

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 15.04.01 Машиностроение
 ООП/ОПОП Физика высоких технологий в машиностроении
 Отделение школы (НОЦ) отделение машиностроения

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы
<i>Исследование композиционных материалов на основе порошковых композиций титана и алюминия с использованием переработанной стальной стружки</i>

УДК 621.762.2-419.8:621.002:628

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ1Ф	Петренко Ольга Евгеньевна		

Руководитель ВКР

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

Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов Магеррам Али оглы	д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ	Ефременков Е.А.	к.т.н.		

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП
Физика высоких технологий в машиностроении**

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 его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки результатов исследования
ОПК(У)-2	Способен осуществлять экспертизу технической документации при реализации технологического процесса
ОПК(У)-3	Способен организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий и их элементов, разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов
ОПК(У)-4	Способен разрабатывать методические и нормативные документы при реализации разработанных проектов и программ, направленных на создание узлов и деталей машин
ОПК(У)-5	Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов
ОПК(У)-6	Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской деятельности
ОПК(У)-7	Способен проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-8	Способен подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
ОПК(У)-9	Способен подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
ОПК(У)-10	Способен разрабатывать методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей

	используемых материалов и готовых изделий
ОПК(У)-11	Способен организовывать и осуществлять профессиональную подготовку по образовательным программам в области машиностроения
ОПК(У)-12	Способен разрабатывать и применять алгоритмы и современные цифровые системы автоматизированного проектирования деталей и узлов машин и оборудования различной сложности на современном машиностроительном предприятии.
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен разрабатывать технические задания на НИР и ОКР при исследовании, проектировании и изготовлении машин, приводов, оборудования, систем, нестандартного оборудования и средств технологического оснащения
ПК(У)-2	Способен разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ПК(У)-3	Способен составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений в области профессиональной деятельности



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 (ООП/ОПОП) 15.04.01 Машиностроение

Отделение школы (НОЦ) отделение машиностроения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП/ОПОП

Ефременков Е.А.
(Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
4АМ1Ф	Петренко Ольга Евгеньевна

Тема работы:

<i>указывается тема ВКР</i>	
<i>Утверждена приказом директора</i>	<i>37-51/с от 06.02.2023</i>

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	01.06.2023
--	------------

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 функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<p>Объектом исследования являются порошковые материалы системы на основе титана и алюминия с добавлением порошка дополнительно окисленной стружки ст45, спеченные при разных температурах. Проведен экономический анализ эффективности научной разработки, а также рассмотрены вопросы социальной ответственности.</p>
<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке <i>(аналитический обзор литературных источников 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>Изучение литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки в области получения и применения композиционных материалов на основе титана и алюминия с добавлением железа; актуальность работы и постановка задачи; методы получения и исследования объекта исследования; анализ результатов выполненной работы; заключение.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Антоневич О. А., к.б.н., доцент ОТД, НИ ТПУ
Финансовый менеджмент,	Гасанов М.А , д.э.н., профессор ОСГН, НИ ТПУ

ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
Literature review	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	30.11.2022
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

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

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ1Ф	Петренко Ольга Евгеньевна		

Реферат

Работа включает в себя 103 страницы, таблицы 23, рисунков 30, 5 глав, 1 приложение, 27 литературных источников.

Ключевые слова: порошковые материалы, титан, алюминий, металлическая стружка, алюмотермия, спекание.

Цель работы: исследование возможных реакций в процессе спекания порошковых смесей Ti+Al+ст45 в разном композиционном соотношении, при вариации температуры спекания. Исследование структуры и фазового состава продуктов синтеза. Анализ физических параметров образцов до и после спекания.

Содержание	
Введение	9
1 Литературный обзор.....	10
1.1 Основы порошковой металлургии	10
1.2 Металлическая стружка	11
1.3 Композиционные материалы системы Ti-Al, Ti-Fe, Al-Fe	13
1.4 Тройная система Ti-Al-Me	18
1.5 Алюмотермия	22
2 Материалы и методы исследования	24
2.1 Материалы и постановка задачи	24
2.2 Методика исследования и оборудование	25
3 Результаты	32
Выводы	46
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	48
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	48
4.2 Анализ конкурентных технических решений.....	49
4.3 SWOT-анализ.....	51
4.4 Планирование научно-исследовательских работ.....	54
4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования	54
4.4.2 Разработка графика проведения научного исследования.....	55
4.4.3 Бюджет научно-технического исследования	59
4.4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	59
4.4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование НТИ.....	60
4.4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	61
4.4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	62
4.4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды	63
4.4.3.6 Формирование бюджета затрат НТИ	63
4.4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	65
4.4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования	65
4.4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности	66
4.4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки	67
Вывод по разделу	69
5 Социальная ответственность	72
Введение	72
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	73
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	73

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	74
5.2 Производственная безопасность.....	76
5.2.1 Анализ вредных факторов.....	77
5.2.1.1 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении рабочего	78
5.2.1.2 Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума.....	79
5.2.1.3 Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения	79
5.2.1.4 Вредные вещества, используемые в производственной деятельности в порошкообразном состоянии.....	81
5.2.2 Анализ опасных факторов.....	82
5.2.2.1 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	83
5.2.2.2 Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека	83
5.2.2.3 Подвижные части производственного оборудования.....	83
5.3. Экологическая безопасность.....	84
5.3.1. Воздействие на селитебную зону	84
5.3.2. Воздействие на гидросферу и атмосферу.....	84
5.3.3. Воздействие на литосферу	85
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях (ЧС)	85
Вывод по разделу	87
Заключение по работе	88
Список литературы	89
Приложение А	92

Введение

Развитие общества связано с совершенствованием известных и разработкой новых технологий получения материалов с особыми свойствами. Данный вопрос вызывает интерес не только со стороны науки, но и со стороны производителей, применяющих технологии на практике.

В настоящее время широко исследуются многокомпонентные материалы, включая системы на основе титана и алюминия. Эти материалы обладают уникальными физико-механическими, химическими и эксплуатационными свойствами, что делает их привлекательными для различных применений. Многочисленные научные исследования посвящены изучению материалов на основе титана и алюминия, полученных при использовании высоких температурных воздействий на исходные компоненты, такие как сплавление, СВС-прессование, жидкофазное спекание и другие методы [1]. Для достижения необходимого набора свойств помимо совершенствования или изменения методов получения материалов используют изменение химического состава системы путем легирования в состав других элементов.

Не менее важным вопросом является применение вторичных металлосодержащих отходов взамен первичного сырья. Низкая стоимость и энергоемкость получения вторичного сырья делает данное направление одним из основных для изучения и развития.

В связи с этим, цель работы – изучить структурно-фазовое состояние спеченных порошковых композиций в различных комбинациях матричных компонентов (Ti, Al) с добавлением измельченной стальной стружки, а также оценить взаимодействие обработанной стальной стружки с титановыми и алюминиевыми порошками.

1 Литературный обзор

1.1 Основы порошковой металлургии

Порошковая металлургия - это процесс производства металлических изделий из порошка металла. В этом процессе порошок металла смешивается с вяжущими веществами и затем формуется в нужную форму при помощи прессования и обработки теплом. Полученный материал имеет высокую плотность, гомогенную структуру и уникальные свойства, что делает его широко применимым в различных отраслях промышленности.

Металлические порошки – основа порошковой металлургии, технология которой начинается с их получения.. Метод производства и природа металла или металлоподобного соединения определяют химические (содержание основного металла, примесей и загрязнений, токсичность), физические (форма, размер, удельная поверхность, истинная плотность и микротвердость частиц) и технологические (насыпная плотность, текучесть, уплотняемость, прессуемость и формуемость порошка) свойства получаемого металлического порошка [1].

Промышленная порошковая технология, имеющая более 70-летнюю историю, базируется на комплексе основополагающих теорий и научных подходов, описывающих физико-химические процессы, реализуемые в производстве порошковых материалов. С использованием этих описаний была разработана основная линейка композиционных материалов, которые нашли широкое применение в различных отраслях промышленности, таких как обрабатывающая индустрия, транспорт, авиастроение и другие. Особенно популярным стало использование порошковых композиционных материалов на основе титана [2].

Большое разнообразие методов получения, обеспечивающих изготовление практически любых порошков с широким диапазоном форм и размеров частиц, является одним из основных преимуществ порошковой

технологии, которое делает ее весьма гибкой и универсальной при создании новых материалов.

Из большого множества методов выделяются некоторые, которые представляют собой основные методы получения металлического порошка:

- Механические: дробление и размол твердых материалов, обработка твердых металлов резанием, диспергирование расплава;
- Физико-химические: химическое восстановление (оксиды и другие соединения), электролиз, диссоциация, термодиффузионное насыщение, испарение и конденсация, межкристаллитная коррозия, синтез сплавов и соединений.

Порошковая металлургия обладает большим разнообразием методов получения металлического порошка, что может обеспечить изготовление практически любых порошков с широким диапазоном форм и размеров частиц. Это является одним из основных преимуществ порошковой технологии, которое делает ее гибкой и универсальной при создании новых материалов.

Однако, как и в любой отрасли, порошковая металлургия имеет свои недостатки. Один из главных недостатков - высокая стоимость порошков металлов по сравнению со сплавами[3].

1.2 Металлическая стружка

Несмотря на разные методы получения металлического порошка, данный этап является наиболее трудоёмкой и дорогой стадией технологического процесса. Именно свойства полученного порошка определяют конечный результат, а именно качество и свойства конечного продукта. Для производства порошка используют твердые металлические материалы, руду, а также вторичное сырье производства.

Переработка вторичного сырья является важным вопросом в металлообрабатывающей промышленности. На производствах накапливается

большое количество металлоотходов, включая стружку, которая может быть использована как ценный материал при выплавке металла. Однако, для получения высококачественного материала и снижения затрат на плавку сплава, необходима предварительная обработка стружки, включающая сушку, очистку, брикетирование и т.д.

Брикетирование является широко применяемым способом обработки стружки, но качество холодных брикетов не удовлетворяет требованиям за счет низких свойств (низкая плотность и наличие загрязнений в большом количестве). Повысить качество брикетов можно с помощью горячего (двухэтапного) брикетирования, но свойства брикетов также будут ниже требуемого уровня, а стоимость производства повысилась.

В последнее время при переработке металлоотходов начали применять ротационные наклоняемые печи (РНП). Их использование позволяет снизить затраты электроэнергии, ресурсов на сушку и плавку металла. Стоит отметить, что в РНП можно переработать отходы практически любого состава, минуя стадию предварительной обработки (очистка) [4, 5].

Автор работы [6] указывает на важность обработки (разделение на компоненты) шламов (металлоотходов) по причине вторичного использования каждого компонента шлама как отдельный материал. Автор предлагает два варианта обработки, которые качественно очищают от смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) и эффективно разделяет шлам на компоненты. Механическое отжатие от СОЖ проводится под прессом, полученный брикет выдерживают на воздухе, после чего дробят для дальнейшего использования полученного порошка в производстве. Второй метод заключается в отмывке шлама и магнитной сепарации пульпы. После чего пульпу отстаивают, а после очищают от СОЖ.

В связи с большим количеством отходов производства и небольшого выбора путей переработки и использования вторичного сырья, как

альтернативу переработки стружки предлагают использовать ее в порошковой металлургии как производственный материал [7].

В разных работах авторы рассматривают и изучают структуру и свойства металлической стружки. На характеристики стружки оказывает определяющее влияние первоначальная природа обрабатываемого материала и состав СОЖ (если применяется). Так автор указывает, что механическая обработка стружки приводит к изменению ее свойств и структуры, отличающихся от материала исходной детали. Процесс включает пластическую деформацию и упрочнение материала, при котором материал становится более пластичным и упрочненным. Причем, чем пластичнее материал, тем большему упрочнению он подвергнется. В результате обработки материал приобретает многочисленные дефекты, характерные для наклепа. Также за счет шероховатости поверхности и образования трещин стружка обладает большей активной поверхностью в 5-6 раз, чем материал обрабатываемой заготовки. Помимо механического воздействия на стружку оказывает влияние тепловая энергия, которая образуется при обработке из механической работы. Нагрев стружки сопровождается процессами разупрочнения, возможными фазовыми превращениями и окислением металла. Окисление материала стружки оказывает большое влияние на ее дальнейшее применение и переработку: образуются оксиды, снижение коррозионной стойкости. Но при этом автор указывает на влияние содержания углерода в составе на степень окисления. Так низкоуглеродистые стали более подвержены окислению по сравнению с чугунами. Вместе с этим, чем меньше размер частиц стружки, тем быстрее проходит процесс окисления [8].

1.3 Композиционные материалы системы Ti-Al, Ti-Fe, Al-Fe

Материалы на основе титана и алюминия обладают богатым набором свойств, что позволяет их применять в различных сферах производства: авиа-

космическое (высокая температура плавления, низкая плотность) транспортное и атомное машиностроение, а также в газо- и нефтеперерабатывающих установках химической промышленности (коррозионная стойкость и стойкость к разбуханию под действием излучения) [9].

В системе Ti–Al (рис. 1) можно выделить основные структуры алюминидов титана: Ti_3Al , $TiAl$, $TiAl_3$. Согласно литературным данным образование фазы $TiAl_3$ происходит путем диффузии атомов алюминия в решетку частиц титана. При этом, в области контакта Ti–Al с меньшим содержанием алюминия возможно образование фазы $TiAl$ (находящегося в равновесии с фазой $TiAl_3$), а на заключительной стадии – Ti_3Al . Однако в некоторых работах по результатам рентгенографического анализа в интерметаллиде Ti–Al могут отсутствовать фазы $TiAl$ и Ti_3Al или появляться новые фазы (Ti_2Al_5) перед формированием конечной фазы $TiAl_3$. Механизм структурообразования зависит от состава исходной смеси. С увеличением концентрации алюминия в интерметаллидах наблюдается снижение твердости, пористости и плотности с одновременным повышением пластичности [10, 11, 12].

При добавке алюминия к титану температура превращения $\alpha \leftrightarrow \beta$ титан повышается от $882^{\circ}C$ для чистого титана до $1240^{\circ}C$ для сплава, содержащего до 29% алюминия. Повышение интервалов превращения $\alpha \leftrightarrow \beta$ при добавке алюминия к титану приводит к сокращению области β -фазы.

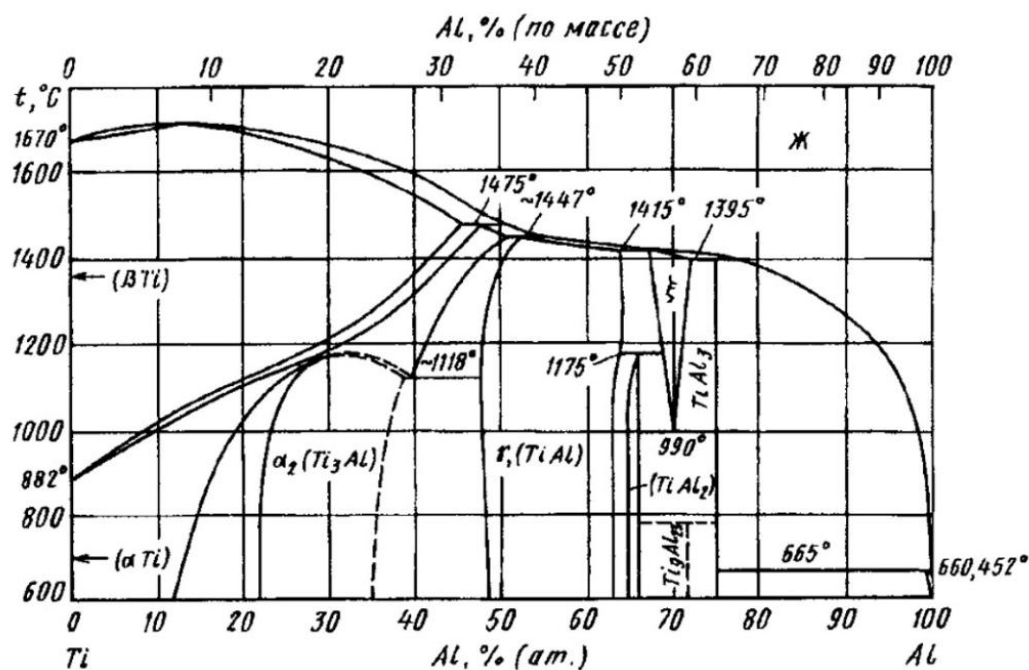


Рисунок 1 - Диаграмма состояния Ti-Al

Высокая термодинамическая стабильность, температурный коэффициент линейного расширения близкий по значению к титану, высокие значения модуля упругости (216 ГПа) и стойкости к окислению в сочетании с низкой плотностью в сравнении с другими алюминидами (Ti_3Al , TiAl) – такой набор свойств делает образование TiAl_3 наиболее удачным при синтезе интерметаллида Ti-Al.

В связи с низкой пластичностью, высокой температурой плавления и высокой реакционной способностью титана сплавы системы Ti-Al трудно изготовить, поэтому рассматриваются различные методы их получения. Во многих работах описывается процесс формирования интерметаллидов [12,13].

Основным методом получения интерметаллида является синтез Ti-Al, включающий создание композита Ti-Al, его нагрев до высокой температуры и охлаждение. При нагреве происходят взаимная диффузия компонентов Ti и Al и синтез интерметаллида Ti-Al. При растворении титана в окрестности границы кристалл титана-раствор образуется интерметаллид TiAl_3 . Процесс

растворения происходит за счет диффузии атомов алюминия через слой интерметаллида [13].

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), один из методов реакционного синтеза, который включает в себя термический взрыв или режим распространения плоской волны (уточнить правильность). Термический взрыв является более подходящим режимом для производства интерметаллидов, так как происходит нагрев всей смеси, когда у второго режима нагрев происходит только с одной стороны.

Материалы, содержащие титан, обладают рядом уникальных свойств, которые позволяют использовать их в различных отраслях промышленности. Эти свойства делают такие материалы особенно ценными и востребованными в производстве различных изделий [14].

Соединение системы Fe-Ti образуется по перитектической реакции при 1317 °С. Примерно при 1500 °С соединение Fe-Ti конгруэнтно плавится. Диаграмма состояния системы Fe-Ti приведен на рисунке 2. В сплавах системы образуется два соединения: $TiFe_2$ и $TiFe$.

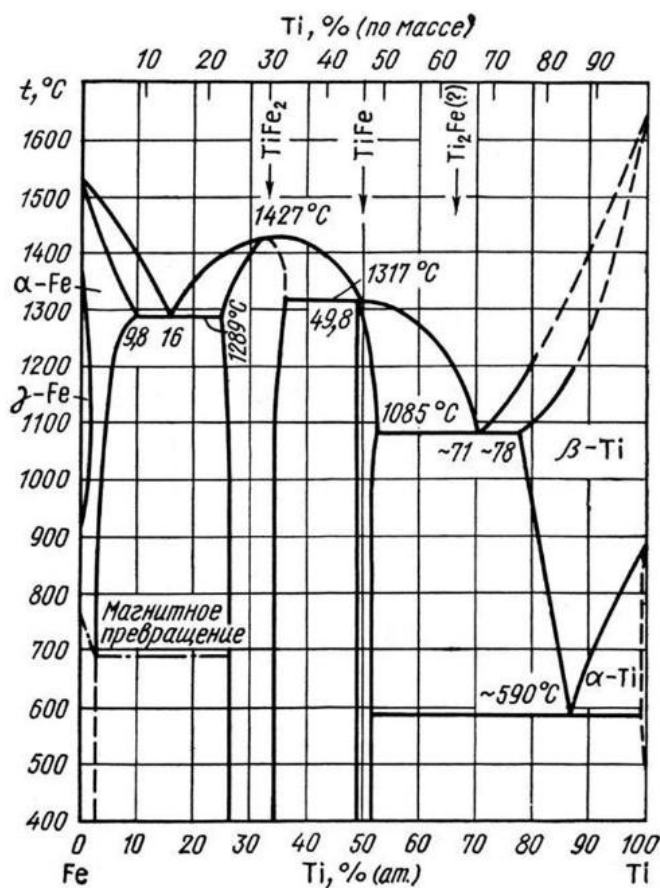


Рисунок 2 – Диаграмма состояния Fe-Ti

Алюминий — стабилизирующий элемент, хорошо растворяется в $\alpha\text{-Fe}$, образуя широкие области твердых растворов с ОЦК структурой.

Железоалюминиевые сплавы являются интересным модельным материалом, так как они склонны к образованию упорядоченных сверхструктур в определённых температурно-концентрационных областях, а также потому, что могут сочетать в себе высокие эксплуатационные свойства, такие как: прочность, твёрдость, жаростойкость, стойкость к абразивному изнашиванию, стойкость в агрессивных средах, содержащих серу, хлор, углерод и др [15].

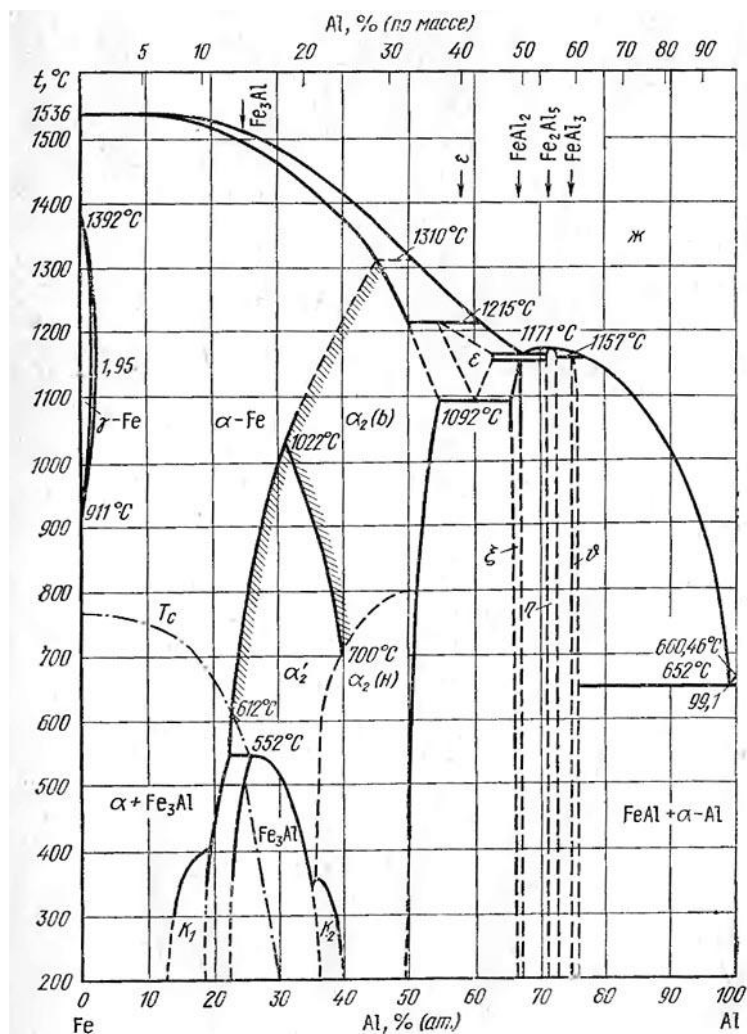


Рисунок 3 – Диаграмма состояния Al-Fe

В равновесных условиях алюминий с железом образуют твёрдые растворы, интерметаллические соединения и эвтектику.

Железо, находящееся в виде химических соединений, определяет механические свойства сплавов системы Fe-Al. Рост содержания железа в сплаве приводит к повышению твердости и прочности, а также к снижению пластичности. [16].

1.4 Тройная система Ti-Al-Me

В порошковой металлургии, получаемые продукты, являются результатом взаимодействием трех и более компонентов, а не только двух..

При создании сплавов на основе алюминидов титана необходимо установление закономерностей о влиянии третьего элемента на структурно-фазовые состояния в тройных системах Ti-Al-Me.

Основной тройной системой, на которой базируются почти все промышленные титановые сплавы, является система типа Ti-Al-Me. При этом Me – это элемент, который является стабилизатором β -Ti. Как правило, это элементы типа V, Cr, Mo и Mn. Алюминий ограничивает область существования твердого раствора β -Ti. Легирование алюминием сплавов с титаном повышает точку фазового перехода $\alpha \rightarrow \beta$. Алюминий хорошо растворим в β -Ti, что и приводит к повышению стабильности этой кристаллической модификации титана. Алюминий увеличивает растворимость изоморфных и эвтектоидообразующих β -стабилизаторов в β -Ti.

В ряду легирующих элементов $V \rightarrow Cr \rightarrow Mn \rightarrow Fe \rightarrow Co \rightarrow Ni \rightarrow Cu$ наблюдается уменьшение размеров областей гомогенности твердого раствора на основе β -Ti (рис. 4). При этом наблюдается рост числа интерметаллических соединений внутри изотермических треугольников. Присутствие железа расширяет β -область и может обеспечить формирование мелкодисперсных интерметаллидов, необходимых для достижения высокой твердости [17,18].

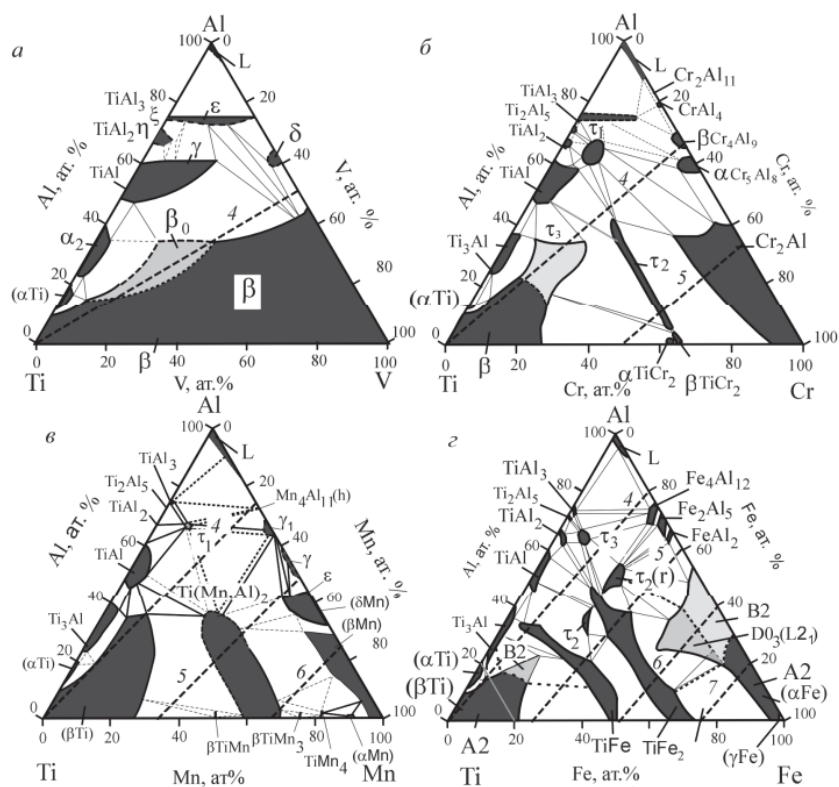


Рисунок 4 - Изотермические сечения при температурах от 900 до 1000 °С тройных фазовых диаграмм систем Ti-Al-Me

При термодинамических расчетах трех бинарных сплавов на основе Ti-Al, Al-Fe, Ti-Fe и тройной системы Ti-Al-Fe на определение активности взаимодействия было определено, что наиболее сильное химическое взаимодействие между Al и Fe, а самое слабое между Ti и Fe [19].

В работе [20] авторами было отмечено, что сплавы системы Fe-Al-Ti обладают широким разнообразием микроструктур. Также по результатам исследований было замечено повышение твердости и прочности при наличии в сплаве двух и более фаз. Но при этом энергия активации ползучести находится в диапазоне 400-600 кДж/моль и приблизительно вдвое превышает значения энергии активации диффузии, указанные для Fe в сплавах Fe-Al. Это различие может быть объяснено возможными изменениями в микроструктуре во время тестирования.

Система Ti-Al-Fe используется для создания сплавов, которые обладают уникальным набором свойств, таких как низкая плотность, высокая

прочность и жаростойкость, стойкость к окислению и биологическая совместимость с тканями. Эти сплавы находят широкое применение в аэрокосмической промышленности, медицине для создания хирургических имплантов, а также как ловушка водорода и других целей [21].

В литературе имеется много информации о взаимодействии титана, алюминия и железа, как в одной системе, так и в сочетании с другими элементами или оксидами. Так, в работе [22] определили, что при реакционном спекании многокомпонентных систем ($Ti+Al+Fe_2O_3$ и $Ti+Fe+Al_2O_3$), содержащих как металлы, так и неметаллы, создаются условия для образования сложных растворов и двойных оксидов и уменьшается вероятность образования интерметаллидных соединений. В дополнение к этому при изучении механизма синтеза порошковых смесей $Ti-Al-Fe-Fe_2O_3$ отмечают важность области контактов компонентов и их сочетание в смеси. В результате синтеза образцов с разным сочетанием компонентов было определено, что подоxygenная стружка стали с содержанием Fe_2O_3 реагирует с титаном и алюминием практически идентично, как и чистое железо. Однако образцы смеси титана и алюминия с чистым оксидом Fe_2O_3 после спекания потеряли целостность формы в результате экзотермической реакции, в отличие от образцов с железом и подоxygenной стружкой [23].

Автор работы [24] рассматривал систему $Al-TiO_2-C-Ti-Fe$. В результате взаимодействия внутри системы происходили экзотермические реакции с образованием интерметаллидов. Доминирующей при более низких температурах была реакция между Fe и Al , а также между Ti и Al , при повышении температуры наблюдалась реакция между Fe и Ti в результате диффузии. Конечным продуктом синтеза являются 3 стабильных продукта Fe , TiC и Al_2O_3 .

Поскольку в порошковых смесях могут присутствовать оксиды, то можно рассматривать внутри системы реакцию восстановления – металлотермию.

1.5 Алюмотермия

Металлотермия (от металлы и греч . therme - жар, тепло), металлургические процессы, основанные на восстановлении металлов из их соединений (оксидов, галогенидов и др.) более активными металлами, и протекающие с выделением теплоты (алюминотермия, магниетермия и др.) [25].

Среди металлотермических процессов наиболее распространена алюминотермия. Этим методом получают сплавы большинства технически важных металлов (Nb, Ti, W, Zr, Cr, Ba, Ca, V, Ta, Sr), которые используют для легирования сталей, чугунов и цветных металлов и как исходные материалы для производства самих металлов. Алюминотермия началась с экспериментов русского ученого Николая Бекетова. Николай Бекетов провел эксперименты, которые показали, что алюминий способен восстанавливать металлы из их оксидов при высоких температурах. Эта реакция была впервые использована для безуглеродного восстановления оксидов металлов. Хотя реакция является сильно экзотермической, она требует высокой энергии активации из-за сильных межатомных связей в твердом теле, которые должны быть разорваны в первую очередь.

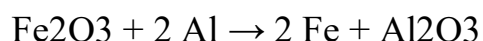
Алюминотермические процессы подразделяют на 3 основные группы [26]:

- процессы, в которых благодаря экзотермическому эффекту реакции выделяется тепла больше, чем необходимо для нормального протекания реакции (расплавления всех компонентов, разделения металлической и шлаковой фаз в результате разности в плотностях расплавов);
- процессы, в которых тепла выделяется больше, чем необходимо для расплавления продуктов реакции, но недостаточно для покрытия тепловых потерь;

- процессы, в которых тепло выделяется в недостаточном количестве для расплавления продуктов реакции.

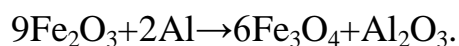
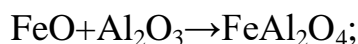
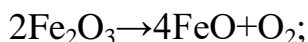
Сочетание алюминия с кислородом сопровождается огромным выделением тепла, намного больше, чем со многими другими металлами. В связи с этим, когда смесь оксида соответствующего металла и порошка алюминия нагревается, происходит бурная реакция, которая приводит к высвобождению свободного металла из поглощенного оксида.

Алюминиотермические реакции представляют собой экзотермические химические реакции с использованием алюминия в качестве восстановителя при высокой температуре. Процесс промышленно полезен для производства сплавов железа [27]. Наиболее ярким примером является термитная реакция между оксидами железа и алюминием с образованием самого железа:



Эта конкретная реакция, однако, не имеет отношения к наиболее важному применению алюмотермических реакций, производства ферросплавов. Для производства железа вместо карботермической реакции используется более дешевый восстановитель, кокс.

В работах данные о механизме восстановления железа из оксида алюминия у разных авторов различны. Так, одни авторы предложили дополнительно следующие стадии в механизме реакции:



В другой работе авторы выделяют 18 возможных стадий на основе анализа продуктов реакции в смесях Al и Fe₂O₃, приготовленных разными способами. В любом случае в продуктах присутствует двойной оксид FeAl₂O₄ [22].

2. Материалы и методы исследования

2.1 Материалы и постановка задачи

Для исследований были приготовлены порошковые смеси с использованием промышленных порошков титана (ТПП-8 с дисперсностью <125-160 мкм), алюминия (ПА-4, <100 мкм), порошка из измельченной и отсеянной 300 мкм, дополнительно окисленной стружки из стали 45. Стружка была получена после обработки фрезерованием заготовки без специальной охлаждающей жидкости (СОЖ) и дополнительно окислена в воде несколько суток.

Составленные смеси в процентном содержании представлены в таблице 1.



Рисунок 5 – Стружка ст45

Таблица 1 – Составы смесей

№	Фазовый состав	Состав смесей, вес. %
1	Al + ст45	25Al; 75ст45
2	Ti + ст45	75Ti; 25ст45
3	Al + Ti + ст45	8Al; 69Ti; 23ст45
4	Ст45 + (1Ti -3 Al)	50ст45; 1ат%Al – 3ат%Al
5	Ст45 + (3Ti -1 Al)	50ст45; 3ат%Al - 1ат%Ti
6	Ст45	100ст45

Для достижения поставленной задачи необходимо решить задачи, представленные в таблице 2.

Таблица 2 - Этапы выполнения экспериментальных исследований

1	Измельчение стружки
2	Смешивание порошков (Ti, Al, ст45)
3	Прессование смеси в исходную заготовку
4	Измерение параметров до синтеза (габаритные размеры, вес)
5	Синтез порошковых смесей
6	Измерение параметров после синтеза
7	Обработка полученного продукта

2.2 Методика исследования и оборудование

Измельчение стружки: Перед замешиванием смеси необходимо получить из стружки порошок, чтобы в дальнейшем получить однородную смесь. Высушенную стружку измельчаем с помощью вибромельницы (рис. 6) в присутствии стальных шаров при соотношении 20:1 (шары/стружка). Такая обработка давала возможность дополнительно стимулировать формирование оксидов железа.



Рисунок 6 – Вибромельница

Смешивание порошков: данный этап является очень важным во всем процессе, так как от состава смеси будут зависеть свойства конечного продукта. Для взвешивания порошков и образцов после прессования и спекания использовались аналитические электронные весы модели GH-202 (рис. 7). Для смешивания порошков в единую массу с усредненным составом использовался метод механического смешивания порошков, который был реализован при помощи смесителя со смещенной осью (типа «пьяная бочка») (рис. 8).



Рисунок 7 – Аналитические электронные весы GH-202



Рисунок 8 - Смеситель со смещенной осью (типа «пьяная бочка»)

Прессование: формование образцов происходило путем прессования на гидравлическом прессе ИП 6084-1000 (рис. 9). Порошковые компакты (прессовки) были приготовлены в виде цилиндрических образцов диаметром ≈ 10 мм и высотой 6-15 мм.

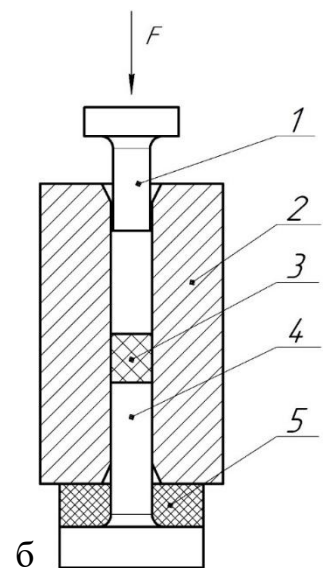
Прессование осуществляли с использованием пресс-формы с подвижными верхним и нижним пуансоном (рис. 10, б).



Рисунок 9 – Гидравлический пресс ИП 6084-1000



а



б

Рисунок 10 – Прессовки (а); двухсторонняя цилиндрическая пресс-форма с «плавающим» пуансоном: 1 – верхний пуансон; 2 – матрица; 3 – порошковая смесь; 4 – нижний пуансон; 5 – резиновый демпфер.

Измерение параметров: замеры образцов делались с помощью штангенциркуля и электронных весов. По результатам измерений

определялась плотность компактная ($\rho_{\text{теор}}$) и пористость полученных образцов.

$$\rho_{\text{теор}} = 100 / (c_a / \rho_a + c_b / \rho_b)$$

Где ρ_a, ρ_b – плотности соответствующих компонентов, c_a и c_b – весовые проценты компонентов А и В.

Синтез: после формование образцов, образцы спекли в вакуумной печи марки СНВЭ-1.3.1/16 (рис.11) при остаточном давлении газов атмосферы не выше 10^{-2} Па.



Рисунок 11 – Вакуумная печь марки СНВЭ-1.3.1/16

Шлифование: Впоследствии всех вышеперечисленных операций делалось шлифование образцов. Шлифование проходило на шлифовально-полировальных станках МП-1-300АН и МП-1 (рис 12).

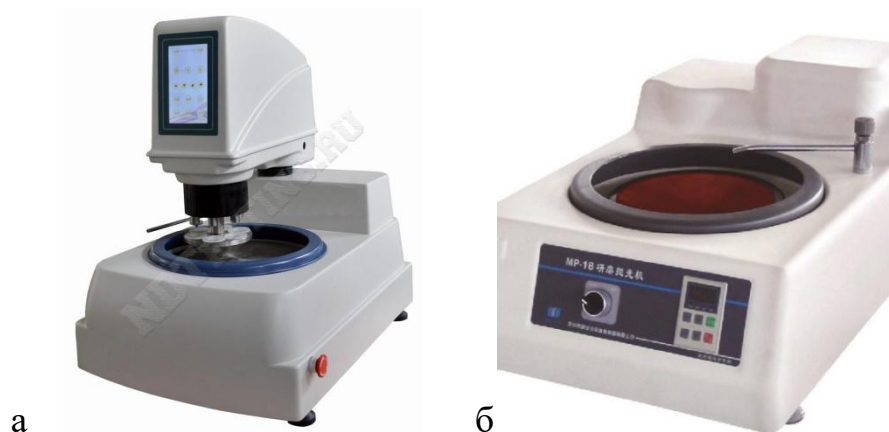


Рисунок 12 – Шлифовально-полировальные машины МЕТОЛАБ МП-1-300 АН (а) и МП-1 (б)

Шлифование проходила в 5 этапов:

Первый этап: шкурка 20Н, $t=10$ мин, $F=40N$, $V=500$ об/мин;

Второй этап: шкурка Р600, $t=10$ мин, $F=40N$, $V=500$ об/мин;

Третий этап: шкурка М40, $t=15$ мин, $F=30N$, $V=350$ об/мин;

Четвертый этап: сукно, алмазная паста фракцией 7/5, $t=15$ мин, $F=30N$, $V=200$ об/мин.

Пятый этап: сукно, суспензия 1/0, $t=10$ мин, $F=30N$, $V=200$ об/мин.

После полировки образцы травили реактивом Келлера (94% $H_2O+3\%HF+3\%HNO_3$), время травления 10 сек., затем образцы промывались проточной водой и протирались спиртом.

Композиционные порошки были исследованы следующими способами:

- Рентгеноструктурный анализ СВС порошка $Fe_2O_3+Al+Ti$ проводили на оборудовании Центра коллективного пользования ИФПМ СО РАН (ДРОН-7). Идентификация фаз была проведена с использованием картотеки рентгеновских данных ASTM;



Рис. 13 – Рентгеновский дифрактометр ДРОН-7

- Оптической металлографии на микроскопе AXIOVERT200MAT (рис.14), принцип которого основан на бесконтактном методе измерений размера изображения контролируемого объекта;



Рисунок 14 – AXIOVERT-200MAT Микроскоп

- растровой электронной микроскопии, с целью получения высококачественного изображения непроводящих и влажных образцов на оборудовании EVO 50.

3 Результаты

Морфология исходного материала представлена на рисунке 15-17.

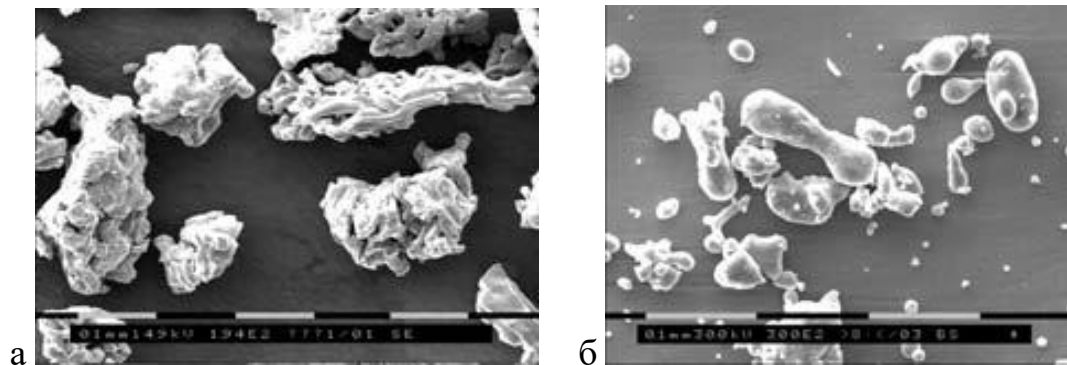


Рисунок 15 – Морфология исходных порошков: а – титан ТПП-8; б – алюминий ПА-4

Стружка получена после обработки фрезерованием без использования специальной охлаждающей жидкости (СОЖ). По результату анализа фазового состава стружки видно, что фазовый состав практически полностью состоит из железа (рис. 16, а). Можно заметить по изображению поверхности стружки (рис. 16, б) после фрезерования наличие трещин. Их вид указывает на механическую деформацию поверхности материала в результате обработки. Наличие трещин увеличивает активную поверхность материала. При этом на некоторых участках можно обнаружить наличие сферических оксидных включений (рис. 17), что показывает окисление стружки в результате металлообработки.

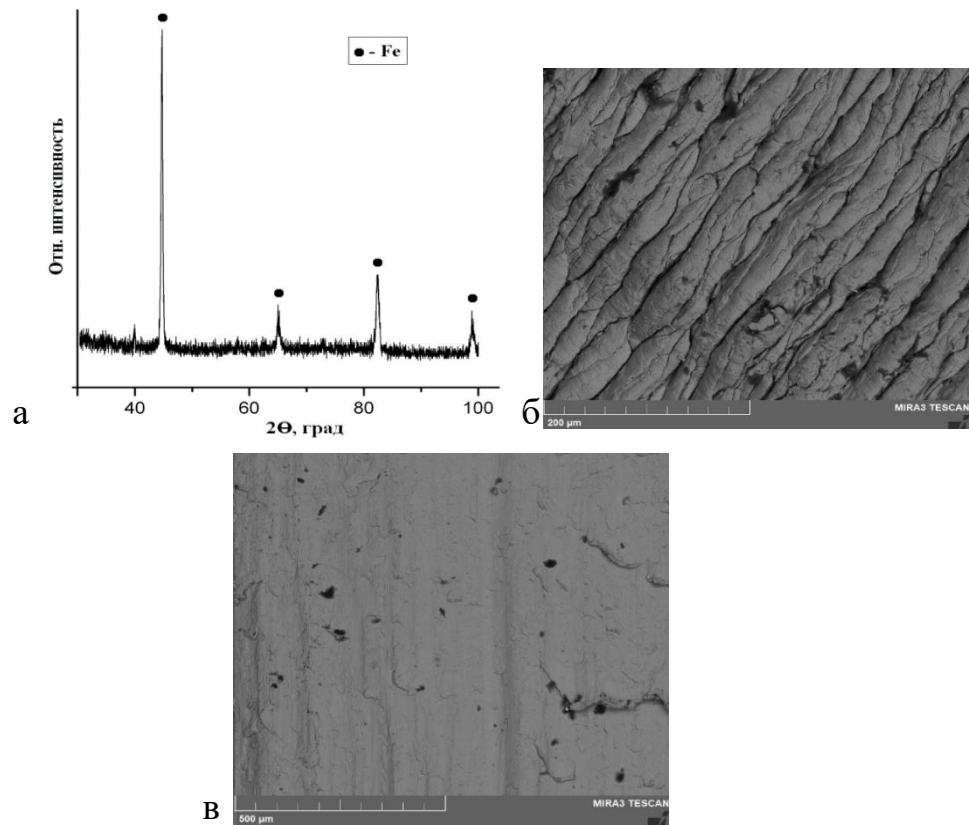


Рисунок 16 - Фазовый состав (а) и морфологические особенности (б и в) поверхностей стальной стружки после фрезерования детали из стали 45

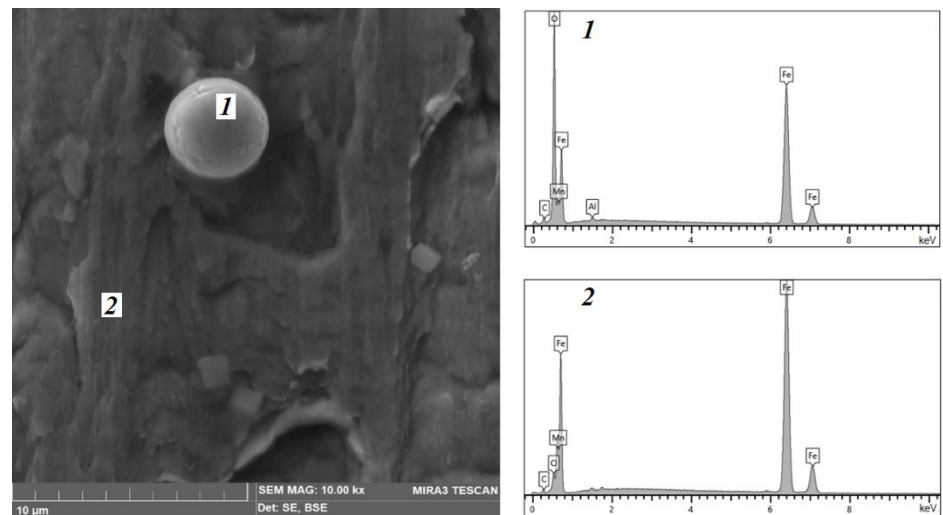


Рисунок 17 - Локальные включения оксидных фаз (1) на поверхности стальной стружки после металлообработки.

После измельчения поставленной стружки по результатам рентгеноструктурного анализа не было обнаружено кислорода в достаточном

количестве для образование оксида (Fe_2O_3), но он присутствует как локальное включение (рис. 17). В связи с этим было необходимо дополнительно окислить стружку путем выдержки в воде 48 часов.

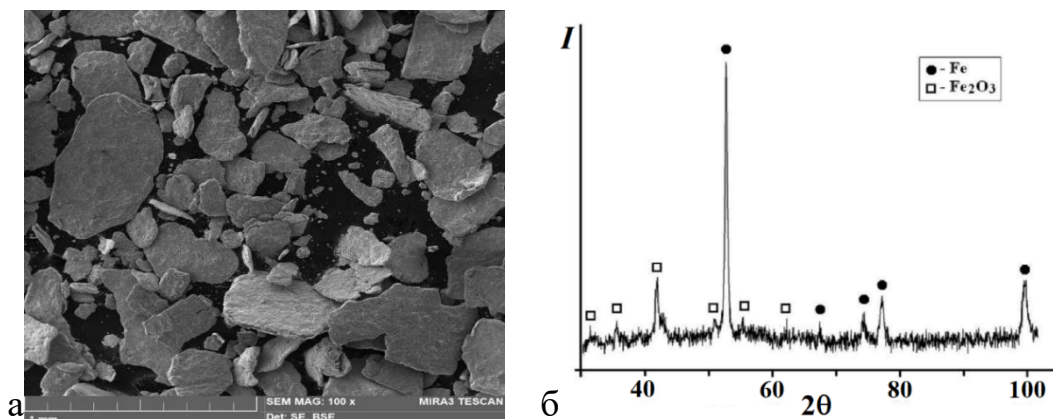


Рисунок 18 – Общий вид измельченной окисленной стружки (а) и фазовый состав обработанной стружки после выдержки в воде 48 часов и последующей сушки при комнатной температуре (б)

Заготовки, полученные прессовкой смеси, спекали в печи при разных температурных режимах. Полученные результаты после спекания приведены в таблице 3. Стоит отметить, что образцы 2 оплавившись и потеряли форму, при этом приобрели однородную структуру. Образцы смесей 4 и 5 «разорвало» при спекании, что может говорить о сильной экзотермической реакции. Образцы смеси 3 хоть и потеряли гладкость поверхности и стали пористой и рыхлой, но сохранили прочность общей модели по первичному наблюдению без специальной аппаратуры. Образцы смеси 6 по краям основы цилиндра немного осыпались.

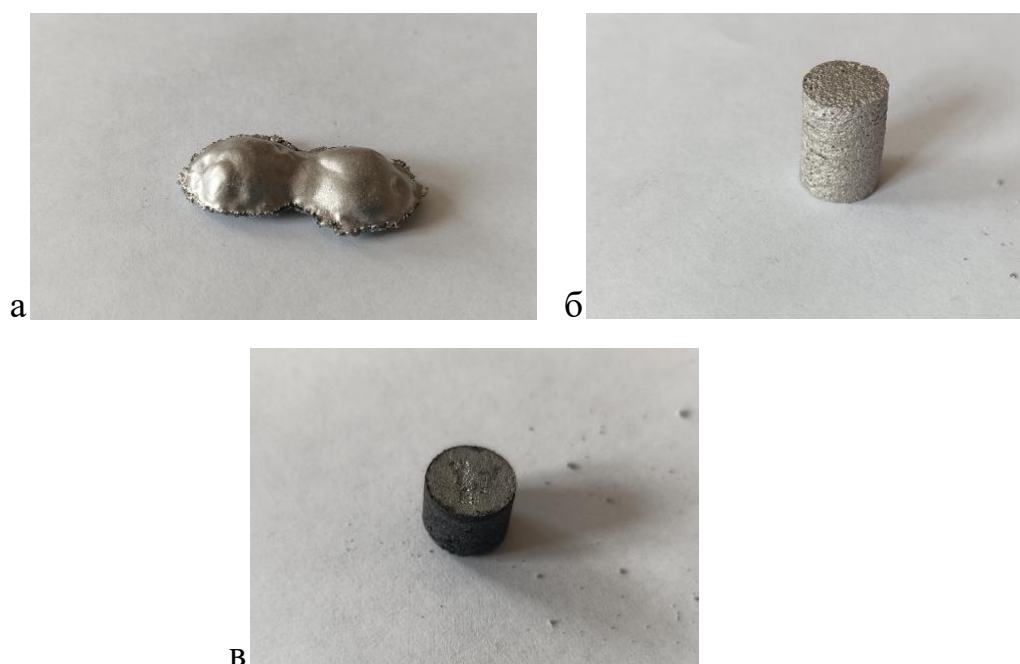


Рисунок 19 – Образцы после спекания при 1200⁰С: а – смесь 2; б - смесь 3; в – смесь 6

Таблица 3 – Параметры образцов

№	Состав	$\frac{\Delta V}{V_0}, \%$	$\frac{\Delta \rho}{\rho_0}, \%$	$\frac{\Delta \Pi}{\Pi_0}, \%$
1	Al + ст45	-	-	-
2	Ti + ст45	-	-	-
		-	-	-
3	Al + Ti + ст45	14,42	-13,3	64,74
		12,87	-11,73	58,74
4	Ст45 + (1Ti-3Al)	-	-	-
5	Ст45 + (3Ti-1Al)	-	-	-
6	Ст45	-12,98	3,7	-4,73
		-17,65	12,3	-15,13

По термограмме на рисунке 20 видно, что нагрев образцов был равномерным без резких скачков температур. Результаты спекания при 1200⁰С приведены в таблице 3. Большая часть образцов разлетелась в

результате сильной экзотермической реакции. Некоторые образцы сохранили свою форму и не подверглись какой-либо деформации.

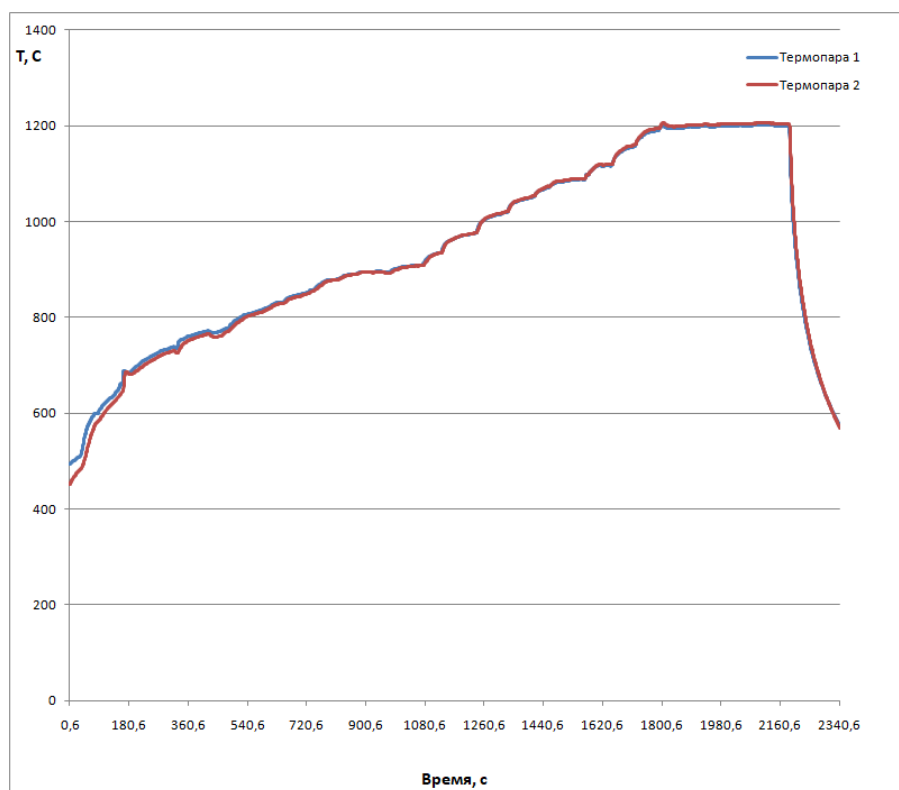


Рисунок 20 - Термограмма вакуумного спекания при T спекания 1200⁰C образцов с составом смеси: 2, 3, 4, 5, 6

Было проведено спекание при температуре 1000⁰C образцов разного состава:

- а) порошок стружки (ст.45)
- б) 8 вес.% Al+23 вес.% Fe +69 вес.% Ti
- в) 8 вес.% Al+23 вес.% стружка+69 вес.% Ti

На основе полученных результатов построили гистограммы изменения объема, пористости и плотности.

Можно заметить, что изменение параметров у составов «б» и «в» практически идентичны, что можно объяснить фазовым составом стружки. Как показало раннее рентгеноструктурный анализ, стружка практически полностью состоит из железа, наличия других фаз не обнаружено из-за

небольшого их количества. Даже наличие оксида железа на окисленной стружке не принесло бы никакого радикального изменения при взаимодействии компонентов. Взаимодействие элементов и получаемая структура практически идентичны.

Смесь стружки стали 45 представляет собой порошок из разнодисперсных частиц окисленной стружки.

Можно сравнить результаты составов «а» и «в» гистограммы с образцами, спеченными при 1200⁰С. Можно заметить, что значения относительного изменения у всех параметров имеют противоположный характер (знак).

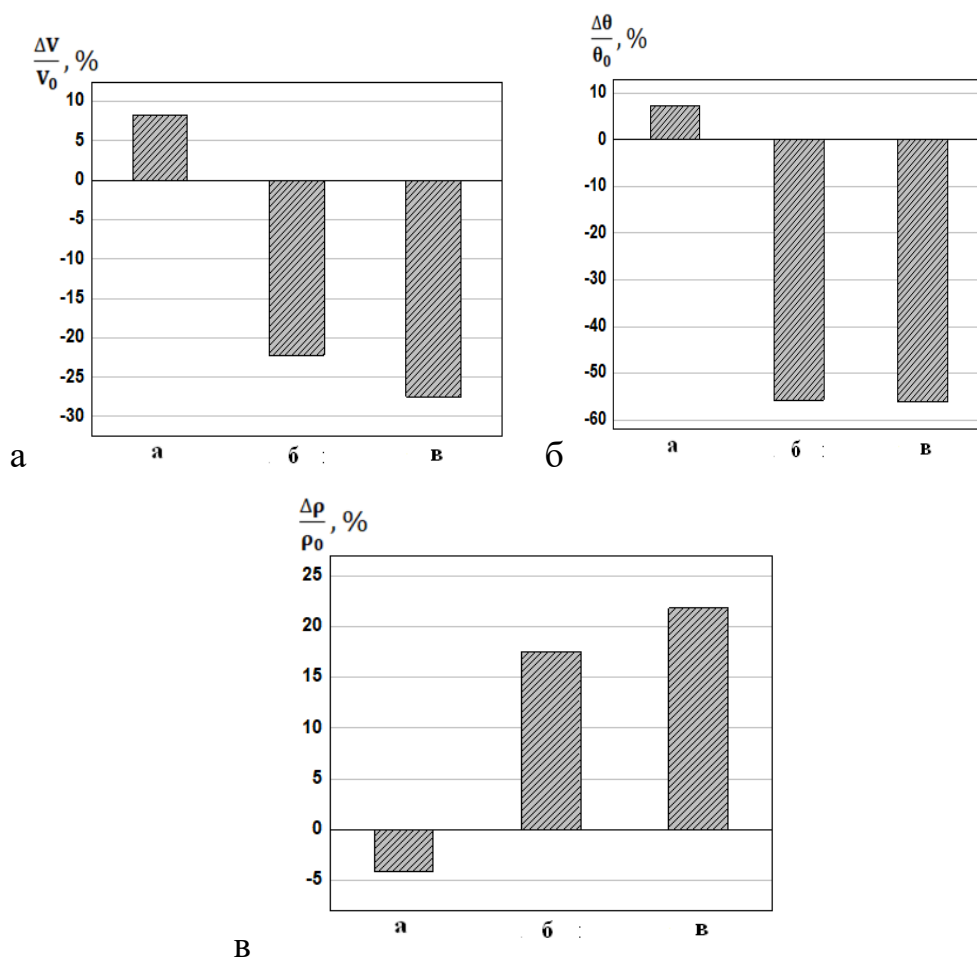


Рисунок 21 – Гистограммы спекания при 1000⁰С составов: а - ст.45; б - 8Al+23Fe +69Ti; в - 8Al+23ст45+69Ti

Результаты спекания прессовок смесей при 800°C представлены на рисунке 22. Все образцы подверглись деформации в большей или меньшей степени. На всех образцах наблюдаются поперечные трещины, сами образцы достаточно хрупки и рассыпчаты по поверхности. Можно заметить, что смесь 1 состава при спекании рассыпалась на крупные частицы, фактически процесс спекания для этого образца прошел по модели теплового взрыва в связи с реакцией образования интерметаллидов и алюмотермией, обе реакции являются экзотермическими.

Лучше всего сохранил форму образец с составом 5, хотя этот же образец при 1200°C рассыпался. Что указывает на отсутствие теплового взрыва при спекании при 800°C .

Можно заметить на образцах (рис.22 б,в,д) наличие объемных пористых участков, особенно выражено у образца с составом 60Al+40ст45. Данные «шапки» говорит о разделении продуктов синтеза.

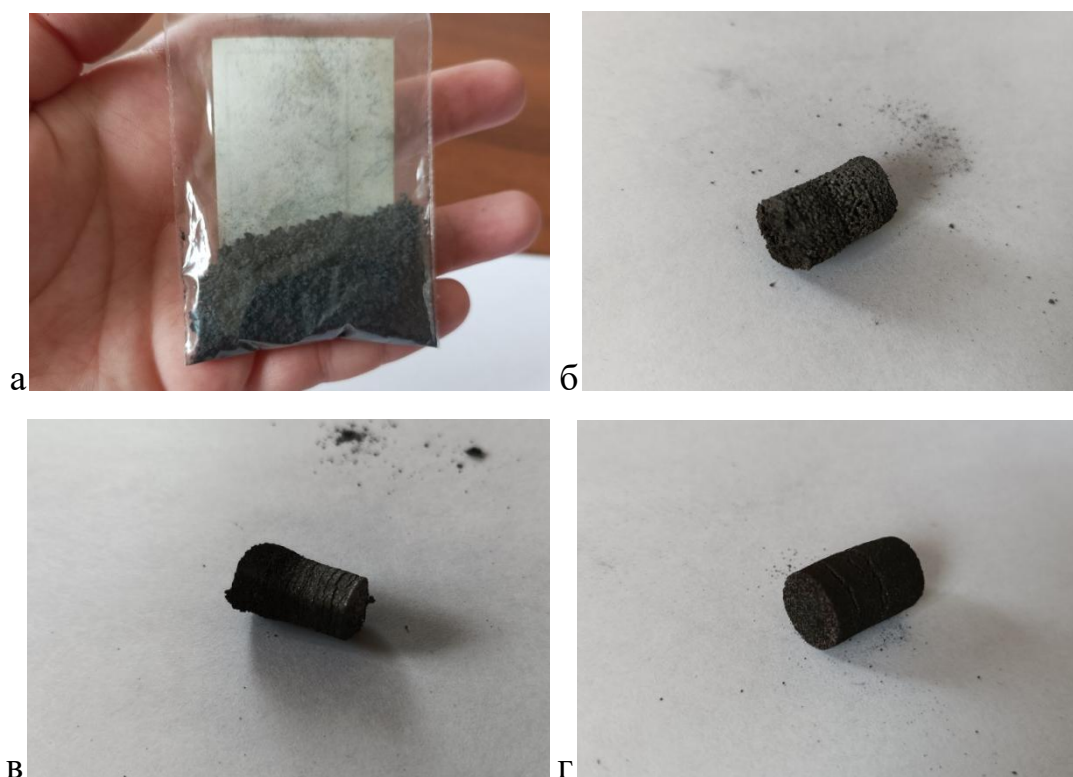




Рисунок 22 – Образцы после спекания при 800°C : а – смесь 1; б – смесь 1; в – смесь 4; г – смесь 5; д – $60\text{Al}+40\text{ст45}$

По термограмме на рисунке 23 также как и в прошлом случае наблюдается плавный нагрев образцов в печи. Большая часть образцов сохранилась, хотя некоторые и потеряли форму. Характер деформации и объемные пористые области указывают на экзотермический характер.

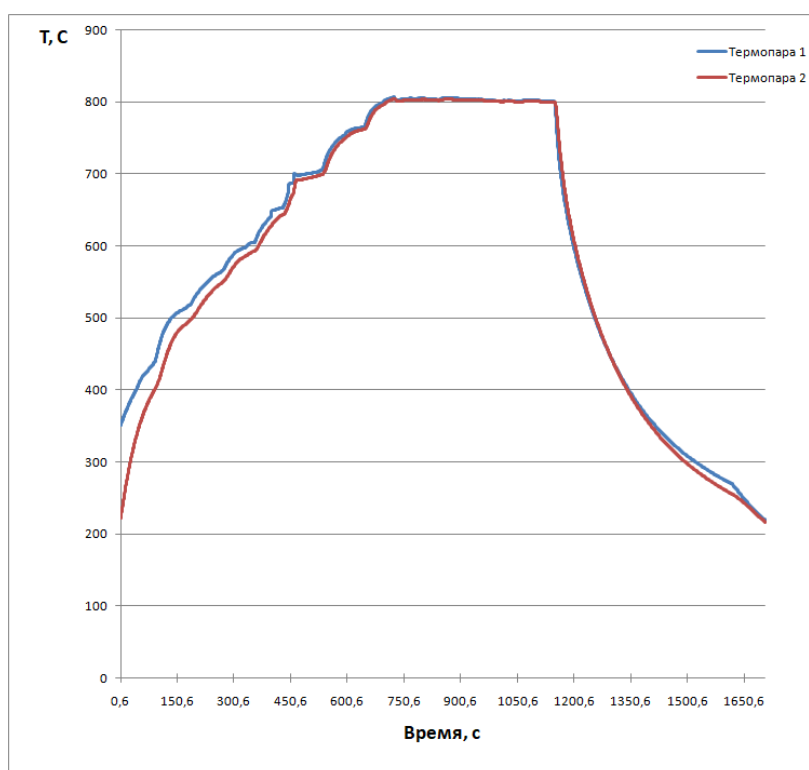


Рисунок 23 - Термограмма вакуумного спекания при T спекания 800°C образцов с составом смеси: 1, 4, 5, 6, $60\text{Al}+40\text{ст45}$



Рисунок 24 - После теплового взрыва 60Al+40ст45 при T 703 и 810⁰C

У образца (рис. 24) наблюдается потеря формы. Цилиндр принял бочкообразную форму, по всей поверхности видны трещины. Заметна сильная пористость у образца в области трещин.

Было проведено спекание при температуре 1100⁰C образцов разного состава:

- а) 8 вес.% Al+23 вес.% Fe +69 вес.% Ti
- б) 4 вес.% Al +12 вес.% Fe₂O₃ + 84 вес.% Ti
- в) 25 вес.% порошка стружки + 75 вес.% Ti
- г) 10 вес.% Al + 90 вес.% Ti

По гистограммам (рис.25) видно, что образец с содержанием алюминия и титана претерпел очень сильные изменения параметров в результате спекания. Образец с содержанием стружки в составе в отличии от других образцов положительно изменился в объеме и пористости. Из этого можно сделать вывод, что при взаимодействии с железом за счет появления новых реакций взаимодействия и фаз, образуется новая структура, с новой решеткой. Таким образом образуются пустоты во всем объеме материала.

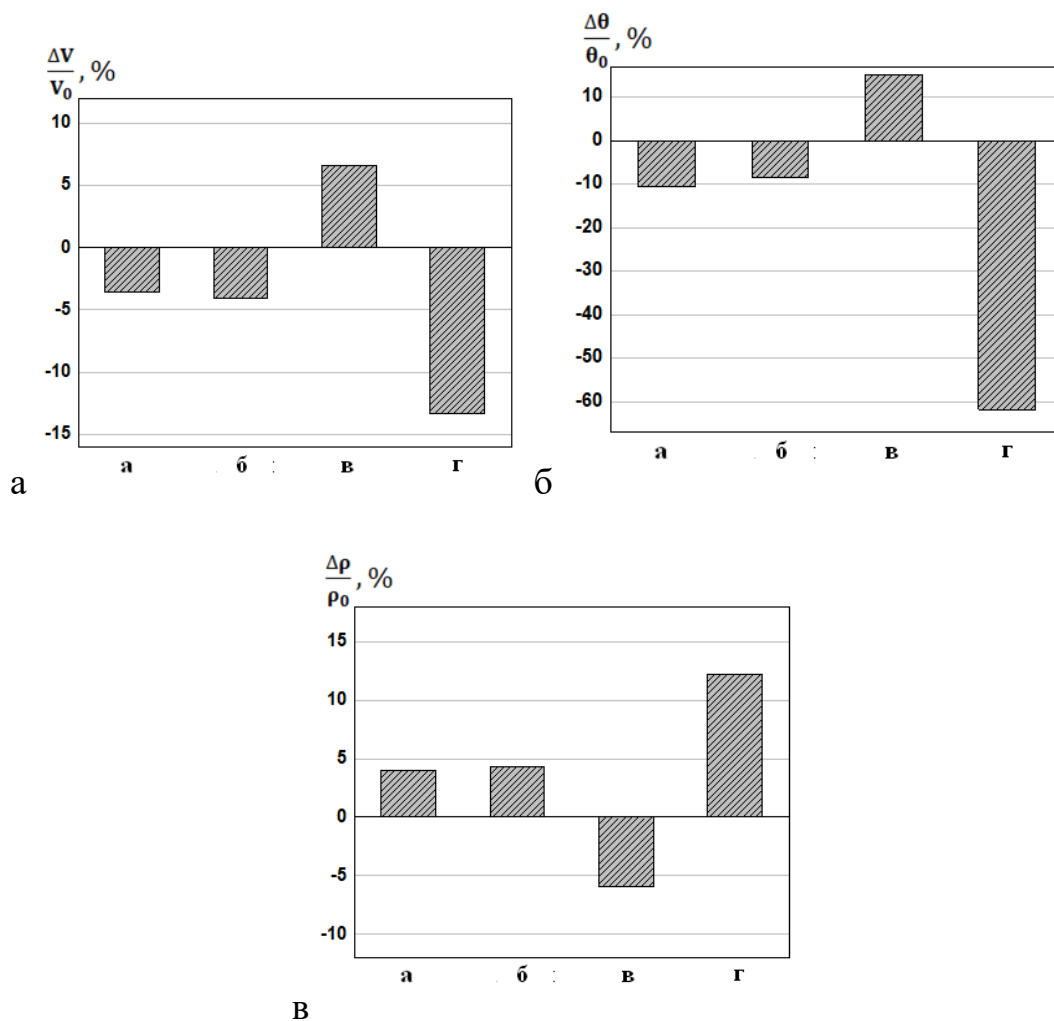


Рисунок 25 – Гистограммы спекания при 1100⁰С составов: а - 8Al+23 Fe +69 Ti; б - 4Al +12Fe₂O₃ + 84 Ti; в - 25ст45 + 75Ti; г - 10Al + 90Ti

Рассмотрим гистограмму (рис. 26) для образцов одного состава (25 вес.% порошка стружки + 75 вес.% Ti), но разных температур спекания. Из гистограммы видно, что при температуре спекания 1100⁰С образцы на выходе получают более-менее пористыми. Если смотреть по диаграмме состояния Ti-Fe, то можно заметить, что при этой температуре, сплав уже плавится и переходит в жидкое состояние. Данная модель реакции похожа на образец при спекании при 1200⁰С. Можно отметить, что у образцов, спеченных при разной температуре, наблюдается изменение относительных параметров в противоположных направлениях относительно друг друга.

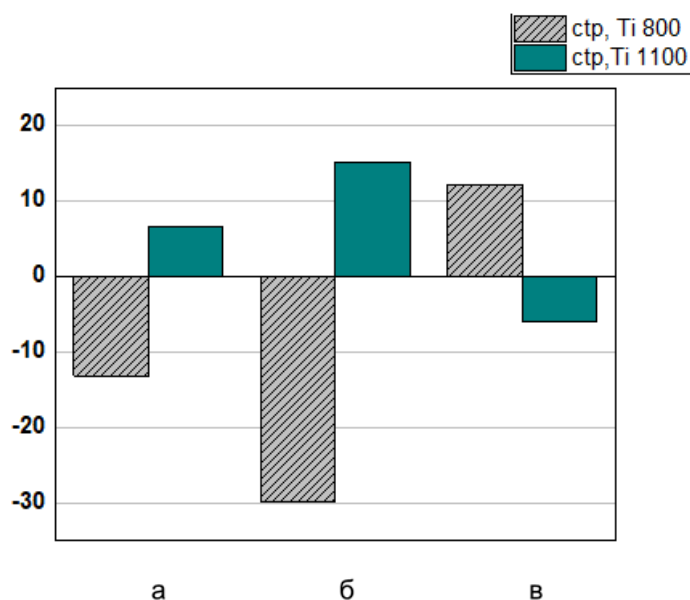


Рисунок 26 – Гистограмма для состава: 25 вес.% порошка стружки + 75 вес.% Ti: а – относительное изменение объема ($\frac{\Delta V}{V_0}, \%$); б – относительное изменение пористости ($\frac{\Delta \theta}{\theta_0}, \%$); в – относительное изменение плотности ($\frac{\Delta \rho}{\rho_0}, \%$)

Рассмотрим микроструктуру спеченных образцов. Так при взаимодействии алюминия и окисленной стружки ст45. Как можно посмотреть по диаграмме состояния Al-Fe в результате могут образоваться различные интерметаллиды состава Fe_xAl_y . При этом по результату дополнительного окисления в составе стружки образуется кислород, поэтому можно рассматривать систему взаимодействия Fe-Al-O. В этом случае может проходить реакция алюмотермии – восстановление железа алюминием: $Fe_2O_3 + Al \rightarrow Al_2O_3 + Fe$. Результатом взаимодействия алюминия с измельченными частицами окисленной стружки из стали 45 будет не спеченный компактированный образец, а синтезированный порошкообразный продукт со сложным фазовым составом, который, в свою очередь, можно рассматривать как самостоятельный материал для использования в различных аддитивных технологиях или в виде прекурсора в других порошковых смесях. По изображению структуры (рис.27) спеченного

образца видно наличие игольчатой структуры. В составе преобладают частицы с преимущественным составом железа и Al_2O_3 .

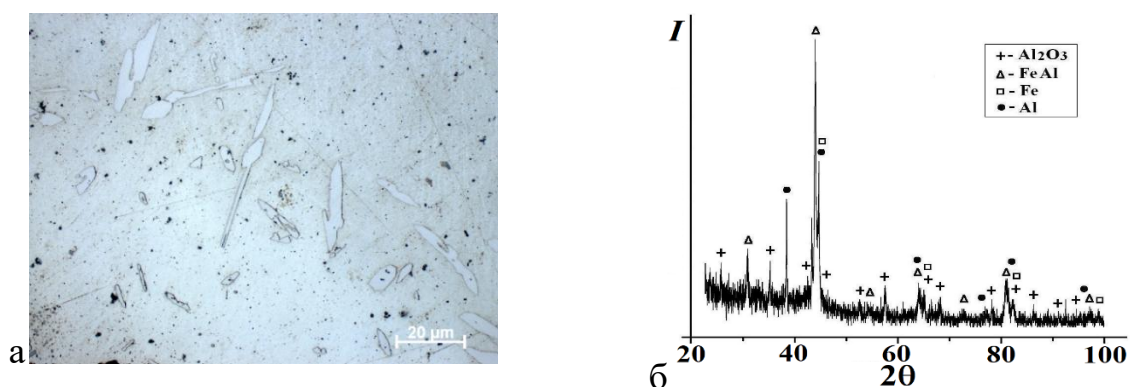


Рисунок 27 - Микроструктура (а) и фазовый состав (б) спеченного порошкового продукта из смеси обработанной стружки и алюминия.

Процесс взаимодействия титана и железа (ст45) проходил в условиях типичного твердофазного спекания. Выбранная температура спекания ($1000^{\circ}C$) для данного состава является невысокой, а возможная жидкая фаза (эвтектика) в системе Ti–Fe согласно равновесной диаграмме состояния образуется при $1085^{\circ}C$. Поэтому в результате спекания прессовок из смеси Ti+стружка(ст45) преимущественно наблюдается титановая фаза с небольшим включением свободного железа (рис. 28, а). По рентгеноструктурному анализу (рис. 28, б) видно, что в полученном образце наблюдаются две фазы Fe и Ti, наличие других фаз не обнаружено. Что возможно связано с недостаточно хорошим взаимодействием между Ti и Fe.

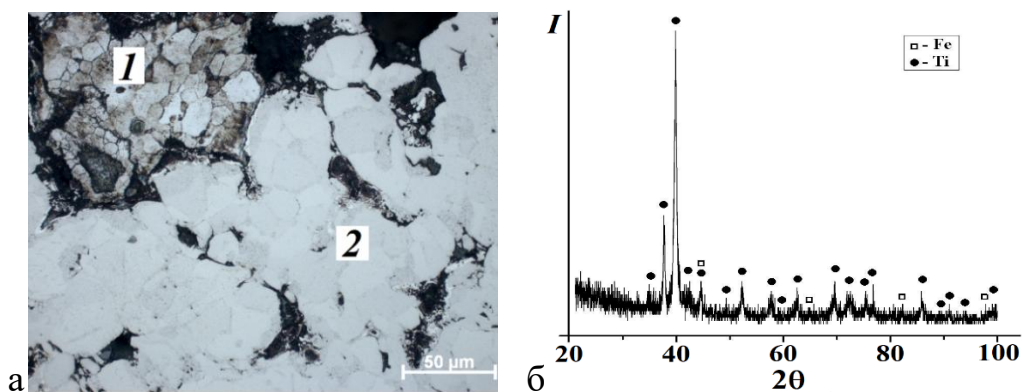


Рисунок 28 - Микроструктура (а) и фазовый состав (б) спеченных при 1000 °С прессовок из смеси обработанной стружки и титана (75 вес.% Ti + 25 вес.% стружка): 1 – область, богатая свободным железом; 2 – область твердого раствора на основе α -Ti.

При взаимодействии порошкообразной окисленной стружки одновременно с титаном и алюминием возможно инициирование перекрестного синтеза интерметаллидов и реакции восстановления железа из оксидных включений на частицах стальной стружки. Реальный фазовый состав показывает, что в этом случае формируется большой объем (около 67 об. %) неравновесной фазы твердого раствора на основе α -Ti, куда может продиффундировать как часть алюминия, так и кислорода. На границе частиц стальной стружки при контакте с частицами алюминия может происходить образование до 12 об. % другой неравновесной фазы, стехиометрия которой близка к $AlFe_2$. Также в спеченном образце из данной композиции рентгеноструктурный анализ определил содержание железа до 21 об. %, возможно какая-то доля его является продуктом реакции восстановления из сформированных оксидных фаз на измельченной окисленной стальной стружке при взаимодействии с алюминием. Несмотря на присутствие кислорода, которое зафиксировано анализатором на уровне 1,8 %, в явном виде оксидные фазы не были определены с помощью РСА. Очевидно, что выбранное соотношение компонентов (Ti, Al и измельченная стружка ст.45) и степень окисленности стружки (не более 30 об. % Fe_2O_3) не обеспечили

необходимое количество продуктов реакции восстановления

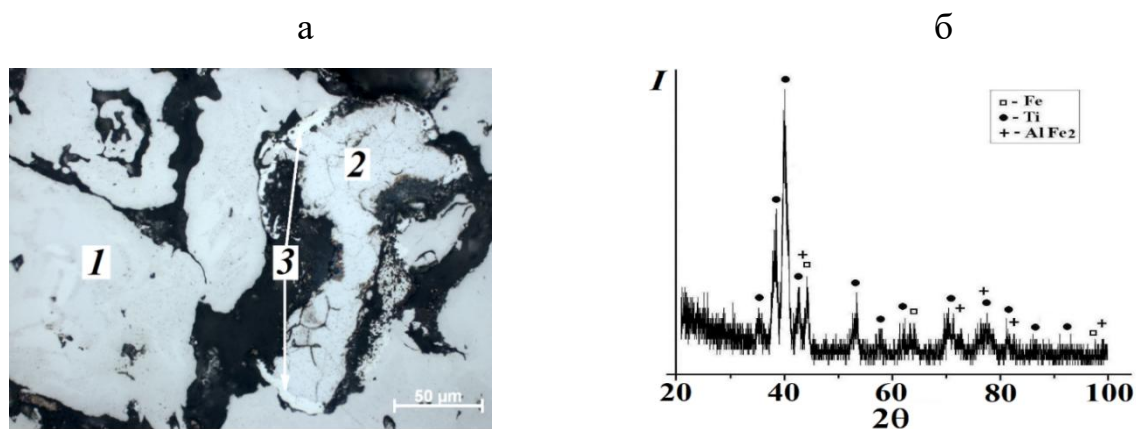
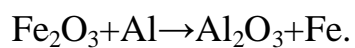


Рисунок 29 - Микроструктура (а) и фазовый состав (б) спеченных при 1000 °С прессовок из смеси обработанной стружки, титана и алюминия (69 вес.% Ti + 8 вес.% Al + 23 вес.% стружка): 1 – область твердого раствора на основе α -Ti; 2 – область, богатая свободным железом; 3 – область, соответствующая неравновесной фазе AlFe_2

Выводы

В ходе выполнения магистерской диссертации были получены и исследованы композиционные материалы на основе Ti, Al и ст45.

Было исследовано исходное структурное и фазовое состояние стружки стали ст45.

По результату спекания было замечено, что образцы с составами ст45 и (Ti+стружка ст45) сохранили форму после спекания, при этом при анализе микроструктуры и фазового состава последнего не было обнаружено наличия нового химического соединения, что указывает на плохое взаимодействие Fe и Ti.

При спекании составов (Al+ стружка ст45) большое количество образцов разлетелось, что указывает на сильную экзотермическую реакцию в этом составе при спекании. Что связано с реакцией восстановления железа алюмотермией: реакция кислорода (образовавшегося на поверхности стружки в результате дополнительного окисления) и алюминия сопровождается выделением большого количества тепла.

Были построены гистограммы, показывающие относительное изменение объема, плотности и пористости. Можно заметить, что результаты для образцов состава ст45 и Ti+Al+ст45 после спекания при 1200⁰C противоположны значениям после спекания при 1000⁰C.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ1Ф	Петренко Ольга Евгеньевна

Школа	ИШНПТ	Отделение	Отделение машиностроения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01. «Машиностроение»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Материально-технические ресурсы; Материальные затраты НТИ; амортизация оборудования; человеческие ресурсы: дипломник, научный руководитель (2 чел.)
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»; Минимальный размер оплаты труда в 2023 году составляет 16242 руб.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	По результатам НИР были выполнены поставленные задачи. Однако оценивать ее эффективность преждевременно. Эффективность может быть определена только после проведения прикладных исследований, результатом которых будет получение конечного продукта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности 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
Профессор ОСГН	Гасанов Магеррам Али оглы	Д.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
---------------	------------	----------------	-------------

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Темой выпускной квалификационной работы является «Исследование композиционных материалов на основе порошковых композиций титана и алюминия с использованием переработанной стальной стружки» Объектом исследования являются порошковые композиции ТПП-8, ПА-4 и с добавлением окисленной стружки стали 45.

Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» имеет своей целью анализ перспектив и успешности научно-исследовательского проекта, оценка его эффективности, уровня возможных рисков.

Достижение поставленной цели требует решения следующих задач:

1. Дать оценку коммерческому потенциалу научно-технического исследования и его перспективам;
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
3. Планирование научно-исследовательских работ;
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Порошок можно считать основой основ в процессе получения различных изделий из титана. Это один из важнейших элементов в цепочке создания титановой продукции, от структуры, свойств и характеристик которого во многом зависят параметры получаемых изделий. Порошки титана, вне зависимости от их структурного состава и методов получения, обладают всеми базовыми полезными свойствами данного металла, включая:

устойчивость к коррозии; твердость; пористость; пластичность; термостойкость; механическую прочность; способность к спеканию и свариваемости; легкость; износостойкость; хорошие показатели прессуемости.

Продукцию различают по весу, насыпной плотности, способности к спеканию, химическому и гранулометрическому составу, марке, способу получения.

Сплавы на основе системы Ti–Al–Fe обладают уникальным набором свойств: низкой плотностью, прочностью, жаростойкостью, устойчивостью к окислению, а также биологической совместимостью с живыми тканями, благодаря чему они активно используются в аэрокосмической промышленности, в медицине в качестве хирургических имплантов, в качестве ловушек водорода и т.д.

4.2 Анализ конкурентных технических решений

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

АО «Полема», г. Тула, Тульская область – производство металлических порошков на основе хрома, железа, титана, никеля, молибдена и пр., изготовление изделий из порошков различной формы.

ПАО "Корпорация ВСМПО-АВИСМА", г. Березники, Пермский край - изготовление различных деталей из порошковых композиций в основном для авиационной, аэрокосмической и атомной промышленности.

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, приведенной в таблице 4.1, критерии для сравнения подбираются, исходя из

выбранных объектов с учетом их технологических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации, где $K_{к1}$ – изделия, производимые АО «Полема», $K_{к2}$ – изделия, производимые в ПАО «Корпорация ВОСМО-АВИСМА».

Таблица 4.1 – 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								
1. Хорошая прессуемость	0,110	5	5	5		0,550	0,550	0,550
2. Однородность порошка по хим. составу	0,095	4	4	5		0,380	0,380	0,475
3. Пористость	0,090	4	3	4		0,360	0,270	0,360
4. Технологичность	0,095	5	5	5		0,475	0,475	0,475
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности								
1. Реализация продукта	0,110	3	3	5		0,330	0,330	0,330
2. Цена продукта	0,098	4	4	4		0,392	0,392	0,392
3. Охват рынка	0,095	3	3	5		0,285	0,285	0,475
4. Срок эксплуатации продукта	0,115	4	3	4		0,460	0,345	0,460
5. Сроки изготовления продукта	0,097	5	4	4		0,485	0,388	0,388

6. Наличие сертификатов	0,095	4	4	5		0,380	0,380	0,475
Итого:	1	41	38	46		4,097	3,795	4,38

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, представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – SWOT-анализ проекта

Сильные стороны проекта	Возможности во внешней среде
С1. Наличие в лабораториях необходимого оборудования для исследований; С2. Простота технологического процесса; С3. Возможность использования рентгеноструктурного анализа в исследовании рентгеноструктурного анализа в исследовании	В1. Применение технологии во многих отраслях; В2. Повышение качества продукции; В3. Минимизация затрат на конечный продукт
Слабые стороны проекта	Угрозы внешней среды
Сл1. Высокое число аналогичных проектов; Сл2. Отсутствие узконаправленной специализированной техники; Сл3. Ручная обработка результатов исследования	У1. Плохое развитие и закрытие предприятий машиностроительного профиля в РФ; У2. Развитая конкуренция технологий производства

Таблица 4.3 – Соотношение сильных сторон проекта и возможностей

Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3
Возможности проекта	V1	+	+	+
	V2	0	0	+
	V3	+	+	-

При анализе интерактивной таблицы можно выделить следующие соответствия сильных сторон исследования к возможностям внешней среды: V1C1C2C3, V2C3, V3C1C2.

Таблица 4.4 – Соотношение слабых сторон проекта и возможностей

Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3
Возможности проекта	V1	+	-	-
	V2	0	-	0
	V3	-	+	0

При анализе интерактивной таблицы можно выделить следующие соответствия слабых сторон исследования к возможностям внешней среды: V1Сл1, V3Сл3.

Таблица 4.5 – Соотношение сильных сторон проекта и угроз

Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3
Угрозы проекта	У1	0	-	0
	У2	-	+	+

При анализе интерактивной таблицы можно выделить следующие соответствия сильных сторон исследования к угрозам внешней среды: У2С2С3.

Таблица 4.6 – Соотношение слабых сторон проекта и угроз

Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3
Угрозы проекта	У1	0	-	0
	У2	+	+	0

При анализе интерактивной таблицы можно выделить следующие соответствия слабых сторон исследования к возможностям внешней среды: У2Сл1Сл2.

Итоговая матрица представлена в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны проекта</p> <p>С1. Наличие в лабораториях необходимого оборудования для исследований</p> <p>С2. Простота технологического процесса</p> <p>С3. Возможность использования рентгеноструктурного анализа в исследовании</p>	<p>Слабые стороны проекта</p> <p>Сл1. Высокое число аналогичных проектов</p> <p>Сл2. Отсутствие узконаправленной специализированной техники</p> <p>Сл3. Ручная обработка результатов исследования</p>
<p>Возможности проекта</p> <p>В1. Применение технологии во многих отраслях</p> <p>В2. Повышение качества продукции</p> <p>В3. Минимизация затрат на конечный продукт</p>	<p>Простота технологического процесса производства порошковых материалов и наличие качественного оборудования позволяют применять изделия из порошкового титана во многих отраслях промышленности (в том числе в машиностроительной и авиационной) с гарантией высокого качества.</p>	<p>Высокое число похожих проектов является катализатором возникновения незаинтересованности данным проектом на фоне других.</p>

<p>Угрозы проекта</p> <p>У1. Плохое развитие и закрытие предприятий машиностроительного профиля в РФ</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p>	<p>Закрытие предприятий машиностроительного профиля ставит под угрозу востребованность исследования.</p>	<p>Главной угрозой проекта является высокая позиция на рынке предприятий-конкурентов, что автоматически дает им преимущество</p>
---	--	--

4.4 Планирование научно-исследовательских работ

4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Этапы выполнения данной исследовательской работы и ответственные за ее выполнение приведены в таблице 4.8.

Работу выполняли два человека научный руководитель и студент-выпускник.

Таблица 4.8 – 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			
Теоретическое исследование	2	Составление плана работы	Научный руководитель, студент
	3	Подбор и изучение литературы по соответствующей теме	
Экспериментальные исследования	4	Подготовка образцов для исследования	Студент
	5	Измерение параметров образцов	
	6	Спекание образцов	

	7	Исследование образцов, измерение физических параметров	
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов	Научный руководитель, студент
Составление отчета	9	Оформление отчета по НИР	Студент

4.4.2 Разработка графика проведения научного исследования

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5},$$

где:

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{Pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{Pi} = \frac{t_{ожі}}{q_i},$$

где:

T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

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 4.9, 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 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

№ раб.	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}		Длительность работ в календарных днях, T_{ki}	
	t_{mini} чел-дни		t_{maxi} чел-дни		$t_{ожи}$ чел-дни		Науч. рук.	Студ.	Науч. рук.	Студ.
	Науч. рук.	Студ.	Науч. рук.	Студ.	Науч. рук.	Студ.				
1	2	0	4	0	3	0	3	0	4	0
2	2	2	5	5	3	3	3	3	3	3
3	2	10	5	30	3	17	3	20	3	33
4	0	10	0	20	0	14	0	14	0	20
5	0	4	0	6	0	4	0	5	0	6
6	0	4	0	6	0	4	0	5	0	6
7	0	16	0	30	0	21	0	21	0	30
8	4	4	10	10	6	6	7	7	9	9
9	0	7	0	16	0	12	0	12	0	20

График выполнения работ учитывает выходные и праздничные дни. Таким образом, общее количество рабочих дней для выполнения научно-исследовательской работы составляет .

Таблица 4.10 – Календарный план-график проведения НИТ

№ раб.	Вид работы	Исполнители	T_{ki}	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель	4	■					
2	Составление плана работы	Научный руководитель, студент	3	■ ■					
3	Подбор и изучение литературы по соответствующей теме	Научный руководитель, студент	33		■				
4	Подготовка образцов для исследования	Студент	20			■			
5	Измерение параметров образцов	Студент	6				■		
6	Спекание образцов	Студент	6				■		
7	Исследование образцов, измерение физических параметров	Студент	30				■		
8	Анализ полученных результатов	Научный руководитель, студент	9					■ ■	
9	Оформление отчета по НИР	Студент	20					■	

■ - научный руководитель, ■ - студент. График выполнения работ учитывает выходные и праздничные дни. Таким образом, общее количество рабочих дней для выполнения научно-исследовательской работы составляет 131.

4.4.3 Бюджет научно-технического исследования

4.4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Материальные затраты рассчитываются по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) * \sum_{i=1}^m C_i * N_{расхi},$$

Материальные затраты, необходимые для исследования, приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Материальные затраты на исследование

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу измерения, руб	Затраты на материалы (Z _м), руб
Порошок титана ТПП-8	кг	1	6300	7800
Порошок алюминия ПА-4	кг	1	670	760
Стальная стружка ст45	кг	1	45 (цена за круг)	135
Бумага наждачная водостойкая	шт	5 (20Н)	276	3745
		5 (P600)	133	
		5 (M40)	340	
Паста алмазная, набор (4шт.)	шт	1	929	929
Сукно	м	1	540	540
Спирт этиловый ректифицированный	л	0,2	1200	240

Вата медицинская	кг	0,2	400	80
Итого:				14229

4.4.3.2 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 ИФПМ СО РАН. Поскольку затраты на спецоборудование равны нулю, необходимо посчитать его амортизацию.

Расчет амортизации оборудования ведется по следующей формуле:

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

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

$$N_{\text{а}} = \frac{1}{T_{\text{с.с.обор}}},$$

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

Результаты расчета амортизации оборудования приведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Расчет величины амортизационных отчислений

Тип оборудования	Стоимость, руб.	Срок эксплуатации, лет	Срок использования в НТИ, кал. дн.	$N_{\text{а}}$, %	Амортизационные отчисления, руб.
Гидравлический пресс МС-500	790000	15	10	6,6	142849,32
Печь вакуумная СНВЭ-1.3.1/16	75000	7	4	14	11506,85
Вибромельница	388000	10	9	10	95671,23

Аналитические электронные весы GH-202	48600	8	3	12,5	4873,32
Шлифовальный-полировальный станок Saphir 520	95000	9	9	11	25767,12
Рентгеновский дифрактометр ДРОН-7	480000	10	9	10	118356,16
Оптический микроскоп AXIOVERT-200MAT	34795	16	3	6	1715,92
Компьютер	40000	5	4	20	8767,12
Итого					409507,04

4.4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное количество дней	365	365
Количество нерабочих дней:		

- выходные дни	118	118
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:	24	24
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени, Fд	209	209

Основная заработная плата работника рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} * T_p = \frac{Z_m * M}{F_d} = \frac{Z_{\text{окл}} * (1 + k_{\text{пр}} + k_d) * k_p * M}{F_d} * T_p,$$

Основная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = \frac{29700 * (1 + 0,3 + 0,35) * 1,3 * 11,2}{209} * 19 = 64864,8 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата студента-выпускника:

$$Z_{\text{осн}} = \frac{16242 * (1 + 0,3 + 0) * 1,3 * 11,2}{209} * 117 = 172101,17 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.14.

Таблица 4.14 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z _{окл} , руб.	K _{пр}	K _д	K _р	Z _м	Z _м , руб.	T _{раб}	Z _{осн}
Руководитель	29700	0,3	0,35	1,3	62400	2644,8	19	64864,8
Студент	16242	0,3	0	1,3	23887,5	1100,9	107	172101,17
Итого:								236965,97

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 64864,8 = 9729,72 \text{ руб.},$$

– для студента:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 172101,17 = 25815,18,$$

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

Таблица 4.16 - Расчет дополнительной заработной платы

Исполнители	З _{осн} , руб.	З _{доп} , руб.
Научный руководитель	64864,8	9729,72
Студент	172101,17	25815,18
Итого:		35544,9

4.4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по следующей формуле:

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

На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 30 %.

где, $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.)

$$С_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (236965,97 + 35544,9) = 81753,26 \text{ руб}$$

4.4.3.6 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 4.17.

Таблица 4.17 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб	Примечание
1. Материальные затраты НИИ	14229	Пункт 4.4.3.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	409507,04	Пункт 4.4.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	236965,97	Пункт 4.4.3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	35544,9	Пункт 4.4.3.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	81753,26	Пункт 4.4.3.5
6. Накладные расходы	124480,03	16% от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НИИ	902480,2	Сумма ст. 1-6

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИР для исследования порошковых материалов по форме, приведенной в таблице 4.16.

4.4.4 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.

4.4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования

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.

В качестве аналогов НИР рассмотрены:

- 1) Экстрагированием оксида кремния из рисовой шелухи;
- 2) Смешивание кремнийсодержащего материала с фторидом аммония.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

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

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 902480,2$ руб, $\Phi_{\text{исп.1}} = 4\,419\,285,9$ руб,

$$I_{\text{ф}}^{\text{тек.пр}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{902480,2}{4419285,9} = 0,24$$

$$I_{\phi}^{исп.2} = \frac{\Phi_{исп.2}}{\Phi_{\max}} = \frac{4419285.9}{4419285.9} = 1$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки, разрабатываемый вариант считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Разрабатываемая технология подразумевает уменьшение количества отходов и количества комплектующих.

4.4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.18).

Таблица 4.18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2
1. Безопасность при использовании установки	0,25	4	4
2. Стабильность работы	0,25	5	4
3. Удобство в эксплуатации	0,3	5	3
4. Энергосбережение	0,1	4	5
5. Материалоёмкость	0,1	5	3
Итого	1	4,65	3,7

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,25 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,65$$

$$I_{p2} = 0,25 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 = 3,7$$

4.4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

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

$$I_{исп.1} = \frac{4,65}{0,59} = 7,9, \quad I_{исп.2} = \frac{3,7}{0,64} = 5,8$$

Интегральный показатель эффективности определяет расчетную сравнительную эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_i}{I_1}$$

$$\mathcal{E}_{ср.1} = \frac{7,9}{7,9} = 1, \quad \mathcal{E}_{ср.2} = \frac{5,8}{7,9} = 0,7$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 4.19).

Таблица 4.19 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,59	0,64
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,7

3	Интегральный показатель эффективности	7,9	5,8
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,7

Заключение

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и студента был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 131 день; общее количество рабочих дней, в течение которых работал студент, составляет 107 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 19 дней.

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 902 480,2 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,59, что является показателем того, что ИР является относительно выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,65, по сравнению с 3,7;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 7,9, по сравнению с 5,8, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
4АМ1Ф		Петренко Ольга Евгеньевна	
Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

Тема ВКР:

Исследование композиционных материалов на основе порошковых композиций титана и алюминия с использованием переработанной стальной стружки	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p>Объект исследования: композиционные порошки системы Ti-Al-Fe Область применения: порошковая металлургия Рабочая зона: лаборатория Размеры помещения: 8x6 м Количество и наименование оборудования рабочей зоны: аналитические электронные весы, шаровая мельница, электропечь, шлифовально-полировальный станок, гидравлический пресс, микроскоп</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ; – Положение об организации работы по охране труда в ИФПМ СО РАН; – Томск: ИФПМ СО РАН, 2018. – 18с; – Требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя устанавливаются в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78; – ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования – СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда" – ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	<p>Вредные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Отклонение показателей микроклимата; – Превышение уровня шума; – Вредные вещества, используемые в производственной деятельности в порошкообразном состоянии. <p>Опасные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Подвижные части производственного оборудования; – Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих

	<p>вызвать ожоги тканей организма человека; –Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: обеспечение оптимального сочетания общего и местного освещения, применение устройств систем вентиляции, а также кондиционирование воздуха и отопление, использование средств индивидуальной защиты: маска, перчатки, рабочий халат, защитные лабораторные очки.</p> <p>Расчет Недостаточная освещенность.</p>
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения	<p>Воздействие на селитебную зону: Вдыхание большого количества пыли может вызвать кашель, боль и спазмы в грудной клетке, а также привести к проблемам с дыханием. Попадание на кожу или глаза может вызвать местное воспаление;</p> <p>Воздействие на литосферу: нет</p> <p>Воздействие на гидросферу: остатки порошка с инструментов попадают в водопроводную систему;</p> <p>Воздействие на атмосферу: при переработке порошка частицы титана, алюминия и железа в виде пыли могут попасть в воздух</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения	<p>Возможные ЧС: пожар, взрыв вследствие скачка давления на гидроприводе пресса. Наиболее типичная ЧС: пожар</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ1Ф	Петренко Ольга Евгеньевна		

5 Социальная ответственность

Введение

С развитием научно-технического прогресса немаловажную роль играет возможность безопасного исполнения людьми своих трудовых обязанностей. В связи с этим была создана и развивается наука о безопасности труда и жизнедеятельности человека.

В данном разделе рассмотрены вредные и опасные факторы, которые действуют на студента-выпускника; разработаны требования безопасности, а также комплекс защитных мероприятий на рабочем месте. Этот раздел включает подразделы охраны окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.

На рабочем месте предусмотрены меры защиты от возможного воздействия опасных и вредных факторов производства. Уровни этих факторов не должны превышать предельных значений, оговоренных правовыми, техническими и санитарно-техническими нормами. Эти нормативные документы обязывают к созданию на рабочем месте условий труда, при которых влияние опасных и вредных факторов, работающих либо устранено совсем, либо находится в допустимых пределах.

В данной ВКР объектом исследования являлись композиционные материалы с содержанием в разных пропорциях: порошков титана ТПП-8, алюминия ПА-4 и порошков окисленной стружки ст45.

Данная работа выполнена на базе Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской Академии Наук. Рабочей зоной являлись лаборатории общей площадью 200 м², включающие в себя оптический микроскоп, твердомер, электронные весы, смеситель, гидравлический пресс, рентгеновский дифрактометр «ДРОН-7», шлифовально-полировальные машины, вакуумная печь. Поскольку работа осуществлялась в разных частях рабочей зоны, постоянным рабочим местом является вся рабочая зона (ГОСТ 12.1.005 – 88).

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.

На должности инженера в исследовательской лаборатории не допускаются лица моложе 18 лет и без профессионального технического образования.

По трудовому кодексу РФ нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю. При работе с опасными и вредными факторами – не более 36 часов в неделю. При работе должны быть предусмотрены перерывы длительностью 20 мин через 1-2 часа после начала работы, длительностью 30 мин примерно через 2 часа после обеденного перерыва; обеденный перерыв длительностью не менее 40 мин находится примерно в середине рабочего дня. Перерывы должны использоваться для активного отдыха и лечебно-профилактических мероприятий и процедур. Лечебно-профилактические мероприятия по охране труда включают организацию предварительных, периодических и внеочередных медицинских осмотров, обязательных психиатрических освидетельствований работников, выдачу молока и лечебно-профилактического питания.

Заработная плата устанавливается трудовым договором в соответствии с действующими у данного работодателя системами оплаты труда и не может быть ниже прожиточного минимума. За работу с вредными факторами полагается прибавка не менее четырех процентов.

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ (ред. от 25.02.2022) каждый работник имеет право на:

- Рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;

- Обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- Получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- Отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- Обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- Обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя.

Для исключения возможности несчастных случаев должны проводиться обучение, инструктажи и проверка знаний работников требований безопасности труда.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

Одним из факторов комфортности рабочей среды является организация рабочего места. Рабочее место располагается на 3 этаже 315 аудитории, помещение представляет собой комнату размером 5м на 5м, высотой 3м, 2 окон, в помещении находится 2 единиц технологического оборудования, 2 людей.

Эргономическая оценка рабочих мест, в производственных условиях, проводится комплексно согласно методическим рекомендациям Минздрава:

«Основные принципы и методы эргономической оценки рабочих мест для выполнения работ сидя и стоя. Методические рекомендации". Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

Требования к рабочему месту:

- Общие положения по организации рабочего места по ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя» и ГОСТ 12.2.033-78 «Рабочее место при выполнении работ стоя»;

- Общие требования к размещению органов управления - по ГОСТ 12.2.032-78 и ГОСТ 12.2.033-78;

- Общие требования к размещению средств отображения информации по ГОСТ 12.2.032-78 и ГОСТ 12.2.033-78.

При работе с лабораторным инвентарем и установками необходимо соблюдать требования санитарных норм и правил техники безопасности.

СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда» устанавливают обязательные требования к обеспечению безопасных для человека условий труда.

Размещение технологического оборудования различных производственных переделов и процессов должно предусматривать объемно-планировочные и конструктивные решения, снижающие негативное влияние факторов производственной среды и трудового процесса соседних участков (цехов) друг на друга.

В случае превышения на рабочих местах гигиенических нормативов по показателям тяжести и напряженности труда следует предусматривать применения одного или нескольких из следующих методов:

- Механизация и автоматизация технологических процессов;
- Подбор и применение оборудования, направленные на снижение влияния факторов трудового процесса;
- Оснащение рабочего места с учетом физиолого-анатомических особенностей работника;

- Разработка и применение специальных режимов труда и отдыха;

5.2 Производственная безопасность

На человека в процессе его трудовой деятельности могут воздействовать вредные (вызывающие заболевания) и опасные (вызывающие травмы) производственные факторы. Вредный производственный фактор, в зависимости от интенсивности и продолжительности воздействия, может стать опасным.

По характеру физической нагрузки, данная исследовательская работа относится к разряду легких, но она связана с большой умственной нагрузкой. Длительная работа в помещении при повышенной или пониженной температуре и влажности воздуха, плохом освещении, а также при наличии других опасных и вредных производственных факторов, неблагоприятно сказывающихся на здоровье работающего, что неизбежно влечет за собой снижение производительности труда.

Таблица 5.1 – Возможные вредные и опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплуа тация	
Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	1. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". 2. ГОСТ 12.4.051-87. Система стандартов безопасности труда 3. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно- гигиенические требования к
Повышенный уровень шума	-	+	-	
Плохая освещенность	+	+	+	
Поражение электрическим током	+	+	-	
Вредные порошкообразные вещества	-	+	+	
Термические поражения	-	+	-	

Физические поражения	-	+	-	воздуху рабочей зоны 4. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
----------------------	---	---	---	---

5.2.1 Анализ вредных факторов

5.2.1.1 Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении рабочего

Микроклимат производственных помещений – это комплекс физических факторов, оказывающих влияние на теплообмен человека и определяющих самочувствие, работоспособность, здоровье и производительность труда. Поддержание микроклимата рабочего места в пределах гигиенических норм – важнейшая задача охраны труда.

Показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются: температура, относительная влажность и скорость движения воздуха, а также температура окружающих поверхностей.

При нормировании метеорологических условий в производственных помещениях учитывают время года, количество избыточного тепла в помещении и физическую тяжесть выполняемых работ.

Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха согласно ГОСТ 12.1.005–88 приведены в таблице 5.2, для категории Ib, к ней относятся работы с интенсивностью энергозатрат 140-174 Вт, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением.

Таблица 5.2 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата для рабочей зоны производственных помещений (ГОСТ 12.1.005-88)

Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.
Холодный	21-23	19-24	40-60	75	0,1	0,2
Теплый	22-24	20-28	40-60	70	0,1	0,3

Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяются следующие мероприятия: устройство систем вентиляции, кондиционирование воздуха и отопление.

5.2.1.2 Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума

Шум является одним из наиболее распространенных факторов внешней среды, неблагоприятно воздействующих на организм человека и на его нервную систему.

Шум возникает при работе на шлифовальной установке (автоматизированный или ручной процесс), прессовании образцов на гидравлическом прессе. Шум неблагоприятно воздействует на организм человека, вызывает психические и физиологические нарушения, снижение слуха, работоспособности, создают предпосылки для общих и профессиональных заболеваний и производственного травматизма, а также происходит ослабление памяти, внимания, нарушение артериального давления и ритма сердца.

Уровни шума не должны превышать значений установленных в ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности Согласно СП 51.13330.2011 «Защита от шума»

уровень шума в помещениях лабораторий должен составлять 68 дБ при работе, требующие высокую точность. Поэтому необходимо обеспечить снижение уровня шума, правильную организацию труда и отдыха, снижение и ослабление шума лучше всего с помощью средств индивидуальной защиты (СИЗ) такие как беруши или противошумные наушники.

5.2.1.3 Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения

Требование к освещённости рабочего места инженера является важным параметром, т.к. напрямую влияет на эффективность трудового процесса: улучшение условий зрительной работы, снижение утомления, снижение травматизма на рабочем месте, повышение производительности труда. Для обеспечения оптимального сочетания местного и общего освещения рабочей зоны необходимо соблюдение норм СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Данные нормы предписывают регулярную чистку стёкол световых проёмов не реже двух раз в год. Рекомендуются максимально продолжительно использовать естественное освещение, поскольку солнечный свет оказывает благоприятное воздействие на организм человека. Нормой СП 52.13330.2016 для данного вида работ установлено требование к освещённости рабочего места 150 лк общей освещённости и 300 лк комбинированного освещения.

Недостаточное освещение рабочего места затрудняет длительную работу, вызывает повышенное утомление и способствует развитию близорукости. Следовательно, необходимо произвести проектирование искусственного освещения для равномерного его распределения, используя расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности.

Расчет выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина

помещения $A = 6$ м, ширина $B = 8$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1$ м. Согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» необходимо создать освещенность не ниже $E = 150$ лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B = 8 \times 6 = 48 \text{ м}^2,$$

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

Выбираем лампу дневного света ЛБ-80, световой поток которой равен $\Phi_{\text{ЛБ}} = 4800$ Лм, мощность 80 Вт и светильники с люминесцентными лампами типа ШОД-2-80, имеющие две лампы мощностью 80 Вт каждая. Длина светильника равна 1530 мм, ширина – 284 мм.

Коэффициент использования светового потока, для светильников типа ШОД-2-80 с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{п}} = 70\%$, $\rho_c = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,7$ равен $\eta = 0,48$.

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 5.1 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

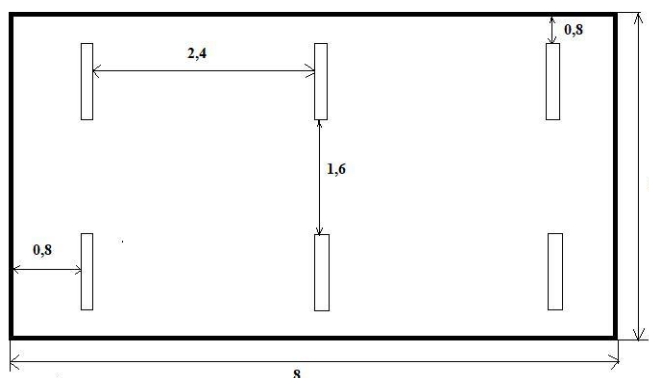


Рисунок 5.1 – План размещения светильников с люминесцентными лампами

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\text{ФП} = (E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z) / N \cdot \eta = (150 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,1) / 6 \cdot 0,48 = 4125 \text{ лм.}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \text{ФЛБ} - \text{ФП ФЛБ} \cdot 100\% \leq 20\%$$

$$4800 - 4125 \cdot 100\% = 14\%$$

Таким образом: $-10\% \leq 14\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

5.2.1.4 Вредные вещества, используемые в производственной деятельности в порошкообразном состоянии

При работе с металлическим порошком мелкие частицы могут оседать в воздухе, которые вдыхает человек. Вдыхание металлической пыли может вызвать кашель, боль и спазмы в грудной клетке, а также привести к проблемам с дыханием. Попадание на кожу или глаза может вызвать местное воспаление. Негативное действие титана на организм связано с тем, что он является тяжелым металлом. Попадая в организм, он не расщепляется и не разлагается, а оседает в органах и тканях человека, отравляя его и вмешиваясь в процессы жизнедеятельности. Он не подвержен коррозии и устойчив к действию щелочей и кислот, поэтому желудочный сок не способен на него воздействовать. Избыток алюминия тормозит синтез гемоглобина, вызывает флюороз зубов и специфическое повреждение костей (костный флюороз), может вызвать или усилить новообразования костей. Физическими признаками отравления алюминием могут быть ломкие кости или остеопороз, нарушение почечной функции.

Согласно ПНД Ф 12.13.1-03 «Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения)». Работу с порошкообразными веществами для предотвращения их распыления

нужно проводить в таких местах, где нет сквозняков или сильного движения воздуха.

При работе с ними всегда нужно использовать СИЗ: перчатки, маску, очки. При взвешивании твердых веществ всегда надо пользоваться какой-либо тарой. Недопустимо насыпать вещества непосредственно на чашку весов.

5.2.2 Анализ опасных факторов

5.2.2.1 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий

Достижение высокой производительности труда на сегодняшний день невозможно без применения промышленного электрооборудования различной специализации. Поэтому перед работами на электроустановках каждый работник обязан изучить технику безопасности.

Согласно ГОСТ 12.1.038-82 «Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов, воздействию которых человек может подвергаться в процессе работы с электрооборудованием, составляют для установок в нормативном режиме: для постоянного тока – не более 0,8 В и один мА соответственно, для переменного тока (частота 50 Гц) – не более двух В и 0,3 мА соответственно.

При работе с лабораторными электроустановками необходимо выполнение следующих требований:

- Недоступность токоведущих частей;
- Зануление электрооборудования;
- Периодические осмотры оборудования с целью выявления возможных неполадок;
- Запрещается работа при повреждении изоляции;

- Обслуживание электроустановок поручается лицам, прошедшим медицинский осмотр и специальное обучение;
- Отсутствие пыли, сырости (влаги) в помещении;
- Запрещается работа влажными руками, в мокрой одежде;
- Нетокопроводящий пол;
- Исключение ошибочной подачи напряжения к месту работы;
- При приближении грозы необходимо отключить оборудование от сети.

5.2.2.2 Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека

Опасность поражения тканей чрезмерно высокой температурой возникает при работе с печью. В исследовательской работе использовалась вакуумная печь. Термическая опасность может привести к ожогам и ошпариванию. В качестве средств защиты можно использовать средства индивидуальной защиты, например, термостойкую одежду и обувь. Также рекомендуется следовать технике по работе с печами и другими нагревательными аппаратами.

5.2.2.3 Подвижные части производственного оборудования

Опасность механического воздействия возникает при работе с шлифовально-полировальной машиной и гидравлическим прессом. Контакт с подвижными частями оборудования может привести к перелому, ушибу, повреждению кожного покрова.

Согласно ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ «Оборудование производственное. Общие требования безопасности». У конструкций аппаратов предусмотрена система аварийной остановки (торможения), так как работа с данной аппаратурой

подразумевает контакт с подвижной частью оборудования. Конструкция шлифовально-полировальной машины содержит оградительную конструкцию для избегания вылета обрабатываемых образцов. При работе с прессом следует избегать контакта с рабочими цилиндрами.

5.3 Экологическая безопасность

5.3.1 Воздействие на селитебную зону

При работе с металлическими порошками возможно скопление металлической пыли в атмосфере или гидросфере. При большом накоплении Ti или Al в атмосфере или гидросфере при его вдыхании или попадании внутрь организма могут начаться проблемы со здоровьем.

5.3.2 Воздействие на гидросферу и атмосферу

Для изготовления образца из смеси порошков титана ТПП-8, алюминия ПА-4 и ст45 использовались различные оборудование, инструменты и емкости. Небольшое количество порошка остается на этих приспособлениях и смывается водой. Остатки же попадают в водопроводную систему. Также наносится и определенный вред атмосфере, так как при переработке порошка частицы титана, алюминия и стали в виде пыли могут попасть в воздух. Но по сути металлические порошки не влияют негативно на окружающую среду.

При мытье оборудования частицы порошка могут попасть в водопровод. Согласно ГН 2.1.5.1315-03 «Гигиенические нормы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» ПДК титана в воде равно 0,1 мг/л, алюминия – 0,5 мг/л, для стальных образцов концентрация не указана, однако можно рассмотреть предельную концентрацию железа (0,3 мг/л), так как сталь преимущественно состоит из железа по составу.

Превышение ПДК может оказать пагубное влияние на здоровье употребляющих такую воду людей, скот и растения. Для избегания превышения ПДК можно установить на предприятиях систему фильтрации, производя отбор маслянистых частиц, производя дезинфекцию и отбор проб не реже двух раз в год.

5.3.3 Воздействие на литосферу

По сравнению с традиционной металлургией порошковая металлургия (ПМ) гораздо меньше влияет на экологию. В промышленности, при изготовлении деталей методом ПМ отходы металла могут составлять 2-5%, и в дальнейшем могут быть переработаны в исходный материал (порошок). Таким образом порошковую металлургию можно отнести к безотходным производствам и влияния металлических порошков нет.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях (ЧС)

На базе ИФПМ СО РАН наиболее вероятно возникновение ЧС техногенного характера, к которым относятся взрывы, пожары, аварии, утечка опасных жидких или газообразных веществ, выброс радиоактивных или биологически опасных веществ и т.д.

Техногенные ЧС характеризуются тем, что на определенной территории или акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и окружающей природной среде (ГОСТ Р 22. 0. 05-94).

На случай возникновения ЧС (пожары, взрывы) должен быть предусмотрен определенный комплекс мероприятий по защите населения и персонала объекта на котором возникла ЧС (ОЧС), такие как укрытие персонала ОЧС и населения в защитных сооружениях, эвакуация (рассредоточение) персонала ОЧС и населения, использование средств

индивидуальной защиты, дозиметрический и химический контроль, медико-профилактические и лечебно-эвакуационные мероприятия.

На случай возникновения чрезвычайной ситуации должен быть предусмотрен следующий комплекс мероприятий:

- Рассредоточение и эвакуация;
- Укрытие людей в защитных сооружениях;
- Обеспечение индивидуальными средствами защиты;
- Организация медицинской помощи пострадавшим.

Используемый технологический процесс согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» относится к категории Д, так как использует негорючие вещества в холодном состоянии. В данном случае источником возгорания может оказаться неисправность и неправильная эксплуатация электроустановок.

Предусмотренные средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности, СНиП 2.01.02-85): огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре). Кроме того, каждое помещение должно быть оборудовано системой противопожарной сигнализации.

Вывод по разделу

Используемый технологический процесс, проводимый на базе ИФПМ СО РАН согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» относится к категории Д, так как использует негорючие вещества в холодном состоянии.

Проведен анализ вредных и опасных производственных факторов, а также оценка экологической безопасности при разработке и исследовании порошковых композиционных материалов.

Исходя из расчетов $-10\% \leq 14\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона. Поэтому для освещения помещения допустимо использование лампы дневного света ЛБ-80.

Заключение по работе

1. В ходе исследований:

- исследована стружка стали ст45: структура, фазовый состав
- исследованы возможные реакции в процессе спекания порошковых смесей Ti+Al+ст45 в разном композиционном соотношении
- проведен анализ состояния и физических параметров образцов до и после спекания
- проведено исследование структуры и фазового состава продуктов синтеза

2. В качестве экономического обоснования проведенных исследований составлен план работ и на его основе проведены расчеты трудоемкости. Величина затрат на реализацию НТИ составила 902480,2 рублей.

3. Рассмотрены вредные и опасные факторы, действующие на сотрудника лаборатории, разработаны требования безопасности и комплекс защитных мероприятий на рабочем месте. В работе применены технологии, исключаящие попадание в окружающую среду вредных веществ.

Список литературы

- 1) Андриевский Р.А Порошковое материаловедение: научное издание. Москва: Металлургия, 1991, -208 с.
- 2) Батаев В.А. Композиционные материалы. Строение. Получение: учебное пособие. Батаев В.А. Батаев А.А. Москва: ЛогоС. Университетская книга. 2006, – 400 с.
- 3) Осокин Е.Н. Процессы порошковой металлургии: электронный учебно-методический комплекс Красноярск: Сибирский федеральный университет 2008, -421с.
- 4) О. М. Валицкая, М. П. Селицкая Технологические характеристики металлической стружки// Машиностроение и машиноведение -2009 С. 23-32
- 5) Д. М. Кукуй, И. В. Емельянович, В. П. Петровский, Л. Е. Ровин, С. Л. Ровин Опыт утилизации металлической стружки//Литье и металлургия - 2009, С.47-50
- 6) О. М. Дьяконов Технология переработки металлосодержащих шламов// Литье и металлургия -2011, С. 181-185
- 7) М. В. Кульков, Е. К. Жугалева Переработка стружки методом порошковой металлургии// VIII международная научно-практическая конференция -2008, С. 241-244
- 8) О. М. Дьяконов Исследование физико-химических и механических свойств стальной и чугуновой стружки// Литье и металлургия -2009, С. 161-173
- 9) Панькин Н.А., Сигачев А.Ф., Носов Ю.С., Окин М.А., Юдин В.А. Исследование структуры (Ti, Al)-композитов, полученных холодным прессованием порошков и твердофазным спеканием// Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2015, С.27-31.
- 10) С. Г. Григоренко, Г. М. Григоренко, О. М. Задорожнюк Интерметаллиды титана. Особенности, свойства, применение // Новые материалы -2017 С. 51-58

- 11) Н. А. Панькин, Ю. С. Носов, М. А. Окин Исследование композиционных материалов, полученных холодным прессованием порошков титана и алюминия// Математическое моделирование, комплексы программ и высокопроизводительные вычисления, Физика конденсированного состояния - 2014 6с.
- 12) Andrea Školáková^a, Jindřich Leitner^b, Pavel Salvetra, Pavel Nováka, Davy Deduytsche^c, Jaromír Kopeček^d, Christophe Detavernier^e, Dalibor Vojtěch Kinetic and thermodynamic description of intermediary phases formation in Ti-Al system during reactive sintering, 2019
- 13) С. П. Киселев, В. П. Киселев Численное моделирование растворения титана в расплаве алюминия и синтеза интерметаллида // Прикладная механика и техническая физика -2017, С. 158-166
- 14) Cui, C .; Ху, Б .; Чжао, Л . Лю, С. Технология производства титановых сплавов, перспективы рынка и развитие отрасли. Mater. Des. 2011 , 32 , 1684–1691
- 15) А.М. Глазер Упорядочение и деформация сплавов железа Б.В. Молотиллов – М.: Металлургия, 1984, 168 с
- 16) А.И. Ковтунов Интерметаллидные сплавы: электронное учебное пособие С. В. Мямин -2018, 77с.
- 17) A. Amirkaveei¹, A. Saidi Production of TiAl/Al₂O₃ and TiAl /Ti₂AlC/Al₂O₃ composites by explosion synthesis, 2012
- 18) В.Д. Клопотов, А.И. Потехаев, А.А. Клопотов, В.В. Кулагина, Е.А. Кнестяпин, Т.Н. Маркова, М.М. Морозов Тройные диаграммы на основе алюминидов титана. Анализ и построение// Известия Томского политехнического университета -2013, С. 96-100
- 19) A. Kostov, B. Friedrich D. Živković Thermodynamic calculations in alloys Ti-Al, Ti-Fe, Al-Fe AND Ti-Al-Fe
- 20) U. Prakash, G. Sautho Structure and properties of Fe±Al±Ti intermetallic alloys, 2001

21) М. Л. Бусурина, А. Е. Сычѳв, А. В. Карпов, Н. В. Сачкова, И. Д. Ковалѳв Особенности структуро- и фазообразования сплава гейслера Fe₂TiAl в процессе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза// Химическая физика, 2020, С. 39-47

22) Коростелева Е.Н., Николаев И.О., Коржова В.В. Особенности формирования структуры спеченных порошковых материалов с использованием отходов металлообработки стальных заготовок// Обработка металлов. (Технология • Оборудование • Инструменты), -2022, С. 192-205.

23) А.Г. Князева, М.А. Анисимова, Е.Н. Коростелева Особенности диффузионно контролируемых процессов управляемого объемного синтеза из порошковых смесей Ti-Al-Fe-Fe₂O₃//, Вестник ПНИПУ. Механика -2022, С.126-134

24) Songhe Meng, Xinghong Zhang and Weifang Zhang Reaction Process of Al-TiO₂-C-Ti-Fe Multiphase System During Combustion Synthesis

25) R.M. German, Powder Metallurgy & Particulate Materials Processing, Metal Powder Industries Federation, Princeton, NJ. – 2005

26) Энциклопедии Словари Справочники. Металлотермия. URL: <http://www.cnsnb.ru/AKDiL/0048/base/RM/180006.shtm>

27) Rudolf Fichte. "Ferroalloys". Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Weinheim: Wiley-VCH. doi:10.1002/14356007.a10_305

Приложение А (справочное)

Literature review

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ1Ф	Петренко Ольга Евгеньевна		

Руководитель ВКР

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

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Демьяненко Н.В.			

1. Literature review

1.1 Fundamentals of powder metallurgy

Powder metallurgy is the process of producing metal products from metal powder. In this process, metal powder is mixed with binders and then shaped into the desired shape by pressing and heat treatment. The resulting material has high density, homogeneous structure and unique properties, which makes it widely applicable in various industries.

Metal powders are the basis of powder metallurgy, the technology of which begins with their production. The method of production and the nature of a metal or metal-like compound determine chemical (content of the base metal, impurities and impurities, toxicity), physical (shape, size, specific surface area, true density and microhardness of particles) and technological (bulk density, fluidity, compactability, compressibility and formability). powder) properties of the resulting metal powder [1].

Industrial powder technology, which has a history of more than 70 years, is based on a set of fundamental theories and scientific approaches that describe the physical and chemical processes implemented in the production of powder materials. Using these descriptions, a core range of composite materials have been developed that have been widely used in various industries such as manufacturing, transportation, aircraft manufacturing and others. The use of powder composite materials based on titanium has become especially popular. [2]

A wide variety of production methods that provide the production of almost any powder with a wide range of particle shapes and sizes is one of the main advantages of powder technology, which makes it very flexible and versatile when creating new materials.

From a large variety of methods, some stand out, which are the main methods for obtaining metal powder:

- Mechanical: crushing and grinding of hard materials, processing of hard metals by cutting, dispersion of the melt;
- Physical and chemical: chemical reduction (oxides, halides and other compounds), electrolysis, dissociation, thermal diffusion saturation, evaporation and condensation, intergranular corrosion, synthesis of alloys and compounds.

A wide variety of production methods that provide the production of almost any powder with a wide range of particle shapes and sizes is one of the main advantages of powder technology, which makes it very flexible and versatile when creating new materials.

However, like any industry, powder metallurgy has its drawbacks. One of the main disadvantages is the high cost of metal powders compared to alloys. [3]

1.2 Metal swarf

Despite different methods for obtaining metal powder, this stage is the most time-consuming and expensive stage of the technological process. It is the properties of the resulting powder that determine the final result, namely the quality and properties of the final product. For the production of powder, solid metal materials, ore, as well as secondary raw materials are used.

Recycling of secondary raw materials is an important issue in the metalworking industry. In production, a large amount of metal waste is accumulated, including swarf, which can be used as a valuable material in metal smelting. However, in order to obtain high-quality material and reduce the cost of melting the alloy, it is necessary to pre-treat the swarves, including drying, cleaning, briquetting, etc.

Briquetting is a widely used swarf processing method, but the quality of cold briquettes does not meet the requirements due to low properties (low density and the presence of contaminants in large quantities). It is possible to improve the quality of briquettes using hot (two-stage) briquetting, but the properties of the briquettes will also be lower than the required level, and the production cost will increase.

Recently, in the processing of metal waste, rotary tilting furnaces (RTF) have begun to be used. Their use allows to reduce the cost of electricity, resources for drying and melting of metal. It should be noted that waste of almost any composition can be processed in RTF, bypassing the pre-treatment (cleaning) stage. [4, 5]

The author of article [6] out the importance of processing (separation into components) of sludge (metal waste) due to the reuse of each component of the sludge as a separate material. The author offers two processing options that are qualitatively cleaned from cutting fluids and effectively separates the sludge into components. Mechanical squeezing from the coolant is carried out under pressure, the resulting briquette is kept in air, after which it is crushed for further use of the resulting powder in production. The second method is to wash the sludge and magnetic separation of the pulp. After that, the pulp is defended, and then it is cleaned from coolant.

Due to the large amount of production waste and a small choice of ways of processing and using secondary raw materials, as an alternative to processing swarf, it is proposed to use them in powder metallurgy as a production material.[7]

In various works, the authors consider and study the structure and properties of metal swarf. Chip characteristics are determined by the original nature of the material being machined and the composition of the coolant (if applicable). So the author points out that the machining of chips leads to a change in its properties and structure, which differ from the material of the original part. The process includes plastic deformation and hardening of the material, in which the material becomes more ductile and hardened. Moreover, the more plastic the material, the more hardening it will undergo. As a result of processing, the material acquires numerous defects characteristic of hardening. Also, due to the surface roughness and the formation of cracks, the chips have a 5-6 times larger active surface than the material of the workpiece being machined. In addition to the mechanical impact on the chip, it is also influenced by the thermal energy that is generated during processing from mechanical work. Swarf heating is accompanied by softening processes, possible phase transformations, and metal oxidation. The oxidation of the swarf material has a

great influence on its further use and processing: oxides are formed, reducing corrosion resistance. But at the same time, the author points to the influence of the carbon content in the composition on the degree of oxidation. So low-carbon steels are more susceptible to oxidation compared to cast irons. At the same time, the smaller the particle size of the chips, the faster the oxidation process.[8]

1.3 Composite materials of the Ti-Al, Ti-Fe, Al-Fe system

Materials based on titanium and aluminum have a rich set of properties, which allows them to be used in various areas of production: aerospace (high melting point, low density), transport and nuclear engineering, as well as in gas and oil refineries of the chemical industry (corrosion resistance and resistance to swelling under the influence of radiation) [9].

In the Ti–Al system (Fig. 1), the main structures of titanium aluminides can be distinguished: Ti_3Al , $TiAl$, $TiAl_3$. According to the literature data, the $TiAl_3$ phase is formed by the diffusion of aluminum atoms into the lattice of titanium particles. At the same time, in the area of the Ti-Al contact with a lower aluminum content, the formation of the $TiAl$ phase (which is in equilibrium with the $TiAl_3$ phase) is possible, and at the final stage, Ti_3Al . However, in some studies, according to the results of X-ray analysis, $TiAl$ and Ti_3Al phases may be absent in the Ti-Al intermetallic compound or new phases (Ti_2Al_5) may appear before the formation of the final $TiAl_3$ phase. The structure formation mechanism depends on the composition of the initial mixture. With an increase in the concentration of aluminum in intermetallic compounds, a decrease in hardness, porosity, and density is observed with a simultaneous increase in plasticity. [10, 11, 12]

When aluminum is added to titanium, the $\alpha \leftrightarrow \beta$ transformation temperature of titanium rises from 882°C for pure titanium to 1240°C for an alloy containing up to 29% aluminum. An increase in the intervals of transformation $\alpha \leftrightarrow \beta$ with the addition of aluminum to titanium leads to a reduction in the region of the β -phase.

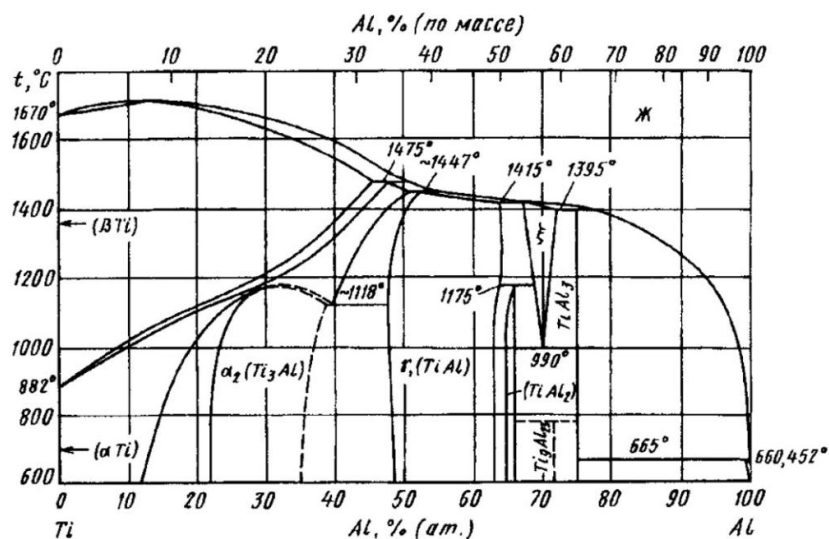


Figure 1 - State diagram of Ti-Al

High thermodynamic stability, temperature coefficient of linear expansion close in value to titanium, high elastic modulus (216 GPa) and resistance to oxidation, combined with low density compared to other aluminides (Ti_3Al , TiAl) - this set of properties makes the formation of TiAl_3 the most successful in the synthesis of Ti-Al intermetallic compound.

Due to the low ductility, high melting point, and high reactivity of titanium, Ti-Al alloys are difficult to manufacture, so various methods for their preparation are being considered. Many works describe the process of formation of intermetallic compounds. [12,13]

The main method for obtaining intermetallic compounds is the synthesis of Ti-Al, which includes the creation of a Ti-Al composite, its heating to a high temperature, and cooling. During heating, the mutual diffusion of the Ti and Al components and the synthesis of the Ti-Al intermetallic compound occur. When titanium is dissolved in the vicinity of the titanium crystal-solution interface, the TiAl_3 intermetallic compound is formed. The dissolution process occurs due to the diffusion of aluminum atoms through the intermetallic layer. [13]

Selfpropagating hightemperature synthesis (SHS), one of the methods of reactive synthesis, which includes thermal explosion or plane wave propagation mode (check correctness). Thermal explosion is a more suitable mode for the production of

intermetallic compounds, since the entire mixture is heated, while in the second mode, heating occurs only on one side.

Materials containing titanium have a number of unique properties that allow them to be used in various industries. These properties make such materials especially valuable and in demand in the production of various products. [14]

The compound of the Fe-Ti system is formed by a peritectic reaction at 1317°C. At about 1500°C, the Fe-Ti compound melts congruently. The state diagram of the Fe-Ti system is shown in Figure 2. Two compounds are formed in the alloys of the system: $TiFe_2$ and $TiFe$.

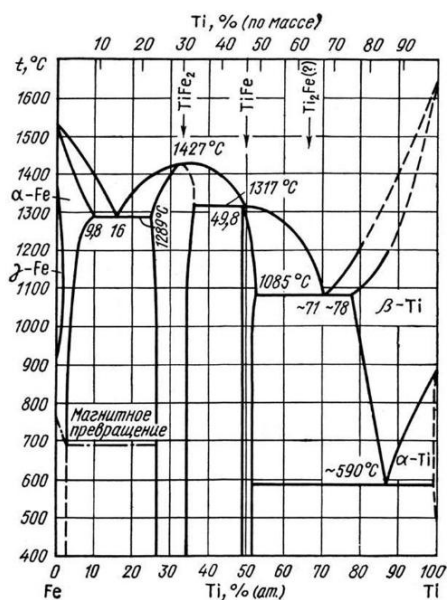


Figure 2 - State diagram of Fe-Ti

Aluminum is a stabilizing element; it dissolves well in $\alpha-Fe$, forming wide areas of solid solutions with a bcc structure.

Iron-aluminum alloys are an interesting model material, since they tend to form ordered superstructures in certain temperature-concentration regions, and also because they can combine high performance properties, such as: strength, hardness, heat resistance, abrasive wear resistance, durability in aggressive environment containing sulfur, chlorine, carbon, etc. [15]

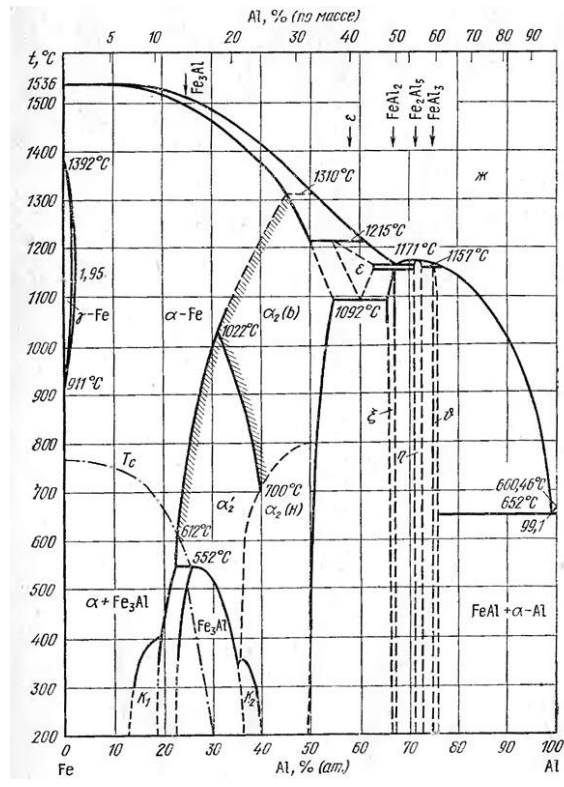


Figure 3 - State diagram of Al-Fe

Under equilibrium conditions, aluminum and iron form solid solutions, intermetallic compounds, and eutectics.

Iron, which is in the form of chemical compounds, determines the mechanical properties of alloys of the Fe-Al system. An increase in the iron content in the alloy leads to an increase in hardness and strength, as well as to a decrease in ductility. [16].

1.4 Ti-Al-Me ternary system

In powder metallurgy, the products obtained are the result of the interaction of three or more components, and not just two. When creating alloys based on titanium aluminides, it is necessary to establish regularities about the influence of the third element on the structural-phase states in the Ti-Al-Me ternary systems.

The main ternary system on which all industrial titanium alloys are based is the Ti-Al-Me type system. At the same time, Me is an element that is a stabilizer of

β -Ti. As a rule, these are elements of the V, Cr, Mo and Mn types. Aluminum limits the β -Ti solid solution prohibition region. Alloying of aluminum alloys with titanium Beginning of the transition point $\alpha \rightarrow \beta$. Aluminum dissolves well in β -Ti, which leads to a high stability of this crystalline modification of titanium. Aluminum adds solubility to isomorphous and eutectoid-forming β -stabilizers in β -Ti.

In the series of alloying elements $V \rightarrow Cr \rightarrow Mn \rightarrow Fe \rightarrow Co \rightarrow Ni \rightarrow Cu$, a decrease in the size of the homogeneity regions of the solid solution based on β -Ti is observed (Fig. 4). In this case, an increase in the number of intermetallic compounds inside isothermal triangles is observed. The presence of iron expands the β region and can provide the formation of finely dispersed intermetallic compounds necessary to achieve high hardness. [17,18]

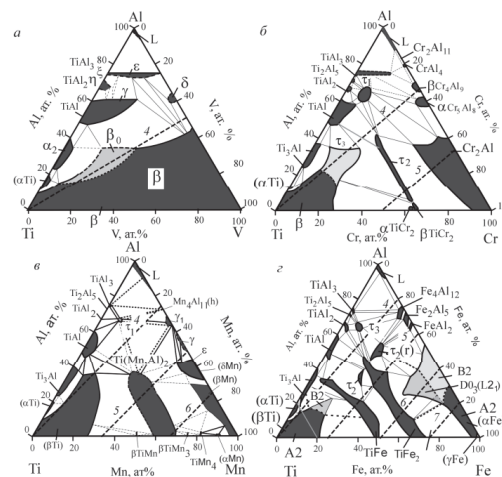


Figure 4 - Isothermal sections at temperatures from 900 to 1000 °C of triple phase diagrams of Ti-Al-Me systems

In thermodynamic calculations of three binary alloys based on Ti-Al, Al-Fe, Ti-Fe and the ternary system Ti-Al-Fe to determine the interaction activity, it was determined that the strongest chemical interaction between Al and Fe, and the weakest between Ti and Fe.[19]

In article [20], the authors noted that alloys of the Fe-Al-Ti system have a wide variety of microstructures. Also, according to the results of the research, an increase in hardness and strength was noticed in the presence of two or more phases

in the alloy. But at the same time, the creep activation energy is in the range of 400-600 kJ/mol and is approximately twice the diffusion activation energy indicated for Fe in Fe-Al alloys. This difference can be explained by possible changes in the microstructure during testing.

The Ti-Al-Fe system is used to create alloys that have a unique set of properties such as low density, high strength and heat resistance, oxidation resistance and tissue biocompatibility. These alloys are widely used in the aerospace industry, medicine for the creation of surgical implants, as well as a hydrogen trap and other purposes.[21]

There is a lot of information in the literature about the interaction of titanium, aluminum and iron, both in one system and in combination with other elements or oxides. Thus, it was determined in article [22] that during the reaction sintering of multicomponent systems ($\text{Ti} + \text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ and $\text{Ti} + \text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3$) containing both metals and non-metals, conditions are created for the formation of complex solutions and double oxides and the probability of formation of intermetallic compounds. In addition to this, when studying the mechanism of synthesis of Ti-Al-Fe- Fe_2O_3 powder mixtures, the importance of the contact area of the components and their combination in the mixture is noted. As a result of the synthesis of samples with different combinations of components, it was determined that the oxidized steel swarf containing Fe_2O_3 react with titanium and aluminum almost identically, like pure iron. However, samples of a mixture of titanium and aluminum with pure oxide Fe_2O_3 after sintering lost their integrity of the form as a result of an exothermic reaction, in contrast to samples with iron and acidified swarf. [23]

The author of article [24] considered the Al-TiO₂-C-Ti-Fe system. As a result of interaction within the system, exothermic reactions occurred with the formation of intermetallic compounds. At lower temperatures, the reaction between Fe and Al and also between Ti and Al was dominant; at higher temperatures, the reaction between Fe and Ti was observed as a result of diffusion. The final product of the synthesis are 3 stable products Fe, TiC and Al₂O₃.

Since oxides can be present in powder mixtures, it is possible to consider within the system a reduction reaction - metallothermy.

1.5 Aluminothermy

Metaltherm (from metals and Greek therme - heat, heat) - metallurgical processes based on the reduction of metals from their compounds (oxides, halides, etc.) with more active metals, and proceeding with the release of heat (aluminothermy, magnesiumthermy, etc.). [25]

Among metallothermic processes, aluminothermy is the most common. This method produces alloys of most technically important metals (Nb, Ti, W, Zr, Cr, Ba, Ca, V, Ta, Sr), which are used for alloying steels, cast irons and non-ferrous metals and as starting materials for the production of the metals themselves. Aluminothermy began with the experiments of the Russian scientist Nikolai Beketov. Nikolai Beketov conducted experiments that showed that aluminum is able to restore metals from their oxides at high temperatures. This reaction was first used for the carbon-free reduction of metal oxides. Although the reaction is highly exothermic, it requires a high activation energy due to the strong interatomic bonds in the solid that must be broken first.

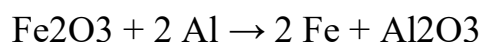
Aluminothermic processes are divided into 3 main groups:[26]

- processes in which, due to the exothermic effect of the reaction, more heat is released than is necessary for the normal course of the reaction (melting of all components, separation of the metal and slag phases as a result of the difference in the density of the melts);
- processes in which more heat is released than is necessary to melt the reaction products, but not enough to cover heat losses;
- processes in which heat is released in insufficient quantities to melt the reaction products.

The combination of aluminum with oxygen is accompanied by a huge release of heat, much more than with many other metals. In this regard, when the mixture of

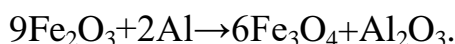
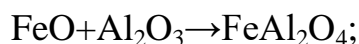
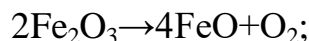
the corresponding metal oxide and aluminum powder is heated, a violent reaction occurs, which leads to the release of free metal from the absorbed oxide.

Aluminothermic reactions are exothermic chemical reactions using aluminum as a reducing agent at high temperature. The process is industrially useful for the production of iron alloys [27]. The most striking example is the thermite reaction between iron oxides and aluminum to form iron itself:



This particular reaction, however, is not relevant to the most important application of aluminothermic reactions, the production of ferroalloys. For the production of iron, a cheaper reducing agent, coke, is used instead of a carbothermic reaction.

In the works, data on the mechanism of iron reduction from aluminum oxide are different for different authors. Thus, some authors proposed the following additional steps in the reaction mechanism:



In another work, the authors distinguish 18 possible stages based on the analysis of the reaction products in mixtures of Al and Fe₂O₃ prepared in different ways. In any case, the double oxide FeAl₂O₄ is present in the products. [22]