

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
 Отделение школы (НОЦ) Отделение машиностроения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование влияния температуры вакуумного спекания на формирование структуры активированных порошковых смесей системы Ti-C

УДК 536.3:621.762.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ0К	Скипин Андрей Андреевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ ИШНПТ	Коростелева Е.Н.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов М.А.	Д.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОТД	Антоневич О.А.	К.б.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Мартюшев Н.В.			

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способностью управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способностью организовать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способностью применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способностью анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способностью определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
ДУК(У)-1	Способность на научной основе организовывать свой труд, самостоятельно оценивать результаты своей деятельности, владеть навыками самостоятельной работы в сфере проведения научных исследований, создавать и редактировать тексты профессионального назначения
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способность использовать иностранный язык в профессиональной сфере
ОПК(У)-4	Способность осуществлять экспертизу технической документации

ОПК(У)-5	Способность 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, по разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов
ОПК(У)-6	Способность к работе в многонациональных коллективах, в том числе при работе над междисциплинарными и инновационными
ОПК(У)-7	Способность обеспечивать защиту и оценку стоимости объектов интеллектуальной деятельности
ОПК(У)-8	Способность проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-9	Способность обеспечивать управление программами освоения новой продукции и технологий, проводить оценку производственных и непроизводственных затрат на обеспечение требуемого качества продукции, анализировать результаты деятельности производственных подразделений
ОПК(У)-10	Способность организовывать работу по повышению научно-технических знаний работников
ОПК(У)-11	Способность подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
ОПК(У)-12	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
ОПК(У)-13	Способность разрабатывать методические и нормативные документы, предложения и проводить мероприятия по реализации разработанных проектов и программ в области машиностроения
ОПК(У)-14	Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении

Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность организовать и проводить научные исследования, связанные с разработкой проектов и программ, проводить работы по стандартизации технических средств, систем, процессов оборудования и материалов
ПК(У)-2	Способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых машин, приводов, систем, процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов с анализом их результатов
ПК(У)-3	Способность и готовность использовать современные психолого-педагогические теории и методы в профессиональной деятельности
ДПК (У)-1	Способность разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, приводов, оборудования, систем и нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ДПК (У)-2	Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения в области профессиональной деятельности
ДПК (У)-3	Способность 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 (специальность) 15.04.01. Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ) Отделение машиностроения

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Мартюшев
 Н.В.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ0К	Скипину Андрею Андреевичу

Тема работы:

Исследование влияния температуры вакуумного спекания на формирование структуры активированных порошковых смесей системы Ti-C	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	03.02.2022, № 34-75/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования являются порошковые материалы на основе титана с малым содержанием углерода, спеченные при разных температурах. Проведен экономический анализ эффективности научной разработки, а также рассмотрены вопросы социальной ответственности.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Изучение литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки в области получения и применения композиционных материалов на основе титана с карбидной фазой; актуальность работы и постановка задачи; методы получения и исследования объекта исследования; анализ результатов выполненной работы; заключение</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p><i>Финансовый менеджмент...</i></p>	<p>М.А. Гасанов, д.э.н., профессор ОСГН, НИ ТПУ</p>
<p><i>Социальная ответственность</i></p>	<p>О.А. Антоневиц, к.б.н., доцент ОТД, НИ ТПУ</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Основная часть, Литературный обзор, Материалы и методы исследований, Результаты исследования, Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, Социальная ответственность – русский язык</p>	
<p>На иностранном языке выполнены следующие разделы диссертации – Abstract, Materials and methods of research</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>13.12.2021</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент ОмШ ИШНПТ</p>	<p>Коростелева Е.Н.</p>	<p>к.т.н.</p>		<p>13.12.2021</p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>4АМ0К</p>	<p>Скипин Андрей Андреевич</p>		<p>13.12.2021</p>

Реферат

Выпускная квалификационная работа 120 стр., 30 рис., 37 источников, 32 таблицы.

Ключевые слова: порошковая металлургия, порошковые материалы, пористость, размер зерна, рентгеноструктурный анализ.

Объектом исследования являются порошковые материалы на основе титана с малым содержанием углерода, спеченные при разных температурах

Цель работы: Исследование структуры и характеристик образцов из порошковых композиций титана с разным содержанием углерода (сажей)

В процессе исследования проводилось исследование структуры объекта исследования при помощи оптического микроскопа, измерялись плотность, пористость на программе SIAMS, рассчитывался размер зерна, проводился рентгеноструктурный анализ. Идентификацию фаз по результатам рентгеноструктурного анализа проводили с применением базы рентгеновских данных ASTM, а обработку первичных результатов – с использованием программы PDWIN.

В результате исследования были получены компактные образцы порошковых композиций титана с разным содержанием углерода (сажей) (от 0 до 1 вес.%) с пористостью после спекания в диапазоне 15-29 % и средним размером зерна 106 ± 6 мкм.

В процессе проведения исследований было проанализировано влияние температуры спекания и содержания углерода на формирование структуры спеченных композитов на основе титана.

Abstract

Final qualifying work 120 p., 31 fig., 37 sources, 32 tables.

Keywords: powder metallurgy, powder materials, porosity, grain size, X-ray diffraction analysis.

The object of the study is titanium-based powder materials with a low carbon content, sintered at different temperatures

The purpose of the work: To study the structure and characteristics of samples from titanium powder compositions with different carbon content (soot)

In the course of the study, the structure of the object of study was studied using an optical microscope, density and porosity were measured using the SIAMS program, grain size was calculated, and X-ray diffraction analysis was performed. Phase identification based on the results of X-ray diffraction analysis was carried out using the ASTM X-ray database, and processing of primary results was carried out using the PDWIN program.

As a result of the study, compact samples of titanium powder compositions with different carbon content (soot) were obtained (from 0 to 1 weight.%) with porosity after sintering in the range of 15-29% and an average grain size of 106 ± 6 microns.

In the course of the research, the influence of sintering temperature and carbon content on the formation of the structure of sintered titanium-based composites was analyzed.

Содержание

Введение.....	12
1. Литературный обзор	15
1.1. Металломатричные композиты на основе титана	15
1.2. Порошковые материалы с карбидом титана	22
1.3. Порошковые технологии.....	26
1.3.1. Приготовление смеси(шихты).....	26
1.3.2. Режимы формования (прессования)	29
1.3.3. Режимы спекания.....	30
1.3.3.1. Спекание однокомпонентных систем	32
1.3.3.2. Спекание многокомпонентных систем	33
1.3.3.3. Спекание многокомпонентных систем	34
1.3.3.4. Спекание систем с полной взаимной растворимостью компонентов.....	35
1.3.3.5. Спекание систем с ограниченной растворимостью компонентов	37
2. Материалы и методики исследования	39
2.1. Материал для исследования	39
2.2. Смешивание порошков	40
2.3. Прессование порошковых композиций.....	42
2.4. Структурные исследования	43
2.4.1. Подготовка поверхности.....	44
2.4.2. Работа с микроскопом	46
2.5. Определение плотности	48
2.6. Определение пористости	48
2.7. Подсчет размера зерна	49
2.8. Рентгеноструктурный анализ	49
3. Экспериментальная часть	51
3.1. Рентгеноструктурный анализ	51
3.2. Поведение прессовок после спекания	52
3.3. Анализ микроструктуры	56

3.4.	Определение размера карбидных частиц	58
3.5.	Рентгеноструктурный анализ спеченных образцов из порошковых смесей ПТМ+0.2%С, спеченных при 1100°С	59
3.6.	Заключение по разделу.....	61
4.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	63
4.1.	Потенциальные потребители результатов исследования	64
4.2.	Анализ конкурентных технических решений.....	64
4.3.	SWOT-анализ	66
4.4.	Планирование научно-исследовательских работ	69
4.4.1.	Структура работ в рамках научного исследования.....	69
4.4.2.	Разработка графика проведения научного исследования	70
4.4.3.	Бюджет научно-технического исследования	73
4.4.3.1.	Расчет материальных затрат НТИ	73
4.4.3.2.	Расчет затрат на специальное оборудование НТИ	74
4.4.3.3.	Основная заработная плата исполнителей темы.....	76
4.4.3.4.	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	77
4.4.3.5.	Отчисления во внебюджетные фонды	77
4.4.3.6.	Формирование бюджета затрат НТИ	78
4.4.4.	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	79
5.	Социальная ответственность	85
5.1.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ..	85
5.1.1.	Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.	85
5.1.2.	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.	87
5.2.	Производственная безопасность	91
5.2.1.	Анализ вредных факторов	91

5.2.1.1. Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении рабочего	92
5.2.1.2. Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума	93
5.2.1.3. Производственные факторы, связанные с повышенным уровнем ионизирующего излучения.....	94
5.2.1.4. Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения.....	96
5.2.2. Анализ опасных факторов	98
5.2.2.1. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий.....	98
5.2.2.2. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека	99
5.3. Экологическая безопасность	99
5.3.1. Воздействие на селитебную зону.....	99
5.3.2. Воздействие на гидросферу и атмосферу	100
5.3.3. Воздействие на литосферу.....	100
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях (ЧС)	101
Заключение по работе	105
Список литературы	106
Приложение А	110

ВВЕДЕНИЕ

Титановые сплавы являются привлекательными инженерными материалами для применения в аэрокосмической, автомобильной и военной областях благодаря их низкой плотности, немагнитности, желательной коррозионной стойкости и превосходной прочности при комнатной и высокой температуре. Для дальнейшего повышения прочности и расширения их применения изготавливают композиты с титановой матрицей (ТМК) путем добавления керамических добавок, таких как TiB и TiC. Основываясь на идее адаптации микроструктуры, также подготавливаются ТМК с новой структурой для достижения высокой прочности и ударной вязкости. Конструированные композиты TiB / Ti-6Al-4V с равноосной сетчатой микроструктурой, которые эффективно сочетают компромисс прочности и пластичности ТМК.

Также изучены такие вопросы, как изменение частиц карбида титана в композитах с металлической матрицей Ti-TiC, где была определена тенденция к равновесию композита, а также изменение состава по сравнению с исходным стехиометрическим значением на границе, богатой Ti, что и повлекло достижение термодинамического равновесия между матрицей и армированием. Это явление связано с растворением мельчайших частиц TiC с последующим значительным увеличением среднего диаметра оставшихся частиц. Увеличение диаметра, связанное с неоднородным распределением частиц TiC в композите, приводит к инициированию явления агрегации, ответственного за высокую скорость роста (в 8 раз), которая наблюдалась для кажущегося размера частиц во время стадии уплотнения при 920°C. Наконец, было обнаружено, что классический механизм созревания по Оствальду активен, чтобы

объяснить рост частиц TiC, главным образом при длительной термической обработке.

Карбид титана (TiC) материал с уникальными свойствами, к которым относятся достаточно высокая температура плавления (3260 °C), высокая твердость (9 - 9,5 по шкале Мооса), низкое электросопротивление, высокая теплопроводность, стойкость в агрессивных средах и к абразивному износу.

Материалы, содержащие карбид титана все больше и больше используют в технике, и с каждым днем происходят новые открытия и публикуются статьи. К таким открытиям можно отнести:

- Разработку и быстрый темп развития производства безвольфрамовых твердых сплавов основой которых является карбида титана.

На данный момент исследовательским институтам и другим организациям не удалось найти такой состав сплава с основой карбида титана, который превосходил бы по всем показателям твердые сплавы из вольфрама, и это значит, что пока не во всех случаях им есть замена. Но совершенствование в этом направлении, а самое главное все более растущая дефицитность вольфрама и его соединений и как следствие рост его стоимости, делают сплавы на основе карбида титана и их применение в различных отраслях более перспективными.

- открытие отдельного технического направления, которое несет за собой работу по нанесению покрытий из TiC на различные изделия (инструментальные, конструкционные и др.). В рамках этого направления разработаны различные промышленные методики нанесения покрытий из карбида титана, а ведущие фирмы, вкладываясь в перспективность проекта большую часть инструментов выпускают с покрытием из карбида титана, при чем в ближайшее время процент производства таких инструментов планируют значительно увеличить.

Развитие этих направлений в свою очередь повлекли за собой увеличение масштабов производства и изготовления изделий из карбида титана, а корпорации заставило качественно улучшить способы и методики его получения. Стали больше уделять внимания высокой дисперсности порошка, увеличению производительности, при малой энергоёмкости, чистоте и качеству конечного продукта, доступности исходного сырья. В результате возникли новые способы получения карбида титана, отвечающие одному или нескольким из этих критериев. Из них наиболее выделяются:

- плазменный синтез, который позволяет получить высокую дисперсность частиц карбида титана
- самораспространяющийся высокотемпературный синтез – он способствовал увеличению производительности
- карбидизация и размол стружковых отходов титана, что уменьшило стоимость.

В связи с этим, исследование металломатричных композитов на основе титана с карбидной фазой является актуальными. В данной работе были выбраны для исследования порошковые материалы на основе титана с добавлением малого количества углерода (сажи), не превышающего 1 вес.%. Одной из основных задач проводимого исследования было определение влияния температуры спекания на формируемые структурные характеристики спеченных металломатричных композитов на основе титана.

1. Литературный обзор

1.1. Металломатричные композиты на основе титана

Одним из новых классов гетерофазных конструкционных материалов являются композиционные материалы (КМ) на металлической основе. В состав таких материалов входят в первую очередь пластичные металлические матрицы, а также высокопрочные и высокомодульные наполнители. Также для металломатричных КМ характерно сочетание таких свойств как:

- высокие удельные жесткость и прочность
- вязкость разрушения
- электро- и теплопроводность
- износостойкость

Государственное финансирование научных и технологических разработок имеет множество направлений по поиску и развитию новых материалов, в том числе и МКМ, а на их основе уже создаются многофункциональные высокопрочные конструкционные материалы.

Сочетание преимуществ конструкционных материалов из различных металлов и наполнителя (чаще всего используются высокомодульные керамические наполнители) являются отличительной особенностью КМ с металлической матрицей. По этой причине металлическим композитам характерны довольно высокие значения характеристик прочности, вязкости разрушения, модулей упругости, сюда же можно отнести малую чувствительность к поверхностным дефектам и сохранение стабильности механических и эксплуатационных свойств в широком диапазоне температур.

Преимущество КМ с металлическими матрицами перед традиционными материалами является бесспорным, но тем не менее их производство и применение немасштабно. Необходимо сформировать

общие принципы конструирования МКМ и накопить опыт в эксплуатации изделий из них, при этом не стоит забывать и про совершенствование и модернизацию технологий и дальнейшую разработку составов

Темпы роста производства в мире слишком обширны и необходимость внедрения производства металломатричных композитов и изделий из них становится явной. На сегодняшний день производство изделий из МКМ находится на уровне самокупаемости и развернуто в странах, входящих в «Большую семерку», Китае и др. Опыт применения и очевидные преимущества по сравнению с традиционно используемыми конструкционными материалами показывает необходимость успешного внедрения металломатричных композитов на рынок современных конструкционных материалов. [1]

Пластичная металлическая матрица имеет ряд преимуществ, одним из которых является прочная связь между ее компонентами, что влечет за собой при относительно небольшой длине волокон передачу на них нагрузки. Модуль упругости матрицы при малых деформациях растет, также снижается чувствительность к концентраторам напряжений; а кроме этого при недолговременных нагрузках сохраняется высокая прочность композиции даже если почти достигнута температура плавления матрицы. [2]

Ведущими исследовательскими бюро всегда ставят максимально актуальные задачи по исследованию различных материалов, стратегически важных для промышленности, имеющих высокие характеристики и в особенности способных заменить материалы с худшими свойствами. Титановые сплавы разумеется входят в этот список, поскольку такие композиты имеют огромное количество преимуществ и широкий спектр характеристик (например, их коррозионная стойкость или высокая прочность). Также началась разработка металломатричных композитов,

поскольку наука не стоит на месте и ведутся исследования для еще большего увеличения области применения сплавов из титана.

Перебираются сотни вариантов для выбора наиболее подходящего материала в качестве упрочнителя матрицы и не последний из них моноборид титана, материал с отличным сочетанием характеристик. Близкий к титану коэффициент термического расширения и низкий модуль упругости в комплексе с высоким показателем модуля Юнга, делают его одним из приоритетных вариантов в качестве упрочнителя. А если еще учесть и другие его свойства, в частности химическую инертность по отношению к матрице или высокую адгезионную прочность, делают моноборид титана еще более привлекательным, по сравнению с материалами, не обладающими стольким одновременным набором свойств. [4]

Таблица 1.1 - Свойства возможных упрочнителей титановой матрицы[3]

Характеристика	Материал для упрочнения								
	Ti	TiB	TiC	TiB	TiB ₂	SiC	Si ₃ N ₄	B ₄ C	Al ₂ O ₃
ρ , г/см ³	4,57	5,53	4,92	4,56	4,52	3,21	3,29	2,52	4,1
E, ГПа	110	390	460	371	529	420	320	449	350
Коэф. Термического расширения при 20 °С, (*10 ⁻⁶)	8,8	9,35	7,4	8,6	6,4	4,3	3,2	4,5	8,1

Также проводились исследования армированных систем титана с углеродом. При использовании промежуточной матрицы из титана волокна композита системы Ti-C с низкой температурой плавления оказались с тоненьким покрытием карбида титана. Получаемые композиты по вышеописанной технологии, изложенной в серии экспериментов, когда

легкоплавкой промежуточной матрицей была эвтектика Ti–Ti₅Si₃, а волокнами служила низко модульная лента ЛУ-2, характеризуются высокими механическими свойствами. Информация об упругих свойствах такого типа композитов собрана в таблице 1.2. Прочность композитов при комнатной температуре невысока (около 500 МПа), что по-видимому, являлось результатом падения эффективной прочности волокна вследствие образования, несущего в себе дефекты достаточно толстого, около 1 мкм, карбидного слоя.

Однако такая структура получалась по схеме, которую трудно было трансформировать в промышленную технологию, более того, она позволяла получать лишь элементы конструкций относительно небольших размеров. Разработанная более гибкая схема (в настоящее время патентуется) позволяет вести процесс в контролируемом режиме и получать при этом крупногабаритные элементы конструкций. [6]

Таблица 1.2 - Характеристики структуры и модулей упругости композитов [6]

Объемное содержание компонентов			Плотность	E _в направлении армирования	Удельный модуль Юнга композита	Удельный модуль Юнга Ti
Ti	Ti-Ti ₅ Si ₃	TiC+C				
0,65	0,10	0,25	г/см ³	ГПа	(м/с) ²	22,2
			3,72	190	51,1	
0,60	0,10	0,30	3,55	200	56,3	
0,48	0,12	0,40	3,22	210	65,2	

В общем контексте конструкционных решений в аэрокосмической промышленности композитные материалы с металлической матрицей (ММС) за последние десятилетия вызвали большой интерес из-за их высокие удельные механические свойства (относительно плотности) по

сравнению с существующими металлическими сплавами. Из волокон или дисперсных материалов, используемых в качестве армирования для композитов на основе Ti, карбид титана (TiC) был широко исследован из-за его превосходной химической совместимости с матричными сплавами. Композиты Ti-TiC могут быть получены различными способами, хотя наиболее широко используется классический способ порошковой металлургии. [7]

Углерод сильно влияет на свойства титана. Система титан — углерод (рисунок 1.1) по своему характеру относится к перитектическим системам с химическими соединениями. В этой системе наблюдается перитектический распад β -фазы при ограниченной растворимости углерода в β - и α -титане

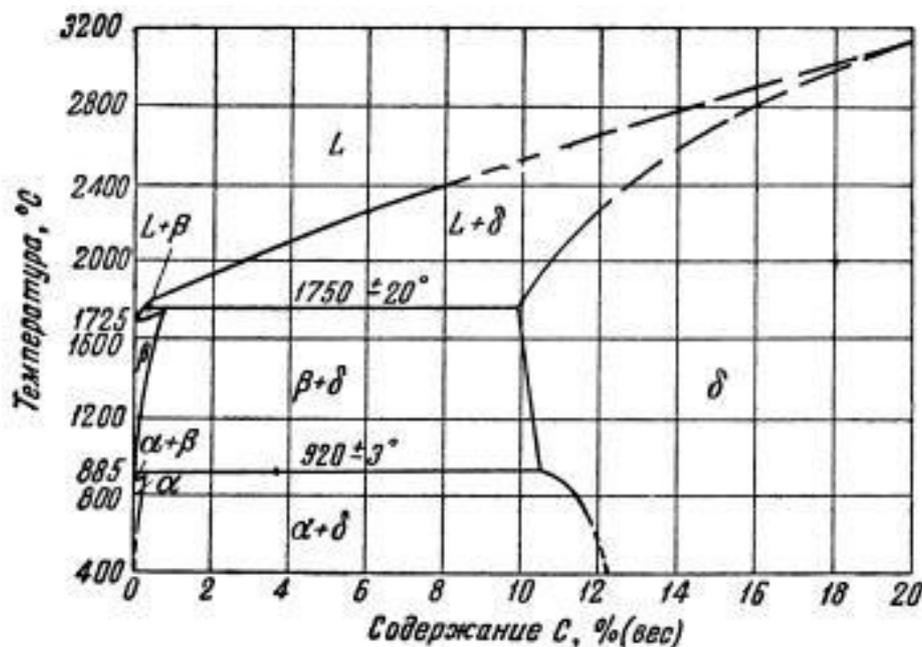


Рисунок 1.1 – Диаграмма состояния Ti-C

Повышение температуры полиморфного превращения с 882 градусов до 920 связано с тем что углерод в системе — это α -стабилизатор.

При 0,48% углерода и 920° происходит перитектоидное превращение $\beta + \delta \rightleftharpoons \alpha$.

При высоких температурах углерод энергично соединяется с титаном и образует тугоплавкий карбид титана TiC , который обладает высокой твердостью и высокой температурой плавления (свыше 3000°). [7]

Растворимость углерода в титане значительно уменьшается с понижением температуры. В результате незначительной растворимости углерода в α - и β -титане уже десятые доли процента углерода в сплавах титана с углеродом вызывают хрупкость, так как выделяется карбид титана.

Из рисунка 1.2 видно, что до 0,25% содержания углерода при линейном увеличении прочности сплава, пластичность становится меньше. Влияние углерода на механические свойства титана представлено на рисунке 1.2. Как видно, прочность сплавов увеличивается линейно до 0,25% углерода, пластичность сплавов изменяется в обратном направлении, при большем содержании углерода прочность идет на небольшой спад, а пластичность уменьшается так же последовательно. [7]

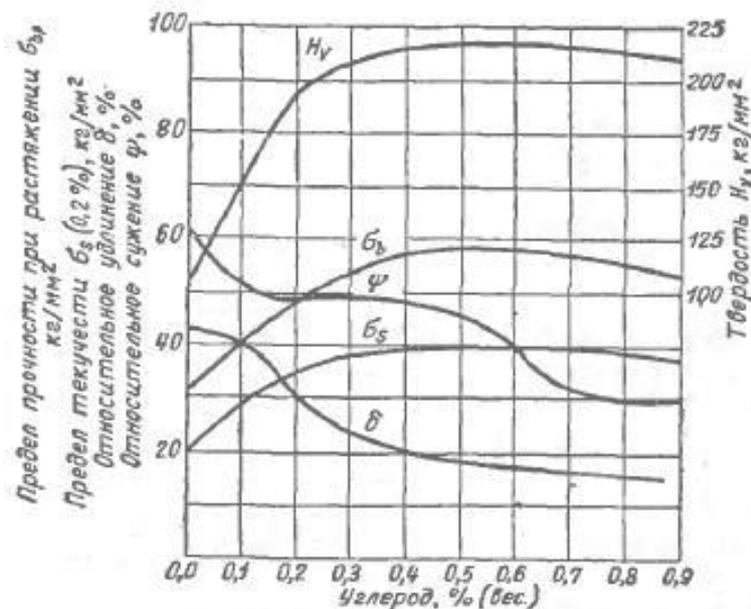
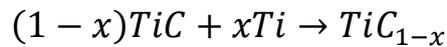


Рисунок 1.2 – Влияние углерода на механические свойства титана

Из бинарной фазовой диаграммы $Ti-C$ (рисунок 1.3) ожидаемое взаимодействие между матрицей на основе αTi и коммерческими

стехиометрическими частицами TiC состоит в образовании субстехиометрической формы карбида в соответствии с реакцией:



В различных исследованиях уже сообщалось об экспериментальных доказательствах этой тенденции к термодинамическому равновесию в бинарной системе Ti-C.[7]

Существует несколько экспериментальных исследований CP-nTi, в которых наблюдались частицы TiC. Например, наблюдались когерентные частицы Ti-C в nTi, предполагают существование частиц со стехиометрией Ti₂C, в других исследованиях наблюдались только частицы TiC, а в-третьих не наблюдали частиц, но обнаружили повышенную концентрацию C, N и O на границах зерен в nTi. Наконец, есть работа, в которой CP Ti был легирован дополнительными атомами C и Si. В результате происходит образование осадков Ti-C, Ti-Si и повышение термической стабильности nTi.

Тем не менее информация о кристаллической структуре частиц, определяющих взаимодействие с границами зерен, является неполной, а в некоторых случаях отсутствует. Малые размеры частиц и их метастабильный характер являются основным ограничением для их экспериментального исследования. Из расширенного обзора системы TiC известно, что существуют различные возможности для кристаллической структуры частиц TiC. Тем не менее, система TiC хорошо изучена и установлена экспериментально, сообщалось о совершенно разных температурах упорядочения и диапазонах концентраций существования. Самые последние фазовые диаграммы TiC содержат многие структуры TiC, но во всех случаях отсутствует информация о дисперсных фазах (осадках) в области углерода с низкой концентрацией.

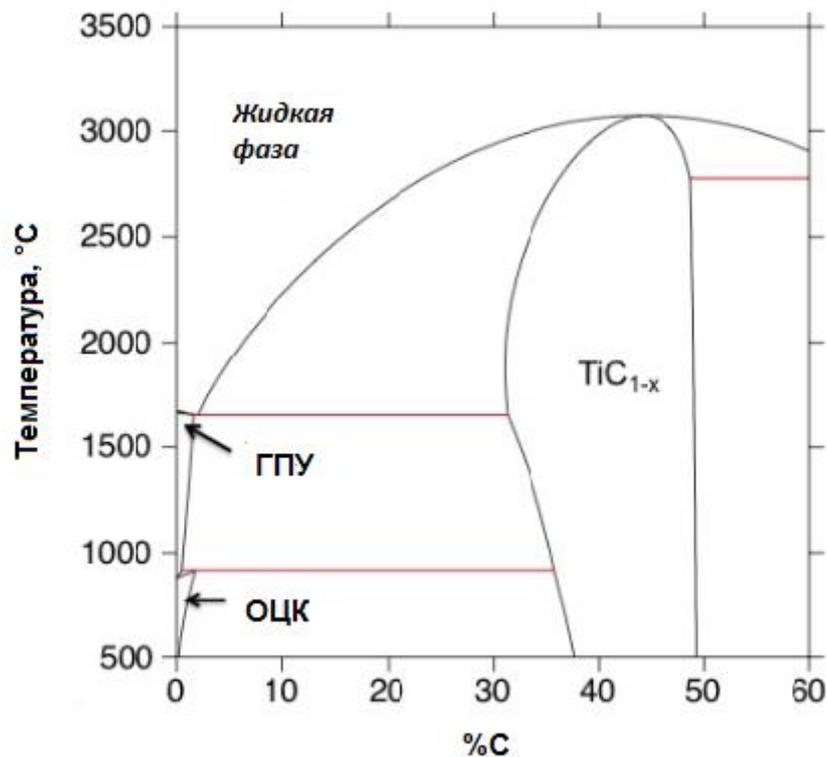


Рисунок 1.3 - Рассчитанная бинарная фазовая диаграмма Ti-C

Отсутствие информации о структуре осадков TiC в зависимости от температуры является фактором, препятствующим исследованию термической стабильности сплавов α -Ti. Механические свойства осадков TiC, которые влияют на свойства матрицы, также неизвестны. Однако недостаток информации о структуре и механических свойствах частиц TiC может быть устранен с помощью методов компьютерного моделирования. [9]

1.2. Порошковые материалы с карбидом титана

Используя порошки титана и углерода самораспространяющимся высокотемпературным синтезом, производится карбид титана, который содержит около 79,3 – 79,6 % Ti, $C_{\text{своб}}$ - 0,18–0,28 % и $C_{\text{связ}}$ - 18,12–19,42 %, с последующей отличной экономической эффективностью. При

эксплуатации порошков дисперсностью менее 100 мкм можно достичь лучших результатов, нежели с порошками, дисперсность которых выше.

Имеющие высокую температуру плавления тугоплавкие соединения титана такие как карбонитрид, карбид и нитрид (3127, 3160, 2950 °С, соответственно) для наукоемких технологий широкого спектра производств. Так рутил и титанат бария служат основными материалами для производства титановой керамики, кроме того ведется использование в качестве сегнетоэлектриков титаната бария в комплексе с титанатом свинца. [10]

Применяемый для создания жаропрочных композиционных материалов и обработки металлов в машиностроении карбид титана, также входит в составы инструментальных твердых сплавов, поскольку имеет высокие показатели твердости. Уступающие по нескольким характеристикам твердым сплавам на основе вольфрама и кобальта, основным недостатком которых является их высокая стоимость и дефицитность, твердые сплавы на основе карбида титана со связующим Ni позволяют заменить эти очень важные стратегически материалы. Государственные инвестиции в сферу исследований позволяют расширять знания и совершенствуют возможности использования этих сплавов. [11]

Сплавы, разработанные на базе TiC (такие как ТНМ) и TiCN (такие как КТНМ), существенно превосходят стандартные сплавы по окалинстойкости. Более дорогие титано-вольфрамокобальтовые сплавы ТК разрушаются при отжиге при температуре 900–1000 °С с изотермической выдержкой продолжительностью от 30 до 60 минут. При этих же условиях карбидные и карбонитридные титановые сплавы не изменяются вообще, а при увеличении времени выдержки до 10-20 часов изменяют лишь только свой цвет. Это образование на поверхности сплавов своеобразной защитной оксидной пленки, которая представляет собой прочно соединенную с основой твердую смазку, состоящую из соединения

диоксида титана и молибдата никеля. Также из достоинств безвольфрамовых сплавов ТНМ и КТНМ можно отметить их пониженную склонность к адгезионному взаимодействию, по сравнению с тем же дорогим титано-вольфрамокобальтовым сплавом Т15К6. [12]

Также если сравнивать с титано-вольфрамокобальтовыми и с вольфрамокобальтовыми сплавами, обнаружим что пониженная реакционная способность ТНМ и КТНМ, и их повышенная жаропрочность может реализовываться при токарной обработке цветных металлов, их сплавов и других вязких и пластичных материалов. К примеру, при черновой и чистовой обработке медных сплавов сплавы на основе карбида титана превосходят в 1,5–2 раза по стойкости сплавы Т15К6, ВК8, при этом чистота обрабатываемой поверхности во всех случаях повышается на один-два класса, а производительность увеличивается в 2 раза. [13]

Карбидостали или ферротикары – это отдельный класс сплавов, представляющий собой нечто среднее между твердыми сплавами и быстрорежущими сталями, при чем преимущество их заключается в том, что они имеют коэффициент трения гораздо более низкий, чем у любого из используемых в настоящее время на производствах, а также могут в каких-то отдельных случаях быть преимущественно лучше, чем твердые сплавы по определенному набору характеристик, таких как пластичность, термостойкость и износостойкость. [12]

По назначению карбидостали могут использоваться в различных отраслях и исходя из задач, которые изделие будет выполнять изготавливаются различные стальные матрицы (углеродистые и легированные, конструкционные и инструментальные, нержавеющие и пр.) Благодаря своим характеристикам спектр их использования очень широк от производства деталей подвергающихся интенсивному (втулки, зубчатые колеса, кулачки и др.) и гидроабразивному износу до

производства деталей, необходимых для работы в коррозионных средах или при повышенных температурах. [13]

Сочетание механических свойств сталей и твердости с износостойкостью карбида титана, делает карбидостали уникальным материалом, а также материалом над которым возможно провести термическую обработку. Задачи перед изделиями из таких материалов стоят самые различные и их состав должен подбираться с таким расчетом, чтобы эти задачи было возможно соблюсти, получив хорошие физические и технологические характеристики. Также нельзя забывать и про технологию изготовления изделий, особое внимание нужно уделять стадиям спекания композиций и их термической обработки. Например, хромистая высокоуглеродистая инструментальная сталь обеспечивает значительную твердость после термической обработки, однако не обладает такой вязкостью и сопротивлением тепловому удару, как термически обработанные низколегированные стали, или коррозионной стойкостью как аустенитная нержавеющая сталь. [13]

Присутствие сверхтвердых округлых зерен карбида титана повышает износостойкость материала и защищает основу от коррозии.

В соответствии с требованиями к составу определенной карбидостали, проще и лучше изготавливать смеси металлических порошков (Fe, Ni, Cr, TiC и др) закупая нужные компоненты отдельно, а не применяя порошки легированных сталей. Если в состав карбидостали необходимо добавить порошок хрома, то лучше ввести в смесь феррохром, поскольку он дешевле и получить его проще. При соответствующей корректировке технологических режимов свойства карбидостали TiC - X12M практически не отличаются в этих случаях.

Давно всем известно, что износостойкие защитные покрытия на основе карбида титана широко используются, благодаря своей эффективности, а если в состав, наносимого на поверхность, композита

добавить железо, то можно обеспечить прочную связь между покрытием и подложкой по причине достижения близости коэффициентов теплового расширения. [12,13].

Материалы с износостойкими покрытиями из TiC - металлы группы железа, полученными плазменным напылением, применяются в производстве деталей ковшей землеройных машин, буров для добычи нефти, сельскохозяйственных машин, молотов в молотковых мельницах, установок для подачи руды и т.д., т.е. в тех областях, где имеется сильный абразивный износ, эрозия и коррозия в самых различных сочетаниях [12].

1.3. Порошковые технологии

1.3.1. Приготовление смеси(шихты)

Смешивание – это изготовление механической однородной смеси из порошков различного химического и гранулометрического состава при помощи специального оборудования – смесителей, но если оборудование для смешивания порошков нет или оно в ремонте, то можно также использовать специальные небольшого размера керамические емкости (ступки) и пестики, но эффективность ручного смешивания, конечно же значительно ниже. Если же крайне важно для дальнейшей работы иметь хорошо перемешанную порошковую смесь, без слипшихся частиц и пр. можно оформить заказ готовой порошковой смеси для дальнейшего ее формования.

На результат смешивания влияют несколько факторов, такие как форма и величина частиц, коэффициент трения между этими частицами, слипаются частицы или нет, число смешиваемых компонентов и многие другие факторы, которые при проведении процесса смешивания необходимо учитывать. [14]

Шаровые мельницы (рисунок 1.4) наиболее распространены, поскольку многофункциональны и позволяют одновременно с процессом механического смешивания производить процесс измельчения компонентов в более мелкодисперсные. Но бывает так что нежелательно производить размол при смешивании, тогда используют другие смесители. К ним можно отнести к примеру, шнековые или барабанные смесители, планетарные, двухконусные и многие другие. У каждого из них есть свои преимущества и недостатки и выбор стоит делать, исходя из конкретной задачи.

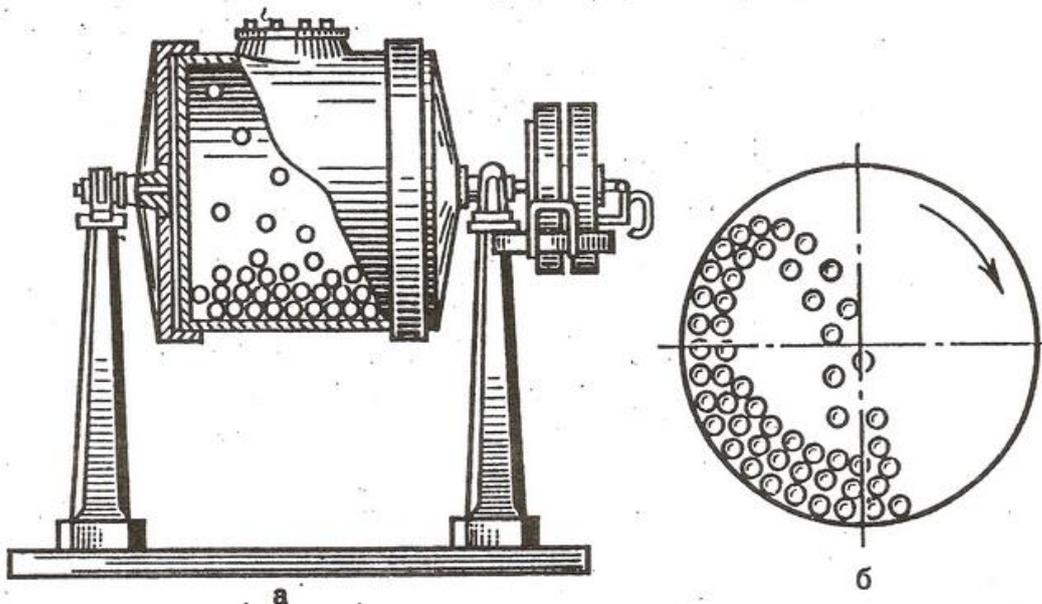


Рисунок 1.4 – Шаровая мельница
а – на общем виде, б – принцип ее работы

Если по заданию требуется к порошку добавить вещества, которые после улучшат процесс его формования, то лучше использовать шнековые или лопастные смесители, которые позволяют получить готовую смесь в виде пасты.

А если необходимо смешать компоненты, которые сильно различаются (например, металлический порошок с неметаллическим) можно использовать планетарный смеситель (рисунок 1.5) для улучшения

их смешивания. Совершая вращение в трех измерениях, чередуя ускорение и замедление, а также создавая вихревое кружение обеспечивается качественное и быстрое перемешивание всех частиц порошков различных материалов. [15]

Если порошки очень сильно отличаются плотностями, то одним из способов решения является отдельная загрузка смешиваемых компонентов, сначала с самой маленькой и с самой большой плотностью, а после добавляются остальные компоненты. Также можно использовать вакуумное перемешивание, при котором плотность смешиваемых компонентов не является определяющим фактором для процесса смешивания компонентов и разноплотные частицы движутся с одинаковой скоростью внутри кабины смесителя, благодаря чему достигается итоговая равномерность распределения смешанных компонентов.

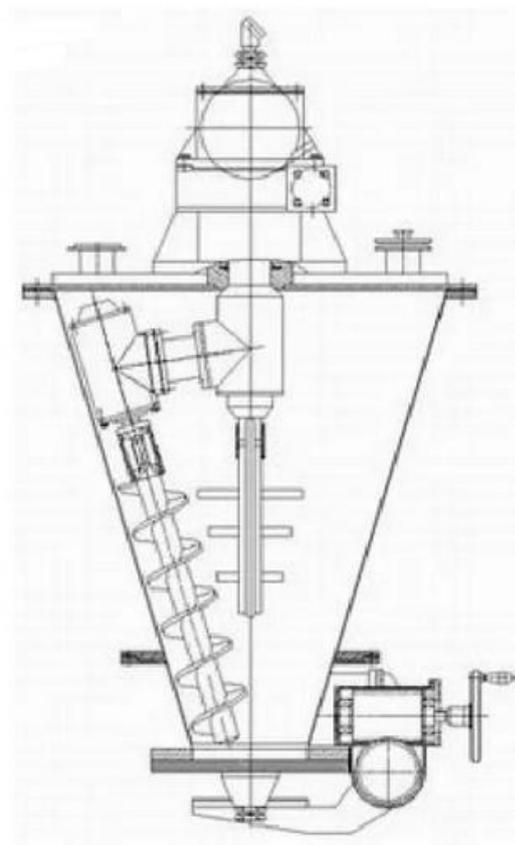


Рисунок 1.5 – Планетарно-шнековый смеситель

В случаях, когда требования к порошковой смеси таковы что процесс лучше произвести в защитной среде, можно использовать методы смешивания в газовой или жидкой средах. У обоих методов есть свои достоинства и недостатки, к примеру, в газовой среде процесс проводится менее интенсивно, но смешивание в жидкой среде влечет за собой дополнительные траты на сушку смеси в защитной атмосфере, а в некоторых случаях к предварительной термической обработке перед формованием (из-за окисления смеси). [16]

Перед формованием для снижения возможных рисков получения плохой прессовки добавляют специальные вещества – пластификаторы, которые позволяют увеличить прочность компакта, предотвратить сегрегацию частиц перед проведением процесса и улучшить прессуемость

При прессовании на боковые стенки пресс-формы, под действием трения возникает давление. Это является причиной неравномерного распределения плотности порошка по высоте формовки. Именно поэтому и используют пластификаторы и смазки, такие как стереаты, парафины или технические масла, устраняющие подобные недостатки.

1.3.2. Режимы формования (прессования)

Прессование в пресс-формах – это один из методов прессования, используя который можно получить деталь, практически не подвергаемую деформациям.

Различают одностороннее и двухстороннее прессование в пресс-формах (рисунок 1.6), но если отношение высоты заготовки к диаметру не больше трех, то используют только одностороннее прессование

От диаметра полости пресс-формы зависит и диаметр самой прессовки, но высоту можно регулировать при каждой новой попытке прессования, разумеется в пределах высоты самой пресс-формы.

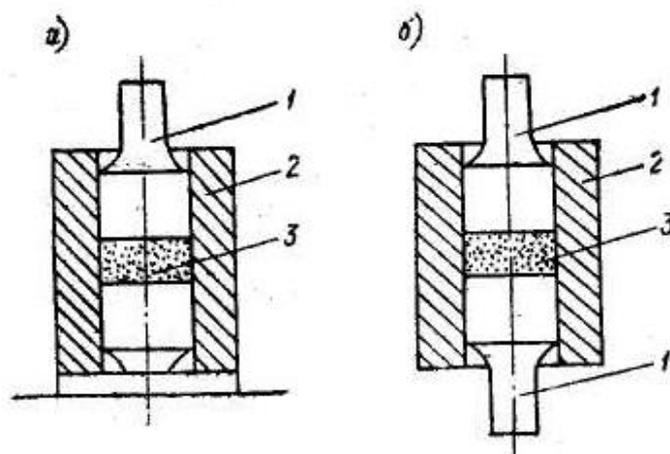


Рисунок 1.6 – Схематичное изображение одностороннего (а) и двухстороннего прессования (б):

- 1 – верхний и нижний пуансоны, 2 – матрица пресс-формы, 3 – прессуемый материал

Использование специальных ограничителей высоты при проведении процесса прессования, при фиксации давления прессования специальным манометром, что позволяет получить такие размеры, зависящие от изменений характеристик порошка, а также высокую производительность. Точное соответствие между плотностью формовки и приложенным к ней давлением является основой методики прессования по давлению [17].

1.3.3. Режимы спекания

Чтобы порошковое изделие после формования обрело требуемые механические и физико-химические свойства, его подвергают нагреву до температуры, которая будет ниже чем температура плавления самого легкоплавкого компонента порошковой смеси и последующей выдержке. Это процесс спекания – обычно последняя операция в ПМ.

Спекание порошковых сплавов проводят обязательно в защитной атмосфере, используя при этом различные печи, например, электрические печи с металлическим сопротивлением, либо можно использовать высокочастотные печи, и еще в редких случаях применяют печи с

угольными сопротивлениями в виде труб. Защитные атмосферы, получаемые при неполном сжигании метана, либо смеси метана, водорода, угарного газа и прочих горючих газов, применяются для спекания железа и его сплавов, фрикционных материалов, а также меди и медных сплавов. При спекании молибдена, вольфрама, титановольфрамовых, вольфрамокобальтовых и прочих твердых сплавов, сплавов на основе платины Pt-Co или Pt-Fe (магнитные материалы), а также электротехнических материалов применяется водородная среда. Температура спекания порошковых сплавов зачастую равна примерно двум третям от температуры плавления основного металла, например, для Cu - 800-850°C, для Fe - 1050-1150°C, при этом продолжительность спекания составляет примерно 2-3 часа [18].

Процесс спекания необходим для того, чтобы спрессованный брикет изменил свои свойства, размеры и структуру, стал более похожим на литой материал-аналог, превратился в компактное тело. Спекание напрямую влияет на конечные его свойства, поскольку при нагреве прессовок последовательно происходит их изменение, благодаря протеканию сложнейшего комплекса различных физико-химических явлений. Помимо изменения свойств и структуры конечного продукта, внутри него протекают процессы диффузии, сдвиг дислокаций, происходит релаксация внутренних напряжений (как при отпуске), осуществление множества химических реакций и т.д.

При всем этом в зависимости от задач можно сделать так, чтобы какой-нибудь неосновной компонент спекаемого образца расплавился и тогда появится жидкая фаза, что повлечет за собой изменение многих закономерностей спекания. Исходя из вышесказанного можно разделить спекание на две ветки: твердофазное и жидкофазное.

Твердофазным спеканием называется спекание порошкового тела (заготовки), при котором жидкая фаза не образуется. Существуют два вида

твердофазного спекания: в однокомпонентных и в многокомпонентных системах.

1.3.3.1.Спекание однокомпонентных систем

При оценке процессов, сопровождающих нагрев порошковых изделий, выделяют 6 стадий спекания [19]:

- Образование межчастичных связей и их развитие;
- Образование и рост шеек контактов между частицами;
- Закрытие сквозной пористости в порошковом теле;
- Сфероидизация пор;
- Уплотнение порошкового изделия в результате усадки изолированных пор;
- Увеличение (в результате слияния) пор.

Сразу после начала нагрева прессовки активизируются диффузионные процессы внутри него, влекущие за собой рост прочности и электропроводности. Это происходит благодаря развитию межчастичных связей, а в результате по завершению протекания этой стадии возникает шейка.

После возникновения шеек, при дальнейшем росте температуры идет соответственно и рост шеек, при этом процесс межчастичного связывания продолжается, происходит реализация необходимого переноса вещества в область межчастичного контакта и последующее за ним смещение межзеренных границ. Структура порошкового тела становится близкой к состоянию беспорядочной смеси фаз вещества и пустоты. Считается, что рост шеек – недолгий процесс, производящийся в одну стадию и осуществляющийся лишь на ранних стадиях спекания, но эта стадия может быть более продолжительной и проходить на следующих стадиях спекания.

Образование отдельных пор или их изолированных групп, причем при уменьшении их суммарного объема в порошковом материале уменьшается и изделие уплотняется (усадка) является отличительной чертой процесса закрытия сквозной пористости. Данная стадия является прямым результатом роста шеек в ходе предыдущей стадии, как и стадия сфероидизации, в ходе которой поры округляются, приобретая сферическую форму, потому что с некоторых участков пор вещество уходит в область межчастичного контакта. [17]

Первоочередной задачей процесса спекания является получение беспористого порошкового тела, а без полного завершения усадки изолированных пор реализовать эту задачу попросту невозможно, при этом требуются высокая температура нагрева и большая его продолжительность.

Последовательный рост крупных пор, за счет уменьшения и исчезновения мелких пор – это основная характеристика стадии коалесценции пор. Общая пористость при этом не изменяется, увеличивается средний размер пор при уменьшении их числа. Трансдукция через газовую фазу, вязкое течение, поверхностная и объемная диффузия и течение, вызываемое внешними нагрузками, все перечисленное является механизмами переноса вещества по объему порошкового тела [17].

1.3.3.2.Спекание многокомпонентных систем

Нужно понимать, что однокомпонентные системы среди порошковых материалов, встречаются гораздо реже чем многокомпонентные системы. Из-за различия характеристик исходных порошков для многокомпонентных систем характерно определенное несоответствие концентраций компонентов по всему объему порошкового тела, такое явление называют «градиентом химических потенциалов», и наблюдается он либо только в исходном состоянии и на переходных этапах

спекания, а еще в тех случаях, если компоненты не полностью в твердом состоянии растворены друг в друге. Тогда «градиент» будет наблюдаться и на последних этапах. Выходом из подобных ситуаций может послужить осуществление процессов гетеродиффузии, причем синхронно с процессом самодиффузии, что устранил возникшую неоднородность химического состава и обеспечит выравнивание концентраций компонентов [18].

Для многокомпонентных систем принято разделять твердофазное спекание по взаимной растворимости компонентов на два вида:

- Спекание компонентов, либо взаимно нерастворимых, либо обладающих ограниченной взаимной растворимостью;
- Спекание компонентов, обладающих полной (неограниченной) взаимной растворимостью.

1.3.3.3.Спекание многокомпонентных систем

Порошковые материалы, чаще являются многокомпонентными системами, нежели однокомпонентными. Такие материалы характеризуются несоответствием концентраций компонентов по всему объему порошкового тела, такое явление называют «градиентом химических потенциалов», и наблюдается он либо только в исходном состоянии и на переходных этапах спекания, а еще в тех случаях, если компоненты не полностью в твердом состоянии растворены друг в друге. Тогда «градиент» будет наблюдаться и на последних этапах. Выходом из подобных ситуаций может послужить осуществление процессов гетеродиффузии, причем синхронно с процессом самодиффузии, что устранил возникшую неоднородность химического состава и обеспечит выравнивание концентраций компонентов [18].

Для многокомпонентных систем принято разделять твердофазное спекание по взаимной растворимости компонентов на два вида:

- Спекание компонентов, либо взаимно нерастворимых, либо обладающих ограниченной взаимной растворимостью;

- Спекание компонентов, обладающих полной (неограниченной) взаимной растворимостью.

1.3.3.4.Спекание систем с полной взаимной растворимостью компонентов

Единственная фаза образуется путем спекания таких систем, как «медь-никель», «железо-никель», «никель-кобальт», «медь-золото» и других. Несколько же фаз, таких как частицы исходных материалов и раствор неустойчивой концентрации, образуется только на промежуточных стадиях спекания.

Как правило, аддитивная усадка больше усадки при нагреве порошкового тела, такой вывод можно сделать в ходе расчета по возможной усадке каждого отдельного компонента. Данный факт можно объяснить тем, что в твердых растворах мобильность атомов ниже, чем в растворах с чистыми металлами. Так же при смешивании исходных компонентов невозможно получить абсолютно однородную смесь, в результате чего неодинакова скорость диффузии неодинакова. Одним из примеров в этом случае является система «медь-никель» (рисунок 1.7а), в которой при увеличении содержания одного из компонентов уменьшается усадка и иногда происходит увеличение порошкового тела. Данный факт можно связать с меньшим коэффициентом диффузии никеля в меди по сравнению с коэффициентом меди в никеле: образующиеся избыточные вакансии соединяются в поры, а из-за меньшего притока атомов никеля, чем меди, частицы никеля расширяются[17].

Рассматривая рисунок 1.7а можно отметить, что кривые 1,2 показывают зависимость концентрации от времени выдержки (4 ч. и 15

мин. соответственно) при спекании, в то время как кривая 3 при нагреве и охлаждении без выдержки.

В некоторых системах при спекании порошков можно заметить, что с ростом содержания второго компонента возрастает скорость уплотнения.

Например, у системы W – Mo в концентрационной можно заметить слабо выраженный максимум (рис. 1.7б)

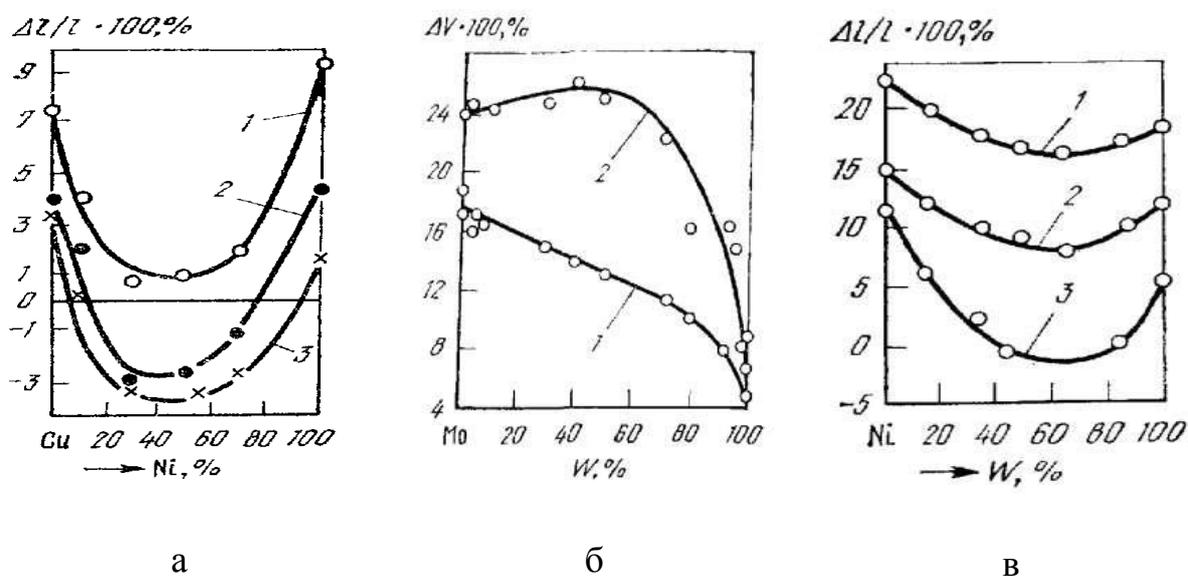


Рисунок 1.7- Концентрационная зависимость усадки для смеси порошков: а) Ni и Cu при спекании (1000°C) с различной выдержкой; б) W и Mo в результате изотермического спекания при 1350°C (1) и 1750°C (2) в течение 30 минут; в) W и Ni при изотермическом спекании (1000°C) с различной выдержкой

Характерной чертой спекания рассматриваемых систем является, несомненно, нарушение некоторых контактов между разноименными и одноименными порошинками. Основными причинами этому служит напряжение, возникающее в зоне контакта диффузного происхождения, исчезновение порошинки, вследствие испарения, которая перемещается на поверхность другой порошинки и др. Очень важным является вопрос о необходимой гомогенизации по составу сплавов, которые образуются при спекании, является достаточно важным для решения практических задач,

потому что, несомненно, величиной и состоянием поверхностей между частицами определяются свойства порошковых тел, при этом в некоторых случаях полная гомогенизация внутри частиц не нужна [17].

1.3.3.5.Спекание систем с ограниченной растворимостью компонентов

Такие системы, как W – Ni, Mo – Ni, Fe – C, Cu – Ag и др. довольно распространенные в порошковой металлургии. Для этих систем характерны диаграммы состояния как с эвтектикой и перитектикой, так и с химическими соединениями [17].

При нагреве в порошковом изделии на промежуточных стадиях гомогенизации, практически независимо от исходного состава смеси порошков, присутствуют все фазы имеющиеся на диаграмме состояния.

От содержания элементов в сплаве зависимости усадки различаются от линейных, при этом характерный вид (направление выпуклости) бывает различным. Таким образом, для системы W–Ni кривая с плавным минимумом (рис 1.7в) прослеживается для исходных порошков с близкой дисперсностью.

Кривые 1,2,3 на рисунке 1.7в изображают зависимость при изотермическом процессе усадки для смеси порошков (7 ч., 3ч. и без выдержки (нагрев + охлаждение) соответственно).

В рассмотренных системах свойства материалов зависят от таких факторов, как: совершенство однофазных и межфазных контактов, полноценного завершения гомогенизации в области ограниченных твердых растворов, пористости и т.д. Гетеродиффузия в данном случае выполняет функцию уравнения концентрации элементов ограниченной области растворимости. Из-за того, что многие характеристики свойств ограниченных твердых растворов имеют максимальное значение в

пределных концентрациях, то достижение гомогенности в основном не желательно. [17].

2. Материалы и методики исследования

2.1. Материал для исследования

Титановые порошки являются одними из ведущих материалов в процессе производства изделий из этого металла, при чем их параметры зависят от структуры и свойств, а также качества порошков.

Титановый порошок обладает всеми свойствами титана литого, вне зависимости от способа его получения и структурного состава.

Свойства порошка титана:

- устойчивость к коррозии
- твердость
- пластичность
- термостойкость
- хорошие показатели прессуемости
- механическая прочность
- способность к спеканию и свариваемости
- легкость
- износостойкость

Состав порошков ТПП-8 и ПТМ-1 представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Состав порошков ТПП-8 и ПТМ-1

Порошок	Химический состав (по стандарту)							
	Ti	Массовое содержание примесей, %						
		Fe	Cl	N	C	H	Si	Ca
ТПП-8	Основа	2,1	0,5	1,1	-	-	-	-
ПТМ-1	Основа	≤ 0,4	≤ 0,004	≤ 0,08	≤ 0,05	≤ 0,35	≤ 0,1	≤ 0,08

Порошок ТПП-8 (титановый пористый порошок), создается методом измельчения (размола) титановой губки. Переработка отсевов губчатого Ti, при применении способа гидрирования, а потом дегидрирования являются основой для получения порошков ТПП. Контроль ведется стандартом ТУ1791-449-05785388-2010.

Порошок ПТМ-1 (порошок титана мелкодисперсный) можно отнести к категории порошков Ti, получаемых при помощи восстановления двуокиси титана (TiO₂) гидридом кальция (CaH₂) в гидрид титана (TiH₂) и разложением последнего на отдельно титан и водород (происходит процесс дегидрирования). Контроль ведется стандартом ТУ 14-22-57-92.

Из порошка ПТМ-1 были сделаны 4 порошковые композиции с различным добавлением к нему углерода (сажи). Соответственно были добавлены 0% сажи, 0,2% сажи, 0,5% и 1%.

2.2. Смешивание порошков

Для приготовления однородной механической смеси использовался метод механического смешивания порошков, который был реализован при помощи смесителя со смещенной осью (типа «пьяная бочка»), для механической активации порошковых смесей и во избежание измельчения при смешивании (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 - Смеситель со смещенной осью (типа «пьяная бочка»)

Для пуска в работу смесителя необходимо соблюдать порядок работы с системой управления смесителем. Порядок работы со смесителем [20]:

- откидывается защитный колпак;
- производится поворот исполнительного механизма для установки чаши в такое положение, в котором она может быть извлечена из корзины;
- вывинчивается прижим, а после этого вынимается траверса;
- чаша извлекается из корзины;
- снимается крышка с чаши, а после в нее засыпаются или заливаются необходимые смешиваемые материалы;
- после загрузки материала чаша обратно закрывается крышкой и устанавливается в корзину, закрепляется прижимом. Опускается защитный колпак.
- установка нужного режима работы на панели управления, согласно методики, указанной выше и дальнейшее включение смесителя в работу

После выполнения заданной программы произойдет автоматическое выключение смесителя и ведется следующий порядок действий:

- откидывается защитный колпак;
- вывинчивается прижим, а после этого вынимается траверса;
- чаша извлекается из корзины;
- с чаши снимается крышка и из нее извлекаются смешиваемые материалы.
- по окончании работы отключается электропитание, а также производится чистка и промывание чаши, крышки и поддона

2.3. Прессование порошковых композиций

Т.к. к порошку не предъявляется никаких особых требований, то используется метод одностороннего холодного прессования, с использованием жесткой металлической пресс-формы (рисунок 2.2).

При таком методе порошок 3 свободно засыпается в матрицу пресс-формы 2, закрытой нижним пуансоном 4. После верхним пуансоном 1 закрывают матрицу с другой стороны и устанавливается на специальное прессовое оборудование. Порошок формуется в полости матрицы между верхним (подвижным) и нижним (неподвижным) пуансонами. После готовый брикет изымается из пресс-формы. Полученная прессовка имеет размер и форму готового изделия, а также достаточную прочность для перегрузки и транспортировки к печи для спекания [21].

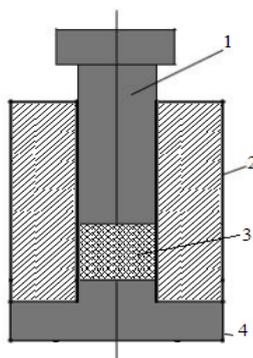


Рисунок 2.2 – Схема пресс-формы для одностороннего холодного прессования порошков: 1 – пуансон верхний; 2 – матрица; 3 – порошок; 4 – пуансон нижний (неподвижный)

Прессование производилось на гидравлическом прессе ИП 6084-1000 (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 - Гидравлический пресс ИП 6084-1000

Были подготовлены навески порошковой композиции по 3 г, для улучшения прессуемости добавили пластификатора – техническое масло. Порошковая смесь с пластификатором были помещены в пресс-форму. Образцы прессовали на гидравлическом прессе под нагрузкой в 400 МПа.

2.4. Структурные исследования

Структурные исследования были проведены с использованием оптической микроскопии и рентгеноструктурного анализа (оптический микроскоп AXIOVERT-200MAT, рентгеновский дифрактометр XRD-6000, $\text{CuK}\alpha$ -излучение). Анализ фазового состава проведен с использованием баз данных PDF 4+, а также программы полнопрофильного анализа POWDER CELL 2.4.

2.4.1. Подготовка поверхности

Чтобы провести металлографическое исследование поверхности образца, необходимо подвергнуть его специальной обработке, для получения приблизительно плоской поверхности. Для облегчения обработки образцы маленького размера лучше поместить в специальный зажим, состоящий обычно из двух пластин, которые раздвигаются или наоборот сужаются с помощью специальных винтов, также можно использовать для заливки специальные легкоплавкие сплавы серу и т. п.

Заливку нужно производить следующим образом: на металлическую или керамическую пластинку устанавливают круглую или квадратную оправку (из стали или латуни) и внутрь оправки помещают образец таким образом, чтобы подготавливаемая поверхность опиралась на пластинку. Затем жидкую легкоплавкую массу заливают в оправку с достаточно плотным заполнением ее.

Также можно использовать запрессовку образцов в пластмассу, поскольку этот метод более удобный, чем заливка. [23]

Дальнейшая подготовка поверхности состояла из трех этапов:

- Шлифование. Для начала нужно выбрать наждачную бумагу, нужной зернистости, исходя из характеристик обрабатываемого образца. Далее последовательно от более крупнозернистой к более мелкозернистой бумаге производить шлифование образца, при чем при каждой смене сорта бумаги необходимо также менять направление движения образца (обычно поворотом на 90°). Это позволит более качественно убрать риски, нанесенные предыдущим шлифованием.

Также необходимо помнить о том, что на поверхности обрабатываемого образца остаются частицы абразивного материала и их нужно удалить промывкой водой или чистящим средством, либо обдуть образцы сжатым воздухом.

- Полирование. Мелкие риски, оставшиеся после шлифования, удаляют полированием. Применяют механический, химико-механический и электрохимический способы полирования. Образцы полировались механическим способом.

Шлифование и полирование производилось на шлифовально-полировальных станках МЕТОЛАБ МП-1-300 АН и МП-1 (рисунок 2.4). На вращающийся круг был установлен диск, на который был натянут полировальный материал – сукно (можно использовать фетр или бархат). На него периодически наносилось абразивное вещество - алмазной пасты различной зернистости для придания поверхности «зеркального блеска».

Производится увлажнение полировального круга, для упрощения скольжения по нему образца, а нажимать на образец сильно не стоит, поскольку «плоская поверхность» может быть утеряна и получится брак. Оптимальные характеристики скорости вращения круга диаметром 250 мм должны варьироваться от 400 до 600 об/мин. Полирование считается законченным, когда поверхность образца приобретает зеркальный блеск и даже под микроскопом не видны риски или царапины.

- Травление. Производилось при помощи травителя – водного раствора из смеси плавиковой (HF) и азотной (HNO₃) кислот в течении 10 минут для выявления структуры исследуемого материала.



а



б

Рисунок 2.4 – Шлифовально-полировальные машины МЕТОЛАБ МП-1-300 АН (а) и МП-1 (б)

2.4.2. Работа с микроскопом

Микроскоп инвертированный Axiovert 200MAT используют для измерений при проведении металлографических наблюдений и исследований, в частности при контроле качества образцов в различных направлениях промышленности

Принцип работы микроскопа (рисунок 2.5) основан на бесконтактном методе измерений размера изображения контролируемого объекта.

Метод обзора - светлое или темное поле, люминесценция, поляризация, дифференциально-интерференционный контраст.

Для анализа микроструктур микроскоп оснащен пятью объективами с увеличением 5^x , 10^x , 20^x , 50^x , 100^x , а также двумя окулярами типа W-PL $10x/23$.

Микроскоп оснащен двухстрочным жидкокристаллическим дисплеем, расположенным на магнитной опоре. В верхней строке дисплея

отображается позиция и увеличение объектива, в нижней строке - яркость лампы через штриховую полосу и соответствующее значение напряжения (один штрих соответствует 0,4 V). Конечно же эти параметры можно изменить. При выключенной галогенной лампе в нижней строке жидкокристаллического дисплея появляется информация «Hal off» вместо штриховой полосы яркости лампы. [24]



Рисунок 2.5 - Микроскоп инвертированный Axiovert 200MAT

В таблице 2.2 перечислены все комплектующие микроскопа Axiovert 200MAT.

Таблица 2.2 - Комплектующие микроскопа Axiovert 200MAT

Обозначение	Наименование	Количество	Примечание
Axiovert 200MAT	Микроскоп	1	
	Головка револьверная объективов	1	Рассчитана на 5 объективов 5 ^x , 10 ^x , 20 ^x , 50 ^x , 100 ^x
	Источник света	2	галогенный источник света HAL100; ртутный источник света HBO100
	Окуляр	2	W-PL

	Предметный столик	1	Перемещение специальным винтом по осям X и Y
Carl Zeiss 5+ ^{100/100} mm	Объект-микрометр	1	0 – 5,0 мм
	Источник питания	1	

2.5. Определение плотности

Так как исследуемые образцы имеют цилиндрическую форму, то их плотность можно посчитать исходя из их геометрических параметров и их собственной массы. Объем образца также будем считать за объем цилиндра, таким образом плотность образцов будет иметь вид:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{4m}{\pi d^2 h}, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

где m – масса навески порошка, г; V – объем образца, см^3 , d – диаметр образца, h – высота образца. Плотность определяется как среднее арифметическое результатов трех испытаний.

2.6. Определение пористости

Дополнительным косвенным показателем структурно-фазовых изменений в спеченных порошковых материалах являются объемные дилатации и трансформация поровой структур. Поэтому были рассчитаны изменения пористости и объема в зависимости от состава порошковых композиций. Для определения пористости использовали стандартное выражение:

$$\theta = 100 * \left(1 - \frac{\rho_{\text{обр}}}{\rho_{\text{теор}}}\right)$$

где θ – пористость, %; $\rho_{\text{обр}}$ – реальная плотность образца; $\rho_{\text{теорет}}$ – теоретическая плотность порошковой смеси, рассчитанная аддитивным

методом. Объемные дилатации определяли, как относительное изменение объема образцов до и после спекания. [21]

2.7. Подсчет размера зерна

Удобнее проводить определение размеров зерен на фотографии или на матовом стекле камеры микроскопа. При увеличении $\times 100$ окружность диаметром 79,8 мм имеет площадь 0,5 мм². Таким образом для увеличения $\times 500$ окружность того же диаметра будет иметь площадь 0,25 мм², и 0,1 мм² для увеличения $\times 1000$ соответственно. Если подсчет зерен ведется на снимке микроструктуры, то такая окружность рисуется непосредственно на фотографии. Необходимо, чтобы было не менее 50 зерен на площади, занимаемой окружностью. Не менее чем по трем характерным участкам проводится подсчет зерен или по большему числу участков, если в одной окружности количество зерен составляет меньше 50. Определяется количество зерен, перерезанных окружностью и количество целых зерен внутри окружности на каждом участке. Зерна, перерезанные окружностью, можно считать разделенными пополам. Далее с помощью формул подсчитывают среднюю площадь и средний диаметр одного зерна [25].

2.8. Рентгеноструктурный анализ

Для рентгенограммы определяется $\sin^2\theta$. После чего, методом отношений устанавливается тип кристаллической решетки. Далее по формулам вычисляется значение межплоскостных расстояний, параметра решетки, размер кристаллитов и величину микронапряжений. Для рентгенограммы составляется таблица с вышеперечисленными значениями.

Для подсчета среднего размера кристаллита и величины микронапряжений используют формулы Селякова - Шеррера и Стокса – Уилсона, а также методику Вильямсона – Холла [26].

Формула Селякова – Шеррера для подсчета среднего размера кристаллита имеет вид:

$$D = \frac{\lambda}{\beta \cdot \cos \theta},$$

здесь β и θ берутся для первого самого интенсивного пика.

Формула Стокса – Уилсона

$$\varepsilon = \frac{\beta}{2 \cdot \operatorname{tg} \theta},$$

здесь β и θ берутся для последнего различимого пика.

Методика Вильямсона – Холла сводится к нахождению коэффициентов линейного уравнения

$$\beta^2 = \left(\frac{\lambda}{D \cdot \cos \theta} \right)^2 + (4 \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \theta)^2,$$

где $\left(\frac{\lambda}{D} \right)^2 = A$ и $(4 \cdot \varepsilon)^2 = B$ - коэффициенты уравнения

3. Экспериментальная часть

3.1. Рентгеноструктурный анализ

Рентгенограмма порошковой смеси (ПТМ+1%С), механоактивированной в мельнице-активаторе показывает очень высокий уровень фона (рисунок 3.1) с малым количеством линий (1 интенсивная сильно размытая линия и еще можно выделить 2-4 небольшие линии). Эти линии скорее можно отнести к α -титану, но с большим смещением линий. Смещение может быть связано и с большим деформационным наклепом, так и с дополнительным легированием углеродом, растворенным в титановой основе.

Рентгенограмма МА-порошка ПТМ+0.5%С (рисунок 3.2) подобна рентгенограмме МА-порошка ПТМ+1%С с очень высоким уровнем фона и малым количеством линий. Эти линии также относятся к α -титану, но со смещением линий за счет растворения углерода. Аналогичная рентгенограмма и у МА-порошка ПТМ+0.2%С, где также линии относятся к α -титану (рисунок 3.3).

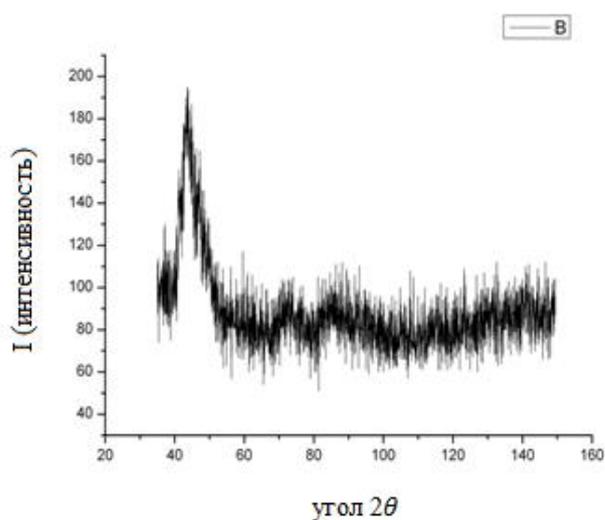


Рисунок 3.1 – Рентгенограмма механоактивированной порошковой смеси ПТМ+1%С

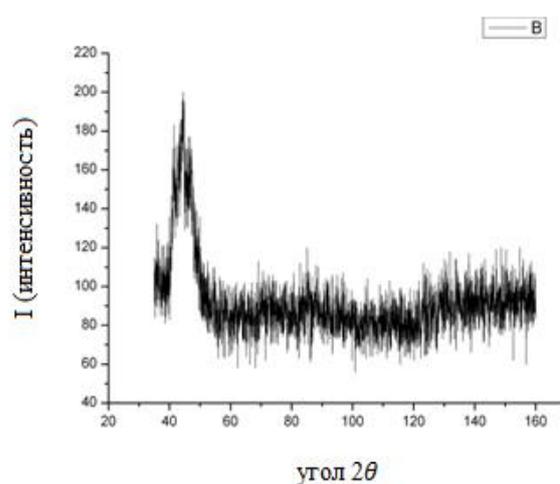


Рисунок 3.2 – Рентгенограмма механоактивированной порошковой смеси ПТМ+0.5%С

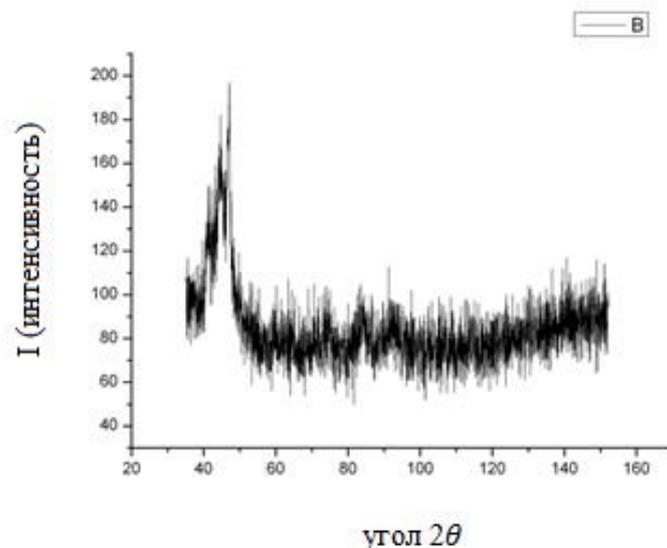


Рисунок 3.3 – Рентгенограмма механоактивированной порошковой смеси ПТМ+0.2%С

Параметры решетки α -титана рассчитаны по пикам линий на малых углах (таблица 3.1), точнее расчет бывает по пикам на больших углах.

Таблица 3.1 - Параметры решетки титана, нм.

	стандарт	ПТМ+0.2%С	ПТМ+0.5%С	ПТМ+1%С
a/c, нм	0.2950/ 0.4686	0.2943/ 0.4699	0.2929/ 0.4775	0.2986/0.4788

3.2. Поведение прессовок после спекания

Образцы подвергли спеканию при температурах 900 °С, 1000 °С, 1100 °С, 1200 °С, 1300 °С и 1400 °С. Образцы после спекания при температуре 1400 °С потеряли форму и расплавились, что затруднило определение объемных параметров. Изменение характеристик прессовок после спекания (900 – 1300 °С) приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Изменение характеристик прессовок после спекания

Состав порошка	Температура, °С	Характеристики			
		θ (пористость), %	$\frac{\Delta V}{V_0}$, %	$\frac{\Delta \rho}{V \rho_0}$, %	$\frac{\Delta \theta}{V \theta_0}$, %

		начал ьная	после спекания			
Титан (ТПП-8)	900	16,2	16,3	1,1	0,14	-0,72
	1000	24,3	22,0	3,1	-3,1	9,3
	1000 повтор	19,8	17,6	2,9	-2,8	11,2
	1100	24,5	20,3	5,3	-5,3	17,0
	1200	20,8	15,4	6,9	-6,9	26,2
	1300	21,7	15,2	8,0	-8,6	30,7
	1400	16,7	-			
Титан (ПТМ-1)	900	21,9	19,8	4,6	-2,6	9,3
	1000	32,0	22,7	12,9	-13,9	29,0
	1000 повтор	30,3	17,0	16,4	-19,0	44,0
	1100	32,9	16,7	19,7	-24,2	49,4
	1200	29,0	10,4	21,2	-26,2	64,1
	1300	30,2	14,0	19,3	-22,5	53,3
	1300	28,4	6,9	23,5	-30,1	75,9
	1400	22,0	-			
(ПТМ-1)+0,2% сажи (С)	900	37,3	34,1	7,8	-5,1	8,5
	1000	39,1	30,1	7,9	-7,3	7,6
	1000 повтор	37,8	31,9	9,7	-9,5	15,7
	1100	41,6	35,6	11,3	-10,4	14,7
	1200	40,2	30,2	16,3	-16,7	24,8

	1300	39,0	26,3	18,8	-20,8	32,6
	1400	37,5	-			
(ПТМ-1)+0,5% сажи (С)	900	-	25,5	-	-	-
	1000	31,2	18,2	17,2	-18,8	41,5
	1100	34,1	17,1	21,3	-25,8	50,0
	1200	33,6	11,3	26,2	-33,6	66,4
	1300	33,5	18,7	19,9	-22,4	44,3
	1400	-	-	-		
(ПТМ-1) + 1% сажи (С)	900	33,6	25,2	14,3	-12,7	25,1
	1000	37,5	29,7	13,0	-12,5	20,7
	1100	39,0	28,1	16,6	-17,9	28,0
	1200	36,8	22,2	20,0	-23,1	39,7
	1300	35,2	15,2	28,7	-38,8	61,1
	1400	34,0	-			

Образцы после спекания с повышением температуры спекания становились более плотными и соответственно менее пористыми, а также уменьшились в объеме. Это характерно для всех составов порошковых композиций, в той или иной степени. То же показывают и графики зависимости (рисунки 3.4-3.6)

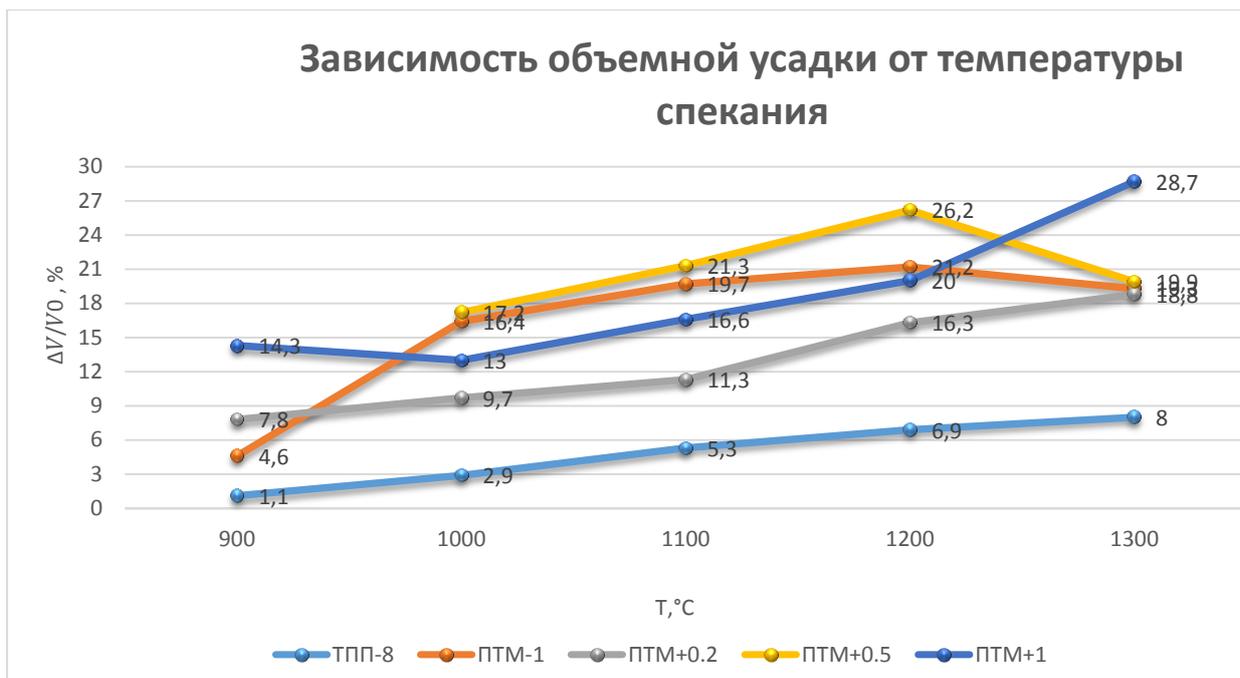


Рисунок 3.4 – График зависимости объемной усадки от температуры спекания

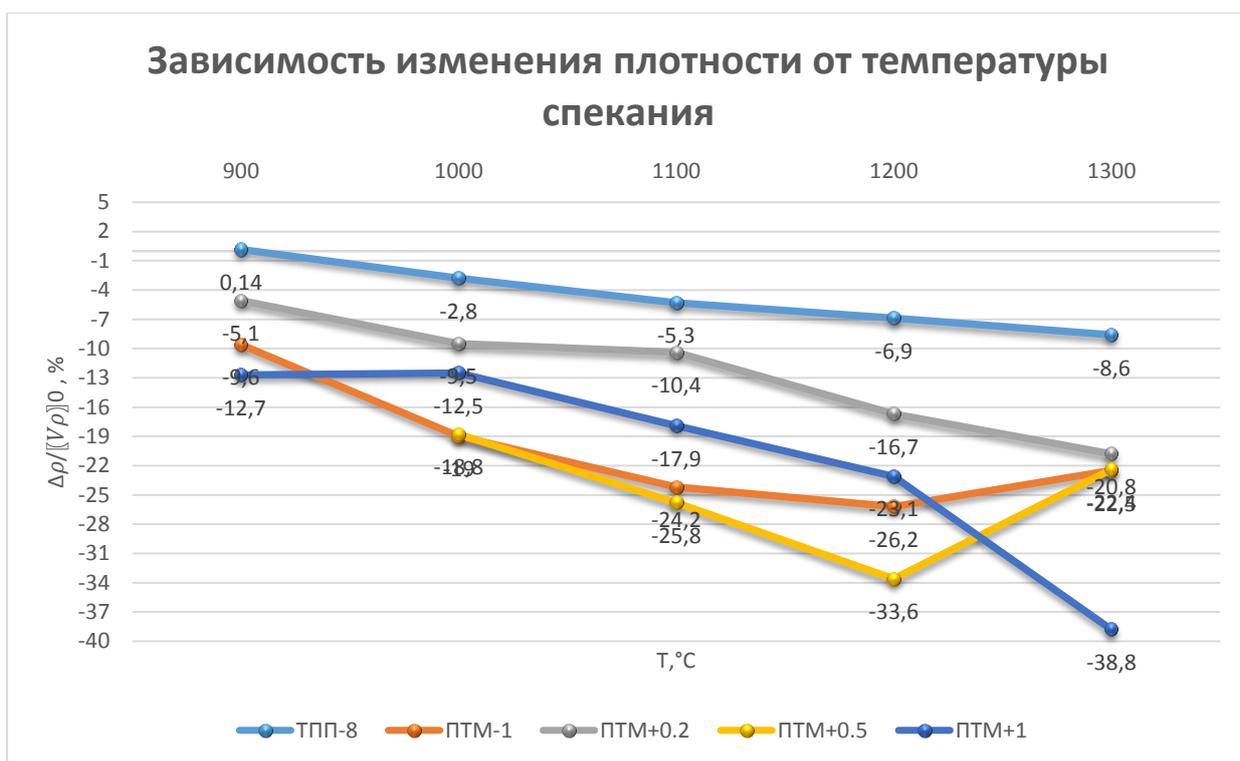


Рисунок 3.5 – График зависимости изменения плотности от температуры спекания

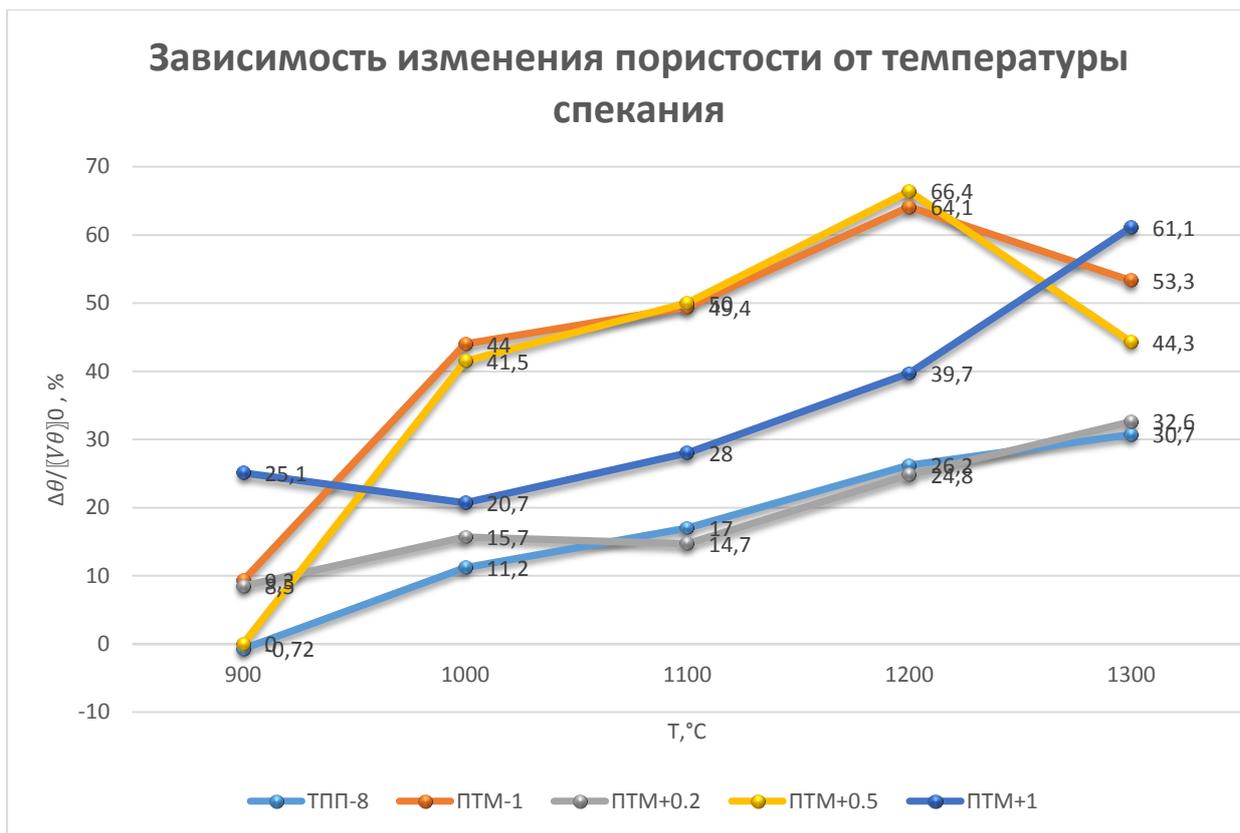


Рисунок 3.6 – График зависимости изменения пористости от температуры спекания

3.3. Анализ микроструктуры

Для исследования микроструктуры образцов поверхность шлифов травили раствором из смеси плавиковой (HF) и азотной (HNO₃) кислот. Были отсняты микроструктуры образцов ПТМ-1 + 0,2% С, спеченных при температурах 900, 1200 и 1300 °С (рисунки 3.7 – 3.9)

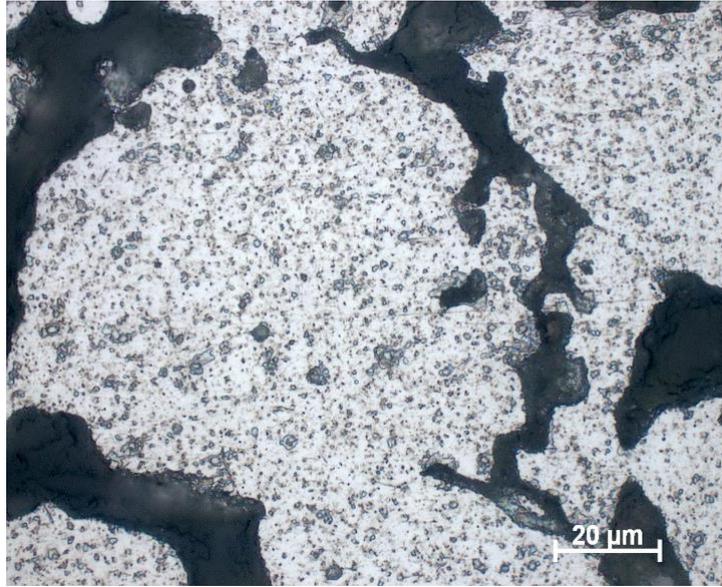


Рисунок 3.7 – Микроструктура образца ПТМ-1 +0.2%С (900 °С)

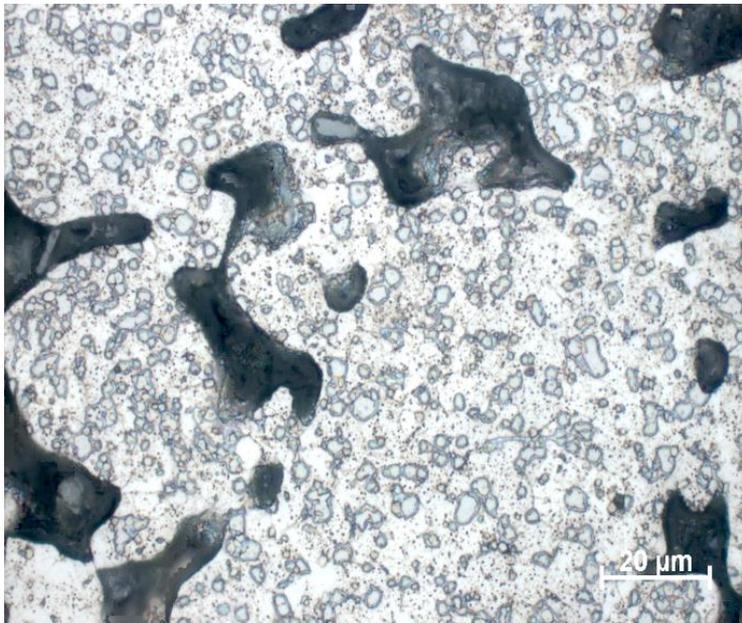


Рисунок 3.8 – Микроструктура образца ПТМ-1 +0.2%С (1200 °С)

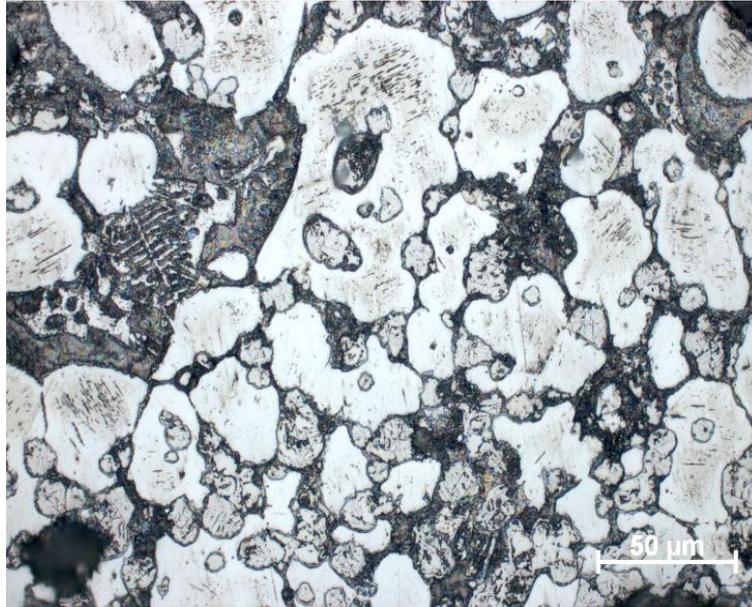


Рисунок 3.9 – Микроструктура образца ПТМ-1 +0.2%С (1300 °С)

Как можно увидеть на рисунках карбидная фаза проявляется лучше на микроструктурах образцов с более высокой температурой спекания, тогда как с более низкой температурой карбидную фазу тяжелее уловить.

3.4. Определение размера карбидных частиц

Рассчитаем средний размер зерна для снимка порошковых композиций ПТМ-1 + 0.2% С:

Общее число зерен вычисляется по формулам:

$$m_{500,1000} = m + 0.5m_1$$

$$M = 4m_{500} - \text{для } 1 \text{ мм}^2$$

$$M = 10m_{1000} - \text{для } 1 \text{ мм}^2$$

где m – число зерен внутри круга, m_1 – число зерен, пересекаемых с окружностью, M – общее число зерен.

Таким образом:

$$M(\text{ПТМ}_{1300}) = 4m_{500} = 4(m + 0.5m_1) = 4(19 + 0.5 \times 6) = 88 \text{ шт}$$

$$M(\text{ПТМ}_{1200}) = 10m_{1000} = 10(m + 0.5m_1) = 10(76 + 0.5 \times 12) = 820 \text{ шт}$$

$$\begin{aligned} M(\text{ПТМ}_{900}) &= 10m_{1000} = 10(m + 0.5m_1) = 10(114 + 0.5 \times 26) \\ &= 1270 \text{ шт} \end{aligned}$$

Средняя площадь зерна определяется по формуле:

$$S_{cp}(\text{ПТМ}_{1300}) = \frac{1}{M_{cp}} = \frac{1}{88} = 0.0113 \text{ мм}^2 = 11300 \text{ мкм}^2$$

$$S_{cp}(\text{ПТМ}_{1200}) = \frac{1}{M_{cp}} = \frac{1}{820} = 0.0012 \text{ мм}^2 = 1200 \text{ мкм}^2$$

$$S_{cp}(\text{ПТМ}_{900}) = \frac{1}{M_{cp}} = \frac{1}{1270} = 0.0008 \text{ мм}^2 = 800 \text{ мкм}^2$$

Средний диаметр зерна определяется по формуле:

$$d_{cp}(\text{ПТМ}_{1300}) = \frac{1}{\sqrt{M_{cp}}} = \frac{1}{\sqrt{88}} = 0.106 \text{ мм} = 106 \pm 6 \text{ мкм}$$

$$d_{cp}(\text{ПТМ}_{1200}) = \frac{1}{\sqrt{M_{cp}}} = \frac{1}{\sqrt{820}} = 0.035 \text{ мм} = 35 \pm 12 \text{ мкм}$$

$$d_{cp}(\text{ПТМ}_{900}) = \frac{1}{\sqrt{M_{cp}}} = \frac{1}{\sqrt{1270}} = 0.028 \text{ мм} = 28 \pm 12 \text{ мкм}$$

Расчитанные результаты среднего размера карбидных зерен сведем в общую таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Средние размеры карбидных зерен

Порошковый материал	Температура спекания	Размер карбидного зерна, D _{cp} , мкм
Ti (ПТМ-1)+0,2% C	900	28 ± 12
	1200	35 ± 12
	1300	106 ± 6

3.5. Рентгеноструктурный анализ спеченных образцов из порошковых смесей ПТМ+0.2%С, спеченных при 1100°С

Фазовый состав образцов и номера карточек ASTM приведены в таблице 3.4. На всех составах присутствует небольшое количество

нестехиометрического карбида титана. Линий β -титана нет на данных рентгенограммах.

Таблица 3.4 - Относительное содержание фаз, об.%

№	Образец	TiC	Ti	TiH _{1,924}
2	ПТМ+0.2С	9.6	86.3	4.1

В спеченных образцах ПТМ+0.2%С основной фазой является α -титан (больше 80%) с небольшим количеством карбида титана. Присутствует одна слабая линия, которую можно отнести к гидриду титана TiH_{1,924} –подобная линия есть и на исходном порошке ПТМ. Сформировано не более 10 об.% мелкой карбидной фазы.

Таблица 3.5 - Параметры решетки фаз, нм

№	Образец	TiC (куб), а	Ti (гекс), а/с	TiNi ₃ (гекс), а/с
2	ПТМ+0.2С	0.4279	0.2950/0.4721	-
	Стандартные фазы	0.4327	0.2950/0.4686	0.5093/0.8320

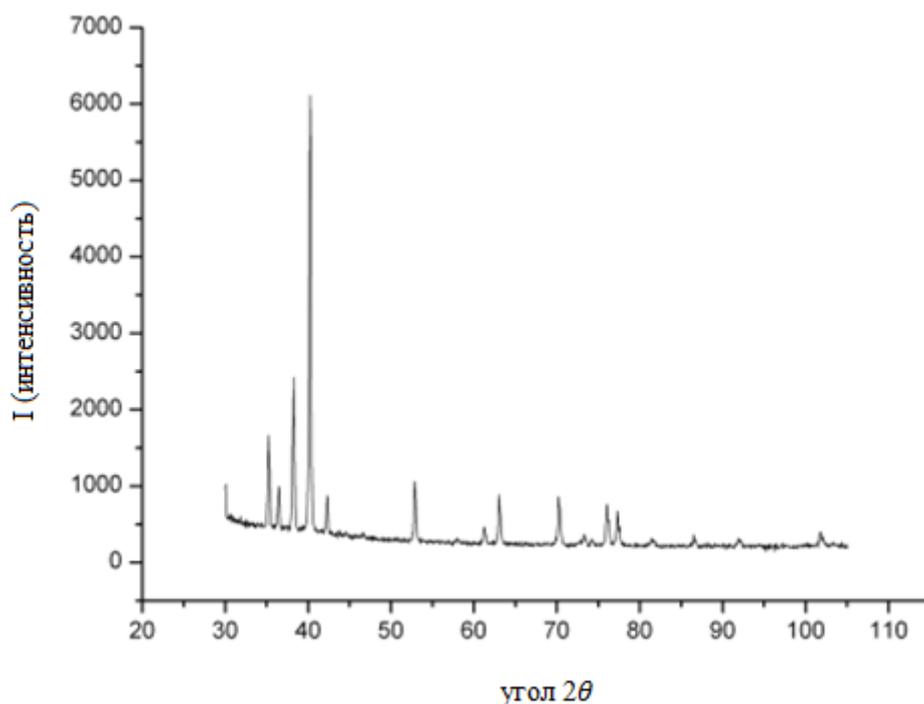


Рисунок 3.10 - Рентгенограмма спеченного при 1100°C образца ПТМ+0.2%С

3.6. Заключение по разделу

По результатам исследований определено, что чем выше температура спекания, тем больше усадка образцов по объему, вне зависимости от содержания углерода, увеличение явно. При этом изменение пористости образцов от содержания углерода зависит иначе. При содержании углерода 0,2 % С изменение пористости самое незначительное, при содержании 0,5% и 1% С изменение пористости более заметное, но не такое как в компактных образцах без содержания углерода. При повышении температуры спекания для всех образцов изменение практически неизменно.

Температура спекания влияет на рост карбидных зерен, чем выше температура спекания, тем сильнее проявляется карбидная фаза, как видно со снимков микроструктуры.

Рентгеноструктурный анализ показал, что все образцы имеют кристаллическую решетку α -титана (ГПУ), параметр несильно отличается от стандартного.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ0К	Скипину Андрею Андреевичу

Инженерная школа	ИШНПТ	Отделение	Машиностроения
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.01. «Машиностроение»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Материально-технические ресурсы: Материальны затраты НИИ; амортизация оборудования; человеческие ресурсы: дипломник, научный руководитель (2 чел.)</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>- Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»; - Минимальный размер оплаты труда в 2019 году составляет 13890 руб.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления по страховым взносам –30% от ФОТ</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>-Потенциальные потребители результатов исследования -SWOT анализ</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Бюджет затрат на проведение НИИ, включая в себя затраты на заработную плату и страховые отчисления</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>По результатам НИИ были выполнены поставленные задачи. Однако оценивать её эффективность преждевременно. Эффективность может быть определена только после проведения прикладных исследований, результатом которых будет получение конечного продукта.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Диаграмма Ганта</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	21.02.2022
---	-------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов Магеррам Али оглы	д.э.н.		21.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

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

4АМ0К	Скипин Андрей Андреевич		21.02.2022
-------	-------------------------	--	------------

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Темой выпускной квалификационной работы является «Исследование влияния температуры вакуумного спекания на формирование структуры активированных порошковых смесей системы Ti-C» Объектом исследования является порошковые композиции ТПП-8 и ПТМ-1 с добавлением различного количества углерода (сажи).

Целью данной работы является исследование свойств и структуры порошковых композиций ТПП-8 (титан пористый порошковый) и ПТМ-1 (порошок титановый мелкодисперсный) с добавлением различного количества углерода (сажи).

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.

Композиционные титановые порошки, помимо базовых свойств основного компонента (Ti), обретают также полезные характеристики входящих в их состав легирующих элементов.

Из порошков ТПП изготавливают, главным образом, тугоплавкие титановые композиции и спеченные изделия, они находят применение и в некоторых других производственных процессах.

Порошки ПТМ востребованы для производства компонентов часов и электронных приборов. С их помощью также производят фильтры для обеззараживания воды и воздуха, устранения механических включений. Кроме того, порошки, изготавливаемые в рамках данного стандарта, часто используются в пиротехнической сфере.

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 из порошкового титана производимые в АО «Полема», а $K_{к2}$ - изделия из порошкового титана производимые в ПАО "Корпорация ВСМПО-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	0,090	5	5	5		0,450	0,450	0,450
2. Высокая механическая прочность	0,090	4	4	4		0,360	0,360	0,360
3. Термостойкость	0,075	4	3	4		0,300	0,225	0,300
4. Однородность порошка по хим.составу	0,073	4	4	5		0,292	0,292	0,365
5. Пластичность	0,064	4	3	5		0,256	0,192	0,320

6. Пористость	0,082	4	3	4		0,328	0,246	0,328
7. Технологичность	0,058	5	5	5		0,290	0,290	0,290
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности								
1. Реализация продукта	0,085	3	3	5		0,255	0,255	0,425
2. Цена продукта	0,051	4	4	4		0,204	0,204	0,204
3. Охват рынка	0,082	3	3	5		0,246	0,246	0,410
4. Срок эксплуатации продукта	0,090	4	3	4		0,360	0,270	0,360
5. Сроки изготовления продукта	0,080	5	4	4		0,400	0,320	0,320
6. Наличие сертификатов	0,080	4	4	5		0,320	0,320	0,400
Итого:	1	53	48	59		4,061	3,670	4,532

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	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	У1. Плохое развитие и закрытие предприятий машиностроительного профиля в РФ

Сл3. Ручная обработка результатов исследования	У2. Развитая конкуренция технологий производства
--	--

Таблица 4.3 – Соотношение сильных сторон проекта и возможностей

Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3
Возможности проекта	В1	+	+	+
	В2	0	0	+
	В3	+	+	-

При анализе интерактивной таблицы можно выделить следующие соответствия сильных сторон исследования к возможностям внешней среды: В1С1С2С3, В2С3, В3С1С2.

Таблица 4.4 – Соотношение слабых сторон проекта и возможностей

Слабые стороны проекта				
		Сл1	Сл2	Сл3
Возможности проекта	В1	+	-	-
	В2	0	-	0
	В3	-	+	0

При анализе интерактивной таблицы можно выделить следующие соответствия слабых сторон исследования к возможностям внешней среды: В1Сл1, В3Сл3.

Таблица 4.5 – Соотношение сильных сторон проекта и угроз

Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3
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>Простота технологического процесса производства порошковых материалов и наличие качественного</p>	<p>Высокое число похожих проектов является катализатором возникновения</p>

В2. Повышение качества продукции В3. Минимизация затрат на конечный продукт	оборудования позволяют применять изделия из порошкового титана во многих отраслях промышленности (в том числе в машиностроительной и авиационной) с гарантией высокого качества	незаинтересованности данным проектом на фоне других
Угрозы проекта У1. Плохое развитие и закрытие предприятий машиностроительного профиля в РФ У2. Развитая конкуренция технологий производства	Закрытие предприятий машиностроительного профиля несомненно ставит под угрозу востребованность исследования. Области, в которых также могут применяться порошковый титан это атомная или авиационная, а также аэрокосмическая промышленность, развитию которых в РФ уделяют большее внимание	Главной угрозой проекта является высокая позиция на рынке предприятий-конкурентов, что автоматически дает им преимущество.

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	1	Составление и утверждение технического задания	Научный

задания			руководитель
Проведение научно-исследовательской работы			
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение литературы по соответствующей теме	Студент
	3	Составление плана исследования	Научный руководитель, студент
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Изучение методик по работе с оборудованием, необходимого для проведения исследования	Студент
	5	Изготовление и подготовка образцов для исследования	Студент
	6	Исследование образцов: твердость, структура, рентгеноструктурный анализ	Студент
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов научно-исследовательской работы	Студент
	8	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, студент
Составление отчета	9	Оформление отчета по НИР	Студент

4.4.2. Разработка графика проведения научного исследования

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

№ работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}		Длительность работ в календарных днях, T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{\text{ож}}$, чел-дни		Науч. рук.	Студ.	Науч. рук.	Студ.
	Науч. рук.	Студ.	Науч. рук.	Студ.	Науч. рук.	Студ.				
1	2	0	4	0	3	0	3	0	4	0
2	0	8	0	25	0	15	0	15	0	22
3	2	2	5	5	3	3	2	2	3	3
4	2	2	6	6	4	4	2	2	3	3
5	0	10	0	20	0	14	0	14	0	20
6	0	15	0	30	0	21	0	21	0	31
7	0	3	0	9	0	5	0	5	0	7
8	4	4	9	9	6	6	6	6	9	9
9	0	7	0	14	0	10	0	10	0	15

Таблица 4.10 – Календарный план-график проведения НТИ

№ работ	Вид работы	Исполнители	T _{кi}	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	■				
2	Подбор и изучение литературы по соответствующей теме	Студент	22	■				
3	Составление плана исследования	Руководитель, студент	3		■			
4	Изучение методик по работе с оборудованием, необходимого для проведения исследования	Руководитель, студент	3		■			
5	Изготовление и подготовка образцов для исследования	Студент	20		■			
6	Исследование образцов: твердость,	Студент	31			■		

Таблица 4.11 – Материальные затраты на исследование

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Затраты на материалы (З _м), руб.
Порошок титана пористый ТПП-8	кг	1	6160	7700
Порошок титановый мелкодисперсный ПТМ-1	кг	1	6800	8500
Сажа	кг	1	80	100
Бумага наждачная водостойкая	шт	20	35	800
Паста алмазная, набор	шт	6	260	1950
Сукно	м	1	540	675
Спирт этиловый ректификованный ГОСТ 5962-2013	л	0,2	1200	300
Вата медицинская	кг	0,2	400	100
Итого:				20125

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.	Амортизационные отчисления, руб.
Смеситель типа «Пьяная бочка»	130000	4	2	178,08
Гидравлический пресс	550000	15	8	803,65
Печь вакуумная	3000000	8	15	15410,96
ДРОН-3	480000	10	9	1183,56
Растровый электронный микроскоп Tescan Vega3	4525000	3	3	12397,26
Шлифовально-полировальный станок ПолиЛаб	350000	6	3	479,45
Компьютер	40000	5	4	87,68
Микроскоп оптический ЛабоМет-И	200000	5	4	438,36
Итого:				30979,00

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-выпускник
Календарное количество дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	118	118
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	24	24
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени, F_d	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:

$$Z_{\text{осн.рук.}} = \frac{29700 * (1 + 0,3 + 0,35) * 1,3 * 11,2}{209} * 13 = 44381 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата студента-выпускника:

$$Z_{\text{осн.ст.}} = \frac{13890 * (1 + 0,3 + 0) * 1,3 * 11,2}{209} * 75 = 94345 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Основная заработная плата сотрудников

Исполнители	З _{окл} , руб.	к _{пр}	к _д	к _р	З _м , руб.	Т _р , р.дн.	З _{осн} , руб.
Научный руководитель	29700	0,3	0,35	1,3	63706	13	44381
Студент-выпускник	13890	0,3	0	1,3	23474	75	94345
Итого:							138726

4.4.3.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * Z_{\text{осн}}$$

$k_{\text{доп}} = 0,12-0,15$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования).

Расчет дополнительной заработной платы приведен в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Дополнительная заработная плата сотрудников

Исполнители	З _{осн} , руб	З _{доп} , руб
Научный руководитель	44381	6657
Студент-выпускник	94345	14151

4.4.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по следующей формуле:

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

На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 30 %. Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	З _{осн} , руб	З _{доп} , руб
Научный руководитель	44381	6657
Студент-выпускник	94345	14151

Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды, $k_{\text{внеб.}}$	0,3
Итого:	47860 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	20125	Пункт 4.4.3.1.
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	30979	Пункт 4.4.3.2.
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	138726	Пункт 4.4.3.3.
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	20808	Пункт 4.4.3.4.
5. Отчисления во внебюджетные фонды	47860	Пункт 4.4.3.5.
6. Накладные расходы	41360	16% от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НИИ	299858	Сумма ст. 1-6

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{299858}{400000} = 0,75$$

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

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

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

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

Где a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i^a , b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Таблица 4.18 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1 (данный проект)	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	3	4
3. Экономичность	0,15	4	3	3
4. Энергосбережение	0,20	4	3	3
5. Надежность	0,25	4	4	5
6. Материалоемкость	0,15	4	4	4
Итого:	1	4,1	3,5	3,9

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

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

$$I_{p-исп3} = 0,1 * 4 + 0,15 * 4 * 2 + 0,15 * 3 + 0,2 * 3 + 0,25 * 5 = 3,9$$

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

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

Таким образом $I_{исп.1} = 5,47$, $I_{исп.2} = 3,8$, $I_{исп.3} = 5,0$.

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

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

Сравнительная эффективность разработки приведена в таблице 4.19.

Таблица 4.19 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,75	0,92	0,78
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,1	3,5	3,9
3	Интегральный показатель эффективности	5,47	3,8	5,0
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,44	1,1

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

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ0К	Скипину Андрею Андреевичу

Школа	НПТ	Отделение (НОЦ)	Машиностроения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 «Машиностроение»

Тема ВКР:

«Исследование влияния температуры вакуумного спекания на формирование структуры активированных порошковых смесей системы Ti-C»	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение -Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. -Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Объект исследования <u>порошковые материалы на основе титана с малым содержанием углерода, спеченные при разных температурах</u> Область применения <u>порошковая металлургия</u> Рабочая зона: <u>Лаборатория</u> Размеры помещения (климатическая зона) <u>200 м²</u> Количество и наименование оборудования рабочей зоны <u>гидравлический пресс, рентгеновский дифрактометр, термические печи, электронный микроскоп, электронные весы</u> Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне <u>прессование, исследование структуры рентгеновским излучением, спекание прессовок, исследование микроструктуры, взвешивание порошка и образцов</u></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. 	<p>1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) 2. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования 3. СП 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда 4. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные производственные факторы: - Недостаточная освещенность - Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего: температурой и относительной влажностью воздуха, скоростью движения (подвижностью) воздуха относительно тела работающего, а также с тепловым излучением окружающих поверхностей- Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума - Производственные факторы, связанные с</p>

	<p>чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека;</p> <p>Опасные производственные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Производственные факторы, связанные с повышенным уровнем ионизирующего излучения - Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий; <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, теплоизоляция горячих поверхностей, экранирование тепловых излучений, соблюдение норм индивидуальных доз облучения, оборудование, имеющее напряжением выше 42 В, должно быть заземлено. В случае надвигающейся грозы рекомендуется закончить работу с ПК и отключить его от сети.</p> <p>Расчет будет вестись для вредного производственного фактора – Недостаточная освещенность.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения:</p>	<p>Воздействие на селитебную зону <u>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</u></p> <p>Воздействие на литосферу <u>Нет</u></p> <p>Воздействие на гидросферу <u>Остатки порошка с инструментов попадают в водопроводную систему</u></p> <p>Воздействие на атмосферу <u>При переработке порошка частицы титана в виде пыли могут попасть в воздух</u></p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения:</p>	<p>Возможные ЧС <u>Взрыв вследствие скачка давления на гидроприводе пресса</u></p> <p>Наиболее типичная ЧС <u>Возникновение пожара.</u></p> <p>В данном случае источникам возгорания может оказаться <u>неисправность и неправильная эксплуатация электроустановок.</u></p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	21.02.2022
--	------------

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
4АМ0К	Скипин Андрей Андреевич		

5. Социальная ответственность

Введение

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, весы типа «ГУРВА-33», смеситель, гидравлический пресс, рентгеновский дифрактометр «ДРОН-3». Поскольку работа осуществлялась в разных частях рабочей зоны, постоянным рабочим местом является вся рабочая зона (ГОСТ 12.1.005 – 88). Объектом исследования являлись свойства, и структура композиций из порошков титана ТПП-8 и ПТМ-1.

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.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

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

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;

- личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;

Нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю [20]. 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 [20].

Правительство РФ может устанавливать базовые оклады (базовые должностные оклады), базовые ставки заработной платы по

профессиональным квалификационным группам. Заработная плата работников государственных и муниципальных учреждений не может быть ниже установленных Правительством Российской Федерации базовых окладов (базовых должностных окладов), базовых ставок заработной платы, соответствующих профессиональных квалификационных групп. Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере. Минимальный размер повышения оплаты труда работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, составляет 4 % тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда [20].

Конкретные размеры повышения оплаты труда устанавливаются работодателем с учетом мнения представительного органа работников в порядке, установленном для принятия локальных нормативных актов, либо коллективным договором, трудовым договором [20].

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 – это часть помещения предприятия (организации), имеющая площадь и объем, достаточный для размещения инженера и необходимого оборудования (рабочего стола, стула, контрольно-измерительных приборов, станков, а также справочных и рабочих материалов, инструментов, вычислительной техники и т.д.). Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

Требования к рабочему месту:

- Общие требования к размещению органов управления - по ГОСТ 22269-76.

- При работе двумя руками органы управления размещают с таким расчетом, чтобы не было перекрещивания рук.

- Органы управления на рабочей поверхности в горизонтальной плоскости необходимо размещать с учетом следующих требований:

- очень часто используемые и наиболее важные органы управления должны быть расположены в зоне 1, часто используемые и менее важные органы управления не допускается располагать за пределами зоны 2, редко используемые органы управления не допускается располагать за пределами зоны 3 (рисунок 5.1).

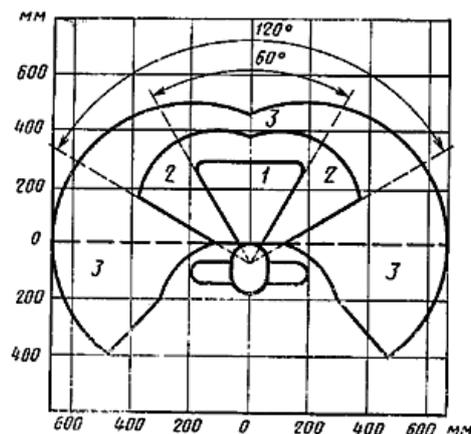


Рисунок 5.1 - Зоны для выполнения ручных операций и размещения органов управления

- При размещении органов управления в вертикальной плоскости следует руководствоваться данными, приведенными на рисунке 1. Выше 1100 мм органы управления допускается размещать в случае, если по техническим причинам расположить их до указанного уровня невозможно. Такие органы управления должны быть использованы редко.

- Аварийные органы управления следует располагать в зоне досягаемости моторного поля, при этом необходимо предусмотреть

специальные средства опознавания и предотвращения их непроизвольного и самопроизвольного включения в соответствии с ГОСТ 12.2.003-91.

- При необходимости освобождения рук операции, не требующие точности и быстроты выполнения, могут быть переданы ножным органам управления.

- Общие требования к размещению средств отображения информации - по ГОСТ 22269-76.

- Очень часто используемые средства отображения информации, требующие точного и быстрого считывания показаний, следует располагать в вертикальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от сагиттальной плоскости (рисунки 2-3).

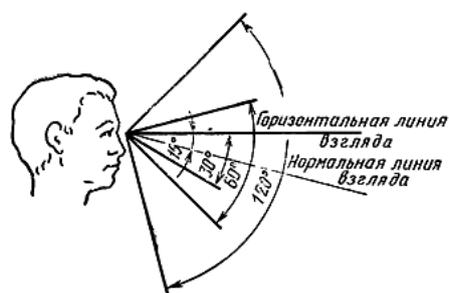


Рисунок 5.2 - Зоны зрительного наблюдения в вертикальной плоскости

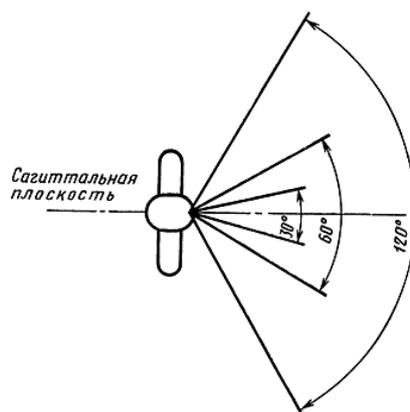


Рисунок 5.3 - Зоны зрительного наблюдения в горизонтальной плоскости

- Часто используемые средства отображения информации, требующие менее точного и быстрого считывания показаний, допускается располагать в вертикальной плоскости под углом $\pm 30^\circ$ от нормальной

линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом $\pm 30^\circ$ от сагиттальной плоскости. Для стрелочных индикаторов допустимый угол отклонения от нормальной линии взгляда - по ГОСТ 22269-76.

- Редко используемые средства отображения информации допускается располагать в вертикальной плоскости под углом $\pm 60^\circ$ от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом $\pm 60^\circ$ от сагиттальной плоскости (при движении глаз и повороте головы).

В соответствии с указаниями по проектированию цветовой отделки помещений производственных зданий, согласно «Указаниям по проектированию цветовой отделки интерьеров производственных зданий промышленных предприятий» (СН-181-70), рекомендуются следующие цвета окраски помещений: пол – тёмно-серый, тёмно-красный или коричневый; стены – сплошные, светло-голубые; потолок – белый или светлый цветной.

Применение указанных цветов обуславливается её успокаивающим воздействием на психику человека, что способствует снижению зрительного утомления. В соответствии с указаниями по проектированию цветовой отделки помещений производственных зданий, согласно «Указаниям по проектированию цветовой отделки интерьеров производственных зданий промышленных предприятий» (СН-181-70), рекомендуются следующие цвета окраски помещений: пол – тёмно-серый, тёмно-красный или коричневый; стены – сплошные, светло-голубые; потолок – белый или светлый цветной.

Применение указанных цветов обуславливается её успокаивающим воздействием на психику человека, что способствует снижению зрительного утомления.

5.2. Производственная безопасность

5.2.1. Анализ вредных факторов

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 [22].

Таблица 5.1 – Возможные вредные и опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра ботка	Изготов ление	Эксплу атация	
Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	1. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".
Повышенный уровень шума	+	+	+	
Плохая освещенность	+	+	+	
Поражение ионизирующим излучением	+	+	-	2. ГОСТ 12.4.051-87. Система стандартов безопасности труда 3. СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009)
Термические поражения	+	+	-	
Поражение электрическим током	+	+	+	4. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95

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.

Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

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.

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

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

В лаборатории, где проводились работы, не все показатели сходились с нормативными, результаты приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Условия микроклимата в лабораториях ОМ НИ ТПУ

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Лёгкая	22	25	0.1

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. При этом рабочие, у которых развивается потеря слуха, могут не подозревать об этом до тех пор, пока проблема не приобретает характер необратимого физического недостатка. Продолжительное воздействие шума на работника производства уменьшает его трудоспособность, а также становится причиной возникновения профессиональных болезней. При превышении уровня

шума могут происходить нарушения в работе двигательного аппарата и зрения.

Уровень шума в помещении должны соответствовать СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. Производить замер шума необходимо не реже двух раз в год.

Источником шума в данной работе является гидравлический пресс, однако шум от данной установки не является постоянным, и его характеристика является эквивалентной (по энергии), уровень шума измеряется в дБ. Согласно СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 уровень шума в помещениях лабораторий должен составлять 90 дБ при легкой физической трудовой деятельности и напряженности легкой степени.

Защита от производственного шума может быть в виде применения звукоизолирующих и звукопоглощающих материалов, также возможно использовать индивидуальные средства защиты, такие как противошумные наушники или противошумные вкладыши (беруши).

5.2.1.3. Производственные факторы, связанные с повышенным уровнем ионизирующего излучения

В ходе исследований использовался рентгеновский дифрактометр, который представляет собой источник ионизирующего излучения. Ионизирующее излучение при воздействии на организм может вызывать два типа воздействия: вероятностные беспороговые эффекты (лейкозы, злокачественные опухоли, наследственные болезни) и детерминированные пороговые эффекты (лучевая болезнь, лучевой дерматит, лучевое бесплодие, аномалии в развитии плода и др.). При работе с источниками ионизирующего излучения необходимо соблюдать требования НБР-99 «Нормы радиационной безопасности». Основные пределы доз

ионизирующего излучения для двух категорий населения представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Основные пределы доз ионизирующего излучения

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал (группа А)	Население
Эффективная доза (в год)	20-25 мЗв (не более 50 мЗв)	1 мЗв (не более 5 мЗв)
Эквивалентная доза (за год)		
В хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
В коже	500 мЗв	50 мЗв
В кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

Для обеспечения радиационной безопасности при нормальной эксплуатации источников излучения необходимо руководствоваться следующими основными принципами:

- Принципом нормирования, подразумевающим соблюдение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников ионизирующих излучений.

- Принципом обоснования, запрещающим все виды деятельности по использованию ионизирующих излучений, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным к естественному радиационному фону облучением.

- Принципом оптимизации, который означает поддержание на наиболее возможным низким и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника ионизирующих излучений [23].

При работе с дифрактометром рациональнее использовать принцип оптимизации радиационной безопасности.

5.2.1.4. Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения

Согласно СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса, при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк [21], что не совпадало с действительным освещением в лаборатории НИ ТПУ. 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 [34].

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 СП 52.13330.2011 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 $\rho_{\Pi} = 70\%$. 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 $\rho_{\text{П}} = 70\%$, $\rho_{\text{С}} = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,7$ равен $\eta = 0,48$.

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 5.4 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

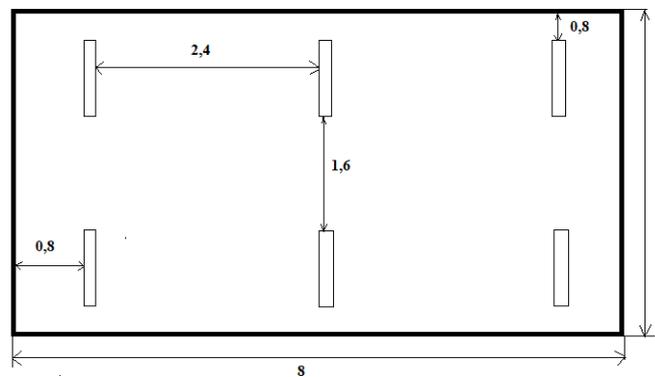


Рисунок 5.4 – План размещения светильников с люминесцентными лампами.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{П}} = \frac{E * A * B * K_3 * Z}{N * \eta} = \frac{150 * 8 * 6 * 1,5 * 1,1}{6 * 0,48} = 4125 \text{ лм.}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛБ}} - \Phi_{\text{П}}}{\Phi_{\text{ЛБ}}} * 100\% \leq 20\%$$

$$\frac{4800 - 4125}{4800} * 100\% = 14\%$$

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

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.

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды, такой как сырость (относительная влажность в помещении $\geq 75\%$), токопроводящие полы или пыль, высокая температура (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В – это помещения особо опасные, характеризующиеся особой сыростью, наличием химически активной среды или одновременно нескольких условий повышенной опасности [25].

С точки зрения электробезопасности (ГОСТ 12.1.030-81), оборудование, запитываемое напряжением выше 42 В, должно быть заземлено или занулено. Зануление – более эффективная мера, чем защитное заземление, т. к. в критическом случае ток короткого замыкания при занулении больше, чем при заземлении, из-за чего предохранительные устройства быстрее срабатывают. Во многих случаях это позволяет сберечь дорогостоящее оборудование от повреждений. Соединяющие проводники электрооборудования изготавливают из медного провода сечением 1,5 мм², покрытым изоляционным слоем лака для защиты от окисления. Кроме того, обязательно должна быть предусмотрена возможность быстрого отключения напряжения с разделительного щита [26].

Несмотря на присутствие большого количества электроприборов в лабораториях, они относятся к категории помещений без повышенной опасности, так как в них не присутствует ни одного из вышеперечисленных условий опасности.

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

Опасность, возникающая при горении, повышенной температуре поверхности и (или) повышенной температуре вдыхаемого газа называется термической опасностью (ГОСТ Р 52423-2005).

На базе ИФПМ СО РАН термическую опасность представляют в основном печи и нагревательные приборы. В исследовательской работе использовалась вакуумная печь.

Термическая опасность может привести к:

- Ожогам и ошпариванию из-за соприкосновения с предметами или материалами, имеющими чрезвычайно высокую или низкую температуру, вызванную, например, пламенем или взрывом, а также излучением источников тепла (печи);

- Ущербу здоровью из-за воздействия высокой или низкой температуры окружающей производственной среды.

В качестве средств защиты можно использовать средства индивидуальной защиты, например, термостойкую одежду и обувь.

5.3. Экологическая безопасность

5.3.1. Воздействие на селитебную зону

При большом накоплении Тi в атмосфере или гидросфере, могут при его вдыхании начаться проблемы со здоровьем. Вдыхание 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.

5.3.2. Воздействие на гидросферу и атмосферу

Для изготовления образца из порошков титана ТПП-8 и ПТМ-1 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 в виде пыли могут попасть в воздух. Но по сути титан не влияет негативно на окружающую среду.

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 Ti в воде равно 0,1 мг/л. Превышение же ПДК может оказать пагубное влияние на употребляющих такую воду людей, скот и растения. Его можно избежать, устанавливая на предприятиях качественную систему фильтрации, производя отбор маслянистых частиц, производя дезинфекцию и отбор проб не реже двух раз в год.

5.3.3. Воздействие на литосферу

Порошковая металлургия (ПМ) гораздо меньше влияет на экологию, чем металлургия в классическом ее понимании. 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 (в том числе и порошка Ti) нет.

5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях (ЧС)

Работа, представленная в данной ВКР, проводилась в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

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.

В условиях ЧС важно, как можно скорее эвакуировать людей за пределы зон возможного поражения или разрушений. В наиболее короткие

сроки эвакуацию можно провести комбинированным способом, который заключается в том, что при его применении массовый вывод населения пешим порядком сочетается с вывозом некоторых категорий населения всеми видами имеющегося транспорта [28]. План эвакуации приведен на рисунке 5.5.

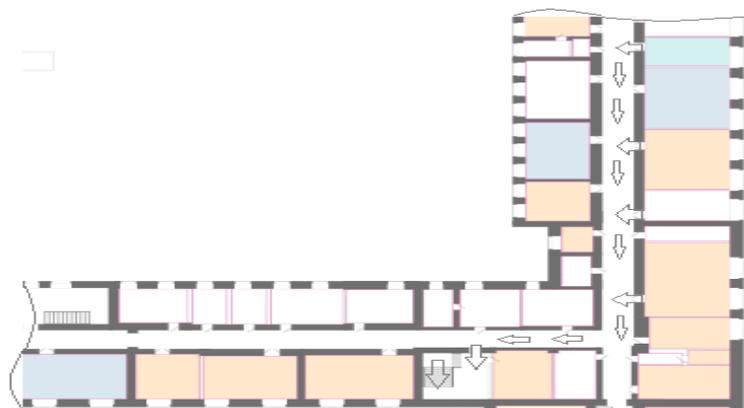


Рисунок 5.5 – План эвакуации при ЧС из лабораторий ИФПМ СО РАН

На обеспечение противопожарной безопасности, также имеется свой комплекс защитных мероприятий. 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. 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.

Выводы по разделу

Исходя из расчетов $-10\% \leq 14\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Согласно Правил устройства электроустановок можно определить категорию помещения по электробезопасности, как первую, поскольку помещение является сухим, присутствует работающая приточно-вытяжная вентиляция, отсутствие токопроводящей пыли и химических соединений в воздухе, температура окружающего воздуха не превышает $+35^{\circ}\text{C}$, покрытие пола выполнено из материалов, не проводящих электричество.

Согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок персоналу присвоена группа по электробезопасности II, поскольку были получены элементарные технические знания об электроустановке и ее оборудовании, а также отчетливое представление об опасности электрического тока, опасности приближения к токоведущим частям и знание основных мер предосторожности при работах в электроустановках, освоены практические навыки оказания первой помощи пострадавшим.

Категорию тяжести труда по СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" определена как Ib (легкая), поскольку проводились работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением.

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.

Категорию объекта, на котором ведется исследование можно определить, как III оказывающих незначительное негативное воздействие

на окружающую среду, поскольку есть незначительный выброс порошка в гидросферу и атмосферу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РАБОТЕ

1. В ходе исследований определено:

- Прямое влияние температуры спекания на усадку образцов (чем выше температура, тем больше усадка)

- Определенное влияние содержания углерода в образце на его пористость (у образцов с содержанием углерода 0,2% она выше, чем у образцов с содержанием углерода 0,5% и 1% соответственно)

- Влияние температуры спекания на рост карбидных зерен

- Рентгеноструктурный анализ показал, что все образцы имеют кристаллическую решетку α -титана (ГПУ), параметр несильно отличается от стандартного.

2. В качестве экономического обоснования проведенных исследований составлен план работ и на его основе проведены расчеты трудоемкости. Величина затрат на реализацию НТИ составила 299858 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, исключающие попадание в окружающую среду вредных веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курганова Ю.А. Конструкционные металломатричные композиционные материалы: учебное пособие / Ю.А. Курганова, А. Г. Колмаков. — Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015.
2. Матусевич А.С. Композитные материалы на металлической матричной основе / А.С. Матусевич. – М.: Издательство “Наука и техника”, 1978. – 216 с.
3. Tjong, S.C. Processing-structure-property aspects of particulate- and whisker reinforced titanium matrix composites / S.C. Tjong, Yiu-Wing Mai // *Composites Science and Technology*. – 2008. – V. 68. – P. 583-601.
4. Matthieu Bardet. Processing of titanium-based composite materials with nanosized TiC and TiB reinforcements using different powder metallurgy processes: hydrogenation/dehydrogenation sintering, and severe plastic deformation (Equal Channel Angular Pressing: ECAP). *Material chemistry*. Université de Bordeaux, 2014.
5. С. А. Зелепугин, О. А. Шкода, О. К. Лепакова, А. С. Зелепугин, Н. Г. Касацкий, А. А. Шавнев, Е. И. Краснов Синтез металло-интерметаллидного слоистого композиционного материала системы Ti–TiAl₃ различными методами, 2016
6. С. Т. Mileiko, S. N. Galyshev, A. A. Kolchin, V. V. Kedrov, O. F. Shakhlevich, M. Yu. Nikonovich, N. A. Prokopenko. Institute of Solid State Physics of RAS// *Carbon-fibre/titanium matrix composites: microstructure, strength and fracture toughness*, 2019
7. Jérôme Roger, Bruno Gardiola, Jérôme Andrieux, Jean-Claude Viala, Olivier Dezellus. *Synthesis of Ti matrix composites reinforced with TiC particles: thermodynamic equilibrium and change in microstructure*, 2017
8. Диаграммы состояния двойных металлических систем ред. Лякишева Н.П.Машиностроение, 1996-2000 г.

9. D.A. Aksyonov, A.G. Lipnitskii, Yu.R. Kolobov. The Center of Nanostructured Materials and Nanotechnologies, Belgorod State University // Ab initio study of Ti–C precipitates in hcp titanium: Formation energies, elastic moduli and theoretical diffraction patterns, 2012
10. Dan Xie, Kepeng Shang, Zhonghuai Yi, Huiwen Xiong, Zhiyou Li, Xueping Gan, Kechao Zhou. Submicron Ti(C,N)-based cermets with improved microstructure using high-energy milled and subsequent heat-treated ultrafine Ti(C,N) powders, 2022
11. Li Zhang, Yan Liang, Jing-hong Gu, Xiang-yu Yan, Xia Li, Peng Yu, Li Wang. Synthesis of nano (Ti,W)C powder with preferred orientation and twin boundary structure, 2022
12. Кипарисов С.С., Левинский Ю.В., Петров А.П. Карбид титана: получение, свойства, применение. - М.: Металлургия, 1987. – 216 с.
13. Панов В.С., Чувилин А.М., Фальковский В.А. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. Учебное пособие для вузов. – 2-е изд. доп. и перераб. – М.: МИСИС, 2004. – 464 с.
14. Гиршов В.Л., Котов С.А., Цеменко В.Н. Современные технологии в порошковой металлургии: учеб. пособие/ В.Л. Гиршов, С.А. Котов, В.Н. Цеменко.- СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2010.- 385 с
15. Баричко Б.В., Космацкий Я.И., Панова К.Ю. Технология процессов прессования— Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011.
16. Гропянов А.В., Ситов Н.Н. , Жукова М.Н. Порошковые материалы: учебное пособие / ВШТЭ СПбГУПТД. - СПб., 2017. -74 с
17. Либенсон Г.А. Процессы порошковой металлургии: учеб. Пособие в 2-х т. Т. 1. / Г.А. Либенсон, В.Ю. Лопатин, Г.В. Комарницкий. – М.; «МИСИС», 2001. – 368 с.
18. Кинетика уплотнения металлических порошков при спекании. Ивенсен В.А. Изд-во «Металлургия», 1971 – 272 с.

19. J.E. Blendell. Encyclopedia of Materials: Science and Technology (Second Edition), 2001, p.8745-8750.

20. ВТ-1121.00.000 РЭ. Смеситель турбулентный С2.0. Руководство по эксплуатации.

21. Овечкин Б.Б., Матренин С.В. Процессы порошковой металлургии: Метод. указ. по выполн. лаб. работ по курсу “Порошковые композиционные материалы и изделия” для студентов направления 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов - Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – 32 с.

22. Лахтин Ю.М., В.П. Леонтьева. Материаловедение: Учебник для вузов. – 4-е изд., переработанное: - М.: ООО «ИД Альянс», 2009. – 528 с.

23. Гуляев А.П., Гуляев А.А. Металловедение: Учебник для вузов. 7-е изд., перераб. и доп. – М.: ООО «ИД Альянс», 2012. – 644 с.

24. ПТИ 899-ЦКЛК-145-2013 “Работа на инвертированном микроскопе отраженного света Axiovert 200MAT. Производственно-техническая инструкция”;

25. Герасимова Л.П., Гук Ю.П. Практическая металлография. - М.: Б.и., 2017. — 244 с.

26. Современные методы структурного анализа в материаловедении / С.Н.Кульков, С.П.Буякова. – Томск: Издательство ТПУ, 2011. – 84с.

27. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие/ И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницына; Томский Политехнический университет - Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 36 с.

28. Касьянова Г.Ю. Амортизация основных средств: бухгалтерская и налоговая. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: АБАК, 2011. - 112 с.

29. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) // Собрание законодательства Российской Федерации. - 07.01.2002.

30. Назаренко О. Б. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие -Томск: Изд – во ТПУ, 2010. – 144с.

31. П.П. Кукин. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда: учебное пособие для вузов. «Высшая школа». Москва 2009. – 335 с.

32. Руководство к лабораторным занятиям по гигиене и основам экологии человека: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Ю.П. Пивоваров, В.В. Королик. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательский центр «Академия», 2006. — 512 с.

33. Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей – Томск: Изд. ТПУ, 2005.

34. П. А. Долина. Техника безопасности в электроэнергетических установках: справочное пособие. «Энергоатомиздат». Москва 1987. – 400 с.

35. Белов С.В., А.В. Ильницкая и др. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов. 1999. – 354 с.

36. Лазарев Н.В. Левина Э.Н. (ред.) Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Изд. 7-е, пер. и доп. В трех томах. Том I. Органические вещества. Л., «Химия», 1976. - 592 стр.

37. Мастрюков Б.С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: учебник для студентов высших учебных заведений, М.: Академия, 2003. - 336 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Materials and methods of research

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ0К	Скипин Андрей Андреевич		

Консультант школы отделения (НОЦ) _____ (аббревиатура школы, отделения (НОЦ)) _____:

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

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы _____ (аббревиатура отделения (НОЦ) школы):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Сыскина А.А.	к.ф.н.		

Materials and methods of research

Material for research

The powder can be considered the basis in the process of obtaining various titanium products. This is one of the most important elements in the chain of creation of titanium products, the structure, properties and characteristics of which largely depend on the parameters of the resulting products. Titanium powders, regardless of their structural composition and production methods, have all the basic useful properties of this metal, including: corrosion resistance; hardness; porosity; plasticity; heat resistance; mechanical strength; sintering and weldability; lightness; wear resistance; good compressibility.

TPP-8 powder belongs to the category of titanium porous powders created by grinding (grinding) titanium sponge. TPP powders are obtained mainly by processing screenings of spongy titanium using the hydrogenation-dehydrogenation method.

PTS-1 powder belongs to the category of titanium powders obtained by reducing titanium dioxide (TiO_2) with calcium hydride (CaH_2) into titanium hydride (TiH_2) and decomposing the latter into H and Ti (dehydrogenation). The composition of TPP-8 and PTS-1 powders is presented in the table 6.1.

Four powder compositions were made from PTS-1 powder with the addition of zero to one percent carbon (soot) to it.

Table 6.1 - Composition of TPP-8 and PTS-1 powders

Powder	Chemical composition (according to the standard)							
	Ti	Mass content of impurities, %						
		Fe	Cl	N	C	H	Si	Ca
TPP-8	Basis	2,1	0,5	1,1	-	-	-	-

PTS-1	Basis	$\leq 0,4$	\leq 0,004	$\leq 0,08$	$\leq 0,05$	$\leq 0,35$	$\leq 0,1$	$\leq 0,08$
-------	-------	------------	-----------------	-------------	-------------	-------------	------------	-------------

Mixing powders

To prepare a homogeneous mechanical mixture, the method of mechanical mixing of powders was used, which was implemented using a mixer with an offset axis (such as a "drunken barrel"), for mechanical activation of powder mixtures and to avoid grinding during mixing (Figure 2.1).



Figure 2.1 - Mixer with an offset axis (type "drunken barrel")

To start the mixer, it is necessary to follow the procedure for working with the mixer control system. [20]

It is necessary to start the system by turning the switch to the "I" position, while the inscription "VIBROTECHNIK" will appear on the information board within a few seconds.

Then the following inscription should appear on the display (Figure 2.2): "Drive control 10:00:40.00 STOP", where 10:00 - means the set operating time; 40.00 – the rotation speed of the bowl; STOP – the state of the mixer. To set the

operating mode, you need to enter the necessary values using the keyboard located on the control panel.

To set the frequency, you need to press the ↓ key – the inscription will appear on the display: "Enter the frequency. 40 rpm", then use the numeric keys to set the desired value. Next, you need to press the "Enter" key.

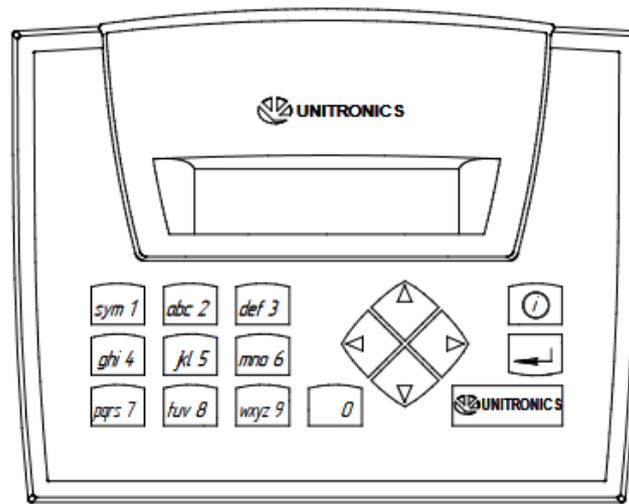


Figure 2.2 - Appearance of the control panel

To set the time, press the ↓ key – the display will display "Enter the time 10:00:00.00" in the format "hours: minutes: seconds: fractions of a second", then use the numeric keys to set the desired value. Next, you need to press the "Enter" key. To complete the data entry, press the ↓ key.

To start the mixer, press the "Enter" key. After the launch, the countdown of the set time will be displayed on the display. To stop the mixer before the set time, press the "Enter" key. At the same time, when you press the "Enter" key again, the countdown will start again.

By default, the last set parameters remain in memory: frequency and time. When you press the "Enter" key without first setting the frequency and time, the mixer will work with the frequency and during the time interval set during the previous operation session.

The procedure for working with the mixer [20]:

- the protective hood reclines;

- the actuator is rotated to place the bowl in a position in which it can be removed from the basket;
- the clamp is unscrewed, and after that the traverse is removed;
- the bowl is removed from the basket;
- the lid is removed from the bowl, and then the necessary mixed materials are filled in or poured into it;
- after loading the material, the bowl is closed back with a lid and installed in the basket, secured with a clamp. The protective hood is lowered.
- setting the desired operating mode on the control panel, according to the methodology specified above, and further turning the mixer on

After executing the specified program, the mixer will automatically turn off and the following procedure is followed:

- the protective hood reclines;
- the clamp is unscrewed, and after that the traverse is removed;
- the bowl is removed from the basket;
- the lid is removed from the bowl and the mixed materials are removed from it.
- at the end of the work, the power supply is turned off, and the bowl, lid and tray are cleaned and washed

Pressing of powder compositions

Since no special requirements imposed on the powder, the method of one-sided cold pressing is used, using a rigid metal mold (Figure 6.3).

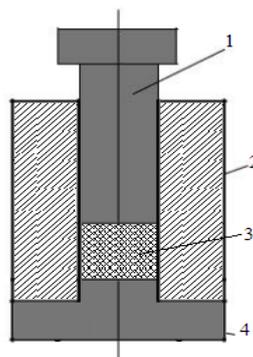


Figure 6.3 – Diagram of a mold for one-sided cold pressing of powders: 1 - upper punch; 2 – matrix; 3 – powder; 4 – lower punch (fixed)

With this method, the powder poured into the matrix of the mold, closed with a lower punch. After that, the upper punch closes the matrix on the other side and is installed on special pressing equipment. The powder is formed in the cavity of the matrix between the upper (movable) and lower (stationary) punches. After the finished briquette is removed from the mold. The resulting pressing has the size and shape of the finished product, as well as sufficient strength for overloading and transportation to the sintering furnace.

Pressing was carried out on a hydraulic test press TP 6084-1000 (Figure 6.4).



Figure 6.4 - Test press TP 6084-1000

Three grams powder composition weights were prepared, and a plasticizer – technical oil - was added to improve the compressibility. A powder

mixture with a plasticizer was placed in a mold. The samples were pressed on a hydraulic press under a load of 400 MPa.

Structural studies

Structural studies were carried out using optical microscopy and X-ray diffraction analysis (AXIOVERT-200MAT optical microscope, XRD-6000 X-ray diffractometer, CuK α radiation). The analysis of the phase composition was carried out using PDF 4+ databases, as well as the POWDER CELL 2.4 full-profile analysis program.

Surface preparation

The surface of the sample, on which the metallographic study will be carried out, is subjected to special treatment. First of all, an approximately flat surface is obtained.

Samples of small sizes to facilitate processing are placed in a special clamp, usually consisting of two plates that can be brought together and pushed apart with screws, or sulfur is poured into special fusible alloys, etc.

The filling is carried out as follows: a round or square mandrel (made of steel or brass) is installed on a metal or ceramic plate and a sample is placed inside the mandrel so that the surface to be prepared rests on the plate. Then the liquid fusible mass is poured into the mandrel with a sufficiently dense filling of it.

Recently, in laboratory practice, they began to use more convenient than pouring, pressing samples into plastic.

Further surface preparation consisted of three stages:

- Grinding. Grinding is carried out sequentially with sandpaper of various grades, first with a larger grain of abrasive, and then with a smaller one. The direction of movement of the sample on sandpaper or the position of the sample relative to the direction of the circle when changing the paper grade is

changed by 90 ° for better removal of scallops and ridges created by previous grinding.

The particles of abrasive material remaining on the surface of the sample after grinding are removed by blowing air or washing with water (cleaning agent).

- Polishing. By polishing, the small risks remaining after grinding are removed. Mechanical, chemical-mechanical and electrochemical polishing methods are used. The samples were polished mechanically. Mechanical polishing is performed on a rotating circle with stretched or glued polishing material (felt, velvet, fine cloth), on which an abrasive substance with very small particles is continuously or periodically applied (it was produced using diamond paste of various grain sizes to give the surface a "mirror shine"). The polishing wheel should be wet, and the pressure of the sample on the circle should be insignificant. The rotation speed of a circle with a diameter of 250 mm should be 400-600 rpm. Polishing is considered finished when the surface of the sample acquires a mirror shine and even under a microscope risks or scratches are not visible.

Grinding and polishing was carried out on the METOLAB MP-1-300 AN grinding and polishing machines (Figure 6.5a) and MP-1 (Figure 6.5b).



Figure 6.5 - Grinding and polishing machines METOLAB MP-1-300 AN (a) and MP-1 (b)
- Etching. It was carried out using an etcher – an aqueous solution from a mixture of hydrofluoric (HF) and nitric (HNO₃) acids for 10 minutes to identify the structure of the material under study.

Working with a microscope

The Axiovert 200MAT inverted microscope (hereinafter referred to as the Microscope) is designed for measurements during metallographic observations and research, including sample quality control in mechanical engineering, geology, microelectronics and other industries (Figure 6.6).

The principle of operation of the microscope is based on a non-contact method of measuring the image size of the controlled object.

The survey method is light or dark field, luminescence, polarization, differential interference contrast.

The microscope is equipped with two WPL 10 x/23 eyepieces and five lenses with magnification of 5x, 10x, 20x, 50x, 100x.



Figure 6.6 - Inverted Microscope Axiovert 200MAT

The table 6.2 lists all components of the Axiovert 200MAT microscope.

Table 6.2 - Components of the Axiovert 200MAT microscope

Designation	Name	Quantity	Note
Axiovert 200MAT	Microscope	1	
	Revolver lens head	1	For 5 lenses 5 ^x , 10 ^x , 20 ^x , 50 ^x , 100 ^x
	Light source	2	halogen HL 100; mercury HBO 100
	Eyepiece	2	W-PL
	The object table	1	Moving with a special screw along the X and Y axes
Carl Zeiss 5+ ^{100/100} mm	Object-micrometer	1	0 – 5,0 mm
	Power supply	1	

The microscope is equipped with a two-line LCD display located on a magnetic support. The upper line of the display shows the position and magnification of the lens, the lower line shows the brightness of the lamp through the dashed strip and the corresponding voltage value (one stroke corresponds to 0.4 V). When the halogen lamp is turned off, the information "Hal off" appears in the bottom line of the LCD display instead of the dashed strip of the lamp brightness.

Determination of density

Pour 25 cm³ of the test powder into the beaker, install it in the holder of the shaker and conduct the test until the change in the volume of the powder stops. The density after the shaking is calculated by the formula:

$$\rho = \frac{m}{V}, \frac{g}{cm^3}$$

where m is the weight of the powder weight, g; V is the volume after shaking, cm³. The shaking density is defined as the arithmetic mean of the results of three tests.

The actual density of the powder particles differs significantly from the density calculated on the basis of X-ray data when determining the crystal lattice of the powder material. This difference in density is explained by the presence of significant internal porosity in the powder metal, defects in crystal lattices, the presence of oxides, etc. The actual density of powders is determined by the pycnometric method. The pycnometric density of powders is determined on a pycnometer, which is a measuring vessel with a certain volume (5, 10, 25, 50 ml). Before determination, the volume of the pycnometer is checked and the mass of the pure dry pycnometer m_1 is weighed. Then the density of the pycnometric liquid is determined, as which liquids can be used that wet the metal of the powder particles well and at the same time inert to it, having a stable density and minimum values of characteristics such as vapor elasticity,

viscosity, surface tension, and the size of molecules. Usually, kerosene, benzene, and benzene alcohol are used as liquids that meet these requirements. When determining the density of a pycnometric liquid, it is subjected to vacuum degassing, and after that it is poured into a pycnometer to a measured risk and weighed together with a pycnometer (m_2). Then the density of the liquid is determined by the formula:

$$\rho_l = \frac{(m_2 - m_1)}{V_p}, \frac{g}{cm^3}$$

where V_p is the volume of the pycnometer. The powder sample is dried, and then a dry and clean pycnometer is filled with 1/2—2/3 of it and weighed again (m_3). After that, the remaining free volume of the pycnometer is filled with a pycnometric liquid, without adding it to the measured risk of the pycnometer. The pycnometer with powder and liquid is placed in a vacuum desiccator, in which it is kept until the release of gases adsorbed by the powder stops. As a result of vacuuming, the liquid level in the pycnometer will decrease. After the end of degassing, the pycnometric liquid is topped up to the measuring risk of the pycnometer, and it is weighed with powder and liquid (m_4). The pycnometric density of the powder is determined by the formula:

$$\rho_p = \frac{m_3 - m_1}{V_p} - \frac{m_4 - m_3}{\rho_l}, \frac{g}{cm^3}$$

Determination of porosity

An additional indirect indicator of structural and phase changes in sintered powder materials are volumetric dilatations and transformation of pore structures. Therefore, changes in porosity and volume were calculated depending on the composition of powder compositions. A standard expression was used to determine porosity:

$$\theta = 100 * \left(1 - \frac{\rho_{real}}{\rho_{theo}}\right)$$

where θ is porosity, %; r_{real} is the real density of the sample; p_{theo} is the theoretical density of the powder mixture calculated by the additive method. Volume dilatations were defined as the relative change in the volume of samples before and after sintering.

Grain size calculation

It is more convenient to determine grain sizes in a photograph or on the frosted glass of a microscope camera. When magnified x100, a circle with a diameter of 79.8 mm has an area of 0.5 m^2 . Thus, to increase x500, a circle of the same diameter will have an area of 0.25 mm^2 , and 0.1 mm^2 to increase x1000, respectively. If the grains are counted on the microstructure image, then such a circle is drawn directly on the photo. It is necessary that there are at least 50 grains on the area occupied by the circle. Grain counts are carried out for at least three characteristic sections, or for a larger number of sections if the number of grains in one circle is less than 50. The number of grains cut by the circle and the number of whole grains inside the circle at each site are determined. Grains cut by a circle can be considered divided in half. Then, using formulas, the average area and the average diameter of one grain are calculated.

X-ray diffraction analysis

For the radiograph, $\sin 2\theta$ is determined. After that, the type of crystal lattice is determined by the method of relations. Further, the formulas calculate the value of the interplanar distances, the lattice parameter, the size of the crystallites and the magnitude of the microstresses. A table with the above values is compiled for the X-ray.

To calculate the average size of the crystallite and the magnitude of microstresses, the Selyakov–Scherrer and Stokes–Wilson formulas are used, as well as the Williamson-Hall method.

The Selyakov – Scherrer formula for calculating the average size of a crystallite has the form: (β and θ for the first most intense peak).

$$D = \frac{\lambda}{\beta \cdot \cos \theta}$$

The Stokes–Wilson formula (β and θ are taken for the last discernible peak.)

$$\varepsilon = \frac{\beta}{2 \cdot \operatorname{tg} \theta}$$

The Williamson – Hall technique boils down to finding the coefficients of a linear equation ($\left(\frac{\lambda}{D}\right)^2 = A$ и $(4 \cdot \varepsilon)^2 = B$ -coefficients of the equation)

$$\beta^2 = \left(\frac{\lambda}{D \cdot \cos \theta}\right)^2 + (4 \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \theta)^2$$