

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 материаловедение

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование микрометаллургии Au-Ti и Zr-Ti сплавов, полученных в условиях контактной точечной сварки

УДК: 669.055-022.53:621.791.763.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ91	Кузнецов Никита Евгеньевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ	Клименов В.А.	д.т.н. профессор ОМ		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП ТПУ	Жиронкин С.А.	д.э.н., профессор		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Скачкова Л.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.04.01 Материаловедение и технологии материалов	Буюкова С.П.	д.т.н., профессор		

Планируемые результаты обучения ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном языке, для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен решать производственные и/или исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области материаловедения и технологии материалов
ОПК(У)-2	Способен разрабатывать научно-техническую, проектную и служебную документацию, оформлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации, рецензии
ОПК(У)-3	Способен участвовать в управлении профессиональной деятельностью, используя знания в области системы менеджмента качества
ОПК(У)-4	Способен находить и перерабатывать информацию, требуемую для принятия решений в научных исследованиях и в практической технической деятельности
ОПК(У)-5	Способен оценивать результаты научно-технических разработок, научных исследований и обосновывать собственный выбор, систематизируя и обобщая достижения в

	области материаловедения и технологии материалов, смежных областях
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен обоснованно (осмысленно) использовать знания основных типов металлических, неметаллических и композиционных материалов различного назначения, в том числе наноматериалов для решения профессиональных задач.
ПК(У)-2	Способен осуществлять рациональный выбор материалов и оптимизировать их расходование на основе анализа заданных условий эксплуатации материалов, оценки их надежности, экономичности и экологических последствий применения
ПК(У)-3	Способен осуществлять анализ новых технологий производства материалов и разрабатывать рекомендации по составу и способам обработки конструкционных, инструментальных, композиционных и иных материалов с целью повышения их конкурентоспособности
ПК(У)-4	Способен планировать и осуществлять экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать их результаты, делать выводы, составлять и оформлять отчеты по проведенным исследованиям
ПК(У)-5	Способен выполнять перевод технической литературы на иностранном языке, связанной с профессиональной деятельностью в области материаловедения
ПК(У)-6	Способен решать задачи, относящиеся к производству, обработке и модификации материалов и покрытий, деталей и изделий
ПК(У)-7	Способен организовать проведение анализа и анализировать структуру новых материалов, адаптировать методики исследования свойств материалов к потребностям производства и разрабатывать специальные методики
ПК(У)-8	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий

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) 15.04.01 Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедение

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ С.П. Буякова
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ91	Кузнецову Никите Евгеньевичу

Тема работы:

Исследование микрометаллургии Au-Ti и Zr-Ti сплавов, полученных в условиях контактной точечной сварки	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	25.05.2021, № 141-70/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом магистерской диссертации является, Исследование микро-металлургии Au-Zr-Ti сплавов, полученных в условиях контактной точечной сварки. Исследование структуры и свойств зоны сплавления Au-Zr-Ti сплавов.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Провести литературный анализ научных статей, посвящённых тематике «Структура и свойства титанового сплава, легированного золотом и цирконием.» Методом рентгенографии исследуются строение зоны соединения, в том числе после испытания на отрыв. С помощью наноиндентора исследовать микроструктуру и состав сформированного сплава.</p>

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Жиронкин С.А., д.э.н., профессор ОСГН ШБИП ТПУ
Социальная ответственность	Скачкова Л.А., ст. преподаватель ТПУ
Разделы, выполненные на иностранном языке	Евсеева А.М., ст. преподаватель ТПУ
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ	Клименов В.А.	д.т.н. профессор ОМ		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ91	Кузнецов Никита Евгеньевич		

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 магистр
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская

(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)
26.03.2021	Обзор литературы	20
23.04.2021	Экспериментальная часть	20
03.05.2021	Обсуждение результатов и оформление работы	20
07.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоемкость	15
17.05.2021	Социальная ответственность	10
25.05.2021	Обязательное приложение на иностранном языке	15

СОСТАВИЛ:
Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ	Клименов В.А	д.т.н., профессор		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ ИШНПТ	Буякова С.П.	д.т.н., профессор		

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

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ91	Кузнецову Никите Евгеньевичу

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Отделение материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	22.04.01 Материаловедение и технология материалов

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материалов и оборудования; Квалификация исполнителей; Трудоемкость работы.
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Нормы амортизации; Размер минимальной оплаты труда.
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления в социальные фонды.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Оценка готовности полученного результата к выводу на целевые рынки, краткая характеристика этих рынков
<i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Возможные альтернативы проведения
<i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	формирование плана и графика разработки; формирование бюджета затрат на НИР.
<i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Определение научно-технического уровня НИР.
Перечень графического материала:	
Оценка конкурентоспособности технических решений Матрица SWOT График проведения и бюджет НИР Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику
--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП ТПУ	Жиронкин Сергей Александрович	д.э.н.		03.03.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ91	Кузнецов Никита Евгеньевич		03.03.2021

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ91	Кузнецов Никита Евгеньевич

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Исследование микрометаллургии Au-Ti и Zr-Ti сплавов, полученных в условиях контактной точечной сварки	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является электронная-лучевая установка. Основные области применения: медицина, авиастроение и машиностроение.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	В санитарных нормах СанПиН 2.2.4-548-96 установлены величины параметров микроклимата, создающие комфортные условия для работы; ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация; СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95; СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение; ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность.

	Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению вредного воздействия	При проведении исследования возможны проявления следующих факторов: Шумовой фактор; Микроклимат; Освещенность рабочей зоны; Электробезопасность; Пожар взрывоопасность.
3. Экологическая безопасность:	Факторы рабочего места, влияющие на окружающую среду: Утилизация люминесцентных ламп; Переработка бытового мусора.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	При проведении исследований, в лаборатории может возникнуть короткое замыкание токоведущих частей 3D-принтера, также перегрузки электросети, больших переходных сопротивлений. При проведении исследований существует вероятность появления пожара.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	21.02.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Скачкова Л.А.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ91	Кузнецов Никита Евгеньевич		

РЕФЕРАТ

Работа включает в себя 118 страниц, 28 таблиц, 21 рисунок, 5 главы, приложение А (на английском языке), 68 литературных источников.

Ключевые слова: Легирование, контактно точечная сварка, Ti, Zr, Au, индентирование, объемно-центрированная кубическая решетка, гранецентрированная кубическая решетка, зона термического влияния.

Объектом исследования является выявление структуры и свойств титанового сплава, легированного золотом и цирконием

Цель работы - изменением тепловых режимов изменяет особенность формирования зоны соединения титана с золотом. Методом рентгенографии исследуются строение зоны соединения, в том числе после испытания на отрыв. Методами электронной микроскопии исследуется структура и фазовый состав формирующегося при взаимодействии сплава. Методом индентирования нанотвердости исследуется микроструктура и состав сформированного сплава. Делаем выводы о возможности повышения свойств титанового сплава легированием золотом и цирконием, рассматриваем возможности легирования в таких условиях титанового сплава ниобием.

Обозначения, сокращения, нормативные ссылки

ЭДС – Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия;

Ti – Титан;

Zr – Цирконий;

Au – Золото;

НИР – Научно-исследовательская работа;

КСС – Контактной точечная сварка;

ОЦК – Объемно-центрированная кубическая решётка;

ГЦК – Гранецентрированная кубическая решетка;

МО – Месячный оклад;

ЕСН – Единый социальный налог;

БЖД – Безопасность жизнедеятельности.

Содержание

Содержание	13
Введение	16
Глава 1. Обзор и анализ литературы	17
1.1 Роль модифицирования поверхностного слоя различных материалов	17
1.2 Общие сведения о титане и цирконии	18
1.3 Общие сведения о золоте	24
1.4 Свойства сплавов Ti-Au	25
1.5 Теория и практика контактной точечной сварки металлов и сплавов	28
Глава 2. Экспериментальная часть	34
2.1 Исходные материалы	34
2.2 Оборудование и методики исследования	35
2.2.1 Оборудование для сварки образцов	35
2.2.2 Проведение металлографических исследований	36
2.2.3 Проведение инструментального индентирования	37
Глава 3. Результаты экспериментов и их обсуждение	43
3.1 Измерение твёрдости трёхслойных Ti-Au 2D композитов методом инструментального индентирования в микро - и нанодиапазонах	43
3.2 Измерение твёрдости трёхслойных Zr-Ti 2D композитов методом инструментального индентирования в микро - и нанодиапазонах	52
3.3 Исследование элементного состава четырёхслойных Ti-Au 2D-композитов	56
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	59
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	59
4.2 Анализ конкурентных технических решений	59
4.3 SWOT-анализ	61
4.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации	64

4.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	66
4.6 Планирование научно-исследовательских работ	66
4.6.1 Структура работ в рамках научного исследования	66
4.6.2 Разработка графика проведения научного исследования	67
4.7 Бюджет научно-технического исследования	70
4.7.1 Расчёт материальных затрат НТИ	70
4.7.2 Расчёт затрат на специальное оборудование	71
4.7.3 Отчисления во внебюджетные фонды	72
4.7.4 Формирования бюджета затрат НТИ	73
4.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной, экономической эффективности исследования	73
Глава 5. Социальная ответственность	77
5.1 Введение	77
5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	78
5.2.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	78
5.2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	79
5.3 Производственная безопасность	80
5.3.1 Анализ вредных и опасных факторов	80
5.3.2.1 Отклонение показателей микроклимата	81
5.3.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны	83
5.3.2.3 Превышение уровня шума	85
5.3.2.4 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	86
5.3.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	87
5.3.3.1 Требования к помещениям для работы с ПЭВМ	87

5.3.3.2 Микроклимат	87
5.3.3.3 Повышенный уровень шума	88
5.3.3.4 Отсутствие или недостаток естественного света	88
5.3.3.5 Поражение электрическим током	89
5.4 Экологическая безопасность	90
5.4.1 Анализ возможного влияния объекта исследования на окружающую среду	90
5.4.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	90
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	90
5.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	91
5.5.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	91
Заключение	93
Список публикаций студента	96
Список используемых источников	97
ПРИЛОЖЕНИЕ А	104

Введение

Современное развитие области сплавов медицинского назначения выдвигает повышенные требования к материалам. Они должны иметь высокие механические характеристики, коррозионную стойкость и технологичность. К одному из вариантов, удовлетворяющим данному комплексу свойств можно отнести титановые сплавы [1].

В последнее время благородные металлы, такие как Au, Pd, Nb и Ag, вызывают повышенный интерес в качестве компонентов в медицинских сплавах на основе титана [2, 3]. Это связано с тем, что недорогие металлы, как Cu, Fe и Al показали себя недостаточно биосовместимыми и биоинертными. В данной работе рассматривается сплав бинарной системы Ti-Au, которая уже успела зарекомендовать себя, т.к. обладает повышенной твердостью [4], коррозионной стойкостью [5], что необходимо для повышения долговечности медицинских изделий. Также, когда речь идет о медицинских титановых сплавах следует обратить внимание на их эластичность и пластичность [6], поскольку в организме они работают - как правило - в сочетании с костными тканями. Изучение свойств литых титановых сплавов с благородными металлами также включает исследование их свойств после дополнительной технологической обработки, направленной на получение сплавов с более высокими характеристиками [4].

Создание интерметаллических сплавов, и разработка технологий их получения является одним из многообещающих и успешно развивающихся в мире направлений в области новых металлических материалов. Одним из последующих альтернатив развития этого направления является создание слоистых интерметаллидных композитов, представляющих собой материалы, в которых чередуются металлические и интерметаллидные слои, обладающие особыми, специфическими свойствами [7].

Глава 1. Обзор и анализ литературы

1.1 Роль модифицирования поверхностного слоя различных материалов

Огромный выбор используемых материалов, для создания покрытий, позволяет обеспечить заданные свойства поверхности (или комплекс свойств) практически для любых изделий. Обычные материалы практически не способны удовлетворить всем требованиям, предъявляемым к ним, тем более, если речь идет о работе в экстремальных условиях. В большинстве случаев материалы повышенного качества, если и отвечают таким требованиям, могут оказаться слишком дорогими для их использования в массовом производстве. [1]

Одной из основных целей нанесения покрытий является изменение физико-механических свойств. Так, например, было доказано увеличение твердости алюминиевого сплава 6061 с помощью поверхностной механической обработки сплавом на основе железа в сочетании с обработкой азотированием. При этом твердость увеличивалась при увеличении температуры азотирования. [2]

Модифицированный слой, полученный при ионной имплантации кремния, показал свою способность препятствовать образованию хрупкого разрушения. А также были получены данные, свидетельствующие о том, что данный метод обработки может сдерживать рост трещин в материале. [3]

Другой пример получения модифицированного поверхностного слоя рассматривается в статье [4]. Исследование заключалось в изучении влияния тонкой пленки TiN на механические свойства TiNi, обладающим эффектом памяти формы. В результате было обнаружено, что наличие 300 нм слоя TiNi увеличивает твердость TiNi, при этом сохраняя эффект фазового превращения и эффект памяти формы.

Похожие результаты были получены при исследовании плазменного легирования меди титаном. Синтезированная поверхность сплава Cu - Ti обладала повышенными прочностными и трибологическими свойствами. [5]

Можно отметить, что модифицирование поверхностного слоя имеет большое значение при необходимости получения заданных свойств материала. Однако необходимо учитывать имеющиеся свойства, как покрытия, так и подложки, и тщательно выбирать метод нанесения покрытий.

1.2 Общие сведения о титане и цирконии

Титан (Ti) является перспективным металлом благодаря его качествам и запасам в земной коре он является десятым наиболее распространенным элементом на Земле. Содержание титана в земной коре составляет 0,57 % масс, в морской воде 0,001 мг/л [12].

Сплавы на основе титана зарекомендовали себя как хорошие конструкционные материалы для критических применений в области авиации, транспортного машиностроения и медицины и т.д., благодаря их легкому весу, высокой прочности в широком температурном диапазоне и великолепной коррозионной стойкости. Тяжелая пластическая деформация (СПД) является одним из методов повышения прочности и пластичности сплавов Ti за счет формирования наноструктурированный или ультрадисперсной структуры. СДПГ - это обычный тип деформационного процесса - равноканальное угловое прессование (ЭКАП), кручение под высоким давлением, механическое легирование, многоосная ковка, прокатка с наложением листов, циклическая деформация и др. [1] С другой стороны, метод двухосной ковки подразумевает повторение последовательности простых ковочных операций, т. е. ковки и волочения, которые не требуют сложного и дорогого инструмента. Это позволяет использовать существующую технологию и прессовое оборудование.

Твердость бинарных сплавов $Ti_{1-x}Al_x$ в первую очередь определяется конституциональными интерметаллическими соединениями и их

микроструктурой, созданной в процессе изготовления. [1] Установлено, что при литье мелких слитков можно получить значительную объемную долю метастабильных фаз, причем фазы могут образовываться, но не следовать равновесной фазовой диаграмме. Из экспериментальных данных установлено, что наиболее твердые сплавы находятся в группе - I и β -Ti₃Au является основной фазой для каждого сплава в этой группе. Известно, что плотность атомных связей и их длина являются одними из определяющих факторов твердости материала. β -Ti₃Au имеет самую высокую плотность связи среди сплавов Ti_{1-x}Au_x, а α -Ti₃Au имеет очень близкое, но несколько меньшее значение, в то время как все другие фазы, такие как TiAu, TiAu₂ и TiAu₄, имеют гораздо меньшую плотность связи. Таким образом, кристаллическая структура или природа атомных связей β -Ti₃Au приводит к его высокой твердости. Кроме того, в зернах β - Ti₃Au практически не наблюдается дефектов, в отличие от других фаз Ti_{1-x}Au_x. Это указывает на то, что β -Ti₃Au практически не имеет подвижных дефектов и является хрупким по своей природе. [2] Для Ti_{0.78}Au_{0.22} основной фазой по-прежнему является β -Ti₃Au, но в виде широких дендритов, перемежающихся мелкими дендритами fcc Ti. Упрочнение металлических материалов обычно может быть достигнуто введением дефектов, уменьшением размеров зерен или наличием растворенных атомов, которые все действуют как барьеры для движения дислокаций. Высокая плотность дефектов и тонкий интервал fcc Ti, в дополнение к атомам Au в решетке Ti, помогли упрочнить мелкие дендриты fcc Ti. Поэтому твердость Ti_{0.78}Au_{0.22} все еще высока и только на 8,9% ниже, чем у β -Ti₃Au. С повышенным содержанием Au, как в Ti_{0.665}Au_{0.335}, дендриты β -Ti₃Au становятся более мелкими с увеличением объемной доли β -TiAu мартенсита. Сильно дефектный мартенсит β -TiAu не так тверд, как β -Ti₃Au, но из-за его высокой плотности нанотрубок значение твердости сплава снижается только примерно на 16,0%. [3] Отжиг образцов I группы существенно не размягчает их, что согласуется с тем фактом, что высокая твердость присуща кристаллической структуре доминирующей фазы β -Ti₃Au.

Кроме того, дефекты в минорных фазах, таких как fcc Ti, трудно перемещать из-за малого размера зерен fcc Ti, которые граничат с β -Ti₃Au. Сплавы с 50 ат% Au или более больше не образуют β -Ti₃Au, и их твердость значительно уменьшается, подобно тому, как у чистого металла Ti, но намного выше, чем у чистого Au. Мы полагаем, что это связано с высокой плотностью дислокаций и плоскими дефектами, такими как сдвоенные мартенситы и узкие нанотвины высокой плотности. Рафинированные нанотвины и мартенситы обеспечивают дополнительный механизм упрочнения в материалах. Отжиг Ti_{0.5}Au_{0.5} снизил твердость только примерно на 11%. Предполагается, что мартенситные близнецы и нанотвины не аннигилировали из-за ограничений, наложенных их высокой плотностью. [4] В то время как для сплава Ti_{0.4}Au_{0.6} отжиг приводит к значительному уменьшению дислокации и двойной плотности из-за его низкой плотности и большего размера зерна, что приводит к самому большому падению твердости всех сплавов.

Ti имеет плотность 4,54 г / см³ и является относительно легким металлом. Данный химический элемент демонстрирует отличную коррозионную стойкость благодаря стабильному оксиду титана, который образует защитную пленку на его поверхности. Эта пленка эластична и быстро восстанавливается, поэтому сопротивление сохраняется даже в агрессивных средах [9,10].

К недостаткам этого металла и сплавов на его основе относят активное взаимодействие с газами при высоких температурах, невысокие антифрикционные свойства, низкое значение модуля упругости, что является причиной невысокой жесткости конструкций из титановых сплавов [11].

Точка фазового превращения титана находится при 885°C. Титановая решетка превращается в объемно-центрированную кубическую (ОЦК) (β -фаза) при высоких температурах из гексагональной плотноупакованной (ГПУ) (α -фаза) при низких температурах. При добавлении легирующих элементов в титан изменяется температура превращения α и β фаз, в зависимости от типа легирующего элемента.

Титановые сплавы подразделяются на типы α , β и $\alpha + \beta$ в соответствии с их структурой при комнатной температуре [9, 10].

Титановые сплавы α -типа используются в промышленности в качестве жаропрочных сплавов. β -стабильный элемент снижает температуру превращения и расширяет β -фазу на диаграмме равновесия. Добавление этих легирующих элементов позволяет поддерживать β -фазу при комнатной температуре. Поскольку β -фаза имеет ОЦК-структуру, она демонстрирует превосходную пластичность по сравнению с α -фазой, которая имеет ГПУ-структуру.

Титановые сплавы β -типа могут демонстрировать хорошую обрабатываемость и низкий модуль упругости. Поэтому исследования и разработки этих титановых сплавов прогрессируют, в частности для хирургических имплантаций и стоматологического использования.

Титановый сплав $\alpha + \beta$ представляет собой двухфазный сплав, в котором α -частицы осаждаются в β -фазе. Алюминий обычно добавляют к титану в качестве α -стабилизатора, что увеличивает прочность без ущерба для большого удлинения и прочности. Путем добавления β -стабилизатора к α -сплаву полученный $\alpha + \beta$ -сплав получает способность твердофазного усиления и термической обработки матрицы β -фазы. Сплав Ti-6Al-4V, который является прочным и жаростойким, был разработан как типичный сплав $\alpha + \beta$ для использования в аэрокосмической промышленности. Этот сплав содержит 6% алюминия в качестве α -стабилизатора и 4% ванадия в качестве β -стабилизатора. Он также применяется в качестве сплава для хирургических имплантатов [9,10].

Поскольку титан обладает отличной коррозионной стойкостью и биосовместимостью, он широко используется для медицинского применения. Биосовместимость титана была обнаружена еще в 1950-х годах после исследований на животных [14-16]. С тех пор, его клиническое применение в качестве замены для традиционно используемых нержавеющей стали и сплавов системы кобальт-хром, значительно выросли. Однако, когда

применение требует высокой прочности, его механические свойства не отвечают требованиям [17].

На некоторые свойства чистого титана влияет способ его производства. Так, в работе Н. Attar и соавторов [18] были использованы такие методы, как выборочная лазерная плавка, аддитивное производство методом дуговой сварки и лазерное проектирование Net Shaping. Все полученные механические свойства либо превосходили, либо были сопоставимыми со свойствами титана, полученного методом литья и порошковой металлургии. Например, оценка испытаний на растяжение показала наибольший предел текучести и предел прочности при растяжении для титана, произведенного с использованием выборочной лазерной плавки.

Для изменения свойств применяются различные методы, в том числе легирование. К примеру, при легировании сплава на основе интерметаллидного соединения Ti_3Al ниобием в количестве более 10% в его структуре появляется интерметаллидное соединение Ti_2NbAl , которое имеет высокую температуру плавления, низкий коэффициент термического расширения и достаточно высокий уровень жаропрочности [19].

Некоторые научные сотрудники свидетельствуют, что при легировании ванадием, повышаются прочностные и пластические свойства сплава, а легирование цирконием, молибденом и кремнием повышает его жаропрочные свойства и стойкость к окислению [20]. Еще один пример легирования титановых сплавов – добавление железа в сплав $Ti-Nb$. В результате исследования образцы показали большую прочность в испытаниях на сжатие [21].

При этом и сам титан имеет место быть в качестве легирующего компонента. В исследовании, направленном на изучение влияния добавок титана на характеристики зерна и механические свойства медно-кремниевых сплавов, было получено уменьшение среднего размера зерна исходного сплава ($Cu - 3Si$) с ≈ 10.1 мкм до ≈ 4.4 мкм и изменение морфологии зерна после добавления титана, что привело к улучшению свойств [22].

С целью повышения удельной прочности и сопротивления производят сплавы титана с легирующими добавками (Cr, V, Mo, Al, Mn). В авиастроении из легированного сплава титана изготавливают корпуса двигателей, емкости для реагентов и другие [23, 24]. Благодаря стойкости к азотной кислоте любых концентраций, к разбавленной серной кислоте, к атмосфере влажного хлора титан нашел применение в химическом машиностроении. Температурный предел его применения составляет от 600 до 650 °С [25, 26]. Титан хорошо куется, сваривается, штампуется. Поэтому он используется для изготовления целых аппаратов и отдельных деталей. Титановая аппаратура примерно в десять раз дороже, чем аппаратура из углеродистой стали [27].

Технология сварки титана так же различна, как и сварка любого другого металла. Основные способы это – ручная дуговая сварка, электрошлаковая сварка, контактная сварка и электронно-лучевая сварка. Благодаря таким показателям как низкая теплопроводность и высокое электрическое сопротивление титана, контактно точечная сварка титана существенно облегчается и может быть выполнена с использованием разных машин средней мощности однофазного и трехфазного переменного или постоянного тока. Титан по отношению к сталям менее чувствителен к силе на электродах и их геометрическим параметрам. Низкая электропроводность титановых сплавов облегчает возможность многоэлектродной сварки.

Чистый цирконий - один из самых прочных материалов, имеет непрозрачный и белый цвет. Используется для замены костей и часто для изготовления более мелких частей, которые могут выдерживать более высокие нагрузки. Цирконий обладает рядом перспективных физико-механических свойств, включая высокую прочность при изгибе (900-1200 МПа), низкую теплопроводность, высокую коррозионную стойкость, а также сопротивляемость к разрушению.

В 80-е годы прошлого века появилась возможность использовать новый материал-циркония, который также относится к группе биоинертных металлов. До настоящего момента он был закрыт для общего применения. На

сегодняшний день циркониевые сплавы находят широкое применение, легированные ниобием, сплав Э110 (цирконий, легированный 1 масс. % ниобия) и сплав Э125 (цирконий, легированный 2,5 масс.% ниобия). В чистом виде цирконий, так же, как и титан в имплантологии не используется. Наряду с ранними сообщениями о биологической совместимости титана и циркония [2], можно сказать, что легирующие вещества по химическому составу, которые обуславливают уровень механических свойств, способствуют развитию воспалительных реакции в сплавах титана, содержат десятими долями, в то время как в циркониевых сплавах ванадий отсутствует, а алюминий числится тысячными долями процента. Особо обратим внимание на количество в сплавах ванадия, алюминия и железа. То есть содержание всех легирующих элементов (ванадий, железо, алюминий и т.д.) в циркониевом сплаве на два порядка ниже. Исключение составляет ниобий, который был введен в сплав для увеличения твердости. В результате проведенных токсикологических испытаний, было установлено инертное поведение материалов в тканях организма.

1.3 Общие сведения о золоте

Золото (Au) – благородный металл желтого цвета. Этот металл имеет гранцентрированную кубическую решетку и отличается исключительной ковкостью и тягучестью. Также золото имеет высокую тепло- и электропроводность, уступая лишь меди и серебру [28].

Золото широко распространено в природе. Следы этого металла встречаются во всех горных породах. Также золото постоянно присутствует в человеческом организме в небольшой концентрации [29].

Важной и характерной особенностью этого металла, является низкая химическая активность. Золото практически не изменяется во влажной среде. Не взаимодействует с азотом, кислородом, водородом и углеродом даже при высоких температурах.

Золото обладает высоким электродным потенциалом в водных растворах и не растворяется в щелочах и некоторых кислотах, как азотная, соляная, плавиковая, серная, а также в органических. Этот благородный металл очень технологичен, из него можно изготовить сверхтонкую фольгу и микронную проволоку. Кроме того, золото отлично паяется, сваривается под давлением. Покрытия из этого материала хорошо наносятся на керамику и другие металлы. Благодаря такой совокупности полезных свойств, золото используется в таких отраслях, как: электроника, авиационная и космическая техника, медицина, ядерная энергетика, химическая и ювелирная промышленности [29].

Изучение применения золота в медицине является одним из перспективных направлений у исследователей. Например, наночастицы золота могут рассматриваться в качестве системы адресной доставки лекарств. Их эффективность была доказана, в частности благодаря таким свойствам, как контролируемое высвобождение лекарств и хорошая биосовместимость [30]. Однако остается вопрос с удалением частиц золота из организма, т.к. самодеградация металла происходит затруднительно.

Проводятся работы по изучению влияния золотого покрытия на свариваемость тонких никелевых листов и на формирование точки сварки по сравнению со сваркой никеля без покрытия [31]. Однако исследования по определению влияния золота на формирование фазового состава зоны синтеза не проводилось из-за его содержания в покрытии в небольших количествах.

1.4 Свойства сплавов Ti-Au

В научной литературе имеются данные о проведении исследований механических свойств интерметаллидов титана с различными металлами, в том числе и золотом [40]. При этом, в зависимости от концентрации металла в титане, в системе титан-металл были выявлены три зоны. Первая зона, богатая титаном были обнаружены твердые растворы, Ti-подобные микроструктуры. При увеличении атомного отношения Me/Ti стало возможным

идентифицировать интерметаллическую область. В третьей зоне, богатой Me, микроструктуры оказались зависимыми от растворимости Ti в Me.

Оценка механических свойств показала улучшение твердости и жесткости при добавлении золота, что напрямую связано с образованием интерметаллических соединений. Кроме того, адгезионная прочность между подложкой и покрытием была выше в интерметаллической области. Кроме того, была обнаружена повышенная ударная вязкость.

Другими исследователями [4] была обнаружена высокая твердость сплава β -Ti₃Au, пониженный коэффициент трения и скорости износа, а также биосовместимость. Это является оптимальными характеристиками для применений в стоматологии и протезировании. Получение таких свойств связывают с тем, что данное соединение – единственное среди всех соединений Ti-Au имеющее кубическую решетку. Авторы говорят о корреляции между кристаллической структурой и твердостью. Подобным по твердости интерметаллическим соединением является Ti₃Ir, однако данное соединение не биосовместимо, а данное свойство является одним из ключевых моментов для исследователей. Повышение твердости в четыре раза по сравнению с чистым Ti делает β -Ti₃Au самым твердым из известных биосовместимых интерметаллических соединений.

Похожие данные были получены в работе [41], в которой исследовалась твердость сплавов Ti_{1-x}Aux с молярной долей Au $x = 0,22; 0,25; 0,335; 0,5; 0,6$ и $0,8$. В результате было получено, что сплавы Ti_{1-x}Aux с x от $0,2$ до $0,40$ имеют высокую твердость, т.е. те сплавы, где β -Ti₃Au является доминирующей фазой. Это показывает, что интерметаллид β -Ti₃Au является самым твердым из всех интерметаллических сплавов Ti_{1-x}Aux. Сплавы с x от $0,4$ до $0,8$ имеют твердость аналогичную твердости чистого Ti.

Были проведены исследования [42] бинарной системы Au-Ti, связанные с разработкой универсального стоматологического сплава. Результаты показывают, что с увеличением содержания Ti твердость, модуль Юнга, предел прочности и предел прочности при растяжении сильно возрастают в

диапазоне 2–6 ат.% Ti, а при более высоком содержании Ti остаются постоянными.

Однако не все исследования указывают на повышение механических свойств. Например, в научной работе, где описано влияние добавок меди, серебра и золота на структурные и поверхностные свойства биологически активных тонких пленок на основе титана и изучено влияние данных добавок на твердость и антибактериальную активность титановых покрытий [43]. Авторы отмечают, что пленки Ti-Cu, Ti-Ag и Ti-Au имели более низкую твердость по сравнению с Ti. Также было обнаружено, что покрытия Ti-Ag и Ti-Au обладают биоцидным эффектом, связанным с непосредственным контактом их поверхности с микроорганизмами.

На рисунке 1 представлена диаграмма состояния сплавов Ti-Au. Согласно указанным выше исследованиям, можно сделать вывод, что свойства данного сплава напрямую зависят от образовавшихся в нем фаз, в том числе твердых растворов и интерметаллических соединений.

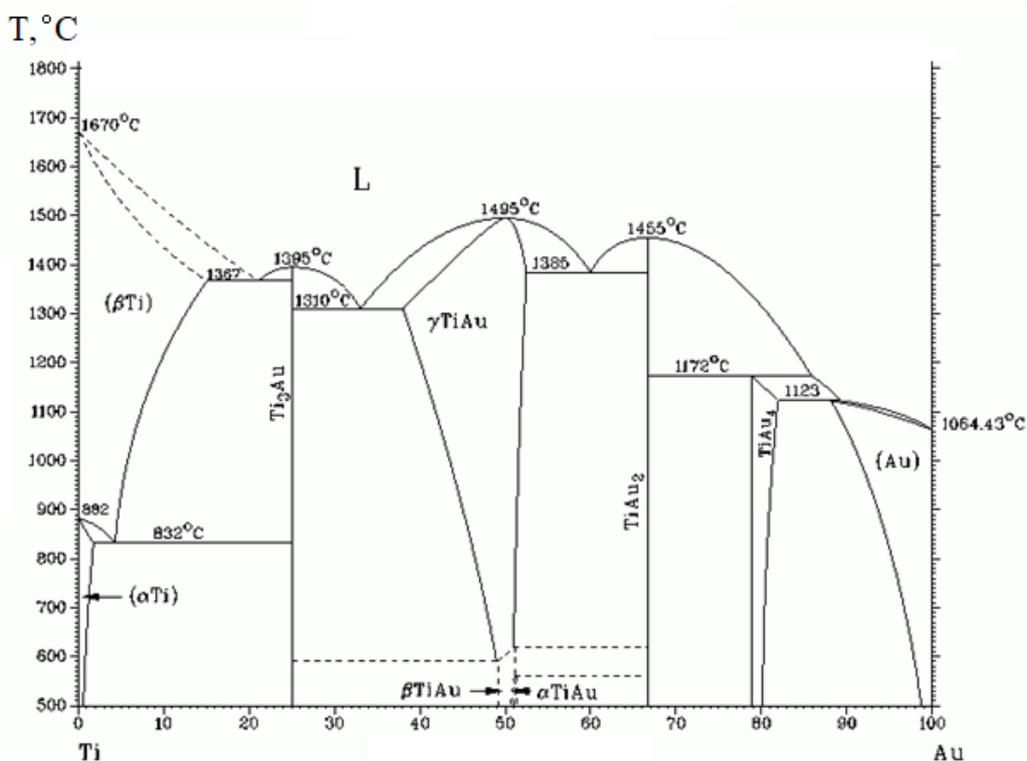


Рисунок 1 - Бинарная диаграмма состояния Ti-Au

1.5 Теория и практика контактной точечной сварки металлов и сплавов

Более полторы сотни лет точечная контактная сварка служит верой и правдой строителям для сборки сложных конструкций из арматуры, сборщикам автомобилей для соединения тонкого корпусного металла и приваривания массивных деталей. Можно долго перечислять все сферы применения этого метода соединения металлических листов, но главным достоинством останется простота применения и возможность автоматизации процесса. Эти возможности логически вытекают из его физических принципов действия, с которыми мы и хотим вас познакомить.

Физика процесса довольно проста. Все мы знаем, что при протекании электрического тока по проводнику происходит нагрев проводника. Чем больше ток – тем больше нагрев. При точечной контактной сварке в качестве проводников выступают свариваемые детали. Их накладывают друг на друга, зажимают специальными электродами и подают напряжение.

Поскольку сопротивление этого участка ничтожно мало, то даже при напряжении в несколько вольт протекают токи в сотни и тысячи ампер (в зависимости от возможностей источника питания). Токи такой величины доводят металл деталей до сильного нагрева и размягчения, что при большом давлении со стороны электродов создает условия для взаимной диффузии [41].

Задача сварочного аппарата сводится к созданию достаточного усилия сжатия деталей электродами и подачи больших токов в момент сваривания деталей. Так же нужно обеспечить эффективное охлаждение электродов, в противном случае они просто расплавятся, ведь по ним протекает такой же ток, как и через соединяемые детали.

Сваривание изделий должно проводиться в строго определенном порядке. Первыми варятся углы изделия и те участки, которые прилегают к ребрам жесткости. Таким образом создается каркас жесткости, внутри которого варятся участки, склонные к деформации. Соединение длинных

листов должно проводиться в направлении от середины к краям. Большой проблемой при сваривании длинных листов металла может стать образование гофра между точками сваривания. Чтобы избежать этого явления, необходимо варить их подряд без пропусков, обеспечивая достаточное прижимное усилие.

Основная схема проведения работ точечной сваркой предусматривает четыре этапа. На первом этапе происходит сжатие соединяемых деталей электродами сварочной машины. На втором этапе включается ток разогрева и выдерживается до расплавления точки сваривания и формирования литого ядра.

Третий этап подразумевает увеличение силы сдавливания электродами при продолжающемся прохождении сварочного тока. На четвертом этапе выключается подача напряжения, снижается давление электродов, и они отводятся от места сваривания.

Режимы сваривания зависят от множества факторов. При выборе режима необходимо учесть особенности различных материалов, толщин и конфигурации деталей. Режимы разрабатываются и описываются технологами. В технологии обязательно необходимо определить:

1. площадь контактной поверхности электрода;
2. время пропускания тока;
3. давление электродов;
4. величину тока.

Технологический процесс включает в себя требования к частоте и способу зашлифовки электродов. Это гарантирует соблюдение описанных выше технологических параметров, таких как площадь контакта, величина тока. Технология предусматривает частоту смены наконечников электродов во избежание критического износа.

Отдельными пунктами определяется порядок окончательной зачистки изделия. Например, стальные изделия обрабатываются личным напильником, а для алюминия достаточно наждачной бумаги.

Основным преимуществом можно считать возможность полной автоматизации процесса. Это обстоятельство способствовало внедрению такого способа на машиностроительных конвейерах. Высочайшей производительности труда позволяет добиться точечная сварка в сочетании с промышленными роботами. Кроме того, повышения производительности добиваются внедрением многоточечных машин. Такой вид сваривания позволяет:

1. обходиться без сварщиков высокой квалификации;
2. идеально соединять тонкие листовые материалы;
3. вести работы без использования защитных газов;
4. оказывает ничтожное воздействие на металл изделия;

Одно из достоинств этого способа - отсутствие выделения вредных газов. Последним аргументом можно считать высокую степень пожарной безопасности по сравнению с ручной дуговой сваркой.

Недостатки этого вида соединения деталей начинают проявляться при сваривании изделий сложной формы. Если с листами металла проблем никаких, то сложные изделия требуют особых форм электродов, что не всегда возможно. Осложнения нарастают при попытках создать многоточечную оснастку. Не всегда удается применить эту сварку при сваривании нескольких разнородных металлов и сплавов. В данном случае такое преимущество, как отсутствие защитных газов, работает против производства.

Значительную опасность для обслуживающего персонала создаёт вероятность выплеска металла в момент подачи сильного тока на электроды. Этим особенно грешат машины старых образцов. Современные сварочные аппараты обеспечивают плавную подачу сварочного тока. Ещё большая безопасность достигается при использовании постоянного тока в сочетании с программным управлением силой сжатия.

Сферы применения точечной контактной сварки определяются её возможностями и особенностями. Поскольку этот вид соединения деталей не требует высокой квалификации рабочих и легко поддается механизации и

автоматизации, то ему была открыта широкая дорога к производству разнообразных изделий широкого потребления. Крупносерийное производство позволяет проектировать автоматические линии, на которых режимами работ управляют компьютеры, а место рабочих занимают роботы – сварщики.

На подобных производствах изготавливают технику, облегчающую домашний труд: пылесосы, стиральные машины. Похожий процесс производства имеет сельскохозяйственная техника и устройства для ведения приусадебного хозяйства: газонокосилки, сепараторы молока. Естественно, что они тоже применяют точечную сварку для соединения элементов корпусов и приваривания отдельных деталей.

Наибольшее количество аппаратов точечной сварки работает в машиностроении. Это очень разветвленная отрасль, и во всех её направлениях работают аппараты точечной сварки. Именно с её помощью свариваются корпуса большинства многочисленных изделий, выпускаемых этой отраслью.

Автомобили, трактора, комбайны, железнодорожные вагоны – вот обширный, но далеко не полный перечень производств, применяющих этот вид сварки. Несколько особняком стоит такая отрасль, как микроэлектроника, и это понятно. Ведь здесь совершенно другие измерения, и, соответственно, сварочные аппараты и способы ведения работ. В большинстве операций, по причине сверхмелких размеров деталей, человеку не находится места, и работы ведутся на роботизированных линиях под управлением компьютеров.

Физические принципы, лежащие в основе работы аппаратов точечной сварки, определяют его конструкцию и основные элементы. Ток большой силы предполагает наличие мощного силового трансформатора. Этот трансформатор отличается от большинства своих собратьев наличием вторичной обмотки с малым числом витков, намотанных очень толстым проводом. Это связано с прохождением по нему токов в десятки тысяч ампер.

С силового трансформатора ток поступает на электроды различной конструкции, чаще всего выполненных в форме клещей. Наконечники клещей

выполняются из меди, что обеспечивает им малое электрическое сопротивление, в сравнении с сопротивлением свариваемых металлов. Благодаря этой разнице, львиная доля падения напряжения приходится на детали, что и обеспечивает их разогрев. Однако часть тепла выделяется и на электродах, поэтому аппараты точечной варки обязательно имеют систему принудительного охлаждения. Чаще - водяного, реже - воздушного. Качество охлаждающей воды определяется по ГОСТ 297 - 80Е.

Несущий корпус должен иметь достаточную жесткость, чтобы при сжатии электродов не допустить их смещения, превышающего норму. В корпусе расположена и система управления, состоящая из электрических, электронных, пневмо и гидроустройств. Система обеспечивает алгоритм управления всеми частями машины.

И последнее, о чем стоит упомянуть, - это механизм сжатия сварочных электродов. Эти механизмы бывают очень разных конструкций и сложности: от элементарных ручных клещей до мощных узлов, управляемых электроникой, снабженных пневмо или гидроприводом.

Специфическую, характерную для этого вида работ, опасность представляет выплеск расплавленного металла, что может стать следствием сваривания на неправильном режиме или плохой очистке поверхности соединяемых деталей. Для защиты от этого явления необходимо иметь маску сварщика. При сваривании оцинкованных металлов, выделяющих вредные газы, необходимо обеспечить место проведения работ эффективной вытяжной вентиляцией.

Неверно составленная технологическая карта или неточное выполнение предписанного процесса могут вызвать дефекты сварного соединения. Наиболее часто встречающийся дефект – полный или частичный непровар. Изделие с таким дефектом ведёт себя как склеенное, при небольших и статических нагрузках сохраняет целостность, но рвётся при малейшем усилении разрушающих факторов.

Недостаточное сжатие деталей, слишком большой ток или грязная поверхность способствуют возникновению наружных трещин. Серьезные дефекты получаются при сваривании в непосредственной близости от кромки детали или чрезмерном давлении электродов. В первом случае, это разрыв кромки, во втором – вмятины в местах сваривания.

Глава 2. Экспериментальная часть

2.1 Исходные материалы

В работе использовалась титановая пластина VT1-0 толщиной 300 мкм, циркониевая пластина и золотая (99,99%) фольга толщиной 50 мкм. Таблица 1 иллюстрирует химический состав титановой пластины. Таблица 2 иллюстрирует химический состав циркониевой пластины.

Таблица 1 - Химический состав VT1-0 [44]

Ti, %	Fe, не более, %	Si, не более, %	C, не более, %	N, не более, %	O, не более, %	H, не более, %	Примеси, не более, %
98,61-99,7	0,18	0,1	0,07	0,04	0,12	0,01	0,3
Допускается содержание алюминия до 0,7%							

Таблица 2 - Химический состав Zr

Zr, %	Hf, %	Fe, %	Cu, %	Ni, %	W, %	Nb, %	Si, %
98,52	0,03	0,1	-	-	До 0,05	0,01	0,1

Основные физико-механические свойства металлов, необходимые для организации процесса сварки и сравнения свойств зоны плавления со свойствами исходных материалов, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-механические свойства золота, титана и циркония

Свойство	Au	Ti	Zr
Плотность, кг/м ³	19,32	4,5	6,45
Температура плавления, °C	1064	1668	1825
Модуль упругости, ГПа	80	105 – 110 [2]	97
Микротвердость, ГПа	0,25 – 0,41 [45]	2,6+0,21 [45]	-

2.2 Оборудование и методики исследования

2.2.1 Оборудование для сварки образцов

Детали были тщательно обезжирены этиловым спиртом и подвергнуты сварке с использованием специального сварочного оборудования, состоящего из источника питания «ИПТКМ-10» и модернизированного сварочного аппарата «МТТ-02». Титановые пластины и золотая фольга были сварены с использованием электродов, изготовленных из бронзы (Cu-1%, Cr-0,05%, Zr). Радиус электрода составлял 4 мм. Схема контактной сварки представлена на рисунке 2.

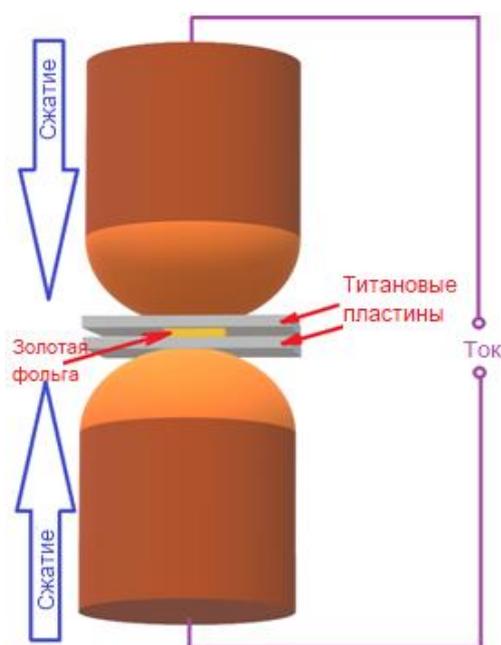


Рисунок 2 - Схема контактной точечной сварки трехслойных 2D-композиатов Ti-Au

При сварке образцов использовались алгоритмы изменения тока, представленные на рисунке 3. Максимальная температура в зоне сварки была в диапазоне между температурой плавления и кипения.

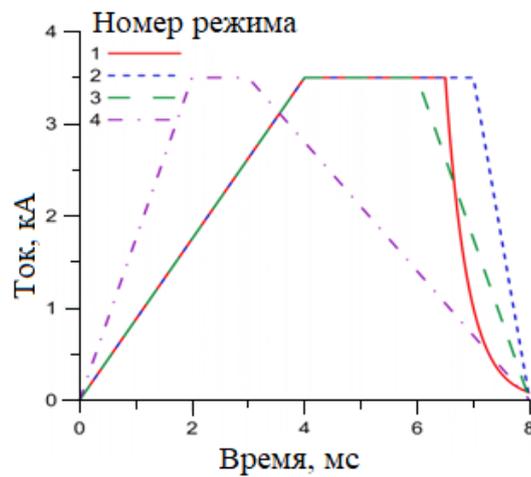


Рисунок 3 - Алгоритмы изменения тока при сварке

2.2.2 Проведение металлографических исследований

Металлографические исследования проводились с использованием металлографического микроскопа «ЛабoМет» с системой обработки данных «SIAMS», сканирующего электронного микроскопа и просвечивающего электронного микроскопа JCM-6000. Сканирующий электронный микроскоп снабжен энергодисперсионным спектрометром для химического анализа сплава. Просвечивающий электронный микроскоп также позволил изучить элементный и фазовый составы сплава методом ЭДС.

Микроструктуру образцов исследовали на поперечных микрошлифах, изготовленных резанием, последующим шлифованием и чистовой обработкой. Шлифование проводилось на SiC-бумаге с зернистостью 100–2000. После этого проводилась полировка алмазными пастами. Образцы для металлографического анализа были протравлены в смеси [46] (1–3 мл плавиковой кислоты и 2–6 мл азотной кислоты в 100 мл воды с выдержкой в течение 3–10 секунд).

2.2.3 Проведение инструментального индентирования

Под инструментальным индентированием понимается процесс, управляемый специальной испытательной установкой, при котором происходит непрерывное внедрение наконечника в испытуемый образец под действием плавно возрастающей нагрузки с последующим ее снятием и регистрацией зависимости перемещения наконечника от нагрузки.

Твердость обычно определяют, как сопротивление материала вдавливанию другого более твердого материала. Результаты, полученные при определении твердости по Роквеллу, Виккерсу и Бринеллю, определяют после снятия испытательной нагрузки. Поэтому влияние упругой деформации материала под воздействием наконечника (индентора) не учитывается [47].

Измерение твердости методом индентирования возможно применять в различных диапазонах (таблица 4).

Таблица 4 - Диапазоны применения индентирования (2 Н - верхний предел испытательной нагрузки, F - испытательная нагрузка, h - глубина индентирования под действием испытательной нагрузки) [47]

Макродиапазон	Микродиапазон	Нанодиапазон
$2 \text{ Н} \leq F \leq 30 \text{ кН}$	$2 \text{ Н} > F; h > 0, 2 \text{ мкм}$	$h < 0, 2 \text{ мкм}$

Непрерывное измерение значений нагрузки и глубины индентирования позволяет определить твердость и свойства материала. Необходимо использовать наконечник из материала, более твердого, чем испытуемый материал, имеющий следующие формы:

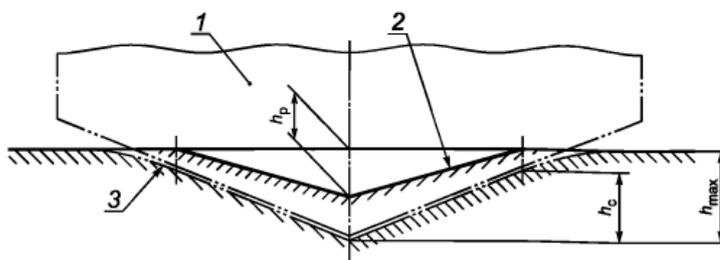
- а) алмазный наконечник в форме правильной четырехгранной пирамиды с углом $\alpha = 136^\circ$ между противоположными гранями при вершине (алмазный наконечник Виккерса),
- б) алмазная пирамида с треугольным основанием (например, пирамида Берковича),

- в) шарик из твердого сплава (особенно для исследования материалов в упругой области),
- г) алмазный сферический наконечник [47].

Методика измерений может быть реализована двумя способами: Задавая нагрузку, измеряют вызываемое ею перемещение наконечника. Задавая перемещение наконечника, измеряют вызывающую это перемещение нагрузку.

Значения испытательной нагрузки F и соответствующей глубины индентирования h фиксируют в течение всего измерения. В результате получают данные по прикладываемой нагрузке и соответствующей глубине индентирования как функции времени.

На рисунке 4 приведена принципиальная схема проведения индентирования.



1 - наконечник; 2 - поверхность отпечатка в испытательном образце после полной разгрузки; 3 - поверхность соприкосновения испытуемого образца с наконечником при максимальной глубине индентирования и испытательной нагрузке, h_p - остаточная глубина отпечатка после снятия испытательной нагрузки, h_c - глубина погружения наконечника в испытательный образец при максимальной испытательной нагрузке.

Рисунок 4 - Схема продольного сечения зоны индентирования [47]

При проведении лабораторного эксперимента к установке для испытаний предъявляется ряд требований:

Конструкция установки для испытаний должна обеспечивать возможность приложения заданных испытательных нагрузок, возможность измерений и записи таких параметров как: значения прикладываемой нагрузки, перемещений.

Установка должна быть предварительно откалибрована в рабочем диапазоне температур.

Используемые в установке наконечники могут иметь формы указанные в ГОСТ 9450.

Конструкция установки для испытаний должна обеспечивать возможность компенсации собственной податливости и использования соответствующей функции площади наконечника.

К образцу для проведения индентирования предъявляются определенные требования:

1. Область образца, в которой выполняются испытания должна позволять определить диаграмму нагрузка - глубина индентирования для соответствующего диапазона.

2. Не допускается попадание жидкостей, смазочных материалов в область контакта наконечника с испытуемым образцом, кроме тех мест, где это необходимо. А также не допускается попадание посторонних веществ в область контакта, таких как частицы пыли.

3. Поверхность образца должна быть перпендикулярна к оси приложения нагрузки.

4. В микро и нанодиапазонах индентирования, в связи с небольшой глубиной проникновения наконечника, необходимо использовать процесс полировки во время подготовки поверхности образца с особой осторожностью [47].

При проведении испытаний должны быть соблюдены пункты, перечисленные ниже.

При проведении испытаний необходимо фиксировать температуру окружающей среды, как правило, измерения проводятся в диапазоне температур 10 - 35 °С.

Образец должен быть установлен на опорную поверхность и закреплён строго перпендикулярно к направлению индентирования.

Нулевая точка при измерениях на кривой нагрузка/глубина индентирования соответствует первому контакту наконечника с образцом.

В цикле испытания задается или глубина индентирования, или прикладываемая нагрузка.

Должно быть зафиксировано детальное описание всех характеристик цикла:

- 1 задаваемое значение (нагрузки или перемещения наконечника, а также дискретного или непрерывного изменения этого параметра);
- 2 изменения задаваемого параметра);
- 3 максимальную нагрузку (или перемещение наконечника);
- 4 скорость нагружения (или скорость перемещения наконечника);
- 5 длительность и положение каждого шага нагружения;
- 6 частоту регистрации данных (или число точек).

Испытательная нагрузка должна быть приложена без ударов и вибраций, поскольку это может влиять на результаты измерений.

В области контакта поверхности с наконечником индентора не должно быть резких перепадов высоты, впадин, неровностей [47].

Индентирование осуществлялось с помощью прибора Nano Indenter G 200 (рисунок 5). В качестве индентора использовалась пирамида 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 твердость H_{IT} в соответствии со стандартом ISO 14577 [48].



Рисунок 5 - Nano Indenter G200

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 [48].

Экспериментальная первичная кривая «нагрузка – внедрение» (диаграмма внедрения), непрерывно получаемая в процессе индентирования, показана на рисунке 6. 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:

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

где P - нагрузка, прилагаемая к испытываемой поверхности, H , A – площадь отпечатка под нагрузкой, мм^2 , h_{max} – глубина внедрения индентора, мм .

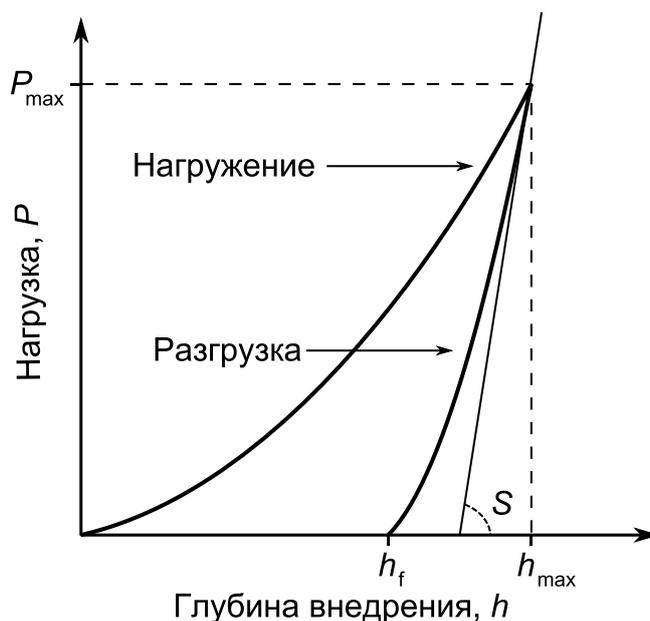


Рисунок 6 - Кривая «нагрузка - внедрение», получаемая в процессе индентирования [48]

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

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

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:

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

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 $\nu_i=0,07$.

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

При создании метода необходимо определить потенциального потребителя данной технологии. Ввиду того, что современное развитие области сплавов медицинского назначения выдвигает повышенные требования к материалам. Материалы подобного типа должны обладать высокими механическими характеристиками, коррозионной стойкостью и технологичностью. К одному из вариантов, удовлетворяющим данному комплексу свойств можно отнести титановые сплав легированные Au и Zr.

Потенциальными потребителями результатов исследования могут быть предприятия пищевой промышленности, аэрокосмической, военной промышленности, предприятия, производящие медицинское оборудование.

4.2 Анализ конкурентных технических решений

Потенциальными конкурентами по производству порошковых материалов и деталей из них на отечественном рынке могут выступать:

АО «Региональный научно-исследовательский и проектный институт титана и магния» и АО "КОНЦЕРН ТИТАН-2"

Сравнение конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку эффективности научного исследования и определить направления для ее повышения.

Более целесообразно проводить анализ с помощью оценочной карты, приведённой в таблице 1, критерии для сравнения подбираются исходя из выбранных объектов с учетом их технологических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации, где K_{k1} - титан, легированный золотом, производимый в г.Березники, Пермский край а K_{k2} – титан легированный цирконием, производимая в Томске.

Таблица 9 - Оценочная карта для сравнения конкурентных тех. решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Твердость	0,098	5	5	5	0,490	0,490	0,490
Высокая прочность	0,093	3	4	4	0,279	0,372	0,372
Жаропрочность	0,083	4	4	3	0,332	0,332	0,249
Технологичность	0,060	5	5	5	0,300	0,300	0,300
Жаростойкость	0,099	5	5	5	0,495	0,495	0,495
Износостойкость	0,067	4	3	5	0,268	0,201	0,335
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности							
Реализация продукта	0,089	3	5	4	0,268	0,445	0,356
Цена продукта	0,055	4	4	4	0,220	0,220	0,220
Охват рынка	0,088	3	5	3	0,264	0,440	0,264
Срок эксплуатации продукта	0,098	4	4	3	0,392	0,392	0,294
Сроки изготовления продукта	0,083	4	3	4	0,332	0,249	0,332
Наличие сертификатов	0,087	4	4	4	0,348	0,348	0,348
Итого:	1	48	50	47	3,988	4,569	3,263

4.3 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.

SWOT - анализ НИР позволяет оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению метода на рынок. Для анализа метода составлена таблица 10.

Сначала описываются сильные и слабые стороны НИР, для выявления возможностей и угроз для его реализации, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 10 - SWOT–анализ НИР

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1.Повышение эффективности производственных процессов; С2.Высокие физико-механические характеристики С3.Наличие необходимых установок для проведения испытаний; С4.Использование контактно-точечной сварки	В1.Появление дополнительного спроса на конечный продукт; В2.Возможность использования на мировом уровне; В3. Использование во многих отраслях; В4.Появление дополнительного спроса на новый продукт.
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
Сл1.Малое количество по распространению и производству легированных сплавов. Сл2.Отсутствие квалифицированных работников для	У1.Повышение стоимости производства

применения концепции в различных отраслях.	
--	--

Следующим этапом является выявление соответствия сильных и слабых сторон проекта условиям внешней среды. Данный анализ соответствий (или несоответствий) необходим для оценки необходимости каких-либо стратегических изменений. В таблице 11 представлены корреляции сильных сторон проекта и возможностей его реализации.

Таблица 11 - Сильные стороны проекта и возможности

		C1	C2	C3	C4
Возможност и проекта	B1	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+
	B3	+	+	+	+
	B4	+	+	+	+

Из таблицы 11 следует, что сильные стороны проекта соответствуют возможностям реализации по параметрам: B1C1C2C3C4; B2C1C2C3C4; B3C1C2C3C4.

Таблица 12 - Слабые стороны проекта и возможности

		Сл1	Сл2
Возможности проекта	B1	+	+
	B2	+	-
	B3	0	-
	B4	-	0

Из таблицы 12 следует, что слабые стороны проекта коррелируют с возможностями реализации по параметрам: B1Сл1; B2Сл2

Таблица 13 - сильные стороны проекта и угрозы

Угрозы		C1	C2	C3	C4
	У1	+	+	0	+

Из таблицы 13 следует, что сильные стороны проекта соответствуют угрозам реализации по параметрам: У1С1; У1С2; У1С4; У2С2.

Проанализировав полученные данные, можно сказать, что наибольшую угрозу проекту предоставляет увеличение цены на оборудование.

Таблица 14 - Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны проекта</p> <p>C1. Повышение эффективности производственных процессов;</p> <p>C2. Высокие физико-механические характеристики</p> <p>C3. Наличие необходимых установок для проведения испытаний;</p> <p>C4. Использование контактно-точечной сварки</p>	<p>Слабые стороны проекта</p> <p>Сл1. Малое количество предприятий по распространению и производству легированных сплавов.</p> <p>Сл2. Отсутствие квалифицированных работников для отдельной применения материал концепции в различных отраслях.</p>
<p>Возможности проекта</p> <p>В1. Появление дополнительного спроса на конечный продукт;</p> <p>В2. Возможность повышения</p>	<p>Благородные металлы, такие как Au, Pd, Nb и Ag, вызывают повышенный интерес в качестве компонентов в медицинских сплавах на основе титана</p>	<p>Допустив увеличение спроса на конечный продукт, есть вероятность что будет нехватка времени и производственных сил для ее реализации</p>

использования на мировом уровне; В3. Использование во многих практических отраслях; В4. Появление дополнительного спроса на новый сплав		
Угрозы проекта У1. Повышение стоимости производства	Наличие нового оборудования неизбежно повысит его стоимость, что отразится на стоимости конечного продукта. Увеличив физико-механические свойства сплава, мы увеличим спрос на данный продукт, но цена неизбежно возрастет	Главной угрозой проекта является возможное увеличение цены на оборудование и материалы

4.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в таблице 15.

Таблица 15 - Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	5
	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	2
	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	4
	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	4
	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	4	3
	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	4	4
	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	4
	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	53	54

Итоговые значения проработанности научного проекта и знания у разработчика лежат в диапазоне от 53 до 54, что говорит о высокой

перспективности проекта. Знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации.

4.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Перспективность данного научного исследования высокая. Таким образом, для коммерциализации этого достаточно. Так как основной научно-технический задел определен, этого достаточно для коммерциализации следующими методами: торговля патентной лицензией; передача ноу-хау и инжиниринг. Степени проработанности научного проекта и уровень знаний разработчика достаточно для реализации пунктов, которые были выбраны.

4.6 Планирование научно-исследовательских работ

4.6.1 Структура работ в рамках научного исследования

Этапы выполнения данной исследовательской работы и ответственные за ее выполнение приведены в таблице 16.

Работу выполняли два человека научный руководитель и студент-выпускник.

Таблица 16 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Проведение научно-исследовательской работы			
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение литературы по соответствующей теме	Научный руководитель, студент
	3	Составление плана исследования	Научный руководитель, студент

Теоретические и экспериментальные исследования	4	Изучение методик по работе с оборудованием, необходимого для проведения исследования	Научный руководитель Студент,
	5	Изготовление и подготовка образцов для исследования	Студент
	6	Исследование образцов	Студент
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов научно-исследовательской работы	Студент, научный руководитель
	8	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, студент
Составление отчета	9	Оформление отчета по НИР	Студент

4.6.2 Разработка графика проведения научного исследования

Расчет продолжительности этапов работ осуществляется двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

В данном случае используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- Аналоговый;
- Вероятностный.

Наиболее удобным и наглядным способом является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого этапа необходимо перевести в календарные дни.

Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}},$$

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

Коэффициент календарности рассчитывается как:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

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

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 16, на основе которой строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках НИП с разбивкой по месяцам за период времени дипломирования.

Таблица 17– Временные показатели проведения научного исследования

№ работ	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}		Длительность работ в календарных днях, T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{\text{ож}}$, чел-дни		Науч. рук.	Студ.	Науч. рук.	Студ.
	Науч. рук.	Студ.	Науч. рук.	Студ.	Науч. рук.	Студ.	Науч. рук.	Студ.	Науч. рук.	Студ.
1	2	0	3	0	2	0	2	0	3	0
2	5	5	10	10	7	7	0	7	0	11
3	3	3	5	5	4	4	2	2	3	3
4	3	3	15	15	9	9	5	5	7	7
5	0	15	0	25	0	19	0	19	0	28
6	0	18	0	30	0	22	0	22	0	32
7	3	3	9	9	0	5	0	5	0	7
8	4	4	9	9	6	6	3	3	4	4
9	0	8	0	16	0	11	0	11	0	16

Таблица 18 - Календарный план-график проведения НИИ

№ работы	Вид работы	Исполнители	Тк _і	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	3	■				
2	Подбор и изучение литературы по соответствующей теме	Руководитель Студент	11	■ ■				
3	Составление плана исследования	Руководитель, студент	3		■			
4	Изучение методик по работе с оборудованием, необходимого для проведения исследования	Руководитель, студент	7		■			
5	Изготовление и подготовка образцов	Студент	28		■			
6	Твердость, структура, рентгеноструктурный анализ	Студент	32		■			
№ работы	Вид работы	Исполнители	Тк _і	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь

Материальные затраты (таблица 19) отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции.

Таблица 19 - Материальные затраты на исследование

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Затраты на материалы (З _м), руб.
Ti пластина	кг	0,1	1550	3100
Au пластина	кг	0,1	2036,7	6146
Zr Пластина	кг	0,1	850	1400
Абразивы	шт	15	35	603
Спирт этиловый ректификованный ГОСТ 5962-2013	л	0,3	1200	414
Вата медицинская	кг	0,3	400	138
Пластификатор	кг	0,1	200	30
Алмазная паста	кг	0,03	350	12,075
Перчатки	шт	4	7	32,2
Итого:				11875,27

4.7.2 Расчет затрат на специальное оборудование НТИ

При проведении исследования производить покупку специального оборудования не потребовалось, так как все необходимое оборудование уже находилось, либо на базе отделения материаловедения ИШНПТ ТПУ. Поскольку затраты на спецоборудование равны нулю, необходимо посчитать его амортизацию.

Расчет амортизации оборудования ведется по следующей формуле:

$$I_{\text{амор}} = \left(\frac{T_{\text{исп.обор.}}}{365} \right) * K_{\text{обор}} * N_a$$

где $T_{\text{исп.обор}}$ – время использования оборудования; 365 – количество дней в году; $K_{\text{обор}}$ – стоимость оборудования; N_a – норма амортизации.

$$N_a = \frac{1}{T_{\text{с.с.обор}}}$$

где $T_{\text{с.с.обор}}$ - срок службы оборудования.

Таблица 20 - Расчет величины амортизационных отчислений

Тип оборудования	Стоимость, руб.	Срок эксплуатации, лет	Срок использования в НТИ, кал. дн.	Амортизационные отчисления, руб.
Весы	19000	3	5	85,9
Источника питания «ИПТКМ-10» и Сварочного аппарата «МТТ-02».	214340	15	2	782,9
Компьютер	40000	3	10	156,6
Микроскоп ЛабоМет-И	200000	5	3	258,8
Наноиндентор NanoIndenter G 200	6000000	10	2	25362,6
Растровый микроскоп JSM-6000	580000	10	2	3178
Итого:				29824,8

4.7.3 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по следующей формуле:

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

На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка –28 %. Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 21

Таблица 21 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	Зосн, руб	Здоп, руб
Научный руководитель	54000	6480
Студент-выпускник	87200	10464
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды, $k_{внеб.}$	0,28	
Итого:	44279,9 руб.	

4.7.4 Формирование бюджета затрат НИИ

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 22.

Таблица 22 - Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
Материальные затраты НИИ	11875,27	Пункт 1.3.1
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	32700	Пункт 1.3.2
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	141200	Пункт 1.3.3
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	16934	Пункт 1.3.4
Отчисления во внебюджетные фонды	44279	Пункт 1.3.3
Накладные расходы	37945	16% от суммы ст. 1-5
Бюджет затрат НИИ	284933,27	Сумма ст. 1-6

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его

нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{284933,27}{350000} = 0,81$$

Где Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т. ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах.

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

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

Где a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Таблица 23 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1 (данный проект)	Исп.2	Исп.3
Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4	4
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	3	3
Экономичность	0,15	4	3	3
Энергосбережение	0,20	4	3	3
Надежность	0,25	4	4	4
Материалоемкость	0,15	5	4	5
Итого:	1	4.3	3.5	3.65

$$I_{p-исп1} = 0,1 * 5 + 0,15 * 4 * 3 + 0,2 * 4 + 0,25 * 4 = 4,1$$

$$I_{p-исп2} = 0,1 * 4 + 0,15 * 3 * 2 + 0,15 * 4 + 0,2 * 3 + 0,25 * 4 = 3,5$$

$$I_{p-исп3} = 0,1 * 4 + 0,15 * 3 + 0,15 * 3 + 0,2 * 3 + 0,25 * 4 + 0,15 * 5 = 3,65$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.n} = \frac{I_{p-исп.n}}{I_{фин.i}}$$

Таким образом $I_{исп.1} = 5,06$, $I_{исп.2} = 4,32$, $I_{исп.3} = 3.65$

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}$$

Сравнительная эффективность разработки приведена в таблице 15.

Таблица 24 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,78	0,85	0,91
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,3	3,5	3,6
3	Интегральный показатель эффективности	5,06	4,32	3,65
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,17	1,18

Значения интегральных показателей эффективности позволяют выбрать более эффективный вариант решения поставленной в магистерской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Наиболее эффективна магистерская разработка.

Список публикаций студента

1. Федоров В.В. Клименов В.А. Исследование микрометаллургии Au-Ti и Zr-Ti сплавов, полученных в условиях контактной точечной сварки. // XXI Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Современные техники и технологии» (СТТ-2015) (в печати).