

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование структуры и физико-механических свойств сплавов Au-Ti, полученных в условиях контактной сварки

УДК 669.215.669.295.5:621.791.76

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б81	Семейкина Дарья Дмитриевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Матренин С.В.	канд. техн. наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Кашук И.В.	канд. техн. наук.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Черемискина М.С.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Ваулина О.Ю.	канд. техн. наук		

Планируемые результаты обучения ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке (-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ОПК(У)-2	Способен использовать в профессиональной деятельности знания о подходах и методах получения результатов в теоретических и экспериментальных исследованиях
ОПК(У)-3	Готов применять фундаментальные математические, естественнонаучные и общинженерные знания в профессиональной деятельности
ОПК(У)-4	Способен сочетать теорию и практику для решения инженерных задач

ОПК(У)-5	Способен применять в практической деятельности принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской и расчетно-аналитической деятельности в области материаловедения и технологии материалов
ПК(У)-2	Способен осуществлять сбор данных, изучать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию по тематике исследования, разработке и использованию технической документации, основным нормативным документам по вопросам интеллектуальной собственности, подготовке документов к патентованию, оформлению ноу-хау
ПК(У)-3	Готов использовать методы моделирования при прогнозировании и оптимизации технологических процессов и свойств материалов, стандартизации и сертификации материалов и процессов
ПК(У)-4	Способен использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов), физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации
ПК(У)-5	Готов выполнять комплексные исследования и испытания при изучении материалов и изделий, включая стандартные и сертификационные, процессов их производства, обработки и модификации
ПК(У)-6	Способен использовать на практике современные представления о влиянии микро - и нано- структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями
ПК(У)-7	Способен выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов
ПК(У)-8	Готов исполнять основные требования делопроизводства применительно к записям и протоколам; оформлять проектную и рабочую техническую документацию в соответствии с нормативными документами
ПК(У)-9	Готов участвовать в разработке технологических процессов производства и обработки покрытий, материалов и изделий из них, систем управления технологическими процессами

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2021 /2022 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

(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)
01.10.2021	Литературный обзор	10
31.10.2021	Изучение методической части	5
01.10.2021	Подготовка образцов	20
01.04.2022	Экспериментальная часть	25
10.05.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
15.05.2022	Социальная ответственность	10
10.05.2022	Обработка и анализ результатов	20

СОСТАВИЛ:
Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Матренин С.В.	канд. техн. наук		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Ваулина О.Ю.	канд. техн. наук		

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки (специальность) Материаловедение и технологии материалов
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ О.Ю.Ваулина
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б81	Семейкина Дарья Дмитриевна

Тема работы:

Исследование структуры и физико-механических свойств сплавов Au-Ti, полученных в условиях контактной сварки	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ № 33-31/с от 02.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Трехслойные образцы на основе сплава Ti-Au, полученные с методом точечной контактной сваркой. Режимы импульсного тока: 1 образец 12 мс; 2 образец 17 мс, 3 образец 22 мс, 4 образец 27 мс, 5 образец 32 мс, 6 образец 37 мс.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Изучение теоретических аспектов физико-механических характеристик сплавов Au-Ti на основе отечественных и зарубежных источников; 2. Определение методов для изучения физико-механических свойств трехслойных образцов Au-Ti; 3. Исследование физико-механических свойств трехслойных образцов Au-Ti; 4. Обсуждение результатов выполненной работы.
---	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент</i>	<i>И.В. Кацук, доцент ОСГН ШБИП</i>
<i>Социальная ответственность</i>	<i>М.С. Черемискина, ассистент ООД ШБИП</i>

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Матренин С.В.	канд. техн. наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б81	Семейкина Дарья Дмитриевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 122 с., 41 рис., 29 табл., 66 источников.

Ключевые слова: титан, золото, Au-Ti сплавы, интерметаллические соединения, контактная точечная сварка, металлография, микроструктура, наноиндентирование, твердость, скретч-тестирование, модуль упругости.

Объектом исследования являются трехслойные образцы на основе Au-Ti, полученные с применением метода контактной точечной сварки.

Цель работы – исследование физико-механических характеристик сплавов Au-Ti, полученных с применением метода контактной точечной сварки.

В процессе выполнения работы был проведен анализ отечественной и зарубежной литературы по вопросу исследования, изучение современных методов для проведения заданного эксперимента, измерение твердости с применением метода инструментального индентирования в микро- и нанодиапазонах, исследование микроструктуры и элементного состава образцов на основе Au-Ti с применением методов оптического и рентгеноструктурного анализа.

Сплавы Au-Ti представляют собой материалы, которые отличаются высокими физико-механическими характеристиками. Отличительными свойствами данных сплавов являются высокие значения твердости, коррозионной стойкости, а также биосовместимость.

Область применения: изделия медицинского назначения, в частности для стоматологического протезирования, что связано с определенной совокупностью свойств Au-Ti сплавов.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в улучшении физико-механических свойств Ti сплавов при добавлении Au, а соответственно и конечного изделия, что может способствовать повышению его надежности и долговечности.

В будущем планируется расширить спектр исследуемых свойств сплавов на основе Au-Ti и использовать различные варианты сварки для их получения.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ И НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Контактная сварка – процесс образования неразъёмного сварного соединения путём нагрева металла, проходящим через него электрическим током и пластической деформации зоны соединения под действием сжимающего усилия

Инструментальное индентирование – под инструментальным индентированием понимается процесс, управляемый специальной испытательной установкой, при котором происходит непрерывное внедрение наконечника (алмазная пирамида Берковича, Виккерса, твердосплавный шарик и т.д.) в испытуемый образец под действием плавно возрастающей нагрузки с последующим ее снятием и регистрацией зависимости перемещения наконечника от нагрузки

Интерметаллид – это химическое соединение, состоящее минимум из двух сортов атомов, каждый из которых металл. В отличие от сплавов, структура которых обычно полностью идентична структуре преобладающего компонента, интерметаллиды – однородные химические соединения, кристаллическое строение которых не повторяет структур

ОЦК – Объемно центрированная кубическая решетка

ГПУ – Гексагональная плотноупакованная кристаллическая решетка

ДИК – Дифференциальный интерференционно-контрастный

ЗТВ – Зона термического воздействия

ОКР – Область когерентного рассеяния

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	13
1 Литературный обзор	17
1.1 Титан: получение, физические свойства, классификация	18
1.2 Золото: получение, физические свойства, классификация	23
1.3 Диаграмма состояния системы титан – золото (Ti-Au).....	24
2 Экспериментальная часть.....	26
2.1 Шлифовка поверхности образцов	26
2.2 Полировка поверхности образца	27
2.3 Травление	27
2.4 Аттестация на оптическом микроскопе.....	28
2.4.1 Метод дифференциально-интерференционного контраста.....	28
2.5 Точечная сварка.....	30
2.5.1 Конструкция для закрепления образцов.....	32
2.6 Измерение твердости	33
2.6.1 Наноиндентирование на твердомере Nano Indenter G 200	35
2.6.2 Методика индентирования	38
2.6.3 Методы определения твердости	42
2.7 Скретч-тестирование на твердомере Nano Indenter G 200.....	45
2.7.1 Методика выполнения скретч-тестирования	46
2.8 Определение рентгенофазового состава сплавов	47
2.9 Расчет параметра кристаллической решетки	48
2.10 Объем. Массовая доля	50
3 Экспериментальная часть.	52
3.1 Металлографический анализ снимков.....	52
3.2 Теоретический расчет объема и массовой доли золота, входящего в состав образцов.....	56
3.3 Измерение твердости методом наноиндентирования.....	59
3.4 Измерение твердости методом Виккерса	62

3.5 Анализ скретч-тестирования.	65
3.6 Рентгеноструктурный анализ сплава Ti-Au	68
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	73
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	74
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	74
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений	74
4.1.2 SWOT-анализ	76
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	79
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	79
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	81
4.3 Бюджет научного исследования	86
4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	87
4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования	88
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	89
4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	91
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	92
4.3.6 Накладные расходы	92
4.3.7 Бюджетная стоимость НИР	93
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	94
4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности	94
4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности	95
4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки	96
Выводы по разделу	97
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	99
5 Социальная ответственность	101

Введение.	101
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	102
5.2 Производственная безопасность.....	103
5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.	105
5.3 Экологическая безопасность.....	110
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	112
Выводы по разделу.	114
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	115
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	117

ВВЕДЕНИЕ

Титан является наиболее подходящим материалом для многих медицинских изделий, таких как имплантаты, эндопротезы, пластины для остеосинтеза и краниопластики черепов, а также различные крепежные элементы (мосты, скобы, винты и т.д.) в травматологии и стоматологии благодаря его хорошему сочетанию физических, механических и биомедицинских свойств [1-4]. В то же время повышение как прочности, так и коррозионной стойкости таких изделий в настоящее время является актуальной задачей [5, 6].

Дело в том, что коммерчески чистый титан (CP Ti) обладает улучшенными инертными и биосовместимыми характеристиками, но у него также есть некоторые недостатки, в том числе пониженная деформируемость и недостаточная износостойкость (из-за низкой твердости) [7]. Кроме того, высокая температура плавления и реакционная способность титана к кислороду и азоту усложняют его обработку и обработку для улучшения функциональных свойств. Таким образом, легирование титана различными металлами является наиболее распространенным методом для этой цели, но он имеет некоторые ограничения из-за несовместимости с человеческим организмом это значительно сужает диапазон возможных композиций. Так, несмотря на широкое применение таких титановых сплавов, как интерметаллиды TiNi, обладающие эффектом памяти формы, сплав Ti-6Al-4V, характеризующийся улучшенными прочностными характеристиками, и сплавы Ti-Nb с относительно низким модулем упругости [5], существуют некоторые проблемы, связанные с наличием токсичные Ni, Al, V и Nb в качестве их компонентов. Поэтому существует огромный интерес к легированию титана благородными металлами (такими как серебро, золото и платина) для некоторых стоматологических применений в течение многих лет, несмотря на их высокую стоимость [8–11]. Помимо того, что они нетоксичны, они также могут оказывать

антимикробное и противовоспалительное действие на организм человека (например, серебро) [12-17]. Следует отметить, что в этих случаях необходимо улучшать как механические свойства, так и коррозионную стойкость [13, 14, 16], которые определяют надежность и долговечность таких имплантатов или протезов. Следовательно, биомедицинские сплавы титана с благородными металлами (в первую очередь с золотом) изучены достаточно подробно [12-17]. Влияние составов сплавов Ti-Au на их микроструктуру, формирующие фазы и сообщалось о механических свойствах для довольно широкого диапазона концентраций золота (как правило, до 40% по массе) [13, 14, 16] и даже от 0 до 100% [17]. Как правило, их фазовые составы определялись на основе как диаграммы равновесного состояния Ti-Au (нарисованной J.L. Murray [18]), так и данных, термодинамически рассчитанных с использованием метода CALPHAD [19]. Однако в знаниях все еще существуют некоторые пробелы, которые авторы статьи [17] попытались заполнить путем детального изучения сплавов Ti-Au, соединив графики фазовых диаграмм с диаграммами Виккерса значения твердости. Были выделены два массива данных: высокие уровни твердости 6,50–7,80 ГПа для концентраций золота в диапазоне 22-34 мас.% и низкие 2,64–2,83 ГПа при его содержании 50-80 мас.%. Низкий диапазон твердости близок к таковому для литого CP Ti, в то время как высокие значения твердости связаны с образованием интерметаллического соединения Ti₃Au. Соответственно, эти наблюдаемые закономерности позволяют использовать тесты на микротвердость в качестве экспресс-метода для выявления образования фазы Ti₃Au в сплавах Ti-Au.

В настоящее время аддитивные методы производства широко применяются для изготовления имплантатов и других медицинских изделий из титана и его сплавов. В этом исследовании, чтобы оценить возможность их использования при поверхностном легировании золотом, порошок CP Ti и фольга Au были использованы в качестве исходного сырья для метода электронно-лучевой порошковой плавки (EB PBF). Для этой цели было

развернуто оборудование для 3D-печати [20-22]. Мотивацией для исследования была экономическая целесообразность экономии золота путем формирования поверхностных сплавов с требуемым составом в конкретный объем продукта (так называемый подход, специфичный для конкретного сайта) [23]. Подложка из сплава Ti-6Al-4V была выбрана из-за его хорошей свариваемости. Испытания на твердость проводились методом наноиндентирования [24-25] в сочетании с металлографическими и рентгеноструктурными исследованиями, которые позволили идентифицировать фазовый состав и микроструктурные структуры нанесенной оболочки.

Традиционный подход к созданию сплавов заключается в выборе одного или нескольких базисных элементов, к которым непосредственно добавляются легирующие компоненты для придания вторичных свойств будущего сплава. На сегодняшний день существует множество сплавов на основе различных металлов, например: железо, медь, алюминий, титан, никель и т.д.

Титан, вследствие хорошего сочетания физических, механических и биомедицинских свойств является наиболее подходящим материалом для широкого применения в медицине в качестве имплантатов, эндопротезов, пластин для остеосинтеза и краниопластики черепа, а также в качестве различных крепёжных элементов (мосты, скобы, винты и т.п.) в травматологии и стоматологии [24-25]. Вместе с тем повышение прочностных и коррозионностойких свойств титана и его сплавов, применяемых в медицине, с учётом обеспечения хорошей биосовместимости и сегодня является актуальной задачей [25-26]. Дело в том, что наиболее инертными и биосовместимыми свойствами обладает коммерчески чистый титан, однако он имеет такие недостатки как низкая деформируемость, недостаточная износостойкость (вследствие низкой твёрдости), плохая обрабатываемость и свариваемость [27]. Высокая температура плавления и химическая активность титана к кислороду и азоту дополнительно создают

сложности для его использования, в том числе и в случае применения тех или иных процессов, направленных на повышение его свойств. Легирование титана различными металлами является наиболее распространённым методом. Однако, применяя для легирования титана, те или иные металлы, необходимо принимать во внимание значительные биомедицинских ограничения, которые существенно сужают круг возможного применения тех или иных металлов. В свою очередь внедрение золота в сплав Ti-Au позволяет добиться улучшенных показателей эксплуатационных свойств [28].

1 Литературный обзор

На сегодняшний день существует самый твердый биосовместимый сплав, который получила группа ученых из университетов США, им является сплав титана с золотом β -Ti₃Au [29].

Титан по своим свойствам физиологически инертен, т.е. имеет контакт с биологическими тканями и не окисляется в организме человека, помимо этого титан имеет высокий показатель прочности (до 140 кг/мм²), но обладает низкой плотностью (4,5 г/см³). Как показывает статистика, титановые протезы в среднем необходимо менять каждые десять лет, так как протез изнашивается. Перед учеными встала задача найти или создать материал, который позволит продлить время носки и будет иметь более высокий показатель износостойкости [29 – 30].

Предшествующие эксперименты со сплавами титана с серебром (Ag) и медью (Cu) показали достаточно хорошие результаты, но ученые задумались о том, что нужно использовать металл с большей атомной массой для лучшей прочности и с похожими свойствами как у меди и серебра. Под все выставленные требования ученых подходило золото (Au), так как в периодической системе химических элементов Au находится в одиннадцатой группе, к которой также относятся Ag и Cu [29 – 30].

Эмилия Моросан (профессор университета Райса) со своими коллегами из университетов США решила провести эксперименты, показывающие, как изменяются показатели прочности в зависимости от количественных соотношений, первым из которых было соотношение один к одному (одна часть титана и одна часть золота). Впоследствии, было выявлено, что сплав в соотношении три части титана к одной части золота оказался наиболее прочным.

Что касается применения, то сплав Ti-Au можно отнести к изготовлению биомедицинских имплантатов, для которых важнейшими факторами являются биосовместимость и хороший показатель

износостойкости. Как известно титан и золото давно нашли свое применение в медицине, так как сами по себе эти металлы являются биосовместимыми с тканями организма. Исследователи уверены, что объединив титан и золото можно создавать износостойкие и надежные имплантаты [31].

1.1 Титан: получение, физические свойства, классификация

То, что титан самый прочный в природе металл ученые поняли не сразу, потому что более ста лет после его открытия химикам не удавалось получить его в чистом виде, а даже незначительное содержание примесей делало полученный титан хрупким и непрочным. В природе он встречается только в различных соединениях, чаще всего в руде ильменит, в ильмените содержится 50% диоксида титана (TiO_2), остальная часть – оксиды железа и различные примеси [25-26].

Ильменит – это случайная находка одного немецкого предпринимателя Иогана Менге, который жил в XIX веке. В 1826 году Менге отправился за драгоценными камнями на Урал, но вместо этого нашел огромные залежи черной руды, ее называли ильменит (FeTiO_3) по названию Ильменовых гор, где впервые на земле были обнаружены огромные запасы титановых руд.

Ильменит состоит из оксидов титана, оксидов железа и других примесей, химикам не удавалось получить чистый титан более ста лет [32].

Сегодня на то, чтобы получить чистый титан из ильменита требуется порядка пяти дней. Первый этап – из руды нужно удалить оксиды железа, для этого ильменит вместе с углем отправляют в огромные печи, в течение шести часов расплавленная руда разделяется на два слоя: чугуна и диоксида титана. Расплавленный чугун тяжелее диоксида титана, поэтому он опускается на самое дно печи, рисунок 1. Шлак – это и есть сырье в котором содержится более 80% диоксида титана, для того чтобы отправить его на последующий этап, необходимо дождаться пока вся масса не застынет [32].

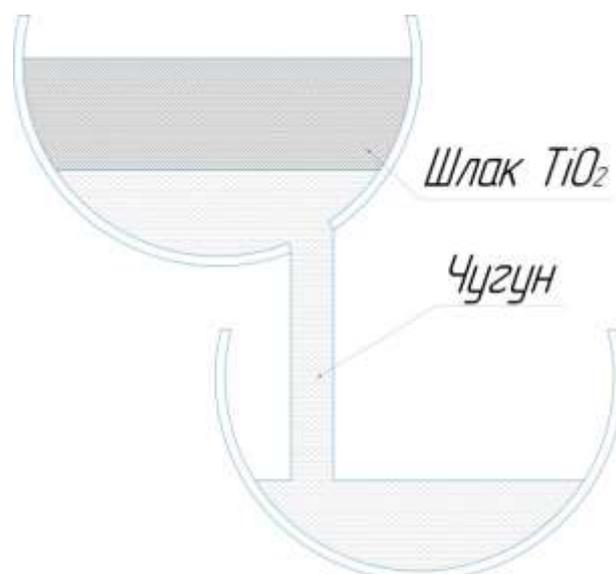


Рисунок 1 – Расслоение диоксида титана и чугуна в печи

Второй шаг – после полного остывания диоксида титана готов к следующим химическим превращениям, теперь главная задача отделить кислород из этого соединения. Эта связь очень прочна, но еще в 1940 году американский ученый Вильям Кроул изобрел способ, который все же позволил отцепить кислород от титана, именно этот метод до сих пор используют во всем мире для получения уникального металла. Во время своих опытов американский химик выяснил, что кислород из диоксида титана может вытеснить хлор:



Это закрытый процесс, он проходит при высокой температуре, в результате получается новое вещество тетрахлорид титана (TiCl_4) – это химическое соединение титана с хлором уже не такое прочное и из него легче получить чистый титан. Далее чтобы отсоединить титан от связи с хлором добавляют магний, именно к нему присоединится хлор, получится новое вещество – дихлорид магния (MgCl_2), а титан, наконец, останется один в чистом виде [32-33].

Титан это уникальный металл свойства этого металла делают его незаменимым во многих отраслях промышленности. Титан металл

серебристо белого цвета, парамагнитен, т.е. в магнитном поле не намагничивается [1-5].

Титан существует в двух кристаллических модификациях: α – Ti, который имеет гексагональную плотноупакованную кристаллическую решетку (ГПУ) и β – Ti, который имеет объемно-центрированную кубическую кристаллическую решетку (ОЦК). Температура полиморфного превращения α – Ti и β – Ti порядка 883 °С.

Титан имеет плотность равной 4,51 г/см³, температуру плавления – 1668 ± 5 °С, предел прочности при растяжении $\sigma_B = 300 – 450$ МПа, обладает высокими механическими свойствами, высокой удельной прочностью, коррозионной стойкостью, в виду образования на его поверхности плотной защитной пленки, которая состоит из оксидной формы титана TiO₂, толщина этой пленки примерно 5 – 6 нм, однако Ti имеет один недостаток – низкий показатель теплопроводности [1-15].

Титан хорошо обрабатывается давлением, то есть легко прокатывается, штампуется, сваривается, однако плохо обрабатывается резанием, а также обладает низкими антифрикционными свойствами.

Из чистого титана изготавливают емкости для хранения кислот, арматуру, части реакторов, насосы для перемещения органических и неорганических кислот и оснований, также незаменим титан в бронетанковой технике, для изготовления тонкостенных труб и теплообменников, также пропеллеров и элементов турбин [16].

В качестве конструкционного материала чаще всего титан используют не в чистом виде, а в виде сплава. Титановые сплавы превосходят чистый титан по прочности, уступая ему по пластичности и вязкости. Сплавы титана обладают высокой удельной прочностью, коррозионной стойкостью во многих коррозионно - агрессивных средах, также сплавы немагнитны и обладают хорошей жаропрочностью при температурах до 500 – 600 °С. Одна из целей легирования титановых сплавов является повышение прочности, жаропрочности и коррозионной стойкости. Основными легирующими

элементами являются: Al, Cr, Mo, V, Mn, Sn и т.д., однако существуют вредные примеси такие как H₂ и O₂ из - за которых снижается коррозионная стойкость, свариваемость, штампуемость и т.п [34].

По технологическому признаку титановые сплавы подразделяют на деформируемые и литейные, деформируемые могут быть упрочняемые термической обработкой и неупрочняемые термической обработкой. Сплавы, которые неупрочняются термической обработкой в свою очередь подразделяются еще на два вида, это сплавы невысокой прочности и повышенной пластичности, имеют предел прочности до 700 МПа, а также сплавы средней прочности, предел прочности 750 – 1000 МПа, рисунок 2. Сплавы невысокой прочности и высокой пластичности обладают, как правило, хорошими свойствами пластической деформации как в горячем, так и в холодном состоянии, хорошо свариваются, коррозионная стойкость (морская вода, хлориды, щелочи, органические кислоты) данных сплавов достаточно высокая. Широко применяются в качестве конструкционных материалов для тех или иных видов полуфабрикатов, например, фольга, лента, листы, штамповки и т.д. [34].

Сплавы средней прочности наряду с повышенной прочностью сохраняют удовлетворительную пластичность в холодном состоянии, имеют хорошую пластичность в горячем состоянии, среднепрочные сплавы имеют высокий показатель обработки резанием и также хорошо свариваются, помимо этого обладают коррозионной стойкостью в большинстве агрессивных сред. Данные сплавы используются для изготовления листовой штамповки, сварных деталей и узлов, также применяются для изготовления емкостей и сосудов высокого давления, для хранения нефти и нефтепродуктов [35].

Деформируемые сплавы, упрочняемые термообработкой отличаются тем, что имеют большой предел прочности, то есть 1000 МПа, высокая прочность таких сплавов достигается упрочняющей термической обработкой, чаще всего она включает закалку и последующее старение, старение

производят для того чтобы улучшить сопротивление коррозии. Наряду с высокой прочностью данные сплавы сохраняют хорошую или удовлетворительную техническую пластичность в горячем состоянии, для обеспечения требуемого уровня прочности и пластичности обязательно проводят полный отжиг [36]. Сплавы обладают удовлетворительной свариваемостью, плохо обрабатываются резанием, однако обладают высокими антикоррозионными свойствами. Такие сплавы применяют для изготовления прутков, штамповок, поковки, профилей и т.д.

Литейные титановые сплавы это еще одна отдельная большая группа сплавов, которая обладает литейными свойствами, высокой жидкотекучестью и малой склонности к газовой пористости. Содержание легирующих элементов по-разному влияют на усадку данного сплава, то есть линейная усадка колеблется в пределах 0,85 – 1,2 %, объемная в диапазоне от 2,4 до 3,2 %. По сравнению с деформированными, литейные сплавы имеют меньшую прочность, пластичность, выносливость, но существенное их преимущество в том, что они дешевые. Однако в случае работы при повышенных температурах литой материал будет иметь лучшие свойства касаемые жаропрочности и сопротивления ползучести. Сложность литья титановых сплавов обуславливается активным взаимодействием титана с газами и формовочным материалом. Термическая обработка литейных титановых сплавов включает в себя в основном только отжиг, и для снятия остаточных напряжений проводят для всех сплавов неполный отжиг при 600 °С и для некоторых видов титановых сплавов проводят при различных температурах полный отжиг. Сплавы применяют для изготовления трубных заготовок, различных фасонных отливок и т.д.

Таким образом, титан и его сплавы находят применение в различных отраслях промышленности, когда необходимо сочетать высокую прочность, коррозионную стойкость, вязкость и небольшую плотность.



Рисунок 2 – Классификация титановых сплавов

1.2 Золото: получение, физические свойства, классификация

Золото – один из металлов, который ценится человечеством уже не одно тысячелетие. Золото несложно найти в природе, при том его обработка относительно проста, ведь в земле оно находится в практически чистом виде – самородках. При этом очень долгое время металл использовали только как способ оплаты и материал для украшений. Несмотря на это с развитием науки и техники люди выяснили, что золото можно использовать в других сферах жизни: повсеместным является применение золота в медицине, электротехнике, оружейном производстве и это далеко не все отрасли хозяйства, где ценится драгоценный металл [37].

С точки зрения химии золото полезно тем, что оно практически не вступает в реакцию и не поддается воздействию агрессивных веществ и сред, то есть оно не окисляется и может быть использовано во многих отраслях. А с физической точки зрения можно сказать, что золото в чистом виде

насыщено желтый и при этом мягкий металл, и в тоже время достаточно плотный, что может объяснить вес изделий из него. Золото как материал легко поддается обработке, так например, температура плавления благородного металла составляет всего 1064 °С, также материал очень ковкий и легко поддается вытягиванию. При всех достоинствах у золота есть крупный недостаток – незначительная твердость, то есть в чистом виде материал легко деформируется, эту проблему со временем тоже научились решать с помощью добавления различных химических элементов: серебро, золото, медь, платина, титан и др., так появились различные виды золота. Прежде всего, золото стоит разделять на два вида: банковское и ювелирное. В первом случае внимание обращают на чистоту металла, а во втором на прочность и долговечность. Банковское золото, как правило, обладает стандартом 999 пробы, такой образец не имеет примеси других элементов, а ювелирное золото обладает примесями как раз из-за главного недостатка металла – мягкости, то этому по типу примесей появились различные разновидности золота [37].

1.3 Диаграмма состояния системы титан – золото (Ti-Au)

В системе образуются четыре промежуточные фазы: Ti_3Au , $TiAu$, $TiAu_2$ и $TiAu_4$ [38]. На основе Au и Ti образуются ограниченные твердые растворы, рисунок 3.

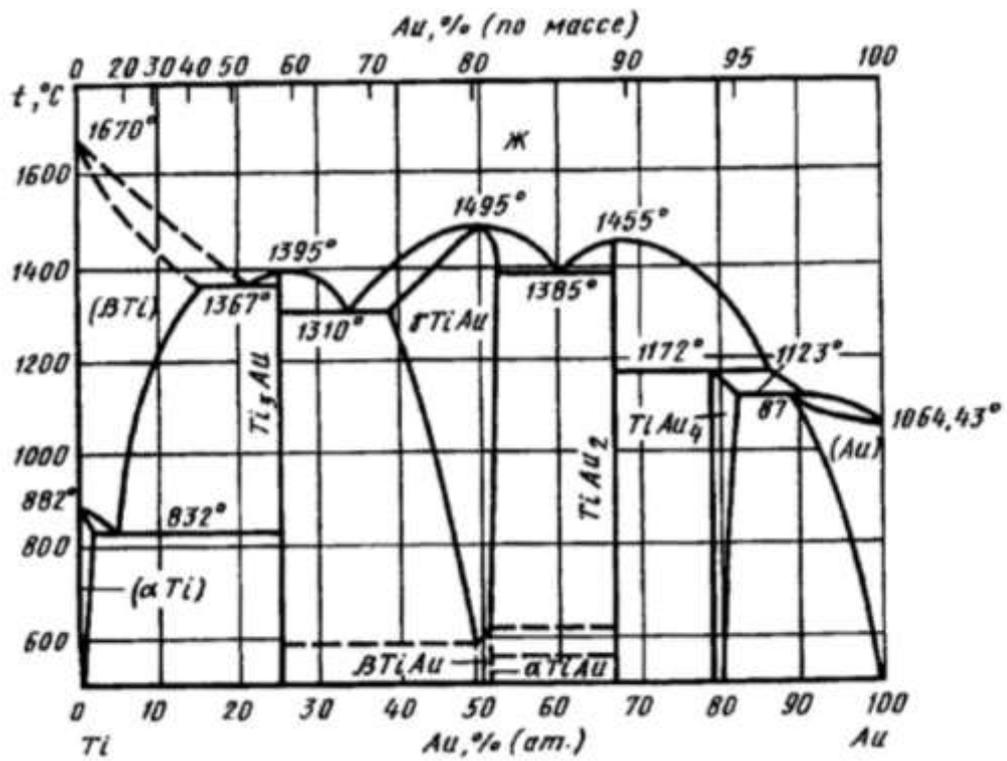


Рисунок 3 – Диаграмма состояния Ti-Au

2 Экспериментальная часть

2.1 Шлифовка поверхности образцов

Шлифовка – это механическая обработка металла, которая необходима для достижения наименьшей шероховатости образца.

Процесс работы на шлифовальном станке начинается с подготовки шлифовальной бумаги и крепежного кольца. Для TiAu-образцов использовались абразивные материалы зернистостью от 180 до 2500.

В процессе шлифовки образец металла может сильно нагреваться, изменяя начальную структуру. Поэтому необходимо обеспечить доступ охлаждения на шлифовальный круг в течение всего времени работы на оборудовании. На шлифовально-полировочном станке можно выбрать подходящую скорость вращения дисков. Выбор скорости и длительности времени процесса шлифовки зависит от исследуемого образца и желаемой толщины.

При непосредственном процессе шлифовки рекомендуется перемещать образец от края диска к центру, это позволит удалить воздух между шлифовальной бумагой и образцом. Далее образец следует держать на одном месте несколько секунд, для того чтобы все риски на его поверхности были одинаково направлены и параллельны между собой.

В процессе шлифовки необходимо переходить от грубой абразивной бумаге к бумаге с меньшей зернистостью, в моем случае использовались следующие абразивные бумаги: 100, 180, 240, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000 мкм. При этом направление шлифовки образца при смене абразивной бумаги необходимо изменять на 90° , чтобы удалять более глубокие продольные и поперечные риски. Данная процедура повторяется до полного удаления видимых рисков на поверхности образца.

2.2 Полировка поверхности образца

Полировка – это заключительный этап механической обработки материалов при помощи мелких абразивов. Главной целью полировки является придание обрабатываемой поверхности образца зеркального отражения.

Процесс полировки начинается с подготовки полировочного диска и необходимой пасты-суспензии. Сукно смачивают специальной полировальной жидкостью, которую подают непрерывно или периодически.

К диску с сукном прижимают отшлифованной поверхностью образец и в процессе полировки начинают производить движение. Процесс нужно проводить при относительно низких скоростях вращения дисков на шлифовально-полировочном станке.

При процедуре полировки рекомендуется поворачивать образец сначала на 30° затем на 45° и 60° .

После окончания полировки нужно убедиться, что с поверхности исчезли риски и итогом служит зеркальная поверхность, далее нужно очистить поверхность образца от используемой пасты-суспензии водой или спиртом.

2.3 Травление

Травление – это процесс удаления с поверхности образца окислов при воздействии на нее различных кислот или травящих реагентов.

Для травления поверхности металлических изделий применяют травильные растворы, главным образом из серной, азотной и соляной кислот. В данном случае для процесса травления золота использовалась смесь концентрированных азотной HNO_3 и соляной HCl кислот – «Царская водка»,

в пропорции 1:3. Для травления титана использовалась плавиковая кислота HF с добавлением глицерина в пропорции 1:1.

Полученные (готовые) образцы следует аккуратно, не испортив поверхность после полировки, протереть ватной палочкой с травящим раствором, и за истечением определённого времени, которое зависит от материала образцов, следует протереть поверхность спиртом и высушить.

2.4 Аттестация на оптическом микроскопе

Для качественного процесса полировки нужно заранее проанализировать полученную ранее поверхность образцов, так как в ходе шлифовки могут образоваться глубокие царапины, их наличие может навредить полировке образца. В настоящей работе аттестация микроструктуры осуществлялась на оптическом микроскопе Carl Zeiss Axio Observer 5. Для качественного анализа необходимо включить камеру, сопряженную с компьютером, настроить яркость, разрешение и масштаб. Далее произвести детальный осмотр поверхности и выявить дефекты поверхности образцов. Если поверхность оказалась гладкой, без видимых механических повреждений, то такой образец далее подвергается процессу полировки, а если же на поверхности обнаружены риски, повреждения, то он повторно шлифуется.

После процесса полировки процедура повторяется, так как нужно убедиться в качестве поверхности образца и проделанной работы в целом.

2.4.1 Метод дифференциально-интерференционного контраста

В сравнении с типовой конфигурацией, использующейся для микроскопии проходящего света [38], основные параметры устройств для дифференциально-интерференционного контраста (ДИК) в отраженном свете

намного проще. Главным образом, это обусловлено необходимостью использования только одной двоякопреломляющей призмы Номарского или Волластона, а также тем, что один объектив работает и как конденсор и как система формирования изображения. Благодаря двойному назначению объектива микроскопа, интерференционная картина, создаваемая призмой Номарского и проецируемая на заднюю фокальную плоскость объектива, одновременно находится в фокальной плоскости осветительной оптической системы конденсора [39].

Микроскопия в отраженном свете является одним из самых распространенных методов исследования непрозрачных образцов, обладающих, как правило, высокой отражательной способностью, благодаря чему они не поглощают и не пропускают сколь-нибудь значительные количества падающего на них света. Выступы, впадины и другие неоднородности поверхности образца создают разности оптических путей. Эти разности преобразуются микроскопом, работающим по принципу дифференциально-интерференционного контраста в отраженном свете, в изменения амплитуды или интенсивности, проявляющиеся в виде топографического профиля [40]. В отличие от случая с проходящим светом и полупрозрачными фазовыми образцами, изображение, создаваемое по методу дифференциально-интерференционного контраста в отраженном свете, часто можно интерпретировать, как действительно трехмерное представление рельефа поверхности, обеспечивающее четкое различие между выступами и впадинами образца [40].

Работающий в качестве превосходно отъюстированного и оптически скорректированного осветительного конденсора, обладающий высокой числовой апертурой, объектив микроскопа фокусирует создаваемые призмой Номарского расщепленные ортогональные волновые фронты на поверхность непрозрачного образца [41]. Отраженные волновые фронты проходят по оптическим путям разной длины, определяемым топографией образца, собираются и фокусируются объективом в интерференционной плоскости

призмы Номарского, где они воссоединяются, и сдвиг между ними ликвидируется. Выйдя из призмы Номарского, волновые фронты проходят по прямой траектории через полупрозрачное зеркало и попадают в анализатор (второй поляризатор), ось распространения колебаний в котором ориентирована в направлении «север-юг». Составляющие ортогональных волновых фронтов, параллельные вектору распространения колебаний в анализаторе, проходят через анализатор в общем азимутальном направлении и, затем, интерферируют в плоскости нерегулируемой диафрагмы окуляра, создавая амплитудные флуктуации и формируя ДИК-изображение. В микроскопии по методу дифференциально-интерференционного контраста изображение формируется в результате интерференции двух различных волновых фронтов, достигающих плоскости изображения с некоторым относительным сдвигом по фазе. Таким образом, получающееся изображение не является простой алгебраической суммой интенсивностей света, отраженного в направлении плоскости изображения, как это имеет место в случае других методов получения изображений [42].

2.5 Точечная сварка

Машины контактной (точечной) сварки предназначены для широкого диапазона задач, они очень простые и надежные, показывают отличные результаты при работе с любыми свариваемыми металлами: нержавеющей сталь, оцинковка, алюминий и т.д. Машины позволяют создать неразъемное сварное соединение путем нагрева металла, проходящим через него электрическим током, и пластической деформации зоны соединения путем сжимающего усилия [43]. Благодаря высокой производительности и простоте использования широко применяются в серийном производстве воздуховодов, дымоходов, автомобилестроении и других сферах. Машины контактной сварки имеют механический привод, основные параметры и режимы сварки – это сила сварочного тока, длительность его импульса и усилие сжатия

детали. Прочность соединения определяется размером и структурой сварочной точки, которая зависит от формы электродов, силы сварочного тока, силы его воздействия, усилия сжатия и состояния поверхности свариваемых деталей. Схема точечной сварки представлена на рисунке 4. Перед работой на машине контактной сварки необходимо осмотреть состояние электродов, при необходимости нужно их заточить либо поменять, это нужно для того чтобы поверхности верхних и нижних электродов были гладкими и чистыми, убедиться, что машина установлена на ровной поверхности и подключить заземление (медный кабель) [43 – 44].

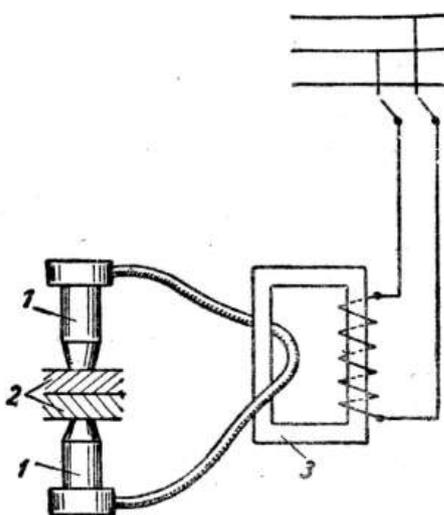


Рисунок 4 – Схема точечной контактной сварки: 1 – электроды, 2 – свариваемые листы, 3- трансформатор

В данном исследовании сплав Ti-Au получили с помощью контактной точечной сварки, между двумя титановыми пластинами (BT1-0) толщиной 0,3 мм помещалась золотая фольга (99,99 %) толщиной 50 мкм, рисунок 5. Диаметр электродов из сплава БрХЦР 4 мм, радиус рабочей поверхности 15 мм, усилие сжатия 300 Н.

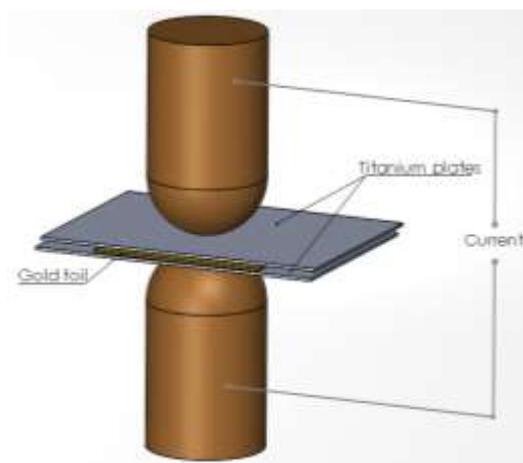


Рисунок 5 – Схема контактной сварки

На рисунке 6 представлены режимы импульсов тока: 1 образец 12 мс; 2 образец 17 мс, 3 образец 22 мс, 4 образец 27 мс, 5 образец 32 мс, 6 образец 37 мс.

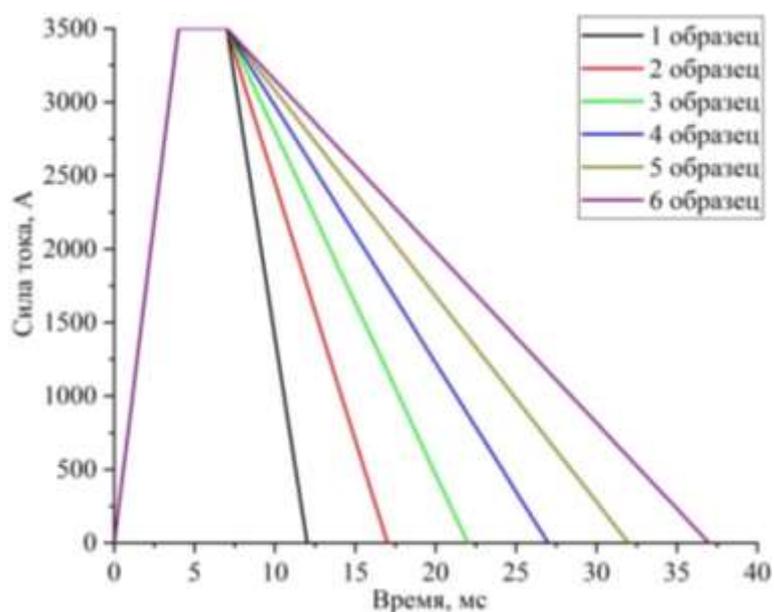


Рисунок 6 – Схема режимов импульсов тока

2.5.1 Конструкция для закрепления образцов

Для процессов шлифовки, полировки и последующих измерений твердости необходимо изготовить специальную конструкцию для

закрепления пластины – образца. Держатель был изготовлен из головки болта 25x25 мм, рисунок 7 – 8.

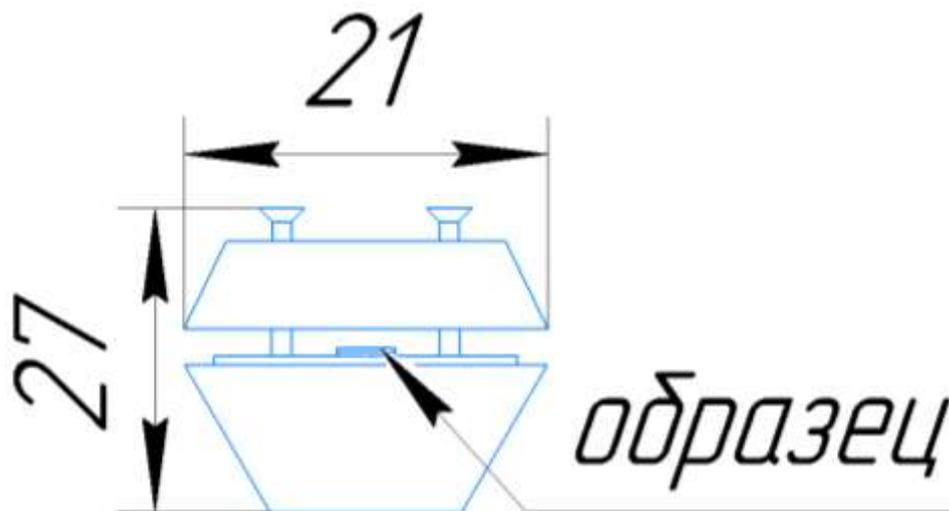


Рисунок 7 – Эскиз держателя



Рисунок 8 – Держатель

2.6 Измерение твердости

Более ста лет идет развитие твердометрии, а исследователи так и не смогли четко сформулировать определение термину «твердость». Одни ученые говорят, что твердость – это сопротивление материала пластическим деформациям, вторые утверждают, что упругим, третьи – упруго-пластическим деформациям [45].

Первое стандартное определение термина «твердость» было напечатано в международном стандарте ISO 14577, принятом в 2002 г. [45], вместо стандарта DIN 50359 [46]. Только лишь на Международной научно-технической конференции в ХНАДУ (2007 г.), целью которой являлось уточнение термина, была установлена классическая (общее), соответствующее большему числу статей, формулировка термина «твердость». Данное определение гласит: твердость – это способность материала сопротивляться внедрению более твердого тела (индентора).

По международному стандарту ISO 14577 твердость располагается в трех диапазонах, таблица 1 [45].

Таблица 1 – Диапазоны твердости

Макродиапозон	Микродиапозон	Нанодиапозон
$2N \leq F \leq 30 \text{ kN}$	$2N > F, h > 0,2 \text{ }\mu\text{m}$	$h \leq 0,2 \text{ }\mu\text{m}$

F – нагрузка на индентор, численно равная силе сопротивления внедрению индентора в исследуемый материал,

$N; h$ – глубина внедрения индентора, μm .

Различия данных диапазонов в том, что величина применяемой нагрузки и глубиной внедрения индентора разная. Данный стандарт может применяться как для определения твердости металлических и неметаллических материалов, а также тонких металлических и неметаллических покрытий. В качестве инденторов можно использовать алмазную пирамиду Виккерса, алмазные пирамиды Берковича (стандартную и модифицированную), твердосплавные шарики, алмазные и сферические инденторы.

Регламентируется производить измерения показателей твердости в пять этапов: нагружение, выдержка, разгрузка до определенной величины, выдержка, разгрузка до нулевого значения, действующих согласно диаграммы внедрения индентора, представленной на рисунке 9 [45].

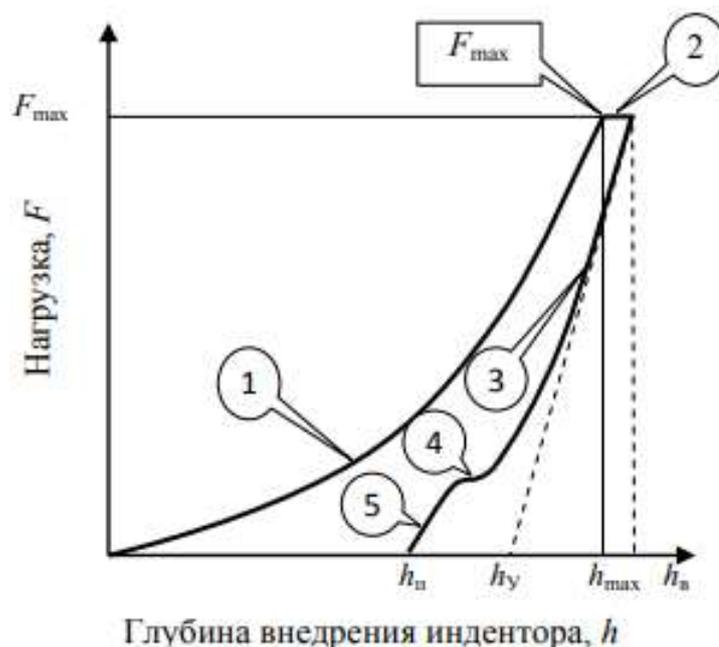


Рисунок 9 – Схема индентирования материалов: 1 – нагружение; 2 – выдержка при максимальной нагрузке; 3 – разгружение; 4 – выдержка при снятии 90% максимальной нагрузки; 5 – разгружение до нулевого значения; h_{max} – глубина внедрения индентора, соответствующая максимальной нагрузке; h_n – глубина внедрения индентора после разгрузки; h_y – глубина внедрения индентора с учетом упругого прогиба на краю отпечатка; h_b – глубина внедрения индентора, соответствующая концу выдержки при максимальной нагрузке

2.6.1 Наноиндентирование на твердомере Nano Indenter G 200

Индентирование осуществляли с помощью прибора Nano Indenter G 200, рисунок 10. В качестве индентора использовали пирамиду Берковича, нагрузка составляла 500 мН (50 г). Конструкция прибора позволяет выводить диаграмму внедрения индентора на монитор в режиме реального времени. Первичные данные – нагрузка и глубина внедрения пирамиды. По диаграмме внедрения прибор автоматически рассчитывал модуль упругости E_{IT} и микротвердость H_{IT} в соответствии со стандартом ISO 14577 [45].



Рисунок 10 – Nano Indenter G 200

Твердость по шкалам Мартенса (НМ, МПа) измеряют под приложенной испытательной нагрузкой. Числа твердости по шкалам Мартенса определяют по F-fr-диаграмме во время роста испытательной нагрузки (желательно после достижения заданного испытательного усилия). При измерении твердости по шкалам Мартенса учитывают и пластическую, и упругую деформации, так что данное значение твердости можно вычислить для всех материалов.

Если на изделие из определенного материала воздействовать некой силой, то он начинает сопротивляться этому действию: сжиматься, растягиваться или изгибаться. Способность к такому противостоянию можно оценить и выразить математически. Название этой прочностной характеристики – модуль упругости (E_{IT} , МПа).

Вдавливание индентора в материал вызывает локальную упругую и пластическую деформацию и приводит к образованию соответствующего отпечатка на определенной глубине h_c . После снятия нагрузки упругая деформация восстанавливается, что позволяет определить упругие свойства материала.

Экспериментальная первичная кривая «нагрузка – внедрение» (диаграмма внедрения), непрерывно получаемая в процессе индентирования,

показана на рисунке 11 [45]. По диаграмме определяются следующие величины: пиковая нагрузка и глубина внедрения индентора P_{\max} и h_{\max} , остаточная глубина после разгрузки h_f , и наклон начальной части кривой разгрузки $S = dP/dh$, который характеризует упругую жесткость контакта. При использовании в качестве индентора трехгранной пирамиды Берковича твердость исследуемой поверхности H определяется по следующей формуле:

$$H = \frac{P}{A} = 0,00387 \frac{P}{h_{\max}^2} \quad (1)$$

где P – нагрузка, прилагаемая к испытываемой поверхности, Н;

A – площадь отпечатка под нагрузкой, мм²;

h_{\max} – глубина внедрения индентора, мм.

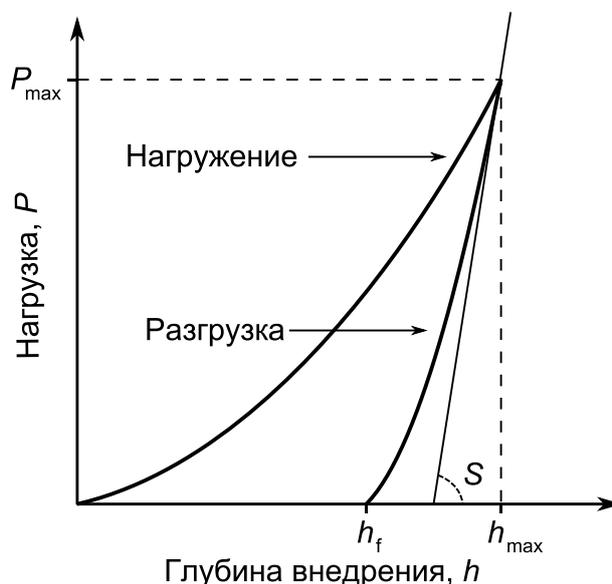


Рисунок 11 – Кривая «нагрузка – внедрение», получаемая в процессе индентирования

Модуль упругости исследуемого образца E определяется из приведенного модуля E_r , который рассчитывается по формуле:

$$E_r = \frac{S\sqrt{\pi}}{2\beta\sqrt{A}} \quad (2)$$

Здесь β является константой, которая зависит от геометрии индентора. Для осесимметричного индентора $\beta = 1$, для индентора с квадратным сечением (пирамида Виккерса) $\beta = 1,012$, для индентора с треугольным

сечением (пирамида Берковича) $\beta = 1,034$. Окончательно модуль упругости исследуемого материала E рассчитывается с помощью выражения:

$$\frac{1}{E_r} = \frac{(1 - \nu^2)}{E} + \frac{(1 - \nu_i^2)}{E_i} \quad (3)$$

где ν – коэффициент Пуассона исследуемого материала;

E_i и ν_i – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала индентора. Для алмаза $E_i = 1141$ ГПа и $\nu_i = 0,07$.

В настоящей работе для шести образцов были получены следующие показатели: модуль Юнга и твердость по Мартенсу. Данные о значениях твердости были статистически обработаны с использованием программного обеспечения «Origin Pro». Заданные критерии исследования образцов на твердомере Nano Indenter G 200: шаг 50 мкм, термический дрейфт 0,5, коэффициент Пуассона 0,25, нагрузка 500 мН, схема индентирования представлена на рисунке 12.

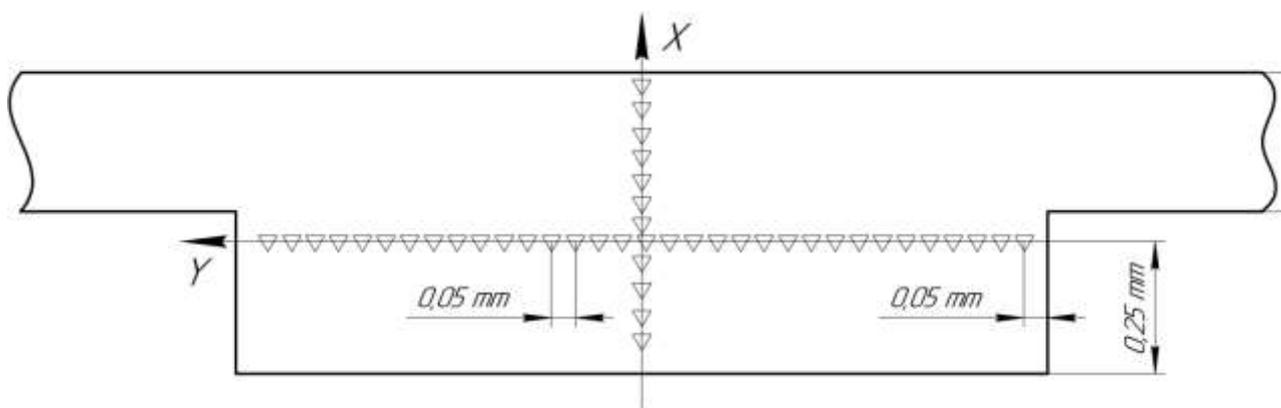


Рисунок 12 – Схема индентирования

2.6.2 Методика индентирования

Температуру при испытаниях следует регистрировать. Как правило, измерения проводятся в диапазоне температуры окружающей среды от 10 °С до 35 °С.

Нестабильность температуры оказывает большее влияние на точность измерений, чем само значение температуры в процессе измерений. Любая

вносимая поправка должна протоколироваться вместе с соответствующей неопределенностью. Рекомендуется проводить измерения, в частности в нано- и микродиапазонах, в контролируемых климатических условиях: в температурном диапазоне $(23\pm 5)^\circ\text{C}$ и относительной влажности менее 50%.

Из-за требований высокой точности измерения глубины отдельные испытания должны выполняться в моменты, когда температура стабильна. Это означает, что:

- испытываемые образцы должны приобрести температуру окружающей среды еще до проведения испытания;
- температура измерительной установки должна быть стабильной (следует свериться с руководством по эксплуатации);
- следует уменьшать воздействия внешних источников, которые могут вызывать температурные изменения во время отдельного измерения.

Чтобы минимизировать температурный дрейф, температуру измерительной установки нужно поддерживать постоянной в течение всего цикла измерений или ввести поправку на температурный дрейф [48].

Следует протоколировать неопределенность результатов измерений, вызванную температурным дрейфом.

Образец должен быть закреплен на опорной поверхности измерительной установки так, чтобы ее работа строго соответствовала заданным условиям. Образец устанавливают на опорной поверхности или закрепляют в держателе строго перпендикулярно к направлению индентирования. Контактные поверхности между образцом, опорной поверхностью или держателем не должны содержать посторонних веществ, которые могут снизить жесткость закрепления образца.

Нулевая точка при измерениях на кривой нагрузка/глубина индентирования устанавливается для каждого набора данных по результатам измерений. Она соответствует первому контакту наконечника с образцом. Неопределенность нахождения нулевой точки необходимо протоколировать. Эта неопределенность должна быть менее 1 % максимальной глубины

индентирования для макро- и микродиапазона. Для нанодиапазона она может превышать 1 %, и в этом случае значение неопределенности должно быть внесено в протокол измерений.

Должно быть записано достаточное число данных при приближении наконечника к поверхности образца и на участке индентирования до 10 % максимальной глубины, чтобы нулевую точку можно было установить с требуемой неопределенностью. Рекомендуется один из следующих методов:

1) Нулевая точка вычисляется аппроксимацией зависимости нагрузки от перемещения на F-h-диаграмме, например, полиномом второй степени. Подбор коэффициентов полинома выполняется для глубин индентирования от нуля до глубин не более 10 % максимальной. Неопределенность вычисленной нулевой точки зависит от параметров подгонки аппроксимирующей функции и области аппроксимации [49].

На начальную часть кривой индентирования (например, до 5 %) могут влиять вибрации или другие помехи. В начале измерения наконечник надо подводить предельно близко к поверхности образца, не допуская появления трещин или пластической деформации его поверхности [49].

2) Нулевая точка – это точка касания, определяемая при первом регистрируемом значении увеличения или прикладываемой нагрузки, или контактной жесткости. В этой координате касания значение шага изменения прикладываемой нагрузки или смещения должны быть достаточно малы, чтобы неопределенность нулевой точки была меньше требуемого значения [49].

В испытательном цикле задается или прикладываемая нагрузка, или глубина индентирования. Контролируемые параметры могут меняться непрерывно или дискретно. Протокол должен содержать детальное описание всех особенностей испытательного цикла, в том числе:

- a) задаваемое значение (нагрузки или перемещения наконечника, а также дискретного или непрерывного изменения задаваемого параметра);
- b) максимальную нагрузку (или перемещение наконечника);

- c) скорость нагружения (или скорость перемещения наконечника);
- d) длительность и положение каждого шага нагружения;
- e) частоту регистрации данных (или число точек).

Испытательную нагрузку следует прикладывать без каких-либо ударов или вибраций, поскольку они могут заметно влиять на результаты измерений как нагрузки, так и перемещений при достижении точно определенных значений. Значения нагрузки и перемещения наконечника следует регистрировать через интервалы времени, установленные протоколом [50].

Во время определения координаты касания наконечника с образцом скорость подвода наконечника должна быть достаточно низкой, чтобы механические свойства поверхности не менялись под воздействием удара.

Во время выполнения измерений установка для испытаний должна быть защищена от ударов и вибраций, воздушных потоков и температурных колебаний, которые могут значительно повлиять на результаты измерений.

Важно, чтобы на результаты измерений не влияло наличие в области контакта границ образца наплывов и впадин, вызванных предыдущими индентированиями в серии. Любой из упомянутых факторов влияет на геометрию отпечатка и на свойства материала образца. Отпечатки должны отстоять от границ образца на расстояние минимум трех их диаметров, и минимальное расстояние между отпечатками должно, как минимум, в пять раз превышать самый большой диаметр отпечатка.

Диаметром отпечатка является диаметр отпечатка круглой формы, образованный от индентирования сферическим наконечником на поверхности испытуемого образца. Для отпечатков некруглой формы диаметром отпечатка является диаметр наименьшего круга, описывающего отпечаток. На углах отпечатка могут возникнуть трещины. В этом случае диаметр отпечатка должен описывать трещины.

2.6.3 Методы определения твердости

Многообразие методов определения твердости и отсутствие одного методологического подхода к ее оценке требуют разработки методик расчета на основе единых принципов, которые можно было бы использовать в макро-, микро-, нанодиапазонах испытаний и, возможно, и еще меньших по размеру диапазонах: пико-, фемто- и т.д.[51]

Основные известные методики определения твердости условно можно разделить на три основные группы: отношение нагрузки к проекции отпечатка (проекционная твердость), отношение нагрузки к поверхности отпечатка (поверхностная твердость), отношение нагрузки к объему отпечатка (объемная твердость).

Рассмотрим проекционную твердость, под обобщающим термином «проекционная твердость» в первую очередь подразумевается широко известная твердость по Мейеру, которая представляет собой отношение нагрузки к проекции отпечатка [52].

Для метода невосстановленного отпечатка проекционную твердость следует рассматривать как отношение нагрузки F на индентор к площади проекции S внедренной в материал его части, рисунок 13 [52].

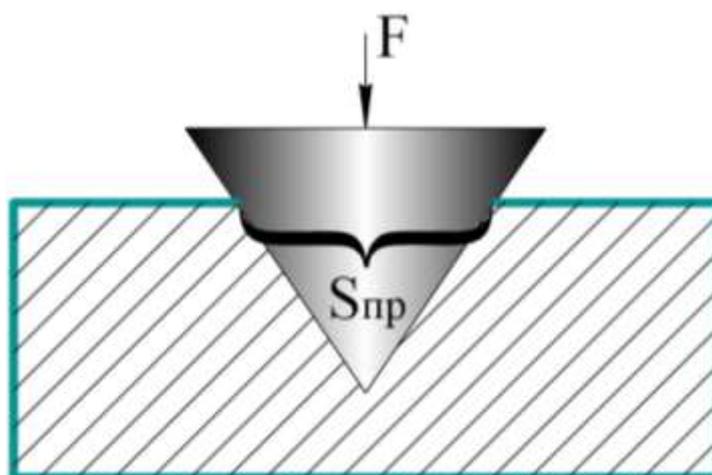


Рисунок 13 – Отношение нагрузки к площади проекции

Рассмотрим методику расчета проекционной твердости при использовании в качестве инденторов обычной и модифицированной пирамиды Берковича, рисунок 14.

В последнее время в методах определения твердости все чаще стали использовать вместо стандартной пирамиды Берковича ($\alpha=65,03^\circ$) модифицированную ($\alpha=65,27^\circ$). Такая замена вызвана желанием уравнять площади проекции отпечатков, полученных этими пирамидами, с целью более корректного сравнения чисел твердости. При использовании обычной или модифицированной пирамид Берковича площадь проекции сечения ее на максимальной глубине внедрения в образец можно записать как:

$$S = \frac{1}{2} ah \quad (4)$$

где a – сторона проекции сечения пирамиды на основную плоскость;
 h – высота проекции сечения пирамиды на основную плоскость.

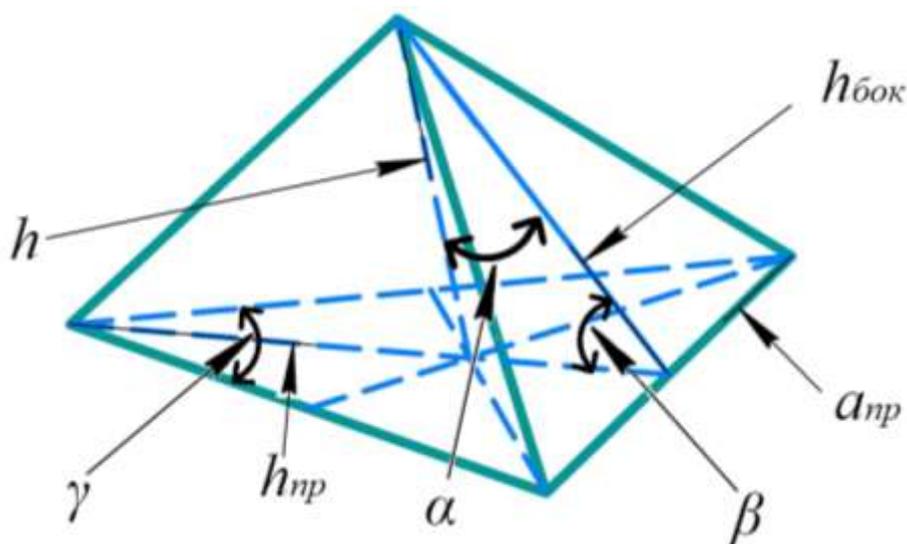


Рисунок 14 – Пирамида Берковича

Схема к расчету площади проекции сечения пирамиды Берковича на основную плоскость: h – высота пирамиды Берковича; α – угол между высотой и апофемой пирамиды; β – угол между апофемой пирамиды и высотой основания; γ – угол между сторонами основания пирамиды; $h_{бок}$ – апофема пирамиды; $a_{пр}$ – сторона проекции сечения пирамиды на основную плоскость; $h_{пр}$ – высота проекции сечения пирамиды на основную плоскость.

Подставив выражения $a_{\text{пр}}$ и $h_{\text{пр}}$ в формулу, для обычной пирамиды Берковича ($\alpha=65,03^\circ$) получаем:

$$S = \frac{3h}{\text{tg}60^\circ \text{tg}(90^\circ - \alpha)} \cdot \frac{3h}{\text{tg}(90^\circ - \alpha)} = 23,962h^2 \quad (5)$$

Для модифицированной пирамиды Берковича ($\alpha=65,27^\circ$) аналогично имеем:

$$S = \frac{3h}{\text{tg}60^\circ \text{tg}(90^\circ - \alpha)} \cdot \frac{3h}{\text{tg}(90^\circ - \alpha)} = 24,494h^2 \quad (6)$$

Проекционная твердость (или твердость индентирования по ISO 14577) $h_{\text{пр}}$ с использованием обычной ($\alpha=65,03^\circ$) и модифицированной ($\alpha=65,27^\circ$) пирамид Берковича:

$$H_{\text{пр}}^{65,03} = \frac{F_{\text{max}}}{23,962h^2} \quad (7)$$

$$H_{\text{пр}}^{65,03} = \frac{F_{\text{max}}}{24,494h^2} \quad (8)$$

Формула (8) дает более близкие значения проекционной твердости, измеренной с помощью пирамид Виккерса и Берковича.

Для пирамиды Виккерса с углом между апофемой боковой стороны пирамиды и высотой $\alpha=68^\circ$ имеем:

$$S_{\text{пр}} = a^2 = \left(\frac{2h}{\text{tg}(90^\circ - \alpha)}\right)^2 = 24,5h^2 \quad (9)$$

С учетом (9) проекционная твердость, измеряемой пирамидой Виккерса соответствует:

$$HV_{\text{пр}} = \frac{F_{\text{max}}}{24,5h^2} \quad (10)$$

Как следует из (7) и (10), геометрия модифицированной пирамиды Берковича подобрана таким образом, чтобы площадь проекции сечения ее любой плоскостью параллельной основной, давала примерно одинаковые величины как для пирамиды Берковича, так и для пирамиды Виккерса - $24,494 h^2$ и $24,5 h^2$ соответственно [52].

2.7 Скретч-тестирование на твердомере Nano Indenter G 200

Скретч-тестирование осуществляли с помощью прибора Nano Indenter G 200, в качестве индентора использовали пирамиду Берковича, нагрузка составляла 80 мН. Конструкция прибора позволяет выводить диаграмму внедрения индентора на монитор в режиме реального времени.

Испытание на микротвердость царапанием заключается в нанесении на испытываемую поверхность канавки и измерении ее ширины. Число микротвердости определяют делением приложенной к алмазному наконечнику нормальной нагрузки на условную площадь контакта пирамиды с испытываемой поверхностью.

Для нанесения канавок царапающей алмазной пирамидой и измерения ширины канавок применяют приборы для измерения микротвердости типа по ГОСТ 10717-75 [53]. Прибор снабжен алмазным наконечником, имеющим форму трехгранной пирамиды с основанием в виде равностороннего треугольника.

Во время испытаний прибор должен обеспечивать соблюдение следующих условий:

- плавное возрастание нагрузки до заданного значения в момент погружения алмазной пирамиды в материал до начала процесса царапания;
- сохранение постоянства приложенной нагрузки в течение процесса царапания;
- прибор должен быть защищен от возможных вибраций, передаваемых через стены, пол здания или стол, на котором он установлен.

В настоящей работе было проведено скретч-тестирование 5 образцов. Эспер-е данные были статистически обработаны с использованием программного обеспечения «Origin Pro». Заданные критерии исследования образцов на твердомере Nano Indenter G 200: термический дрефт 0,5, коэффициент Пуассона 0,25, нагрузка 80мН, схема скретч-тестирования представлена на рисунке 15.

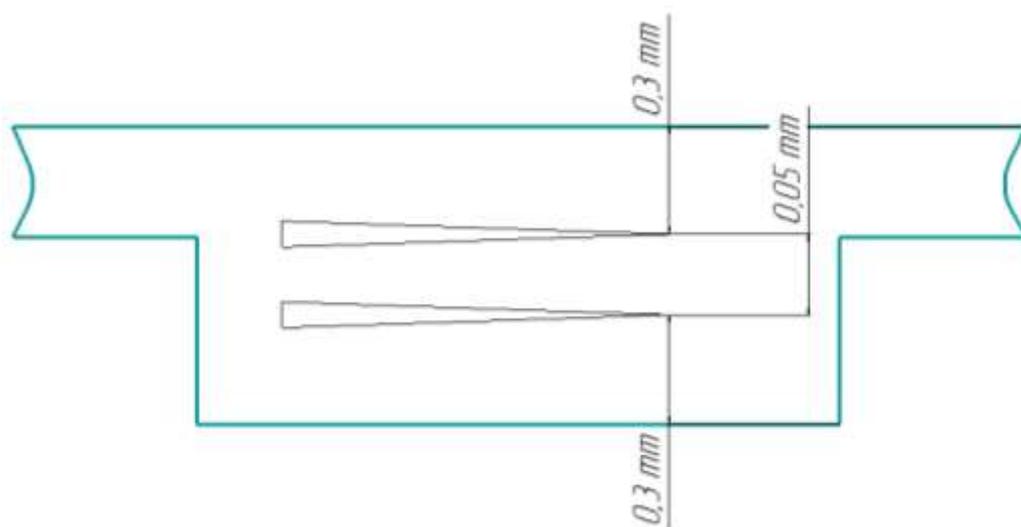


Рисунок 15 – Схема скретч-тестирования

2.7.1 Методика выполнения скретч-тестирования

Испытуемая поверхность должна быть плоской, свободной от загрязнения на участке нанесения канавок. Шероховатость испытуемой поверхности должна быть не ниже $Ra=0,32$ мкм по ГОСТ 2789-73 [54].

При подготовке поверхности необходимо принять меры предосторожности против возможного изменения твердости испытуемой поверхности вследствие нагрева или наклепа в результате механической обработки.

Испытуемое изделие должно быть установлено на предметном столике прибора так, чтобы в процессе испытания оно не смещалось, не прогибалось и не поворачивалось.

Поверхность, подлежащая испытанию, должна быть установлена перпендикулярно к оси пирамиды царапающего наконечника.

Рабочая поверхность алмазной пирамиды и испытуемая поверхность должна быть сухая.

При выборе значений нагрузок в случае однородного материала испытуемой поверхности исходят из предполагаемой глубины канавки.

Минимальная толщина материала или слоя должна превышать глубину канавки не менее чем в 10 раз.

На оборотной стороне испытуемого изделия после нанесения канавки не должно быть заметных следов деформации материала.

Расстояние от оси канавки до края поверхности должно быть не менее двойной ширины канавки.

Длина канавки должна быть не менее 0,25 мм.

Испытания проводят при температурном диапазоне окружающей среды от 15°C до 25°C.

2.8 Определение рентгенофазового состава сплавов

Рентгеновский структурный анализ – это исследование структуры вещества по распределению в пространстве и интенсивностям рассеянного на анализируемом объекте рентгеновского излучения [55]. Рентгеновские лучи – это электромагнитное излучение, которое возникает либо при торможении свободно движущейся заряженной частицы, либо при электронных переходах во внутренних оболочках атома. Спектры этих двух видов излучения существенно различаются. В первом случае, это тормозной спектр с непрерывным распределением по длинам волн, коротковолновая граница которого обрывается при энергии, равной максимальной кинетической энергии заряженной частицы. Строение тормозного спектра не зависит от материала, на котором происходит торможение заряженной частицы (в рентгеновской трубке это материал анода). Во втором случае спектр линейчатый. Он зависит от материала, излучающего его, и характеризуется им. Каждый элемент обладает своим, характерным для него линейчатым спектром, поэтому линейчатые рентгеновские спектры называются также характеристическими [56].

Метод рентгеноструктурного анализа заключается в том, что узкий пучок монохроматических рентгеновских лучей подается на исследуемый

образец. Он отражается от атомных плоскостей, а именно от плоских сеток, образованных атомами в кристаллической решетке материала. Это приводит к возникновению дифракционных отражений (дифракционных максимумов), каждое из которых характеризуется определенным межплоскостным расстоянием и интенсивностью. Межплоскостные расстояния d_{HKL} вычисляются по уравнению Вульфа-Брегга:

$$2d_{\text{HKL}} \sin \theta = \lambda \quad (11)$$

где H, K, L – дифракционные индексы плоскости, кратные индексам Миллера (h, k, l)

λ – длина волны,

θ – угол между падающим лучом и отражающей плоскостью [57].

Фазовым анализом называется установление числа фаз в исследуемом образце, их идентификация (качественный анализ) и определение количественного содержания фаз (количественный анализ). Рентгенографический анализ поликристаллов является одним из основных методов исследования состава и структуры твердотельных соединений. В ряде случаев он дает уникальную информацию о фазовом составе и строении веществ, которая не может быть получена с помощью других аналитических методов.

2.9 Расчет параметра кристаллической решетки

Все металлы являются кристаллическими телами, имеющими определенный тип кристаллической решетки, состоящей из малоподвижных положительно заряженных ионов, между которыми движутся свободные электроны (так называемый электронный газ). Такой тип структуры называется металлической связью [58].

Параметр решетки – это расстояние между атомами по ребру элементарной ячейки. Параметры кристаллических решеток металлов могут быть измерены с помощью рентгеноструктурного анализа. При подсчете

числа атомов в каждой элементарной ячейке следует иметь в виду, что каждый атом входит одновременно в несколько ячеек. Главным условием определения параметра кристаллической решетки является максимально точное нахождение угла дифракции – θ .

Для определения параметра решетки необходимо получить рентгенограммы методом рентгеноструктурного анализа. За счет современных программ и выбора аппроксимационных функций можно получить угловые интервалы пиков, произвести индексацию, рассчитать межплоскостные расстояния, определить положение максимума линии θ_{\max} с большой достоверностью [59].

Межплоскостные расстояния связаны с квадратичными формами, таким образом, кубический кристалл (сингония) имеет следующий вид квадратичной формы:

$$d^{-2} = a^{-2}(h^2 + k^2 + l^2) \quad (12)$$

где, a – период ячейки,

h, k, l – индексы Миллера.

Для моноклинной решетки:

$$d^{-2} = [h^2 a^{-2} + l^2 c^{-2} - 2hl \cos \beta a^{-1} c^{-1}] \sin^{-2} \beta + k^2 b^{-2} \quad (13)$$

где, h, k, l – индексы Миллера,

a, b, c – период ячейки,

β – угол между ребрами ячейки.

Для определения параметров решетки фазы с моноклинной структурой можно воспользоваться следующими формулами:

$$a = \frac{c}{k}, \quad b = 2d_{020}, \quad c = \frac{2d_{020}}{\sin \beta}, \quad (14)$$

$$k = \sqrt{\frac{2}{d_{111}^2} + \frac{2}{d_{11\bar{1}}^2} - \frac{1}{d_{020}^2} - \frac{1}{d_{002}^2}} \cdot d_{002} \quad (15)$$

$$\cos \beta = \frac{1}{k} \left(\frac{1}{d_{11\bar{1}}^2} - \frac{1}{d_{111}^2} \right) \cdot d_{002}^2 \quad (16)$$

Поглощение и расходимость рентгеновских лучей, вызывает сходные ошибки определения угла θ , параметра элементарной ячейки, а соответственно и межплоскостного расстояния. Более четкие результаты дает экстраполяционная функция $f(\theta)$:

$$f(\theta) = \frac{1}{2} \left(\frac{\cos^2 \theta}{\sin \theta} + \frac{\cos^2 \theta}{\theta} \right) \quad (17)$$

2.10 Объем. Массовая доля

Для теоритического расчета объема золота в исследуемой области необходимо воспользоваться формулами объема и площади. Область термического воздействия имеет форму эллипса, из этого следует, что для расчетов нужны формулы нахождения площади и объема эллипса. Золотая фольга имеет форму прямоугольного параллелепипеда, значит, для сравнения объемов надо воспользоваться формулой нахождения объема прямоугольного параллелепипеда.

Эллипс – геометрическое место точек, сумма расстояний, от которых до двух заданных точек F_1 и F_2 , называемых фокусами эллипса, есть постоянная величина, большая, чем расстояние между этими точками F_1F_2 .
Формула для вычисления площади эллипса:

$$S = \pi \cdot a \cdot b \quad (18)$$

где $\pi = 3.141592$;

a – длина большей полуоси эллипса,

b – длина меньшей полуоси эллипса.

Формула расчета объема эллипса:

$$V = S \cdot h \quad (19)$$

где S – площадь эллипса;

h – толщина эллипса.

Прямой параллелепипед – это параллелепипед, у которого боковые ребра перпендикулярны основанию.

Объем прямоугольного параллелепипеда равен произведению его длины, ширины и высоты. Формула расчета объема прямоугольного параллелепипеда (золотой фольги):

$$V = a \cdot b \cdot h \quad (20)$$

где a – длина,

b – ширина,

h – высота.

Массовая доля – это отношение растворенного вещества к массе раствора. Она может измеряться в процентах (от 0 до 100%) или в долях от единицы (от 0 до 1).

Формула расчета массовой доли:

$$\omega_{\text{в-ва}} = \frac{m_{\text{в-ва}}}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100\% \quad (21)$$

где $m_{\text{в-ва}}$ – масса вещества;

$m_{\text{р-ра}}$ – масса

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б81	Семейкина Дарья Дмитриевна

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</i>	<i>Расчет конкурентоспособности. Проведение SWOT-анализа</i>
<i>2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР</i>	<i>Определение структуры работ; определение трудоемкости; разработка графика проведения исследования</i>
<i>3. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости</i>
<i>4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков</i>	<i>Расчет показателей: интегральный финансовый показатель разработки; интегральный показатель ресурсоэффективности разработки</i>

Перечень графического материала

1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	к.т.н., доцент		28.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б81	Семейкина Дарья Дмитриевна		28.02.2022

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Целью раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Научно - исследовательская работа представляет собой процесс исследования свойств сплава системы Ti-Au.

Цель работы – разработка сплава Ti-Au с повышенными механическими свойствами, для применения в медицине, в частности в виде протезов. В качестве исследуемого метода, выступает метод измерения твердости путем наноиндентирования.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают

в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в проведение сварочных работ, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

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

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности разработок;
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

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

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которой приведен в таблице 8. Экспертная оценка производится по техническим характеристикам и экономическим показателям по 5 бальной шкале, где 1 – наиболее низкая оценка, а 5 – наиболее сильная. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1.

Сравним три технологии получения сплава Ti-Au:

- метод контактной точечной сварки (индекс «ф»);
- метод порошковой металлургии (индекс «к1»);
- метод диффузии (индекс «к2»).

Таблица 8 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации	0,2	5	4	4	0,8	0,8	0,8
2. Простота конструкции и ремонтпригодность	0,16	5	5	4	0,8	0,8	0,64
3. Материалоемкость	0,12	5	4	5	0,8	0,48	0,6
4. Безопасность	0,2	5	5	5	1	1	1
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,14	5	3	4	0,6	0,42	0,56
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,18	5	5	5	1	0,9	0,9
Итого	1	30	26	27	5	4,4	4,5

Расчет конкурентоспособности определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (24)$$

где B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл показателя.

При выполнении анализа и таблицы 8 были проведены сравнения конкурентоспособности. Видно, что у второго варианта конкурентоспособность выше, т.к. цена и материалоемкость изделий (дентальных протезов) ниже. Это связано с тем, что изделия изготавливаются без использования включений золота.

4.1.2 SWOT-анализ

SWOT– (Strengths – сильные стороны, Weaknesses – слабые стороны, Opportunities – возможности и Threats – угрозы) - представляет собой комплексный анализ – исследования внешней и внутренней среды научно-

исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта, таблица 9.

Таблица 9 – SWOT-анализ

	Strengths (сильные стороны) S1. Техническая простота осуществления метода; S2. Повышенные механические свойства изделия; S3. Повышенная биосовместимость и биоинертность изделия; S4. Повышение эффективности производственных процессов	Weaknesses (слабые стороны) W1. Отсутствие выработанной методики по использованию данного сплава в протезировании; W2. Отсутствие бизнес-плана коммерциализации W3. Не проработаны вопросы выхода на рынок
Opportunities (возможности) O1. Относительно свободная ниша рынка O2. Постепенный переход потенциальных потребителей к новому виду изделий O3. Заинтересованность государства в данной сфере	O2O3S1S2S3S4 – Повышенные свойства изделий, а также простота и эффективность изготовления способствуют выводу продукта на востребованный уровень.	
Threats (угрозы) T1. Отсутствие заинтересованных инвесторов проекта T2. Отсутствие спроса на технологию	T3S1S2S3S4 – Повышение стоимости оборудования и материалов неизбежно повысит стоимость готового изделия.	T1T2W1W2W3 – Главной угрозой проекта является непроработанная схема коммерциализации проекта.

Т3. Повышение стоимости материалов и/или оборудования		
---	--	--

Из SWOT-анализа показано, что на преимущества разрабатываемого проекта влияет повышенные свойства изделий, а также простота и эффективность изготовления поспособствуют выводу продукта на востребованный уровень. Одним из главных рисков является непроработанная схема коммерциализации проекта.

Соотношения параметров представлены в таблицах 10 – 13.

Таблица 10 – Связь сильных сторон с возможностями

	S1	S2	S3	S4
O1	-	-	-	-
O2	+	+	+	+
O3	+	+	+	+

Из таблицы 10 следует, что сильные стороны проекта соответствуют возможностям реализации по параметрам: O2O3S1S2S3S4.

Таблица 11 - Связь слабых сторон с возможностями

	W1	W2	W3
O1	-	-	-
O2	-	-	-
O3	-	-	-

Из таблицы 11 следует, что слабые стороны не коррелируют с возможностями.

Таблица 12 - Связь сильных сторон с угрозами

	S1	S2	S3	S4
T1	-	-	-	-
T2	-	-	-	-
T3	+	+	+	+

Из таблицы 12 следует, что сильные стороны проекта соответствуют угрозам по параметрам: T3S1S2S3S4.

Таблица 13 - Связь слабых сторон с угрозами

	W1	W2	W3
T1	+	+	+
T2	+	+	+
T3	-	-	-

Из таблицы 13 следует, что сильные стороны проекта соответствуют угрозам по параметрам: T1T2W1W2W3.

В результате SWOT-анализа показано, что преимущества разрабатываемого сплава преобладают над ее недостатками. Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Основные направления повышения конкурентоспособности проекта: проведение дополнительных научных исследований, использование новейшего оборудования ТПУ и дальнейшее совершенствование технологии.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведены в таблице 14.

Таблица 14 - Список производимых задач и работ и их исполнители

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер

Продолжение таблицы 14

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Изучение методик по работе с оборудованием	Инженер
	6	Подготовка оборудования для проведения исследования	Инженер
	7	Изготовление и подготовка образцов для исследования	Инженер
	8	Проведение экспериментального исследования	Инженер
	9	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер
Обобщение и оценка результатов	10	Анализ полученных результатов	Инженер, руководитель
	11	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер
Составление отчета	12	Оформление отчета по исследованию	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ожи}$ определяется по формуле:

$$t_{ожи} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (25)$$

где $t_{\min i}$ – минимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является оптимистичной оценкой: при удачном стечении обстоятельств), чел.-дн.; $t_{\max i}$ – максимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является пессимистичной оценкой: при неудачном стечении обстоятельств, чел.-дн.).

На основании расчетов ожидаемой трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{C_i} \quad (26)$$

где C_i – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

Диаграмма Ганта является наиболее удобным и наглядным способом представления графика проведения работ.

Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{кі.рук} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (27)$$

$$T_{кі.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (28)$$

где $k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.рук} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} \quad (29)$$

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} \quad (30)$$

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

Расчет трудоемкости и продолжительности работ, на примере задачи «Составление и утверждение технического задания»:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8 \text{ чел.} - \text{дн.} \quad (31)$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{C_i} = \frac{2,8}{1} = 2,8 \text{ раб.дн.} \quad (32)$$

Расчет календарного коэффициента для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (33)$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Выбор направления исследований»:

$$T_{\text{кал.инж}} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 2,4 \cdot 1,48 = 3,55 \approx 4 \text{ кал.дн.} \quad (34)$$

Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66 - 14} = 1,28 \quad (35)$$

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Выбор направления исследований»:

$$T_{\text{кал.инж}} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 2,1 \cdot 1,28 = 2,69 \approx 3 \text{ кал.дн.} \quad (36)$$

Все полученные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 15.

Таблица 15 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожг}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	1	-	4	-	2,2	-	2,2	3
2. Календарное планирование выполнения	1	1	4	4	2,2	2,2	2,2	4
3. Обзор научной литературы	-	5	-	15	-	9	9	14
4. Выбор методов исследования	1	5	2	10	1	7	4	6
5. Планирование эксперимента	-	10	-	25	-	16	16	24
6. Проведение эксперимента	-	10	-	25	-	19	19	29
7. Обработка полученных данных	3	4	6	6	4,2	4,8	4,5	7
8. Анализ полученных результатов НИР	2	4	4	6	2,8	4,8	3,8	6
9. Оценка правильности полученных результатов	-	1	-	3	-	1,8	1,8	3
10. Оценка эффективности	-	5	-	10	-	7	7	11
11. Составление пояснительной записки	-	5	-	10	-	7	7	11
Итого:	8	55	20	114	12,4	78,6	76,5	118

После расчета и сведения в таблицу временных показателей проектирования, на основе полученной таблицы была построена диаграмма Ганта (таблица 16).

Таблица 16 – Диаграмма Ганта

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. Дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр.		Март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Руководитель	3														
2	Календарное планирование выполнения НИР	Руководитель, инженер	4														
3	Обзор научной литературы	Инженер	14														
4	Выбор методов исследования	Инженер	6														
5	Планирование эксперимента	Руководитель, инженер	24														
6	Подготовка материалов	Инженер	6														
7	Проведение эксперимента	Инженер	29														
8	Обработка полученных данных	Инженер	7														

4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 17.

Таблица 17 – Сырье, материалы и комплектующие изделия

Наименование	Количество, шт.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Бумага для принтера	1 уп.	2	300
Картридж для принтера	1 шт.	1000	1000
Медный электрод	4 шт.	45	180
Спирт этиловый ректификованный ГОСТ 5962-2013	0,3 л	1200	414
Вата медицинская	0,3 кг	400	138
Царская водка	0,1 л	150	17
Алмазная паста	0,02 кг	90	90
Абразивы	15 шт.	35	525
Перчатки	4 шт.	7	28
Итого:		2692	

4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Таблица 18 – Затраты на оборудование

Наименование оборудования	Кол-во, шт	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1. Дисковый шлифовальный станок Энкор Корвет-50 90500	1	7	16490	16490
2. Наноиндентор G200	1	10	6000000	6000000
3. Аппарат контактной точечной сварки TELWIN PTE 28	1	10	257500	257500
4. Принтер лазерный	1	5	5799	5799
5. Персональный компьютер	1	7	40000	40000
6. Микроскоп ЛабоМет-1	1	5	200000	200000
Итого			6519789	

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n} \quad (37)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m \quad (38)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

m – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для дискового шлифовального станка, с учётом, что срок полезного использования 7 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{7} = 0,142 \quad (39)$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Дисковый шлифовальный станок:

$$A = \frac{H_{aИ}}{12} \cdot m = \frac{0,142 \cdot 16490}{12} \cdot 3 = 585 \text{ руб} \quad (40)$$

Наноиндентор:

$$A = \frac{H_{aИ}}{12} \cdot m = \frac{0,1 \cdot 6000000}{12} \cdot 0,42 = 20\,967 \text{ руб} \quad (41)$$

Аппарат контактной точечной сварки:

$$A = \frac{H_{aИ}}{12} \cdot m = \frac{0,1 \cdot 257500}{12} \cdot 0,2 = 5\,150 \text{ руб} \quad (42)$$

Принтер лазерный:

$$A = \frac{H_{aИ}}{12} \cdot m = \frac{0,2 \cdot 5799}{12} \cdot 1 = 96 \text{ руб} \quad (43)$$

Персональный компьютер:

$$A = \frac{H_{aИ}}{12} \cdot m = \frac{0,142 \cdot 40000}{12} \cdot 2,4 = 1\,151 \text{ руб} \quad (44)$$

Микроскоп:

$$A = \frac{H_{aИ}}{12} \cdot m = \frac{0,2 \cdot 7000000}{12} \cdot 0,47 = 54\,444 \text{ руб} \quad (45)$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 585 + 20\,967 + 5\,150 + 96 + 1\,151 + 54\,444 = 82\,393 \text{ руб} \quad (46)$$

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{он} \cdot T_p \quad (47)$$

где $Z_{он}$ – среднедневная заработная плата, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{68250 \cdot 10,3}{246} = 2857 \text{ руб} \quad (48)$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

- при отпуске в 28 раб. дня – $M=11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – $M=10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{27300 \cdot 11,2}{213} = 1435 \text{ руб} \quad (49)$$

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d)k_p = 35000(1 + 0,3 + 0,2)1,3 = 68250 \text{ руб} \quad (50)$$

Для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d)k_p = 14000(1 + 0,3 + 0,2)1,3 = 27300 \text{ руб} \quad (51)$$

где $Z_{мс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3;

k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;

k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 19 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	104/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/5	24/10
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 20 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}, руб$	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}, руб$	$Z_{он}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	35000	0,3	0,2	1,3	68250	2857	13	37141
Инженер	14000	0,3	0,2	1,3	27 300	1435	64	91840
Итого:								128981

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 37141 = 5571,15 \text{ руб} \quad (52)$$

Для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 91840 = 13776 \text{ руб} \quad (53)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3(37141 + 5571,15) = 12813,6 \text{ руб} \quad (54)$$

Для инженера:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3(91840 + 13776) = 31684,8 \text{ руб} \quad (55)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

4.3.6 Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}} \quad (56)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

4.3.7 Бюджетная стоимость НИР

Таблица 21 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
1	2	3	4	5	6	7	8
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Стоимость бюджета
82393	2692	128981	19347,15	44498,45	277911,6	44465,86	322377,46

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «Исследование структуры и физико-механических свойств сплавов Ti-Au, полученных в условиях контактной сварки» по форме, приведенной в таблице 22. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 22 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	2692	61023	62504	Пункт 4.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	82393	65642	65642	Пункт 4.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	128981	163634,18	163634,18	Пункт 4.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	19347,15	24545,127	24545,127	Пункт 4.2.3.3

Продолжение таблицы 22

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
5	Отчисления во внебюджетные фонды	44498,45	56453,79	56453,79	Пункт 4.2.3.4
6	Накладные расходы	44465,86	74017,02	74017,02	Пункт 4.2.3.5
Бюджет затрат НИР		322377,46	445315,117	446796,117	Сумма ст. 1- 6

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

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Определим значения показателя для разрабатываемой технологии и аналогов, приведенных в пункте 4.1.1 данной работы.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (57)$$

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

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 322377,46$ руб,

$\Phi_{\text{исп.2}} = 445315,117$ руб,

$\Phi_{\text{исп.3}} = 446796,117$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{322377,46}{446796,117} = 0,72 \quad (58)$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп 2}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{445315,117}{446796,117} = 0,997 \quad (59)$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп 3}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{446796,117}{446796,117} = 1 \quad (60)$$

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

4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности

В данном разделе необходимо произвести оценку ресурсоэффективности проекта, определяемую посредством расчета интегрального критерия, по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (61)$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности; a_i – весовой коэффициент проекта; b_i – бальная оценка проекта, устанавливаемая опытным путем по выбранной шкале оценивания.

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 23.

Таблица 23 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки	0,25	5	3	4
2. Стабильность работы	0,15	4	4	5
3. Удобство в эксплуатации	0,15	4	4	3
4. Энергосбережение	0,15	5	5	4
5. Материалоёмкость	0,3	5	4	3
ИТОГО	1	4,45	3,9	3,55

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 = 4,45; \quad (62)$$

$$I_{p2} = 0,25 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,3 \cdot 4 = 3,90; \quad (63)$$

$$I_{p3} = 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 = 3,55. \quad (64)$$

4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Данный показатель определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}} \quad (65)$$

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}} = \frac{4,45}{0,994} = 4,47 \quad (66)$$

$$I_{исп2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}} = \frac{3,90}{0,997} = 3,91 \quad (67)$$

$$I_{\text{исп3}} = \frac{I_{\text{р-исп1}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп1}}} = \frac{3,55}{1} = 3,55 \quad (68)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (табл. 4.17). Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср1}} = \frac{I_i}{I_1} \quad (69)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср1}} = \frac{4,47}{4,47} = 1 \quad (70)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср2}} = \frac{3,91}{4,47} = 0,87 \quad (71)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср3}} = \frac{3,55}{4,47} = 0,79 \quad (72)$$

Таблица 24 – Сводная таблица показателей оценки ресурсоэффективности

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,72	0,997	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,45	3,90	3,55
3	Интегральный показатель эффективности	4,47	3,91	3,55
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,00	0,87	0,79

Выводы по разделу

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации устройства, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с остальными;

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 118 дней; общее количество рабочих дней, в течение которых работал инженер, составляет 64 дня; общее количество рабочих дней, в течение которых работал руководитель, составляет 13 дней;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 322377,46 руб;

4. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:

- Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,72 что является показателем того, что ИР является финансово выгодной, по сравнению с аналогами;

- Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,45, по сравнению с 3,90 и 3,55;

- Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,47, по сравнению с 3,91 и 3,55, что является наиболее высоким, и означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.