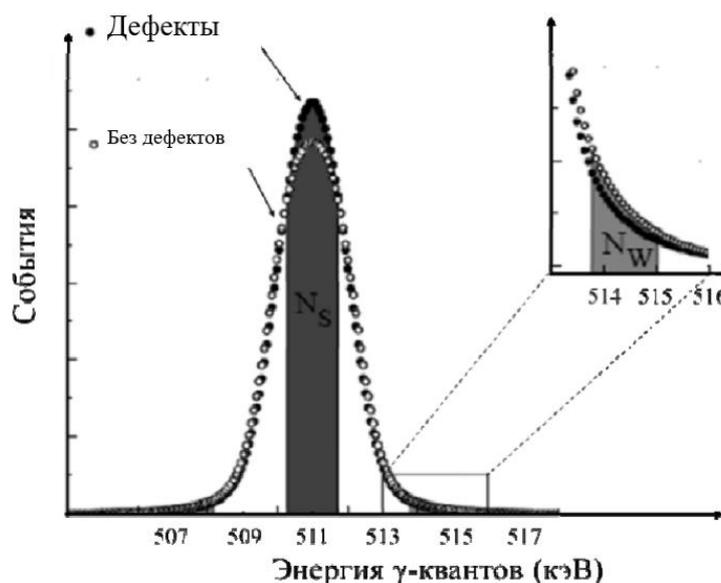


Рисунок 14. Пример формы спектров Доплеровского уширения аннигиляционной линии [83].

Как видно из рисунка 5 спектр бездефектного образца более широкий и пик расположен ниже, чем для дефектного образца. Для характеристики спектров ДУАЛ используют два параметра S и W . Параметр S называют валентным параметром, соответствует отношению количества событий центральной области низких импульсов N_s к общей площади всей кривой N_D .

Параметр W называют параметром аннигиляции ядра и анализируется в диапазоне высоких импульсов, данный параметр рассчитывается как число событий в высоком интервале энергий N_w поделенное на N_D . W параметр характеризует химическое окружение зоны аннигиляции, т.к. столкновение позитронов с остовными электронами происходит с высокими импульсами. Анализ параметров S и W дает информацию о типах и концентрации дефектов в материалах [84].

На рисунке 15 представлена схема реализации модуля совпадений доплеровского уширения аннигиляционной линии с системой внешней синхронизации.

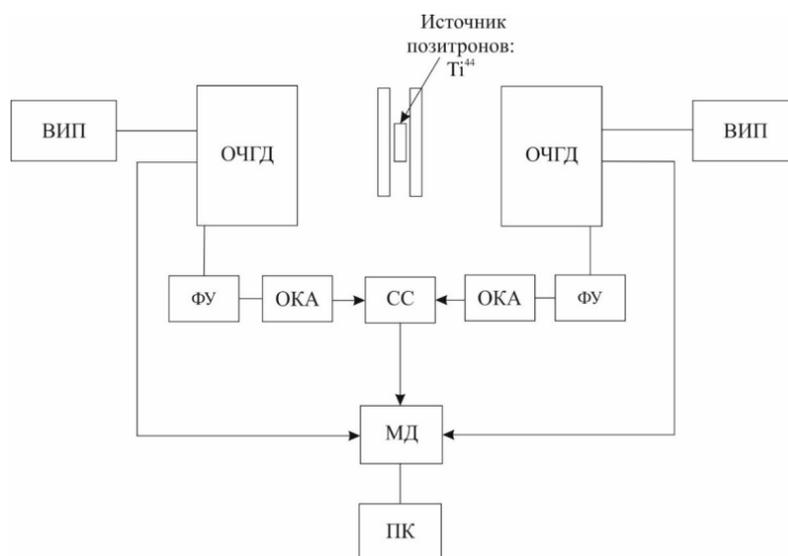


Рисунок 15. Схема модуля совпадений доплеровского уширения аннигиляционной линии с системой внешней синхронизации: ВИП – высоковольтный источник питания, ОЧГД – детектор на основе особо чистого германия, ФУ – формирующий усилитель, ОКА – одноканальный анализатор, СС – схема совпадений, МД – многоканальный дигитайзер, ПК – персональный компьютер [82].

Система ВС для модуля совпадений доплеровского уширения аннигиляционной линии реализуется с помощью применения двух одноканальных анализатора импульсов модели Fast ComTech SCA 103, двух

усилителей псевдо-гауссовой формы импульсов и схемы совпадений модели Canberra 2040.

Полупроводниковый детектор создает два параллельных сигнала, которые используются для получения энергетической (Energy) и временной информации (Timing). Энергетический сигнал поступает непосредственно на дигитайзер, временной проходит этапы усиления и изменения формы на псевдогауссовую с помощью применения формирующего усилителя. Затем сигналы передаются на одноканальный анализатор импульсов (ОКА). На данном участке происходит предварительный отбор сигналов по амплитуде.

Значение нижнего порога дискриминации соответствует гамма квантам с энергией $E_{low}=480$ кэВ, уровень верхнего порога дискриминации соответствует гамма квантам с энергией $E_{up}=540$ кэВ. После описанных операций импульсы полностью являются сформированными и отправляются на вход схемы совпадений (СС). Управляющий импульс, сформированный в схеме совпадений, попадает на вход внешнего триггера дигитайзера. Порог внешней синхронизации задается в программном обеспечении. Значение порога выбирается так, чтобы отсеять сигналы, зарегистрированные с временным интервалом больше разрешающего времени совпадения применяемой СС.

Для того чтобы избавиться от нагромождения импульсов (pile-up эффект) используется циркониевый фильтр толщиной 4 мм, полностью поглощающий низкоэнергетические кванты и практически не оказывающий влияние на линии 0,511 кэВ и 1,157 кэВ.

В совокупности данный модуль позволяет проводить набор спектров со средней скоростью 116 ± 15 соб./с при разрешении $1,16\pm 0,03$ кэВ, соответственно.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

В главе 2 были рассмотрены исследуемые материалы, режимы механической обработки образцов и методы исследования внутренней

структуры материалов. В разделах 2.2.1. и 2.2.2. были описаны модули цифрового спектрометрического комплекса. На основании материала, представленного в главе 2 были сформулированы задачи для достижения поставленной цели:

1. Проведение измерений в объеме титанового сплава TC4 после высокоскоростной резки методами спектрометрии времени жизни позитронов и совпадений доплеровского уширения аннигиляционной линии.
2. Проведение измерений в приповерхностной области титанового сплава TC4 после высокоскоростной резки с применением пучков позитронов переменной энергии.

ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

На сегодняшний день оценка перспективности научного исследования не всегда простая задача. Многие открытия могут быть использованы в будущих технологиях. Примером может служить научные труды Альберта Эйнштейна по теории относительности времени. Во время жизни ученого данное исследование носило фундаментальный характер, в настоящее время невозможно представить работу спутников и навигаторов, а также любых космических аппаратов.

Научные труды условно можно разделить на фундаментальные и практические. Практические научные труды намного легче оценить по таким критериям как ресурсоэффективность и коммерческая ценность. Любые труды нуждаются в финансировании, поэтому важен расчет указанных критериев.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-технического исследования, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- организовать работы по научному исследованию;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования;
- рассчитать бюджет проводимого научно-технического исследования;
- произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования.

Научно-исследовательская работа посвящена исследованию поверхности титанового сплава Ti-6Al-4V после испытаний на резание методами позитронной аннигиляции. В настоящее время методы позитронной аннигиляции занимают лидирующие позиции в списке неразрушающих методов контроля внутренней структуры материалов. Данная методика постоянно модернизируется, тем самым расширяя границы применимости. В настоящей работе для исследований был применен аналоговый и цифровой временной спектрометр, а также спектрометр доплеровского уширения аннигиляционной линии. Оба спектрометра были собраны на кафедре общей физики Томского Политехнического Университета, такими научными деятелями как: Роман Сергеевич Лаптев и Андрей Маркович Лидер.

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

В данном проекте сегментами рынка являются:

- Металлургические компании и предприятия;
- Компании по производству деталей из титана;
- Научно-исследовательские организации, университеты.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

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

В данном научном исследовании анализируется возможность контроля дефектной структуры титанового сплава после высокоскоростного резания

методами спектрометрии времени жизни позитронов и доплеровского уширения аннигиляционной линии.

В таблице 1 приведена оценка конкурентов, где Ф – разрабатываемый проект, к1 – исследование, проведенное инженером-экологом в научно-исследовательском институте, к2 – исследование, проведенное организацией, спектральный анализ временных спектров и доплеровского уширения аннигиляционной линии.

Таблица 6 – 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. Качество контроля внутренней структуры материалов	0,14	5	3	4	0,7	0,42	0,56
2. Необходимость контроля выполняемых процессов оператором установки	0,18	4	4	4	0,7 2	0,72	0,72
3. Скорость обработки результатов	0,1	5	4	3	0,7 5	0,6	0,45
4. Возможность дальнейшей модификации методики	0,1	4	4	4	0,6	0,6	0,6
5. Трудоемкость подготовки исследуемых образцов	0,1	4	4	4	0,7	0,44	0,52
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,12	5	4	4	0,6	0,48	0,48
2. Цена	0,14	5	3	2	0,7	0,42	0,28
3. Время	0,12	4	5	3	0,4 8	0,6	0,36
Итого	1	36	31	28	5,2 5	4,28	3,92

Критерии оценки подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Вес показателей в сумме должны составлять 1. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i$$

где: K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i-го показателя.

По приведённым данным анализа конкурентов можно видеть, что конкурентоспособность разработки составила 5,25, в то время как у аналогов соответствующие величины 4.28 и 3.92, что говорит о конкурентоспособности научно-технической разработки по таким показателям как: скорость обработки результатов; качество контроля внутренней структуры материалов; необходимость контроля выполняемых процессов оператором установки и возможностью дальнейшей модификации методики. Однако уязвимость данной методики в том, что получаемые спектры не всегда легко интерпретировать.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта (таблица 2). Применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Анализ проводится в 3 этапа.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 7 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Не требуется специальная обработка поверхности исследуемых материалов	Сл1. Отсутствие подобных исследований с применением данной методики
С2. Показаны новые возможности применения методов позитронной аннигиляции	Сл2. Высокая стоимость технологического оборудования и исследуемых образцов
С3. Достаточно высокая точность результатов	Сл3. Необходимость создания высокого вакуума при термической подготовке образцов
С4. Большой спектр информации	Сл4. Отсутствие бездефектных эталонов
С5. Быстрота обработки спектров и интерпретации данных	
Возможности	Угрозы
В1. Расширение участия в заграничные и государственные проекты по	У1. Рост стоимости титанового сплава Ti-6Al-4V

исследованию материалов методами позитронной аннигиляции	У2. Резкое развитие в других методиках неразрушающего контроля
В2. Привлечение средств частных компаний, связанных с созданием титановых изделий	

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Интерактивная матрица проекта представлена в таблице 3. 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 8 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		С1.	С2.	С3.	С4.	С5.
	В1.	+	+	+	+	+
	В2.	+	+	+	+	+
		Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1.	Сл2.	Сл3.		
	В1.	-	-	+		
	В2.	0	-	+		
		Сильные стороны проекта				
Угрозы		С1.	С2.	С3.	С4.	С5.
	У1.	+	+	+	-	+
	У2.	+	-	-	-	-
		Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1.	Сл2.	Сл3.		
	У1.	+	-	+		
	У2.	+	0	+		

В рамках *третьего этапа* должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 9).

Таблица 9 –SWOT-анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
	С1. Не требуется специальная обработка поверхности исследуемых материалов	Сл1. Отсутствие подобных исследований с применением данной методики
	С2. Показаны новые возможности применения методов позитронной аннигиляции	Сл2. Высокая стоимость технологического оборудования и исследуемых образцов
	С3. Достаточно высокая точность результатов	Сл3. Необходимость создания высокого вакуума при термической подготовке образцов
	С4. Большой спектр информации	Сл4. Отсутствие бездефектных эталонов
	С5. Быстрота обработки спектров и интерпретации данных	

Продолжение таблицы 8

<p>Возможности</p> <p>В1. Расширение участия в заграничных и государственных проектах по исследованию материалов неразрушающими методами</p> <p>В2. Привлечение средств частных компаний, связанных с созданием титановых изделий</p>	<p>Публикация научных статей с результатами исследований в журналах первого и второго квартиля; Участие в научных конкуренциях для привлечения внимания к выполненным исследованиям; Выступление перед менеджерами частных компаний и организаций с демонстрацией возможностей позитронной аннигиляции.</p>	<p>Риск блокировки научных исследований в зарубежных научных журналах в следствии политических и других причин.</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Рост стоимости титанового сплава Ti-6Al-4V</p> <p>У2. Резкое развитие в других методиках неразрушающего контроля</p>	<p>Повышение стоимости на данный сплав приведет к необходимости его замены аналогом по физико-механическим свойствам. Активно будут развиваться области наноматериалов.</p>	<p>В виду роста цены на указанный сплав и возможной информационной изоляции отечественные деятели будут привлечены к созданию новых материалов и сплавов.</p>

4.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого была заполнена специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта (таблица 9).

При проведении анализа по таблице, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало

знаком, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 9 – Оценка степени готовности проекта к коммерциализации

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

Продолжение таблицы 9

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	66	56

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

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где: $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. В итоге получилось, что разработка является перспективной, а уровень имеющихся знаний у разработчика средний.

По результатам оценки выделяются слабые стороны исследования, дальнейшего улучшения необходимо провести маркетинговые исследования рынков сбыта, разработать бизнес-план коммерциализации научной разработки и проработать вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок.

4.1.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Для коммерциализации результатов, проведенного исследования будут использоваться следующие методы: инжиниринг и передача интеллектуальной собственности.

Инжиниринг будет предполагать предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне,

именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика.

Передача интеллектуальной собственности будет производиться в уставной капитал предприятия или государства.

Данные методы коммерциализации будут наиболее продуктивными в отношении данного проекта.

4.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта (таблица 10).

Таблица 10 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ	Выпуск высококвалифицированных специалистов
Металлургические компании	Применение методов позитронной аннигиляции в производственных отраслях

В таблице 11 представлена иерархия целей проекта и критерии достижения целей.

Таблица 11 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Оценка эффективности применения методов позитронной аннигиляции для исследования поверхности титанового сплава Ti-6Al-4V после испытаний на сухое однофазное резание
Ожидаемые результаты проекта:	Получение информации о распределении дефектов внутренней структуры титанового сплава и выявление корреляции между режимом резания и характера дефектов
Критерии приемки результата проекта:	Исследование дефектности структуры с помощью спектрометров времени жизни позитронов и доплеровского уширения аннигиляционной линии. Данные спектрометры были собраны на кафедре общей физики Томского Политехнического Университета и не имеют фирменного названия.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Установка исследуемых образцов в спектрометр
	Обработка спектров времени жизни и доплеровского уширения аннигиляционной линии
	Получение прикладной информации о дефектности структуры
	Анализ корреляции между режимами резания и дефектности структуры

В таблице 8 представлена организационная структура проекта (роль каждого участника, их функции, трудозатраты).

Таблица 8 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1.	Лаптев Р.С., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.	Руководитель проекта	Консультирование, координация деятельности, определение задач, контроль выполнения, помощь проведения экспериментов.	1530
2.	Уразова К.Д., магистрант ИЯТШ	Исполнитель по проекту	Анализ литературных источников, обработка спектров, анализ экспериментальных данных, написание работы	3030
ИТОГО:				4560

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованы в рамках данного проекта (таблица 9).

Таблица 12– Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	1 507 344,3
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	01.09.2020-31.05.2022
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	15.09.2020
3.2.2. Дата завершения проекта	31.05.2022

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

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

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта (рисунок 1).



Рисунок 28 – Иерархическая структура работ

4.3.2 План проект

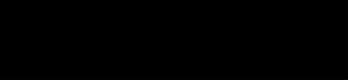
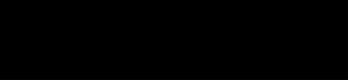
В рамках планирования научного проекта построены календарный график проекта (таблица 13, 14).

Таблица 13– Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Утверждение темы магистерской диссертации	7	01.09.20	07.09.20	Лаптев Р.С., канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Уразова К.Д.
Согласование плана работ	7	08.09.20	15.09.20	Лаптев Р.С., канд. техн. наук, ст. науч.

				сотр. Уразова К.Д.
Литературный обзор	138	16.09.20	31.01.21	Уразова К.Д.
Проведение экспериментов, обработка и обсуждение результатов	292	01.02.21	20.12.21	Лаптев Р.С. Уразова К.Д.
Написание отчета	162	21.12.21	31.05.22	Уразова К.Д.
Итого:	606			

Таблица 14 – Календарный план график проведения НИОКР по теме

Наименование этапа	Т, дней	2020				2021												2022							
		Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май			
Утверждение темы магистерской диссертации	7																								
Согласование плана работ	7																								
Литературный обзор	138																								
Проведение экспериментов, обработка и обсуждение результатов	292																								
Написание отчета	162																								



- Уразова К.Д.



- Уразова К.Д., Лаптев Р.С.

4.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты сгруппированы по статьям. В данном исследовании выделены следующие статьи:

1. Сырье, материалы;
2. Специальное оборудование для научных работ;
3. Заработная плата;
4. Отчисления на социальные нужды;
5. Научные и производственные командировки;
6. Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями;
7. Накладные расходы.

Сырье и материалы. Расчёт материальных затрат включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта (таблица 15).

Таблица 15 – Расчет затрат по статье «Сырье и материалы»

Наименование	Единицы измерения	Количество	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
сплав Ti-6Al-4V	Кг	2	2500	5000
Лист титана	М	1	10000	10000
Азотный баллон	Шт	2	5500	11000
Нарезной диск из карбина кремния	Шт	2	1650	3300
Халат	Шт	1	1000	1000
Бумага наждачная, зернистость 800	Шт	4	30	120
Бумага наждачная, зернистость 1500	Шт	4	52	208
Бумага наждачная, зернистость 2000	Шт	4	115	460
Бумага наждачная, зернистость 4000	Шт	4	170	680
Спирт технический	Мл	100	2	200

Продолжение таблицы 15

Энергия	Наименование	Время работы оборудования, час	Потребляемая мощность, кВт	Цена за 1 кВт·ч	Сумма, руб
	ПК	1175	3	3.85	13571.25
	НТО	485	7		13070.75
Всего		53060			
Транспортно-заготовительные расходы (3%)					1758.3
Итого по статье					58610

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ. В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме НИР (таблица 16).

Таблица 16 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Компьютер (HP)	1	100000,0	100 000,0
2	Программное обеспечение MicrosoftOffice	1	5990,0	5 990,0
3	Программа Origin	1	100000	100 000
4	Программа Lt10	1	57000	57 000
5	Детекторы на основе Ba ₂ F	2	100 000	15 000
6	Осцилляторы	2	200 000	400 000
7	Дискриминатор	1	150 000	150 000
8	Осциллограф LeCroy Waverunner 6050A	1	239575.0	239575.0
9	Вольт-амперный преобразователь	1	250000	250000
10	Счетчик Гейгера	1	1 000 000	1 000 000
Итого, руб.:				2 317 565,00 Р

Расчет основной заработной платы. В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников,

рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

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 следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

где: Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Расчет заработной платы научно – производственного и прочего персонала проекта проводили с учетом работы 2-х человек – научного руководителя и исполнителя. Баланс рабочего времени исполнителей представлен в таблице 17.

Таблица 17 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	99	99
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	24	24
- отпуск	14	14
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	212	212

Месячный должностной оклад работника:

$$З_м = З_б * (k_{пр} + k_д) * k_р, \text{ где}$$

$З_б$ – базовый оклад, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент (определяется Положением об оплате труда); $k_д$ – коэффициент доплат и надбавок; $k_р$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_б$, руб.	$k_{пр}$	$k_д$	$k_р$	$З_м$, руб.	$З_{дн}$, руб.	$T_р$, раб. дн.	$З_{осн}$, руб.
Руководитель	26116	1	0,02	1,3	34629.82	1829.50	212	387854
Магистрант	5786	-	-	1,3	7523	397.44	212	84257

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала. В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

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

$$З_{доп} = З_{осн} * k_{доп}, \text{ где}$$

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

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

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

В таблице 19 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 19 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Магистрант
Основная зарплата	387854	84257
Дополнительная зарплата	58178.1	12638.6
Итого по статье $C_{\text{зп}}$	446032.1	96895.6

Отчисления на социальные нужды. Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \text{ где}$$

$k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчисления на уплату во внебюджетные фонды.

На 2022 г. в соответствии с Федеральным законом №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Отчисления на социальные нужды со стороны руководителя составляют:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 * 446032.1 = 133809.63 \text{ рублей}$$

Отчисления на социальные нужды со стороны магистранта составляют:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 * 96895.6 = 29068.67 \text{ рублей}$$

Тогда общие отчисления составят 162878.3 рублей

Научные и производственные командировки. В эту статью включаются расходы по командировкам научного и производственного персонала, связанного с непосредственным выполнением конкретного проекта, величина которых принимается в размере 10% от основной и дополнительной заработной платы всего персонала, занятого на выполнении данной темы.

Командировки в данной научной работе не предусматривались. Затраты на них 0 рублей.

Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями. Контрагентные расходы в данной работе отсутствовали.

Накладные расходы. Расчет накладных расходов провели по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{рук}} + Z_{\text{маг}}) = 0,8 \cdot (446032 + 96896) = 523548,3$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов принят 0,8.

Общие затраты проекта приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Затраты научно-исследовательской работы

Вид исследования	Затраты по статьям									
	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Доп-ая заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Научные и производственные командировки	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	Прочие прямые расходы	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость
Данное исследование	58610	2 317 565	472111	70816.7	162878.3	0	-	-	523548.3	3371834,3
Аналог	124516	10 000 000	5271101	790665.2	1818529.8	-	-	-	4849412.8	22854225

4.5. Операционные затраты.

Операционные затраты будут вычислены по следующей формуле:

Опер. затр. = сырьё + амортизация + ЗП(осн + доп) + соц. отч. + науч. ком. + контр. расх. + накл. расх = **58610** + 30 000 + 472111 + 162878.3 + 0 + 523548.3 = 1 277 148 рублей, что составляет около 35% от себестоимости проекта.

Амортизация научного оборудования вычислялась по следующему принципу.

Срок полезного использования оборудования составлял 10 лет, поэтому норма амортизации составляет:

$$N_a = \frac{100\%}{10} = 10\%$$

где N_a – норма амортизации в процентах.

Первоначальная стоимость оборудования составляла 30 0000 рублей.

Из этого следует, что годовая сумма амортизации составляет:

$$C_{\text{перв.}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot N_a}{100} = \frac{300000 \cdot 10}{100} = 30\,000 \text{ руб}$$

4.5.1 Организационная структура проекта

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры. Проектная организационная структура проекта представлена на рисунке 2.



Рисунок 29 – Проектная структура проекта

4.5.2 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 21).

Таблица 21 – План управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно (понедельник)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель	Руководителю	Ежемесячно (конец месяца)
3.	Документы и информация по проекту	Исполнитель	Руководителю	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель	Руководителю	Не позже дня контрольного события по плану управления

4.5.3 Реестр рисков проекта

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

Информация по возможным рискам сведена в таблицу 20.

Таблица 22 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Рост стоимости и блокировка каналов импортных комплектующих	5	5	Высокий	Замещение импорта	Политические
2	Несвоевременное	4	5	Высокий	Участие в научных	Политика внутреннего

	финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства				конференциях и публикации научных статей	финансирование науки
--	---	--	--	--	--	----------------------

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

4.6.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0$$

где: ЧДП_{опt} – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t=0, 1, 2 \dots n$)

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчёт NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если $NPV > 0$, то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 21.

При расчете рентабельность проекта составляла **20-25 %**, норма амортизации 10 %. Таким образом, выручка составит: $3371834,3 * 1,25 = 4214793$ рублей.

Таблица 23 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	4214793	4214793	4214793	4214793
2	Итого приток, руб.	0	4214793	4214793	4214793	4214793
3	Инвестиционные издержки, руб.	3371834,3	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб. (35% от бюджета)	0	1 277 148	1 277 148	1 277 148	1 277 148
5	Налогооблагаемая прибыль(1-4)	0	2 937 645,00 Р			
6	Налоги 20 %, руб.(5*20%)	0	674367	674367	674367	674367
8	Чистая прибыль, руб.(5-6)	0	2 263 278,00 Р			
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.(чистая прибыль+амортизация)	3371834,3	2 293 278,00 Р			

10	Коэффициент дисконтирования при $i=20\%$ (КД)	1	<u>0.833</u>	<u>0.694</u>	<u>0.578</u>	<u>0.482</u>
11	Чистый дисконтированный денежный поток (ЧДД), руб.(9*10)	3371834,3	1910301	1591535	1325515	1105360
12	Σ ЧДД	8291170,6 руб.				
12	Итого NPV, руб.	11663004,9 руб.				

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

где: i – ставка дисконтирования, 20 %; (10%)

t – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 11663004,9 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности (PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0 > 1$$

где: ЧДД - чистый денежный поток, руб.;

I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{8291170,6}{3371834,3} = 2,45895$$

Так как $PI > 1$, то проект является эффективным.

Внутренняя ставка доходности (IRR). Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR.

Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или $=0$. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 24 и на рисунке 27.

Таблица 24 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	3371834,3	2 293 278,00	2 293 278,00	2 293 278,00	2 293 278,00	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, руб.						

	0,1	-3371834,3	2084590	1894248	1722252	1566309	3 895563,68
	0,2	-3371834,3	1910301	1591535	1325515	1105360	2 560875,89
	0,3	-3371834,3	1763531	1357621	1043441	802647,3	1 595405,85
	0,4	-3371834,3	1637400	1169572	834753,2	596252,3	866 143,44
	0,5	-3371834,3	1529616	1018215	676517	454069	306 583,61
	0,6	-3371834,3	1433299	894378,4	559559,8	350871,5	-133 725,76
	0,7	-3371834,3	1348447	768248,1	465535,4	256847,1	-532 756,14
	0,8	-3371834,3	1275063	708622,9	392150,5	217861,4	-778 136,88
	0,9	-3371834,3	1206264	635238	334818,6	176582,4	-1018931,07
	1,0	-3371834,3	1146639	573319,5	286659,8	142183,2	-1223032,81

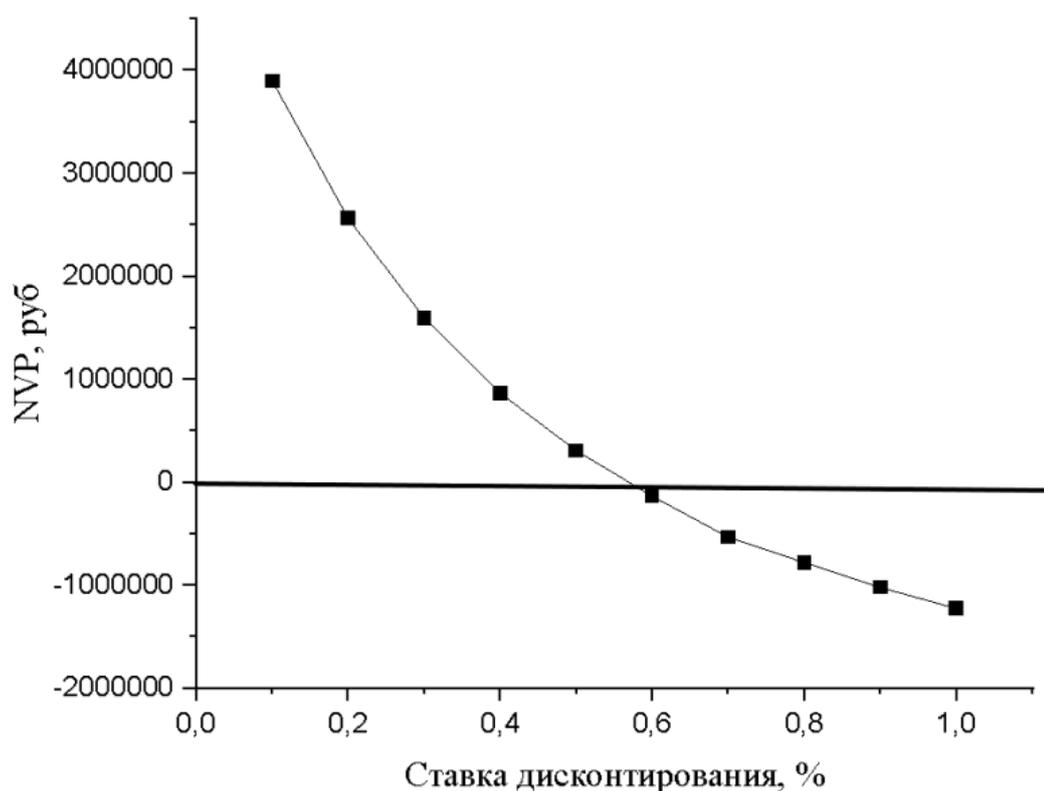


Рисунок 30 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит

название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли».

Из графика получаем, что IRR составляет 0,60.

$IRR > i$, проект эффективен.

Запас экономической прочности проекта: $60\% - 20\% = 40\%$

Дисконтированный срок окупаемости. Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 25).

Таблица 25 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ($i = 0,20$), руб.	-3371834,3	1910301	1591535	1325515	1105360
2	То же нарастающим итогом, руб.	-3371834,3	-1461533	130001,7	1455517	2560877
3	Дисконтированный срок окупаемости	$DP_{диск} = 1 + (1910301/1591535) = 2,2$ года				

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты

в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты (таблица 26).

Таблица 26 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Проблема контроля дефектов внутренней структуры сплава Ti-6AL-4V после испытаний на сухое однофазное резание	Впервые показана возможность контроля дефектной структуры методами позитронной аннигиляции после испытаний на резание

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

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).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее

численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по следующей формуле:

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

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 – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (таблице 27).

Таблица 27 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Выход продукта)	0,20	5	5	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	3	3
3. Надежность	0,15	4	4	4
4. Безопасность	0,15	4	3	4
5. Простота эксплуатации	0,15	5	4	5
6. Возможность автоматизации данных	0,20	5	4	5
Итого	1	28	23	25

$$I_m^p = 5 \cdot 0,20 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,20 = 4,7$$

$$I_1^A = 5 \cdot 0,20 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,20 = 3,9$$

$$I_2^A = 4 \cdot 0,20 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,20 = 4,2$$

Интегральный показатель эффективности разработки $I_{финр}^p$ и аналога $I_{финр}^a$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p}; I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a}$$

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

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a}$$

где: $\mathcal{E}_{ср}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I_{финр}^p$ – интегральный показатель разработки;

$I_{финр}^a$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Сравнительная эффективность разработки по сравнению с аналогами представлена в таблице 28.

Таблица 28 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,18	0,16	0,16
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,50	3,85	4,00
3	Интегральный показатель эффективности	23,12	22,83	23,03

4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,02	1,01	1,0
---	--	------	------	-----

Выводы: Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 11663004,9 руб.; индекс доходности $PI=2,45895$, внутренняя ставка доходности $IRR=60\%$, срок окупаемости $PP_{дск}=2,2$ года.

Таким образом мы имеем ресурсоэффективный проект с высоким запасом финансовой прочности и коротким сроком окупаемости.

ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Для выполнения магистерской диссертации на тему «Исследование влияния параметров высокоскоростной резки на структуру и свойства титанового сплава ТС4» проводилась серия экспериментов с применением спектрометров времени жизни позитронов и доплеровского уширения аннигиляционной линии. Настоящие спектрометры были собраны на кафедре общей физики Томского Политехнического университета следующими научными деятелями: Лаптев Роман Сергеевич и Лидер Андрей Маркович. Анализ данных проводится на персональном компьютере. Рабочая зона спектрометров – подвальное помещение, размер помещения 38 м², 2 рабочих стола и 2 стула, 2 баллона с жидким азотом, рабочие поверхности накрыты титановой фольгой. Рабочая зона для обработки спектров не привязана к определенной зоне, имеется возможность проводить обработку и анализ в дистанционном формате. В связи с этим, детальное рассмотрение правил гигиены и безопасности труда при проведении работ на спектрометрах, особенно необходимо при осуществлении экспериментальных исследований, входящих в магистерскую диссертацию.

1.1. Производственная безопасность

1.1.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении

Проанализируем микроклимат в помещении, где находится рабочее место. Микроклимат производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Эти факторы влияют на организм человека, определяя его самочувствие.

Допустимые значения параметров микроклимата приведены в таблице 29.

Таблица 29 - Допустимые нормы микроклимата

Период года	Температура воздуха, С°		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
	Нижняя допустимая граница	Верхняя допустимая граница		
Холодный	15	24	20-80	<0.5
Теплый	22	28	20-80	<0.5

Температура в теплый период года 23-25°С, в холодный период года 19-23°С, относительная влажность воздуха 40-60%, скорость движения воздуха 0,1 м/с.

Общая площадь рабочего помещения составляет 38 м², объем составляет 147м³. По СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 санитарные нормы составляют 6,5 м² и 20 м³ объема на одного человека. Исходя из приведенных выше данных, можно сказать, что количество рабочих мест соответствует размерам помещения по санитарным нормам.

После анализа габаритных размеров рассмотрим микроклимат в этой комнате. В качестве параметров микроклимата рассмотрим температуру, влажность воздуха, скорость ветра.

В помещении осуществляется естественная вентиляция посредством наличия легко открываемого оконного проема (форточки), а также дверного проема. По зоне действия такая вентиляция является общеобменной.

Основной недостаток - приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания. Согласно нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 объем воздуха необходимый на одного человека в помещении без дополнительной вентиляции должен быть более 40м³[94]. В нашем случае объем воздуха на одного человека составляет 42 м³, из этого следует, что дополнительная вентиляция не требуется. Параметры микроклимата поддерживаются в холодное время года за счет систем водяного отопления с нагревом воды до 100°С, а в теплое время года – за счет кондиционирования, с параметрами согласно [95]. Нормируемые параметры микроклимата, ионного состава воздуха, содержания вредных веществ должны соответствовать требованиям [96].

1.1.2. Превышение уровней шума

Одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов является шум. Он создается рабочим оборудованием, преобразователями напряжения, рабочими лампами дневного света, а также проникает снаружи. Шум вызывает головную боль, усталость, бессонницу или сонливость, ослабляет внимание, память ухудшается, реакция уменьшается.

Основным источником шума в комнате являются компьютерные охлаждающие вентиляторы и. Уровень шума варьируется от 35 до 42 дБА. Согласно СанПиН 2.2.2 / 2.4.1340-03, при выполнении основных работ на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 82 дБА [97].

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

Средства коллективной защиты:

1. устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
2. изоляция источников шума от окружающей среды (применение глушителей, экранов, звукопоглощающих строительных материалов);

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

Средства индивидуальной защиты;

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

В настоящей работе источником шума служит процессор компьютера и монитор, при этом уровень шума не превышает указанных норм.

1.1.3. Повышенный уровень электромагнитных излучений

Источником электромагнитных излучений в нашем случае являются дисплеи ПЭВМ. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25В/м в диапазоне от 5Гц до 2кГц, 2,5В/м в диапазоне от 2 до 400кГц [94]. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250нТл, и 25нТл в диапазоне от 2 до 400кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В [94]. В ходе работы использовалась ПЭВМ типа Acer VN7-791 со следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля 2,5В/м; поверхностный потенциал составляет 450 В (основы противопожарной защиты предприятий ГОСТ 12.1.004 и ГОСТ 12.1.010 – 76.)[99].

При длительном постоянном воздействии электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона при работе на ПЭВМ у человеческого организма сердечно-сосудистые, респираторные и нервные расстройства, головные боли, усталость, ухудшение состояния здоровья, гипотония, изменения сердечной мышцы проводимости. Тепловой эффект ЭМП характеризуется увеличением температуры тела, локальным селективным нагревом тканей, органов, клеток за счет перехода ЭМП на теплую энергию.

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

- а) до 10 мкВт/см² , время работы (8 часов);
- б) от 10 до 100 мкВт/см² , время работы не более 2 часов;
- в) от 100 до 1000 мкВт/см² , время работы не более 20 мин. при условии пользования защитными очками;
- г) для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см².

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

СКЗ

1. защита временем;
2. защита расстоянием;
3. снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
4. экранирование источника;
5. защита рабочего места от излучения;

СИЗ

1. 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.
2. Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO₂).

1.1.4. Поражение электрическим током

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50Гц. По опасности электропоражения комната относится к помещениям без повышенной опасности, так как отсутствует повышенная влажность, высокая температура, токопроводящая пыль и возможность одновременного сприкосновения токоведущих элементов с заземленными металлическими корпусами оборудования [100].

Лаборатория относится к помещению с без повышенной опасностью поражения электрическим током. В лаборатории отсутствуют приборы под высоким напряжением, исследователь не производит работ по настройке и подключению электрических цепей, все провода изолированы, проводящие части имеют заземление, нет возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой, полы выполнены из деревянного покрытия, что исключает прохождение тока по полу.

Безопасными номиналами являются: $I < 0,1 \text{ А}$; $U < (2-36) \text{ В}$; $R_{\text{зазем}} < 4 \text{ Ом}$. 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.

Каждому необходимо знать меры медицинской помощи при поражении электрическим током. В любом рабочем помещении необходимо иметь медицинскую аптечку для оказания первой медицинской помощи.

Поражение электрическим током чаще всего наступает при небрежном обращении с приборами, при неисправности электроустановок или при их повреждении.

Для защиты от поражения электрическим током используют СИЗ и СКЗ.

Средства коллективной защиты:

1. Заземление источников электрического тока; Заземление – преднамеренное соединение токоведущих частей и участков электроустановки, которые могут оказаться под напряжением. Служит для уменьшений до минимальных значений напряжения на токоведущих частях.

2. Электро-трансформаторное разделение электрических цепей. Принцип действия электрического разделения сети заключается в снижении опасности поражения электрическим током путем уменьшения протяженности электрической сети, за счет разделения её на отдельные не связанные между собой электрически участки малой длины.

3. Зануление - — это преднамеренное электрическое соединение открытых проводящих частей электроустановок, не находящихся в нормальном состоянии под напряжением, с глухозаземлённой нейтральной точкой генератора или трансформатора в сетях трёхфазного тока; с глухозаземлённым выводом источника однофазного тока; с заземлённой точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

4. Использование щитов, барьеров, клеток, ширм, а также заземляющих и шунтирующих штанг, специальных знаков и плакатов.

Средства индивидуальной защиты:

1. Использование диэлектрических перчаток, изолирующих клещей и штанг, слесарных инструментов с изолированными рукоятками, указатели величины напряжения, калоши, боты, подставки и коврики.

2. Освещенность

3. 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 300 Лк.

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

5. 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.

6. 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.

7. Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 7,6$ м, ширина $B = 5$ м, высота = 3 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 0,7$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

8. Площадь помещения:

$$9. S = A \times B,$$

10. где A – длина, м;

11. B – ширина, м.

$$12. S = 7,6 \times 5 = 38 \text{ м}^2$$

13. Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{п} = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_3 = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

14. Выбираем лампу дневного света ЛД, световой поток которой равен $\Phi_{лд} = 3100$ Лм.

15. Выбираем светильник с люминесцентными лампой типа ОДОР-2-40. Лампа мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1531 мм, ширина – 266 мм.

16. 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) $h_c = 548$ мм.

17. Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$18. h = h_n - h_p, h = 3,5 - 0,7 = 2,8$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса, h_p – высота рабочей поверхности над полом.

19. Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $h_n = 3,5$ м.

20. Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$21. h = H - h_p - h_c = 3,5 - 0,7 - 0,548 = 2,225 \text{ м}$$

22. Из формулы $\Phi_{л} = (E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z) / N \cdot \eta$ находим число ламп N

$$23. N = (E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z) / \Phi_{л} \cdot \eta$$

24. η определяем через индекс помещения по формуле:

$$i = (A \cdot B) / (h(A+B)) = 38 / (2,225(7,6+5)) = 1,4$$

25. 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 $i = 1,4$ равен $\eta = 0,47$.

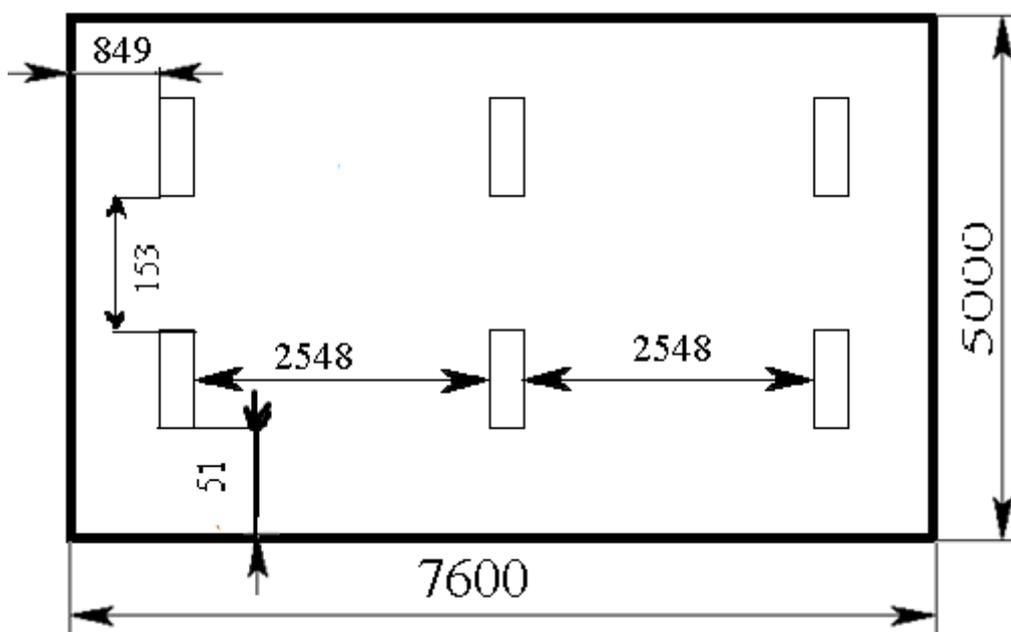
26. Тогда $N = (E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z) / \Phi_{\text{л}} \cdot \eta = (300 \cdot 38 \cdot 1,5 \cdot 1,1) / 3100 \cdot 0,47 = 12,9$ ламп; Принимаем 12 ламп, при этом получается 6 светильников, т.е. 2 ряда по 3 светильника.

27. Из условий равномерности освещения определяем расстояния L_1 и $L_1/3$ и L_2 и $L_2/3$ по следующим уравнениям:

28. $7600 = 2 \cdot L_1 + 2/3 \cdot L_1 + 3 \cdot 266$; $L_1 = 2548$ мм; $L_1/3 = 849$ мм;

29. $5000 = 2 \cdot L_2 + 2/3 \cdot L_2 + 3 \cdot 1531$; $L_2 = 153$ мм; $L_2/3 = 51$ мм;

30. На рисунке изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.



31. Рисунок 31. План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

32. Индекс помещения определяется по формуле:

33. Потребный световой поток люминесцентной лампы определяется по формуле:

34. $\Phi_{\text{л}} = (E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z) / N \cdot \eta = (300 \cdot 38 \cdot 1,5 \cdot 1,1) / 12 \cdot 0,47 = 3435$ лм

35. Делаем проверку выполнения условия:

36. $(3435 - 3100) / (3435) = 9,75\% < 10\%$

37. Таким образом, мы получили, что необходимый световой поток не выходит за пределы требуемого диапазона. Теперь рассчитаем мощность осветительной установки:

38. $P = 12 \cdot 40 = 480$ Вт

1.1.5 Пожарная опасность

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д.

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории В– горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых находится, не относятся к категории наиболее опасных А или Б.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудносгораемым 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 (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

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

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 1000В. 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.

Для предупреждения пожара и взрыва необходимо предусмотреть:

1. специальные изолированные помещения для хранения и разлива легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), оборудованные приточно-вытяжной вентиляцией во взрывобезопасном исполнении - соответствии с ГОСТ 12.4.021-75 и СНиП 2.04.05-86;

2. специальные помещения (для хранения в таре пылеобразной канифоли), изолированные от нагревательных приборов и нагретых частей оборудования;

3. первичные средства пожаротушения на производственных участках (передвижные углекислые огнетушители ГОСТ 9230-77, пенные огнетушители ТУ 22-4720-80, ящики с песком, войлок, кошма или асбестовое полотно);

4. автоматические сигнализаторы (типа СВК-3 М 1) для сигнализации о присутствии в воздухе помещений предвзрывных концентраций горючих паров растворителей и их смесей.

Лаборатория полностью соответствует требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, изображенного на рисунке 32, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.



Рисунок 32 – План эвакуации при пожаре и других ЧС из помещений учебного корпуса № 3, аудитория Н_{2,3}.

1.2. Экологическая безопасность

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть (поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации.

В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;
- неметаллические части компьютера подвергаются специально переработке[6];

Таким образом утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

- отделить металлические детали от неметаллов;
 - разделить углеродистые металлы от цветмета;
 - пластмассовые изделия (крупногабаритные) измельчить для уменьшения объема;
 - копир-порошок упаковать в отдельную упаковку, точно также, как и все проклассифицированные и измельченные компоненты оргтехники, и после накопления на складе транспортных количеств отправить предприятиям и фирмам, специализирующимся по переработке отдельных видов материалов.
- Люминесцентные лампы утилизируют следующим образом. Не работающие лампы немедленно после удаления из светильника должны быть упакованы в картонную коробку, бумагу или тонкий мягкий картон, предохраняющий лампы от взаимного соприкосновения и случайного механического повреждения. После накопления ламп объемом в 1 транспортную единицу их сдают на переработку на соответствующее предприятие. Недопустимо выбрасывать отработанные энергосберегающие лампы вместе с обычным мусором, превращая его в ртутьсодержащие отходы, которые загрязняют ртутными парами

1.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Природная чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории или акватории, сложившейся в результате возникновения источника природной чрезвычайной ситуации, который может повлечь или повлек за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

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 приводит к авариям систем тепло- и водоснабжения, сантехнических коммуникаций и электроснабжения, приостановке работы. В этом случае при подготовке к зиме следует предусмотреть а) газобаллонные калориферы (запасные обогреватели), б) дизель или бензоэлектрогенераторы; в) запасы питьевой и технической воды на складе (не менее 30 л на 1 человека); г) теплый транспорт для доставки работников на работу и с работы домой в случае отказа муниципального транспорта. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

В лаборатории 118 Института физики высоких технологий (ИФВТ), наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера.

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.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В экспериментальной части настоящей работы проведено исследование влияния параметров высокоскоростной резки на дефектное состояние титанового сплава Ti-6Al-4V методами позитронной аннигиляции. Показано, что импульсное распределение аннигиляции позитронов изменяется при варьировании параметров высокоскоростной резки за счет формирования оксидов различной структуры и стехиометрии на поверхности и накопления термических и деформационных дефектов. При этом изменение глубины резки практически не оказывает влияние на данные процессы, в то время как варьирование скорости подачи и резки позволяют минимизировать их негативное влияние. Наиболее полные данные о структурных дефектах в объеме (до 250 мкм) сплава Ti-6Al-4V были получены при одновременном применении спектрометрии временного распределения аннигиляции позитронов и совпадений доплеровского уширения аннигиляционной линии. Установлено, что при высокоскоростной резки в объеме титанового сплава Ti-6Al-4V происходит интенсивное накопление дислокаций и вакансионных комплексов (тетравакансий). При этом параметры высокоскоростной резки оказывают влияние на химическое окружение данных дефектов, наиболее заметный вклад оказывают атомы ванадия.

В ходе планирования научно-исследовательских работ определены структура и перечень работ, выполняемых рабочей группой. В данном случае рабочая группа состоит из двух человек: руководитель и инженер. Согласно составленному плану работ длительность трудовой занятости сотрудников научно-исследовательского проекта составила 127 дней. На основе временных показателей по каждой из произведенных работ был построен календарный план-график, построенный на основе диаграммы Ганта.

Общая стоимость разработки НИР с учетом всех затрат составляет 2560876,7 рублей. Определен риск возникновения неопределённых событий

при выполнении НТИ: риск возникновения неопределённых событий, которые могут повлечь за собой нежелательные эффекты, существует, но вероятность наступления его маловероятна

Были проанализированы и выявлены опасные и вредные факторы производственной среды. К вредным факторам можно отнести: воздействие электрического напряжения на организм человека, микроклимат, воздействие шума. К опасным факторам можно отнести: электробезопасность и пожаробезопасность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chen H. C., Pinkerton A. J., Li L. Fibre laser welding of dissimilar alloys of Ti-6Al-4V and Inconel 718 for aerospace applications //The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2011. – Т. 52. – №. 9. – С. 977-987.
2. Murr L. E. et al. Microstructure and mechanical behavior of Ti-6Al-4V produced by rapid-layer manufacturing, for biomedical applications //Journal of the mechanical behavior of biomedical materials. – 2009. – Т. 2. – №. 1. С. 20-32.
3. Shalnova S. A. et al. Effect of recycled powder content on the structure and mechanical properties of Ti-6Al-4V alloy produced by direct energy deposition //Journal of Alloys and Compounds. – 2022. – Т. 893. – С.162264.
4. Boivineau M. et al. Thermophysical properties of solid and liquid Ti-6Al-4V (TA6V) alloy //International journal of thermophysics. – 2006. – Т. 27. – №. 2. – С. 507-529.
5. Tardelli J. D. C., Bolfarini C., Dos Reis A. C. Comparative analysis of corrosion resistance between beta titanium and Ti-6Al-4V alloys: A systematic review //Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. – 2020. – Т. 62. – С. 126618.
6. Arrazola P. J. et al. Machinability of titanium alloys (Ti6Al4V and Ti555. 3) //Journal of materials processing technology. – 2009. – Т. 209. – №. 5. – С. 2223-2230.
7. Elmer J. W. et al. Phase transformation dynamics during welding of Ti-6Al-4V //Journal of applied physics. – 2004. – Т. 95. – №. 12. – С. 8327-8339.

8. Zharebtsov S. et al. Mechanical properties of Ti–6Al–4V titanium alloy with submicrocrystalline structure produced by severe plastic deformation //Materials Transactions. – 2005. – Т. 46. – №. 9. – С. 2020-2025.
9. Лаптев Р. С. Разработка метода аннигиляции позитронов для контроля дефектной структуры в системах металл-водород : дис. – 2014.
10. Ахманова Е. В. и др. Проект LEPTA: формирование и инжекция позитронного пучка //Письма в ЭЧАЯ. – 2012. – Т. 9. – №. 4. – С. 618.
11. Horodek, P.; Kobets, A.G.; Meshkov, I.N.; Sidorin, A.A.; Orlov, O.S. Slow positron beam at the JINR, Dubna. Nukleonika 2015, 60, 725–728.
12. Horodek, P.; Bugdol, M.; Kobets, A.G.; Meshkov, I.N.; Orlov, O.S.; Rudakov, A.Y.; Sidorin, A.A.; Yakovenko, S.L. Development of positron annihilation spectroscopy at LEPTA facility. Phys. Part. Nucl. Lett. 2014, 11, 708–712.
13. Илларионов А. Г., Попов А. А. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов: учебное пособие. – 2014.
14. Хольм Р. Электрические контакты. М.: Изд. иностр, лит., 1961. 464 с.
15. Забоин В.Н. Определение сопротивления стягивания неоднородного скользящего электрического контакта.
16. Scientific proceedings of Riga technical university. Power and electrical engineering, 2002. С. 77-82.
17. Kohlrausch F. Statioarer Temperaturzustand // Ann. Phys. Lpz. № 1. 1990. С. 134-158.
18. Duan Chunzheng, Zhang Fangyuan, Kong Weisen. Modeling and Prediction of White Layer Thickness in Dry and Hard Machining of Hardened Steel. Journal of Mechanical Engineering, 2015, 51(17) : 194-202.
19. CHOU Y K, CHRIS J E. White Layers and Thermal Modeling of Hard Turned Surfaces. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 1999, 39: 1863-1881.

20. HAN S, MELKOTE S N, HALUSKA M S, et al. White layer formation due to phase transformation in orthogonal machining of AISI1045 annealed steel. *Materials Science and Engineering : A*, 2008, 488(1) : 195-204.
21. BULPETT R, EYRE T S, RALPH B. The Characterization of white layers formed on digger teeth. *Wear*, 1993, 162-164(2) : 1059-1065.
22. J Barry, G Byrne. TEM study on the surface white layer in two turned hardened steels. *Materials Science and Engineering*, 2002, 325(1-2) : 356-364.
23. ZHANG Fangyuan, DUAN Chunzheng, WANG Minjie. Research Status of the Machined Surface Metamorphic Layer. *Machinery Design & Manufacture* 2011265-268.
24. KÖNIG W, KOMANDURI R, TÖNSHOFF H K, et al. Machining of hard materials. *Ann. CIRP*, 1990, 39 : 417-427.
25. Tyumentsev A. N., Korotaev A. D., Bugaev S. P. Structural—phase transformations in metal alloys during high-dose ionic implantation //Russian Physics Journal. – 1994. – T. 37. – №. 5. – C. 452-461.
26. S. K. Sikka, Y. K. Vohra, and R. Chidambaram, *Prog. Mater. Sci.* 27, 245 (1982).
27. A. Jayaraman, J. W. Klement, and G. C. Kennedy, *Phys. Rev.* 131, 644 (1963).
28. V. A. Zilbershtein, N. P. Chistotina, A. A. Zharov, N. A. Grishina, and E. I. Estrin, *Fiz. Met. Metalloved.* 39, 445 (1975).[
29. G. T. Gray, C. E. Morris, and A. C. Lawson, in *Titanium '92: Science and Technology*., edited by F. H. Froes and I. L. Caplan (TMS, Warrendale, PA, 1993), p. 225.
30. G. Kresse and J. Hafner, *Phys. Rev. B* 47, 558 (1993)
31. G. Kresse and J. Furthmüller, *Phys. Rev. B* 54, 11169 (1996).
32. D. Vanderbilt, *Phys. Rev. B* 41, 7892 (1990).
33. G. Kresse and J. Hafner, *Journal of Physics: Condensed Matter* 6, 8245 (1994).
34. J. P. Perdew and Y. Wang, *Phys. Rev. B* 45, 13244 (1992).

35. Hennig R. G. et al. Impurities block the α to ω martensitic transformation in titanium //Nature materials. – 2005. – T. 4. – №. 2. – C. 129-133.
36. Sheyko S. Influence of parameters deformation on the structural phase transitions in steel and Ti-Al alloys //Modern Science Moderní věda. – 2015. – C. 195.
37. QIU J (2019) Research on cylindrical turning process stability judgment based on dynamic cutting process. J Mech Eng 55(3):208–218.
38. Li J-q, Xu B-c (2017) Study on adiabatic shearing sensitivity of titanium alloy in the process of different cutting speeds. Int J Adv Manuf Technol 93:1859–1865.
39. Li J., Wang C. Effect of the feed rate on three-dimensional topography of Ti-6Al-4V based on dynamic mechanical model analysis in cutting process //The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2019. – T. 105. – №. 1. – C. 1539-1547.
40. Bergersen B. et al. Positron diffusion in metals //Solid State Communications. – 1974. – T. 15. – №. 8. – C. 1377-1380.
41. West R. N. Positron studies of lattice defects in metals //Positrons in solids. – Springer, Berlin, Heidelberg, 1979. – C. 89-144.
42. Saito H., Nagashima Y., Hyodo T., Chang T.B. (1995): Mater. Sci. Forum 175-178,769.
43. Perkins A., Carbotte J. P. Effect of the positron-phonon interaction on positron motion //Physical Review B. – 1970. – T. 1. – №. 1. – C. 101.
44. Perkins A., Carbotte J. P. Effect of the positron-phonon interaction on positron motion //Physical Review B. – 1970. – T. 1. – №. 1. – C. 101.
45. Reid J. C., Evans D. J., Searles D. J. Communication: Beyond Boltzmann's H-theorem: Demonstration of the relaxation theorem for a non-monotonic approach to equilibrium //The Journal of Chemical Physics. – 2012. – T. 136. – №. 2. – C. 021101.

46. Vehanen A., Saarinen K., Hautojarvi P., Huomo H. (1987): Phys. Rev. B 35,4606.
47. Ghosh V. J., Aers G. C. Positron stopping in elemental systems: Monte Carlo calculations and scaling properties //Physical Review B. – 1995. – T. 51. – №. 1. – C. 45.
48. Madansky L., Rasetti F. An attempt to detect thermal energy positrons //Physical Review. – 1950. – T. 79. – №. 2. – C. 397.
49. Puska M. J., Nieminen R. M. Theory of positrons in solids and on solid surfaces //Reviews of modern Physics. – 1994. – T. 66. – №. 3. – C. 841.
50. Schultz P.J., Lynn K.G. (1988): Rev. Mod. Phys. 60, 701.
51. Saarinen K., Kuisma S., Hautojarvi P., Corbel C., LeBerre C. (1994): Phys. Rev. B 49, 8005.
52. Krause-Rehberg R., Eichler S. (1997): Poster at International conference on positron annihilation 11, Kansas City.
53. Stoneham A. M. Non-radiative transitions in semiconductors //Reports on Progress in Physics. – 1981. – T. 44. – №. 12. – C. 1251.
54. Puska M. J., Corbel C., Nieminen R. M. Positron trapping in semiconductors //Physical Review B. – 1990. – T. 41. – №. 14. – C. 9980.
55. S. Dannefaer, S. Kupca, B. G. Hogg, and D. P. Kerr, Phys. Rev. B22, 6135 (1980).
56. M. Shimotomai, Y. Ohgino, H. Fukushima, Y. Nagayasu, T. Mihara, K. Inoue, and M. Doyama, in Defects and Radiation Effects in Semiconductors, Inst. Phys. Conf. Ser. No. 59, edited by R. R. Hasiguti (IOP, London, 1981),p. 241.
57. J. Makinen, C. Corbel, P. Hautojarvi, P. Moser, and F. Pierre, Phys. Rev. B39, 10 162 (1989).
58. J. Makinen, C. Corbel, P. Hautojarvi, P. Moser, and F. Pierre, Phys. Rev. B39, 10 162 (1989).
59. Le Berre C., Corbel C., Saarinen K., Kuisma S., Hautojarvi P., Fomari R. (1995): Phys. Rev. B 52, 8112.

60. Brandt W., Paulin R. (1972): Phys. Rev. B 5, 2430.
61. Hautojärvi P., Tamminen A., Jauho P. Trapping of positrons by dislocations in aluminum //Physical Review Letters. – 1970. – T. 24. – №. 9. – C. 459.
62. Nieminen R.M., Puska M.J., Manninen M. (1984): Phys. Rev. Lett. 53, 1298.
63. Kawasuso A., Hasegawa M., Suezawa M., Yamaguchi S., Sumino K. (1995b): Appl. Surf. Sci. 85,280.
64. Kawasuso A., Hasegawa M., Suezawa M., Yamaguchi S., Surnino K. (1995c): Jpn. J. Appl.
65. Polity A., Krause-Rehberg R., Zlomanov V., Stanov V., Chatchaturov A., Makinen S. (1993): J. Cryst. Growth 131,271.
66. Campillo Robles J. M., Plazaola F. Collection of data on positron lifetimes and vacancy formation energies of the elements of the periodic table //Defect and Diffusion Forum. – Trans Tech Publications, 2003. – T. 213.
67. McGuire S. et al. Variable energy positron beam analysis of vacancy defects in laser ablated Sr Ti O 3 thin films on Sr Ti O 3 //Journal of applied physics. – 2006. – T. 100. – №. 4. – C. 044109.
68. Stucky M. et al. Characterization of vacancy defects in as-grown and electron irradiated GaAs by positron annihilation //Materials Science Forum. – Trans Tech Publications Ltd, 1986. – T. 10. – C. 265-270.
69. Ziegler J. F., Biersack J. P. The stopping and range of ions in matter //Treatise on heavy-ion science. – Springer, Boston, MA, 1985. – C. 93-129.
70. Kamalakkannan K. et al. Positron annihilation studies on N+ implantation induced vacancy type defects and its recovery in SI: 6H-SiC //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2021. – T. 504. – C. 50-57.
71. Suzuki R. et al. Characterization of intrinsic defects in CuInSe2 films by monoenergetic positron beams //Ternary and Multinary Compounds. – CRC Press, 2020. – C. 757-760.

72. Kršjak V. et al. A new approach to near-surface positron annihilation analysis of ion irradiated ferritic alloys //Nanoscale Advances. – 2021. – Т. 3. – №. 23. – С. 6596-6607.
73. Goldberg R. D., Schultz P. J., Simpson P. J. Determination of the characteristic signal for positron annihilation at divacancies in ion-irradiated silicon //Applied surface science. – 1995. – Т. 85. – С. 287-291.
74. Dekhtyar I. Y., Mikhailenkov V. S., Sakharova S. G. Effect of plastic deformation on the angular distribution of photons associated with positron annihilation in germanium and silicon single crystals //Fizika Tverdogo Tela. – 1969. – Т. 11. – №. 11. – С. 3322-3325.
75. Dryzek J., Schut H., Dryzek E. Subsurface zones in magnesium detected by variable energy positron beam //physica status solidi c. – 2007. – Т. 4. – №. 10. – С. 3522-3525.
76. Классификация, эволюция и самоорганизация дислокационных структур в металлах и сплавах (Конева Н.А., 1996).
77. Dupasquier A., Kögel G., Somoza A. Studies of light alloys by positron annihilation techniques //Acta Materialia. – 2004. – Т. 52. – №. 16. – С. 4707-4726.
78. Egger W, Kögel G, Sperr P, Triftshauser W, Baer J, Röding S, et al. Z Metallkd 2003;94:6.
79. Wood WA, McGourland S, Sargent KR. Acta Metall 1963;11:643.
80. Клинов А. В. О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕНЯТЬ СКОРОСТЬ РАСПАДА ЯДЕР //Сборник трудов АО ГНЦ НИИАР. – 2020. – №. 1. – С. 39-57.
81. Reino Aavikko. Positron Lifetime Spectroscopy: Digital Spectrometer and experiments in SiC. – Helsinki University of Technology. - 2006. – P. 52;
82. Laval M. et al. Barium fluoride—inorganic scintillator for subnanosecond timing //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. – 1983. – Т. 206. – №. 1-2. – С. 169-176.
83. Gedcke D.A., McDonald W.J. Design of the constant fraction of pulse height trigger for optimum time resolution. Nuclear Research Center, Physics

Department, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada. Nucl. Instr. and Meth. 58(2): 253 (1968).

84. Бордулев Ю. С. и др. Оптимизация параметров спектрометра для исследования времени жизни позитронов в материалах //Современные наукоемкие технологии. – 2013. – №. 8-2. – С. 184-189.
85. Krause-Rehberg R., Leipner H. S. Positron Annihilation in Semiconductors. – Heidelberg: Springer, 1999. – 378 p.
86. Хлебников И. Б. и др. ЭВОЛЮЦИЯ БЕЗАЗОТНЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ γ -ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ ИЗ ОСОБО ЧИСТОГО ГЕРМАНИЯ //Атомная энергия. – 2013. – Т. 114. – №. 1. – С. 29-33.
87. Mantl S., Triftshäuser W. Defect annealing studies on metals by positron-annihilation and electrical resistivity measurement // Physical Review B. – 1978. – V. 17. – № 4. – P. 1645 – 1652.
88. Лаптев Р. С. Разработка метода аннигиляции позитронов для контроля дефектной структуры в системах металл-водород : дис. – 2014.
89. В. И. Графутин, Е. П. Прокопьев, УФН, 2002, том 172, номер 1, 67–83.
90. Campillo Robles J. M., Plazaola F. Collection of data on positron lifetimes and vacancy formation energies of the elements of the periodic table //Defect and Diffusion Forum. – Trans Tech Publications, 2003. – Т. 213.
91. Čížek J. et al. Vacancy clusters in ultra fine grained metals prepared by severe plastic deformation //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2013. – Т. 443. – №. 1. – С. 012008.
92. Petriska M., Sabelová V., Slugeň V. CDBTools-evaluate positron annihilation coincidence Doppler broadening spectrum //Defect and Diffusion Forum. – Trans Tech Publications Ltd, 2016. – Т. 373. – С. 71-74.
93. Dryzek, E.; Sarnek, M.; Wrobel, M. Reverse transformation of deformation-induced martensite in austenitic stainless steel studied by positron annihilation. J. Mater. Sci. 2014, 49, 8449–8458.

94. ГОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности
95. ГОСТ 12.4.154-85 "ССБТ. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты"
96. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
97. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".
98. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
99. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
100. ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.
101. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
102. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
103. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
104. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности
105. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха
106. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
107. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.
108. ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Раздел 1.2. Теоретическая часть

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБМ01	Уразова Кристина Дмитриевна		

Руководитель ВКР (НОЦ) – Экспериментальной физики:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ	Лаптев Роман Сергеевич	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

старший преподаватель ИЯСГТ ТПУ	Лахотюк Любовь Андреевна	к.ф.н.		
---------------------------------------	-----------------------------	--------	--	--

3.2 Physical basis and experimental methods of positron annihilation spectroscopy

3.2.1 Model of positron capture by defects

The interaction of positrons with metals was studied in the last century [40], it is now known that this interaction is described by several processes: backscattering, channeling, thermalization, and diffusion. In the framework of this work it is sufficient to consider the processes of thermalization and diffusion.

Since positrons from sources are emitted with a kinetic energy exceeding the thermal energy of the crystal lattice of the metal, penetrating into the material is a violation of the thermal equilibrium of the system. After a relatively short time of 10-12 s [41-42] the system comes to thermal equilibrium - the kinetic energy of positrons is comparable to the lattice energy of the material, the process is called thermalization. At large values of the initial kinetic energy (on the order of KeV) of positrons, the loss of energy of these particles is due to ionization of atomic nuclei [43]. Decreasing initial energy, but continuing to move positrons excite conduction electrons in the case of metallic materials. At energies of the order of eV positrons lose the remaining energy on phonon scattering [44]. The process of thermalization is sometimes described by Boltzmann's relaxation theorem [45]

There is a concept of incomplete thermalization,. In such thermalization the positron can escape to the material surface. Incomplete thermalization occurs when the material is irradiated with low-energy positron beams [46]. This process is not considered in detail in the present work due to the fact that the initial energy of the positrons is sufficiently high (of the order of KeV) and incomplete thermalization does not occur. The penetration depth profile of positrons with a kinetic energy of 1- 25 KeV is simulated by the Monte Carlo method [47] and in a simplified mathematical form can be written as:

$$P(z) = \exp(-z\alpha), \alpha[cm^{-1}] = 17 * \frac{p[g \cdot cm^{-3}]}{E_{max}^{1.43}[MeV]} \quad (1)$$

Where α is the positron absorption coefficient, p is the mass density of the material.

This formula is used to calculate the minimum thickness of the sample. The minimum thickness of the sample means that at smaller thicknesses of the investigated sample the set of spectra will be hampered by the signals coming from the positrons that have passed through. The thickness z at which $P(z) \approx 0.999$ is acceptable. It is worth noting that this formula is not used in studies of the properties of the near-surface layers of solid materials.

After the thermalization process, positrons continue to move through the volume of the material by diffusion. The direction of diffusion can also be toward the surface of the material. It is known that in the case of thermalization and subsequent diffusion, electrons are able to leave the volume of the material. The diffusion length in metals is approximately $6 \cdot 10^{-6}$ cm. From this it follows that electrons thermalized to a thickness of 10^{-6} cm are able to leave the material. In 1950 an experiment was conducted to observe thermalized positrons on the surface of metals [48]. In this study, positrons leaving the surface of metals and liquids were not recorded. Several explanations were put forward, which were confirmed experimentally years later. First, positrons are trapped in the region of excess negative potential and annihilate in the volume without having time to move to the surface. Second, the positron gets to the surface, but is held by it. The diffusion length equation for a defect-free material has the following form [49]:

$$L_+ = \sqrt{\tau_b D_+}, \quad D_+ = \tau_r \frac{k_B T}{m^*} \quad (2)$$

τ_r is the relaxation time for the prevailing scattering mechanism, τ_b is the positron lifetime in the defect-free material, D_+ is the positron diffusion coefficient (+ sign), m^* is the effective mass of 1.3 - 1.7 m_0 , k_B is the Boltzmann factor.

The effective positron mass takes into account the influence of such processes as: positron scattering on phonons, screening by electrons and the effect of the periodic potential of the crystal lattice [50].

These formulas are applicable only in the case of theoretical calculations of diffusion characteristics of defect-free materials. The diffusion characteristics are influenced by internal and external electron fields [51]. It was found that the effective diffusion length has a direct dependence on the magnitude of the field strength, and the direction of diffusion depends on the sign of the applied voltage [52]. To date it is known that at low rates of positron capture by defects the influence of diffusion is significant in various calculations: S, W - annihilation parameters, effective diffusion length and defect concentration.

Diffusing in the volume of a real material the positron can be captured by a defective region of the atomic structure. This occurs in the process of random straying, as well as due to the fact that the electron density and pulse distribution of electrons in the defective region is different and, as a consequence, this region's ability to capture positrons differs from the ideal lattice. In mathematical form, the capture coefficient is expressed as:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_{dl}} + \frac{1}{k_{tl}} \quad (3)$$

The internal structure of real materials has defects. It is known that free carriers are captured by defective regions of the atomic structure and in semiconductors the capture occurs by radiation and non-radiation mechanisms [53]. Since radiative mechanisms are realized in the interval of 10 s, and the positron existence time in the material is 10^{-2} s, these particles are captured by defects through a nonradiative mechanism. Depending on the type of defect, the capture of positrons by the defect region is described by different models. The capture of positrons by defect types such as vacancies is studied by means of Fermi's golden rule. In 1990 the corresponding researches have been carried out [54]. In the paper it is noted that in metals only neutral vacancies are formed, in semiconductors neutral and vacancies with a charge are formed. It has been revealed that the capture rate of neutral vacancies does not depend on the temperature. For charged vacancies the situation is the opposite, there is an influence of the Coulomb tail, which causes the formation

of Rydberg states (the binding energy of the positron in Rydberg states is about 10 meV). This process leads to an increase in the overall positron capture coefficient for the case of low temperatures and negatively charged vacancies. In the case of low temperatures, positively charged vacancies repel positrons and positron localization in this region becomes unlikely. However, based on studies [55-57] we can say that in semiconductors the coupling coefficient does not always have a temperature dependence. So for Si strongly doped with P, no temperature dependence has been detected [58], in this paper this was explained by the electron-positron screening and Auger processes. The capture of positrons on negatively charged vacancies in pure silicon and in the low temperature region is explained by the cascade model. A schematic representation of the interaction of the positron with a solid is shown in Fig. 1.

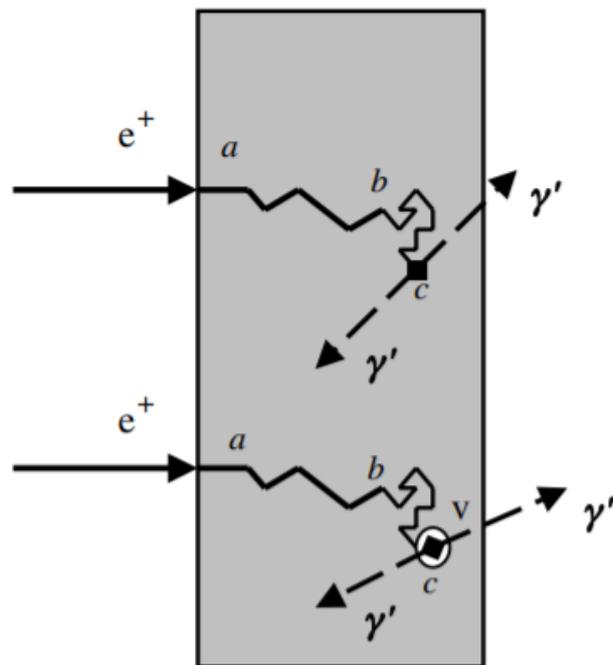


Figure 1. Schematic representation of the interaction of the positron with a solid. The upper figure shows: a. the implantation process, a-b - thermalization, b-c - diffusion, c- annihilation in the defect-free region (nonlocalized state). The lower figure shows the same processes, but annihilation in the defective region (localized state).

The capture of positrons occurs in two stages: 1. the positrons enter Rydberg states; 2. they leave this state and enter the vacancy zone. In the first state, positrons are delayed for a short time, and it is approximated by the following equation:

$$k = \frac{k_R V_R}{V_R + \delta_R} \quad (4)$$

Where V_R is the velocity of positrons leaving the Rydberg states;

k_R is the capture coefficient of Rydberg states;

δ_R - the rejection coefficient from this state (due to temperature effects).

The Rydberg series has a complex form and to quantitatively describe the capture capability of positrons, a two-part model was proposed in 1990 that reduces the Rydberg series to a single equation. The form of the equation is:

$$k = \frac{k_R V_R P_v}{V_R P_v + k_R \left(\frac{m^* k_B T}{2\pi \hbar^2} \right)^{3/2} \exp\left(\frac{-E_R}{k_B T}\right)} \quad (5)$$

Where V_R is the velocity of positrons leaving Rydberg states;

E_R - the binding energy of the positron with Rydberg states;

m^* - effective mass of the positron; P_v - vacancy density.

The degree of temperature in this equation is variable and depends on many factors: the vacancy charge, the relationship between diffusion and temperature, etc.[59].

There is a notion of shallow traps for positrons. The positrons in these traps have small binding energies. In standard experiments on positron annihilation traps of this type are not registered (the mean lifetime of positrons and the S parameter do not change). Reverse diffusion experiments using low-energy positron beams are a

method for registering such defects. They are not discussed in detail within the scope of this work.

A common defect in atomic structure, in addition to vacancies, are dislocations. In solids, this type of defect appears after plastic deformations. The simplest method of considering dislocations is to represent dislocations as a series of vacancies arranged in a single line. In this consideration, dislocations are an open type of defect, just like vacancies. The following formula is used in calculations of the entrapment coefficient:

$$k_{dl} = \frac{4\pi D_+ p_{dis}}{\ln(\pi p_{dis} r_d^2)^{-1}} \quad (6)$$

Where p_{dis} is the dislocation density

In the representation of the dislocation capture within the bounded diffusion process the calculation of the dislocation capture factor differs from the same factor for vacancies [60] by the corresponding concentration and the logarithmic multiplier which represents the cylindrical shape of dislocations (as opposed to the spherical shape of vacancies). In standard experiments on positron annihilation the process of positron escape from the dislocation trap is not taken into account and the probability of this process is taken as zero [61]. This type of defect is characterized by a binding energy of about 1 eV. The capture by dislocations is considered as two stages, similar to the considered situation for the negative charged vacancy. However, the formation nature of the preceding capture stage is different and according to the literature data [62] the expression is defined:

$$\frac{\delta}{k} = \frac{m^* k_B T}{2 p_{dis} h^2} \operatorname{erf}^{-1} \left(\sqrt{\frac{E_{dis}}{k_B T}} \right) \exp \left(\frac{-E_{dis}}{k_B T} \right) \quad (7)$$

Where E_{dis} is the positron binding energy of the unperturbed dislocation line;

δ - the positron capture rate.

Often the consideration of dislocation in semiconductors and metals does not differ [63-65]. Characteristic parameters of positron lifetimes (in vacancies, dislocations and defect-free structure) for simple materials can be found in [66].

3.2.2 Positron annihilation time distribution spectrometer

Positron Lifetime Spectrometry (PLS) is based on the measurement of positron birth and annihilation times. Since capturing the positron is a difficult task, this technique captures gamma quanta. The first gamma quantum corresponds to a conditioned positron birth. To implement this technique, radioisotopes decaying by β^+ decay are used as positron sources [67]. During this decay, the radioisotope emits a gamma-quantum with an energy of about 1.157 MeV during positron birth. During the annihilation of the positron with an electron gamma ray is emitted with a lower energy of 0.511 MeV. In the technique UHRS two detectors are used, tuned to different energies of 0.511 MeV and 1.157 MeV. The 1.157 MeV gamma ray is called a reference, while the 0.511 MeV annihilation gamma ray is called an annihilation gamma ray. Detectors detect the corresponding gamma-quanta, with a 0.511 MeV gamma-quantum hit recorded on the timeline as a "Start" signal, and 1.157 MeV as a "Stop" signal. The time difference between the signals is the positron lifetime.

The source activity is usually quite small, which allows us to assume that the annihilation processes in the matter under study do not overlap. Study [68] showed that the lifetime of positrons in matter belongs to the range from 0,1 to 1 ns, while the average lifetime between successive radiations of the positron source is a value of the order of microseconds. The time intervals between the "Start" and "Stop" signals are very short, and modern scintillation detectors, photomultiplier tubes (PMTs), and powerful data acquisition systems with high temporal characteristics are used to record such small values. In the present work detectors based on Ba2F scintillators are used [69] with a temporal resolution of the order of 240 p, and with a fwhm value of 550 ps. Schematically the realization of this technique is shown in figure 2.

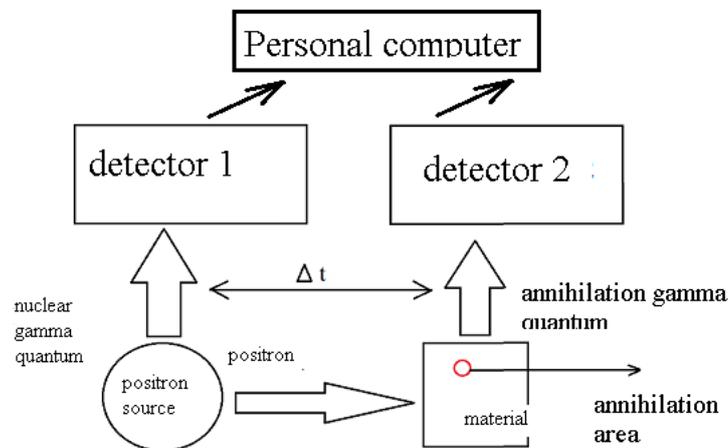


Figure 2. Schematic diagram of the implementation of the VRAP method.

The detectors are connected to the high-voltage power supply (HVPS) through two channels. Signals from the detectors are magnified by the use of FEMs. Sorting of the detectors' fixation of gamma-quanta of different energies is performed by discriminators. Pulses from the photodetectors go to differential or integral constant component discriminators (DCDs) [70], in which the time alignment with the front and the amplitude sorting take place. Signals from gamma quanta with higher energies have larger signal amplitudes; for lower gamma-quantum energies the signal amplitudes are smaller.

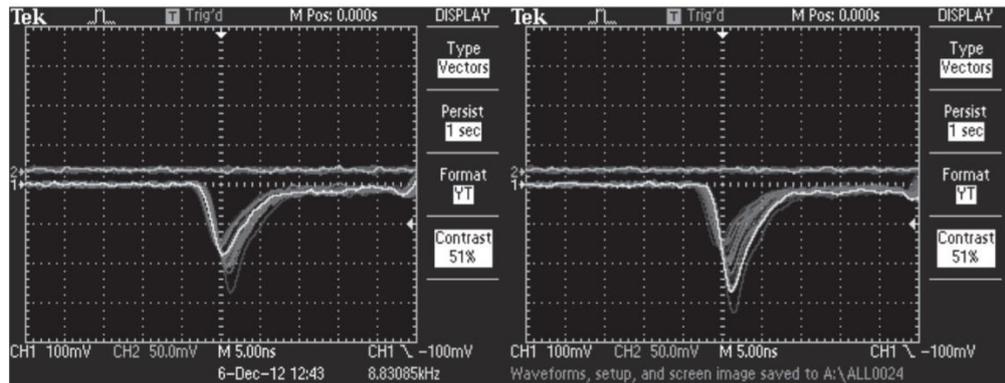


Figure 3. Oscillograms of signals from the "start" (left) and "stop" (right) detectors.

The "Start" signals after discrimination and PMT go immediately to the volt-amplitude converter (VAC). The "Stop" signal does not go immediately to the VAP, it goes first to the nano-second delay unit (NSD). Nano-second delay is necessary to ensure that the reference and annihilation gamma rays correspond to each other. Then the signals get to the block of multichannel pulse analyzer (MPA) and then go to the block of analog-digital converter, after which the spectrum is formed. On a personal computer, the spectrum set is displayed and saved as a text document in two columns: channels and number of signals. Figure 6 shows the device diagram of the analog-to-digital spectrometer VRAP.

3.2.3 Doppler annihilation line broadening spectrometer

Doppler annihilation line broadening spectrometry (DUAL) is based on measurements of the energy distribution of photons in matter (after positron annihilation). The peak at 0.511 MeV is taken as the nominal value. The energy distribution of photons depends on the region of positron annihilation, and the annihilation line spectrum changes.

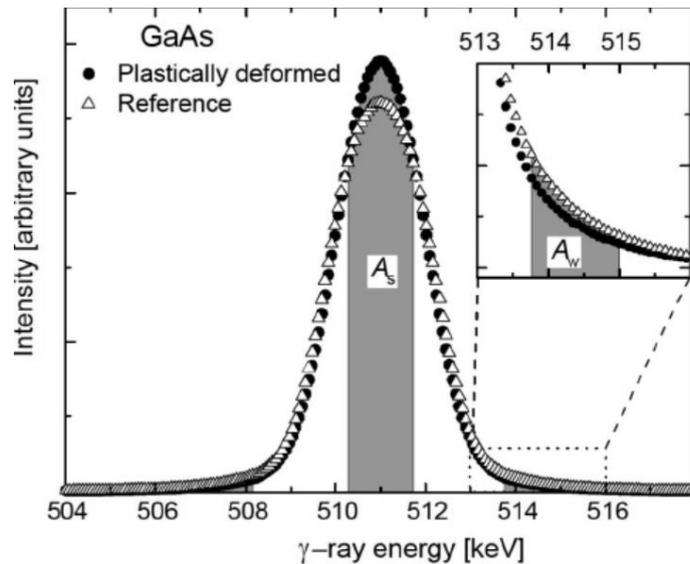


Figure 7. Example of the shape of the Doppler annihilation line broadening spectra.

As can be seen from Figure 7, the spectrum of the defect-free sample is broader and the peak is lower than that of the defective sample. Two parameters S and W are used to characterize DUAL spectra. The parameter S is called the valence parameter and corresponds to the ratio of the number of events in the central low-pulse region N_s to the total area of the entire ND curve. The parameter W is called the nucleus annihilation parameter and is analyzed in the high pulse range, this parameter is calculated as the number of events in the high energy range N_w divided by ND . The W parameter characterizes the chemical environment of the annihilation zone, since the collision of positrons with ground electrons occurs at high pulses. Analysis of the S and W parameters gives information about the types and concentrations of defects in the matter [71].

The implementation of this method is presented in Figure 4.

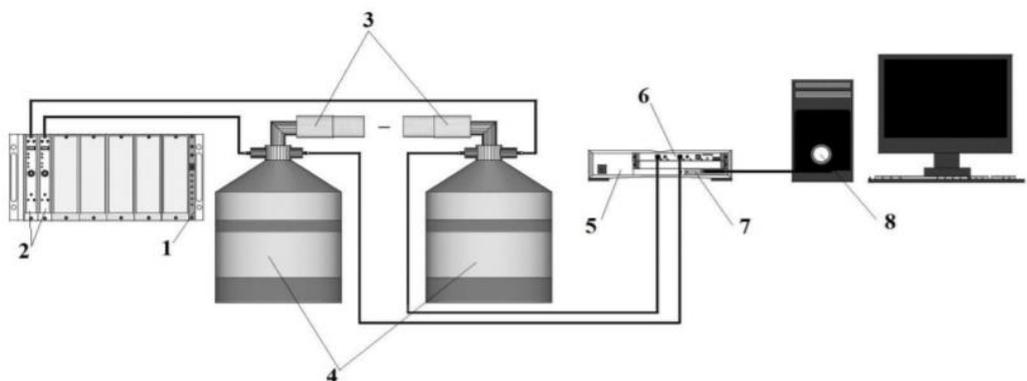


Figure 4. Schematic of a digital spectrometer for the analysis of Doppler annihilation line broadening coincidence; 1 - NIM Model 2100 frame, 2 - VIP Model 3106D, 3 - Semiconductor detector Model GC3018, 4 - Low-background vertical cryostat, 5 - 12-bit 2-channel digitizer

Model U1066A-001, 6 - 3-slot cPCI module frame Model U1091AC30, 7 - PCI/PCI interface
Model U1091AK03, 8 -PCI.

In this circuit, gamma rays are detected by means of two semiconductor detectors made of high-purity germanium (HPG). This type of detector operates in the low temperature range and requires cooling [72]. In the present work cooling is realized using cryostat with liquid nitrogen. Thus, the detector unit is a construction consisting of a GC3018 semiconductor detector, a Slimline series low-background vertical cryostat, and a Model 2002 charge-sensitive preamplifier by Canberra Industries, Inc. The resolution of this detector varies for peaks of 122 keV to 0.8 keV and for 1332 keV to 1.8 keV. The detectors are connected to power sources in the same way as the SVLF spectrometer. The signals recorded by the detectors are digitized and sent to the digitizer. From the digitizer, the data are transferred to the PC hard disk. Then, using specialized software, the data are processed into a spectrum [73]. Components of high-speed multichannel data conversion system are described in detail in the paper [74]. Time resolution is 2422 ± 2 ps and counting rate is 110 sob./s, energy resolution is $0,95 \pm 0,01$ keV, counting rate is 320 sob./s. Approximation of the present complex was carried out in [75].

3.2.4 Defect analysis using variable energy positron beams

The use of positron beams of various energy allows to carry out the layer-by-layer analysis of defective structure of materials [76]. The first studies on the defect structure of near-surface layers were carried out in 1986 [77]. The basis of this method is the analysis of the positron implantation depth profile and the defect distribution profile. The profile of the depth of implantation of positrons (and other particles) is modeled by the Monte Carlo scheme and carried out with the help of the computer program TRIM [78]. As a rule, the S parameters are analyzed predominantly. For today, many researches are carried out with the use of beams of variable energies [79-80]. The listed works are devoted to study of defect structure after implantation or irradiation by particles. The research result is demonstrated in the form of dependence of the normalized S parameter on the S_{bulk} value of the defect-free sample on the implantation dose, Figure 9.

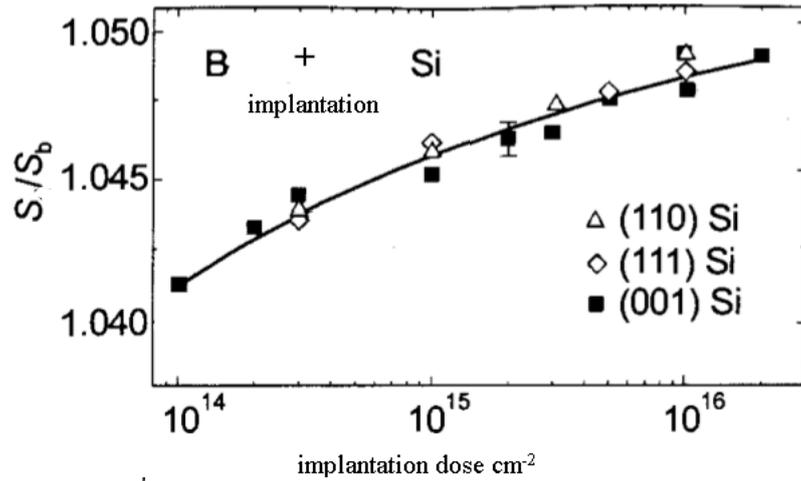


Figure 5. Example of the results of layer-by-layer study of boron implanted in silicon [73].

In the mentioned work (Fig. 9) S parameters were studied not only depending on the implantation depth, but also on the implantation direction along the silicon crystal planes. The implantation energies were: 50, 150 and 300 keV. The graph shows that there is no dependence of the S parameter on the orientation of the silicon crystal. This means that the distribution of defects caused by boron implantation is evenly distributed in all planes. As the implantation dose increases, the S parameter increases, which corresponds to an increase in the concentration and size of vacancy-type defects.

In addition to the study of vacancy defects, materials after plastic deformation are investigated using this technique. The spectrum of defects formed after plastic deformation is much more complex than that of implantation. This is explained by the fact that the defects during plastic deformation are dislocations. Dislocations can evolve by more complex mechanisms than vacancies

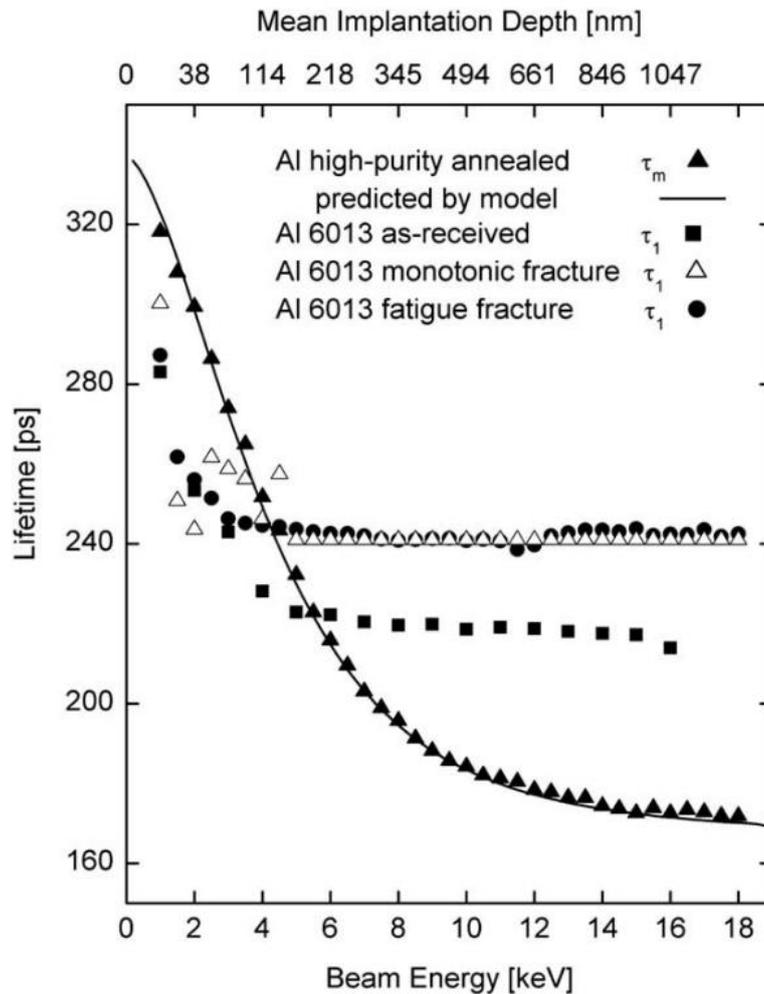


Figure 6: An example of the results of fatigue fracture of Al by positron annihilation using a positron beam of variable energy [78].

It can be seen from the above graph that there is a convergence of the lifetime to the value of 240 ps, this value reflects annihilation in the area of the appeared crack at fracture. The sample without fractures is shown by solid squares. As can be seen the lifetime values converge to the value of 216 ps, which corresponds to the annihilation of positrons on the electrons corresponding to the alloying material - Mg. In addition, this graph can be used to estimate the diffusion. Thus, diffusion in pure aluminum is more limited than in the alloy. A detailed examination of the dependence of the lifetime on the energy of the positron beam revealed that in the spectra there is a time component with values of 300 - 460 ps. This component tends to decrease with increasing implantation depth and corresponds to the lifetime of positrons in channeled clusters. The mentioned work experimentally confirmed the theoretical assumption about the formation of vacancy clusters during cyclic fracture of samples.

Often the properties of the near-surface layers are very different from the properties of the material in volume. Various mechanical treatments of alloys lead not only to plastic deformations, but also to overheating of the material surface, by virtue of which the structure of the near-surface layers may change. An interface is formed - a region of defect concentration. This technique has proven to be excellent for analyzing such structures.