

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) – Материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование и разработка технологии получения композиционных порошковых материалов на основе системы Ti-Al-B

УДК 621.762.8:669.2/.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM71	Нурманов Жанболат Аскарлович		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Рагозин Д.В.	к.и.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Исаева Е.С.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01	Коростелева Е.С.	к.т.н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

15.04.01 «Машиностроение»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять <i>глубокие</i> естественно научные, математические и инженерные <i>знания</i> при разработке наукоемких технологий изготовления и обработки новых материалов и изделий из них
P2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современных технологий машиностроительного производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач
P3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P4	Разрабатывать технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке машиностроительного производства, с подготовкой и анализом технической документации
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования, расчеты на прочность</i> в области современных технологий обработки материалов, производства узлов, деталей и конструкций в машиностроении
P6	Внедрять, <i>эксплуатировать</i> и обслуживать современное высокотехнологичное производство, обеспечивать его <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Использовать <i>глубокие знания по проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности

P8	<i>Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности</i>
P9	<i>Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.</i>
P10	<i>Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития.</i>
P11	<i>Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.</i>

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) – Материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Коростелева Е.Н.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ71	Нурманову Жанболату Аскарловичу

Тема работы:

Исследование и разработка технологии получения композиционных порошковых материалов на основе системы Ti-Al-B
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования являлись композиционные порошки системы «Ti-Al-B», а также аддитивные технологии на их основе.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Изучение литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки в области получения и применения композиционных порошков; актуальность работы и постановка задачи; методы получения и исследования объекта исследования; анализ результатов выполненной работы; заключение.
Перечень графического материала	Презентация в Microsoft PowerPoint

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рагозин Д.М.
Социальная ответственность	Исаева Е.С.
Разделы, выполненные на иностранном языке	Рыбушкина С.В.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Основная часть, Литературный обзор, Результаты исследования, Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», Социальная ответственность – русский язык

На иностранном языке выполнены следующие разделы диссертации:

Литературный обзор

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

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ71	Нурманов Жанболат Аскарлович		

Реферат

Магистерская диссертация содержит 102 с., 27 рисунок, 15 таблиц, 32 источника, 1 прил.

Ключевые слова: композиционный порошок, титан, алюминий, бор, вакуумное реакционное спекание, порошковая наплавка, спекание, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), аддитивные технологии.

Объектом исследования являлись композиционные порошки системы «Ti-Al-B», а также аддитивные технологии на их основе.

Целью настоящего научно-исследовательской работы является: изучить возможности и особенности синтеза композиционных порошковых материалов на основе титана, алюминия и бора в зависимости от соотношения компонентов и условий реакции; исследовать формируемую структуру получаемых композитов, их основные характеристики; провести оценку реакционной способности исследуемых составов.

В результате исследований описаны структурные особенности и некоторые физико-механические свойства композиционных порошков «титан-алюминий-бор» а также наплавки на их основе.

Степень внедрения: внедрение в производство не осуществлено.

Область применения: порошковая металлургия.

Экономическая эффективность/значимость работы – проект обладает высокой ресурсоэффективностью и является ресурсосберегающим.

Оглавление

Реферат.....	6
Введение.....	9
1. Литературный обзор.....	11
1.1. Общие понятия порошкового материаловедения	11
1.2. Основные технологические процессы порошковой металлургии	12
1.2.1. Спекание в вакууме.....	13
1.2.2. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез(СВС).....	14
1.3. Аддитивные технологии.....	17
1.4. Система «титан – алюминий – бор».....	19
2. Материалы и методы.....	25
2.1. Описание используемых экспериментальных методик и материалов.....	25
3. Результаты исследований.....	30
3.1. Исследование спекания синтезированных порошков Ti-Al-B.....	30
3.1.1. Анализ спеченной порошковой системы $Ti_3Al+TiB$	30
3.1.2. Анализ спеченной порошковой системы $Ti_3Al+TiB_2$	32
3.1.3 Анализ спеченной порошковой системы $TiAl_3+TiB$ и $TiAl_3+TiB_2$	36
3.1.4 Анализ спеченной порошковой системы $Ti+Ti_3Al+TiB$	39
3.2. СВС процессы в составах на основе Ti-Al-B	42
3.3. Использование СВС порошка Ti-Al-B в наплавочных процессах и спекании.....	42
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	44
4.1. Введение к разделу	45
4.2. Потенциальные потребители результатов исследования.....	45
4.3. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	46
4.4. SWOT - анализ.....	49
4.5. Организация и планирование работ	52
4.5.1. Продолжительность этапов работ	53
4.6. Расчет сметы затрат на выполнение проекта.....	58
4.6.1. Расчет затрат на материалы.....	58

4.6.2. Расчет затрат на оборудование	59
4.6.3. Расчет заработной платы	59
4.6.4. Расчет затрат на социальный налог	60
4.6.5. Расчет затрат на электроэнергию	60
4.6.6. Расчет прочих расходов	62
4.6.7. Расчет общей себестоимости разработки	62
4.7. Заключение по разделу.....	63
5. Социальная ответственность.....	64
5.1 Введение к разделу.....	66
5.2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	67
5.3. Производственная безопасность.....	70
5.3.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов	71
5.3.1.1. Превышение уровня шума	72
5.3.1.2. Вредные вещества.....	73
5.3.1.3. Отклонение показателей микроклимата.....	74
5.3.1.4. Отсутствие или недостаток естественного света. Недостаточная освещенность рабочей зоны	75
5.3.1.5. Опасность поражения электрическим током	75
5.3.2. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя	77
5.3.2.1. Превышение уровня шума	77
5.3.2.2. Вредные вещества.....	77
5.3.2.3. Отклонение показателей микроклимата.....	78
5.3.2.4. Отсутствие или недостаток естественного света. Недостаточная освещенность рабочей зоны	79
5.3.2.5. Опасность поражения электрическим током	80
5.4. Экологическая безопасность.....	80
5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	82
5.6. Заключение по разделу.....	84
Основные результаты и выводы по исследовательской работе.....	85
Список используемой литературы.....	86
Приложение А (раздел на иностранном языке).....	90

Введение

Промышленность все больше нуждается в улучшенных свойствах композиционных материалов, например, в повышении твердости, чистоты и химической стабильности, а также в более экономичной обработке.

При применении новых исходных компонентов, высокопроизводительных технологических оборудований, а также оптимизировав технологические режимы производства изделий из композиционных материалов можно разрешать такие задачи. Комплексная автоматизация производства на базе современных средств вычислительной техники, позволяющая осуществлять оптимальное управление технологическими процессами производства изделий из композиционных материалов и улучшать его технико-экономические показатели имеет очень важное[1].

Важнейшими вопросами, необходимыми решать производителям продукции с целью обеспечения технологической безопасности и «выхода» на мировые рынки, является внедрение наукоемких и энергосберегающих технологий (в первую очередь – технологий порошковой металлургии), способных обеспечить коренное поднятия качества выпускаемой продукции. Применяя принципы порошковой металлургии для изготовлении композитных материалов, можно существенно уменьшить энергетические затраты и расход материалов. Порошковая металлургия, причем помогает снижению загрязнения окружающей среды газами, вредными веществами, т.е. обеспечивает большую экологическую чистоту производства. С применением технологий порошковой металлургии решается большой круг задач по созданию новых материалов, способных многократно повысить механические свойства(прочность, износостойкость), обеспечить условия устойчивой деятельности при повышенных температурах[2].

Благодаря сокращения отходов на механическую обработку (5...7%,) и снижения трудоёмкости производства(уменьшение операций с 30 – 40 до 4 – 6;), а также высвобождения значительного количества станков и увеличения

производительности труда в 2 – 2,5 раза достигается экономический эффект при внедрения технологий порошковой металлургии[4].

Аддитивные технологии (англ. Additive Fabrication, AF, от add – добавлять) – обобщенный термин, описывающий процесс изготовления изделия на основе САD-модели путем послойного добавления материала. Создание или выращивание детали происходит за счет последовательного формирования слоев материала, их фиксации или отверждения и соединения между собой. С появлением аддитивных технологий порошковая металлургия получила новые перспективы развития.

Целью настоящей работы было получить и изучить возможность и особенности синтеза композиционных порошковых материалов на основе титана, алюминия и бора в зависимости от соотношения компонентов и условий реакции, а также покрытий полученных на основе аддитивных технологий.

В работе были поставлены следующие задачи:

- Отработка технологии получения композиционных порошков Ti-Al-B методом порошковой металлургии;

- Исследование характеристик синтезированных порошков Ti-Al-B (морфология и средний размер силицидных включений, микроструктура и фазовый состав, внутри частичная пористость и т.п.);

- Анализ спекаемости синтезированных порошков Ti-Al-B с максимальным содержанием титановой и алюминиевой связки (степень уплотнения, изменение микроструктуры и остаточной пористости после спекания);

- Получение покрытий из полученных порошков Ti-Al-B с помощью лазерной наплавки и исследование их свойств (структура, износ, микротвердость и т.п.).

1. Литературный обзор

1.1. Общие понятия порошкового материаловедения

Композиционные материалы – это материалы из нескольких(и более) разнородных веществ (фаз) в одном объеме. Материалы однородны в большом масштабе, но в микромасштабе они разнородны. На сегодняшний день к композиционным материалам можно отнести сравнительно небольшую группу материалов – полимеры, металлы, керамику и углерод, армированные волокнами, а так же наполненные полимеры, дисперсно-упроченные сплавы и псевдосплавы. Большинство композиционных материалов отличаются от традиционных тем, что их производство может быть совмещено с процессом изготовления изделия[1].

Композиты как правило, представляют из себя основу (матрицу) из одного материала, которая упрочняется наполнителями из волокон, слоев, диспергированных частиц другого материала. В то же самое время прочностные свойства обоих компонентов могут совмещаться. Путем подбора состава и свойств наполнителя и матрицы, их соотношения, ориентации наполнителя, можно получить материал с требуемой гармонией эксплуатационных и технологических свойств.

Порошковая металлургия, вместе с другими высокотехнологичными и энергоэффективными отраслями индустрии, представляет собой один из основных направлений развития теперешнего, эффективного производства технологически развитых стран международной среды. Сущностью технологий порошковой металлургии является один из наиболее старых методов обработки рудного сырья в изделие – методковки порошкообразной (губчатой) массы металла, разогретой до 800–1 000°C. Металлический порошок – это сумма частиц металла, сплава или металлоподобной связи размерами до одного миллиметра, которые находятся во взаимном соединении и не связываются между собой[2].

Методы порошковой металлургии в общепризнанном варианте делят на:

- Физико-химические, при котором процедуры производства порошков, соотнесены с глубокими физико-химическими превращениями изначального материала. В конечном итоге, по химическому составу и структуре полученный порошок значительно отличается от исходного материала.

- Механические методы, где превращение исходного материала в порошок делается возможным без существенного изменения его химического состава. В большинстве случаев в мельницах различных конструкций применяют измельчение твердых материалов и диспергирование расплавов.

Основные процессы изготовления изделий методом порошковой металлургии включают в себя ряд следующих последовательно реализуемых этапов:

- производство порошков;
- предварительную подготовку порошковой смеси (шихты);
- формовку;
- спекание;
- калибрование и дополнительные операции.

Метод печного синтеза металлоподобных соединений не позволяет удовлетворить современные требования прикладного материаловедения по чистоте получаемого продукта и производительности. Поэтому активно развиваются другие методы получения таких порошков, среди которых можно отметить синтез в низкотемпературной плазме, ударно-волновое сжатие и самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), имеющий в настоящее время наибольшее значение.

1.2. Основные технологические процессы порошковой металлургии

Обычный технологический процесс изготовления деталей с помощью порошковой металлургии состоит из таких базовых операций:

- *Подготовка состава.* Смешивание порошков является подготовительной операцией. Порошки смешивают, чтобы обрести химическую однотипность

многоэлементной смеси, а также для привнесения смазочного материала или пластификатор.

- *Прессование порошка.* Путем холодного прессования под большим давлением (30-1000 МПа) происходит прессование образцов в металлических формах. Для прессования применяется специально предназначенное оборудование с механическим, гидравлическим или пневматическим приводом.

- *Спекание.* В процессе спекания прессованные заготовки нагреваются в изолирующей или восстановительной атмосфере (засыпке). После, отпрессованные образцы приобретают итоговый размер, конфигурацию, качество поверхности и необходимые физико-механические свойства. Также, физическая и химическая непохожесть образца сокращается. В начале спекания технологическая связка выгорает и прессовка превращается в монолитное изделие. Спекание изделий из однотипных металлических порошков происходит при температуре ниже температуры плавления металла. Усадка и плотность набирает силу при росте температуры и увеличения времени процесса, и вместе с этим повышаются связи между зернами.

- *Шлифование.* Для достижения необходимой точности размеров, повышения качества поверхности и улучшение прочностных характеристик, необходимым является шлифование образцов. В некоторых случаях в качестве дополнительных операции могут применяться: пропитка смазками, механическая доработка, термическая, химическая обработка и др.

1.2.1. Спекание в вакууме.

Вакуумное спекание относится к процессу, при котором порошковый материал превращается в плотный материал в условиях вакуума.

Как правило, после формирования порошка и в результате процесса спекания он становится плотным материалом. Процесс спекания непосредственно влияет на размер зерна, размер пор, а также на форму и распределение границ зерен в микроструктуре, что влияет на свойства материала.

Вакуумные печи для спекания обрабатывают материалы в условиях вакуума или инертного газа, чтобы предотвратить окисление материала. Их широко используют для твердосплавных, керамических материалов, графитизации углеродных волокон. Вакуумное спекание подходит для твердых сплавов, керамических материалов, графитизации углеродного волокна, углеродных и углеродных композитов, изделий из карбида кремния, материалов для фотоэлектрических покрытий, тугоплавких металлов (вольфрама, молибдена, сплава меди на основе тугоплавкой массы) и других легирующих материалов, работающих при высоких или низких температурах. Материалы для обогрева помещений и другие технологии могут быть разработаны и изготовлены в соответствии с требованиями и пользователя.

1.2.2. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез(СВС)

СВС – технологический процесс получения материалов, при котором в порошках некоторых тугоплавких химических элементов разрастается фронт горения, обуславливающий образование соответствующих соединений. На практике, для организации данного способа горения, в виде порошков всегда необходимо использовать твердые вещества. Но здесь, процесс горения – это не простая реакция окисления порошкообразных веществ кислородом с последующим появлением газообразных оксидов, а сильноэкзотермическая реакция кооперации большинства компонентов с бором, углеродом, азотом, кремнием и другими металлоидами, связанной с высокой теплотой образования продукта, и больших показателей энергии запуска распространения атомов металлоидов в металлах.

Передача волны горения, в основном является одним из потенциальных укладов, где возможно развитие экзотермической реакции; при этом первичная смесь веществ отделена достаточно ограниченной зоной горения от результатов реакции.

При неизменных условиях зона горения перемещается в сторону исходной смеси с весьма высокой постоянной скоростью(до 105–106 К/с), именуется нормальной скоростью горения.

На рисунке 1 приведены четыре классические структуры волны горения:

- с узкой зоной (кривая 1), когда скорость горения определяется его конечной температурой;

- с широкой зоной (кривая 2), когда сильное торможение реакции взаимодействия компонентов, их полидисперсность и другие причины приводят к тому, что ширина зоны реакции становится больше, чем зоны подогрева;

- горение при химическом взаимодействии реагентов (кривая 3), когда полное химическое превращение в шихте происходит в несколько стадий, каждой из которых соответствуют свои тепловой эффект и промежуточный продукт (стадии могут быть пространственно разделены в волне горения – режим «отрыва»);

- с фазовыми переходами (кривая 4 для двухстадийной реакции), когда, например, при плавлении компонента или продукта реакции одновременно с химическим взаимодействием на температурном профиле волны горения может образоваться плато (изотермическая площадка) температурой фазового перехода.

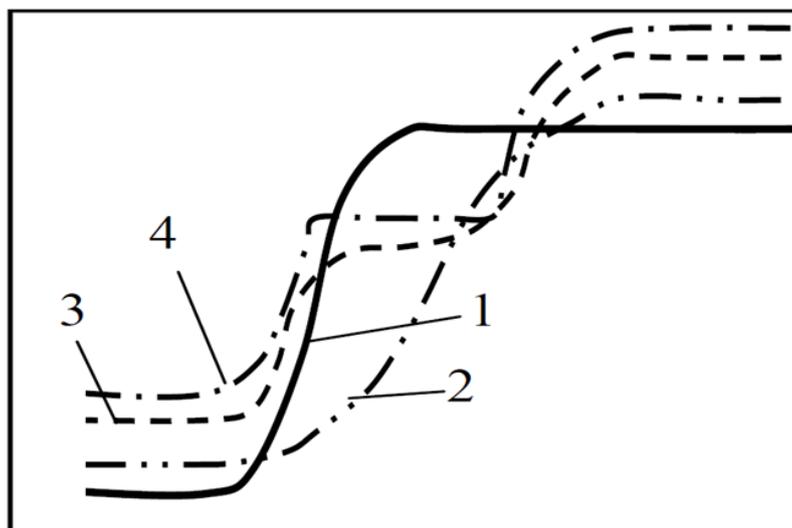


Рисунок 1 - Типы температурных профилей волны горения при СВС

Во многих системах СВС наблюдаются весьма сложные температурные профили волны горения, имеющие перегибы, изотермические площадки и

другие особенности, связанные с различными фазовыми переходами, образованием промежуточных продуктов и т.п.(рис.2).

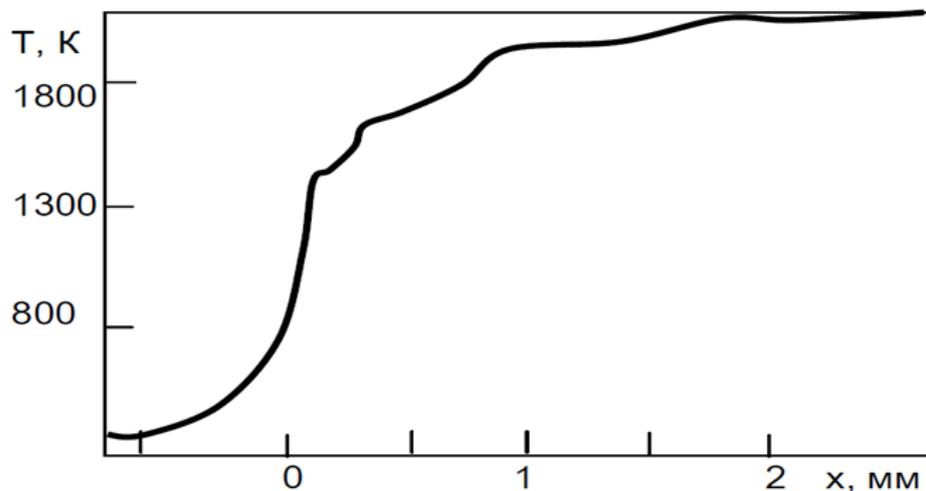


Рисунок 2 - Температурный профиль волны горения в системе $Ti + 3Si$ (x – расстояние от начала распространения волны горения)

Очевидны следующие преимущества СВС при получении тугоплавких соединений[3]:

- низкое энергопотребление. Энергии в методе СВС для нагрева воспламеняющей спирали и зажигания исходного порошка нужно немного.

- характерно простое и малогабаритное оборудование.

- высокая производительность(высокие температуры, значительно превышающие температуры нагрева в процессах порошковой металлургии, поэтому скорость реакции синтеза значительно выше).

- экологическая безопасность с высокой чистотой продуктов при методе СВС.

- широкая гамма материалов: порошки, пористые материалы, беспористые компактные, литые, композиционные, наплавки и покрытия.

- практическое применение продуктов СВС во многих отраслях промышленности: машиностроение, металлургия, электротехника и электроника, высокотеплопроводные керамики, клеи-герметики, химическая промышленность(катализаторы); медицина(материалы с памятью формы) и т.д.

Главным недостатком метода СВС при которой реакция соединения продуктов могут произойти в виде явления горения и можно было поджечь исходный порошок, нужно добиваться высокой экзотермичности реакции взаимодействия исходных порошковых реагентов.

1.3. Аддитивные технологии

Технология трехмерной печати (3D) начала развиваться в конце 80-х годов прошлого века. Первооткрывателем в этой отрасли является компания 3D Systems, в 1986 году разработавшая первый стереолитографический аппарат. Первые оборудования на лазере - стереолитографические (SLA) и затем порошковые (SLS-машины) выделялись очень высокой стоимостью, узким выбором материалов, и до середины 1990-х годов они предпочтительно использовались в деятельности, связанной с оборонной промышленностью. Спустя некоторое время, после масштабной доступности цифровых технологий в области проектирования, моделирования и механообработки, 3D-технологии стали активно расти. Для 3D-технологий в настоящее время рекомендован термин Additive Manufacturing (AM) [5].

Основным отличием аддитивных методов является то, что они применяются для изготовления детали при помощи прибавления материала, а не как в случае механической обработки, где происходит его удаление. К методам аддитивного производства, применяемым в порошковой металлургии относятся:

- *SLS (Selective Laser Sintering)* – селективное лазерное спекание под лучами лазера частиц порошкообразного материала до образования физического объекта по заданной CAD-модели;

- *SLM/DMP (Selective Laser Melting / Direct Metal Printing)* – селективное лазерное плавление металлического порошка по математическим CAD-моделям для производства сложных изделий[6].

- *Электронно-лучевая наплавка (ЭЛН)*, осуществляемая в вакууме за счет плавления основного и присадочного материалов с помощью электронного луча.

Принцип действия селективного лазерного спекания(SLS) заключается в точечном спекании пластиковых порошков с разными компонентами лазерным лучом. Процесс селективного лазерного спекания состоит из следующих операции:

- Технологический процесс селективного лазерного спекания начинается с разогревания материала до температуры, близкой к температуре плавления, что обеспечивает более быструю работу порошкового 3D-принтера;

- Порошок подается в камеру построения и разравнивается валиком на толщину минимального слоя материала;

- Лазерный луч спекает слои порошка в необходимых участках, совпадающих с сечением 3D-модели;

- Подается следующий слой порошка, камера построения опускается на уровень ниже;

- Процедура повторяется, пока не получится готовое изделие[7].

SLM / DMP (Selective Laser Melting / Direct Metal Printing). Этот процесс заключается в последовательном послойном расплавлении порошкового материала посредством мощного лазерного излучения. SLM открывает перед современными производствами широчайшие возможности, так как позволяет создавать металлические изделия высокой точности и плотности [8].

Электронно-лучевая наплавка (ЭЛН). Метод электронно-лучевой порошковой металлургии предназначен для создания защитных и упрочняющих композиционных покрытий на основе интерметаллидов, оксидов, карбидов, нитридов, сложных комплексных соединений (оксикарбонитридов) на поверхностях металлических изделий различного назначения. Под действием электронного луча на упрочняемой поверхности возникает жидкометаллическая ванна, в которую порошковым дозатором подается наплавочный материал. Большая скорость кристаллизации

способствует формированию однородной мелкодисперсной структуры наплавленного слоя[9].

Параметрами, характеризующими процесс наплавки, являются: ускоряющее напряжение, ток электронного пучка, расстояние фокусирующей системы до поверхности обрабатываемой детали, диаметр и длина развертки пучка, скорость перемещения детали.

Наплавка производится с присадкой сплошной или порошковой проволоки. Так как наплавка производится в вакууме, то шихта порошковой проволоки может состоять из одних легирующих компонентов[10].

Возможности электронно-лучевой наплавки:

- Формирование протяженной (до 1 мм) переходной зоны «основа-покрытие»;
- Нанесение покрытий на изделия из стали, чугуна, меди, титана;
- Нанесение покрытий с упрочняющими частицами - карбидами, нитридами, карбонитридами, боридами и другими соединениями.

1.4. Система «титан – алюминий - бор»

Тема, связанная с композиционными порошками системы «Ti-Al-B (Ti-Al, Ti-B, Al-Ti-B)» не достаточно изучена в наше время. В системе существуют семь соединений: со стороны титана и алюминия - Ti_3Al , $TiAl$, $TiAl_2$, и $TiAl_3$; со стороны бора - TiB , Ti_3B_4 , и TiB_2 [11].

В системе Ti-Al нас интересуют соединения Ti_3Al и $TiAl_3$. Соединение Ti_3Al имеет температуру плавления, равную - $1118^{\circ}C$, а соединение $TiAl_3$ имеет одну из высоких температур плавления, равной - $1340^{\circ}C$ (рис.3).

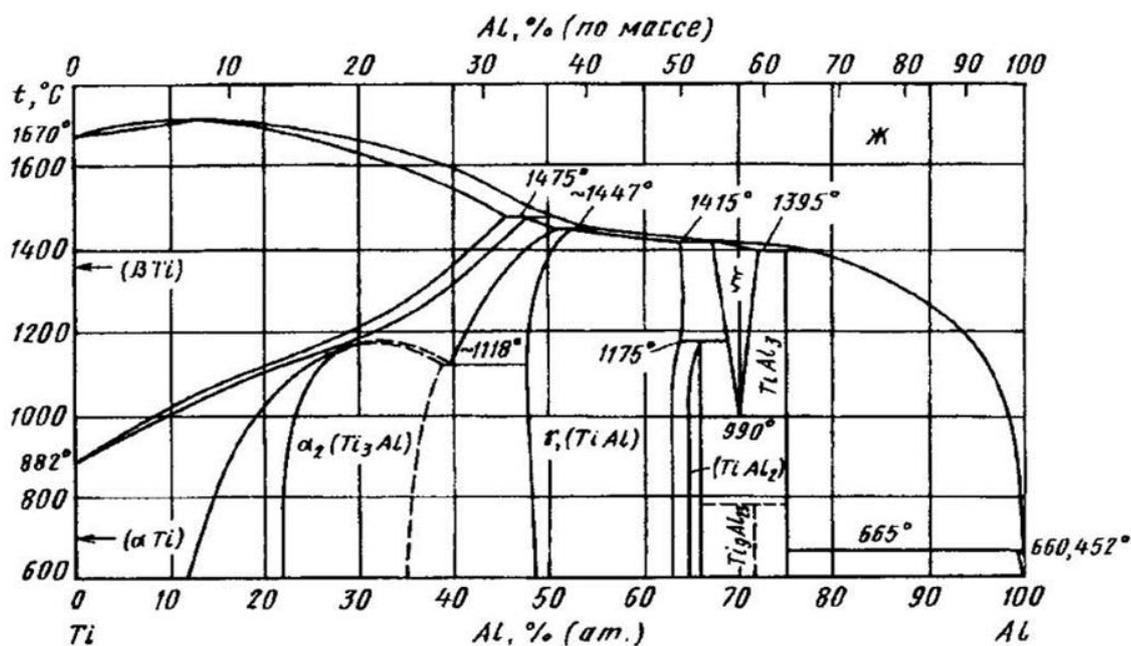


Рисунок 3 – Диаграмма состояния системы «титан – алюминий»

В системе Ti-B интересующие нас соединения TiB и TiB₂, имеют температуру плавления, равную - 3225°C(самая высокая температура плавления) и 2180°C соответственно(рис.4).

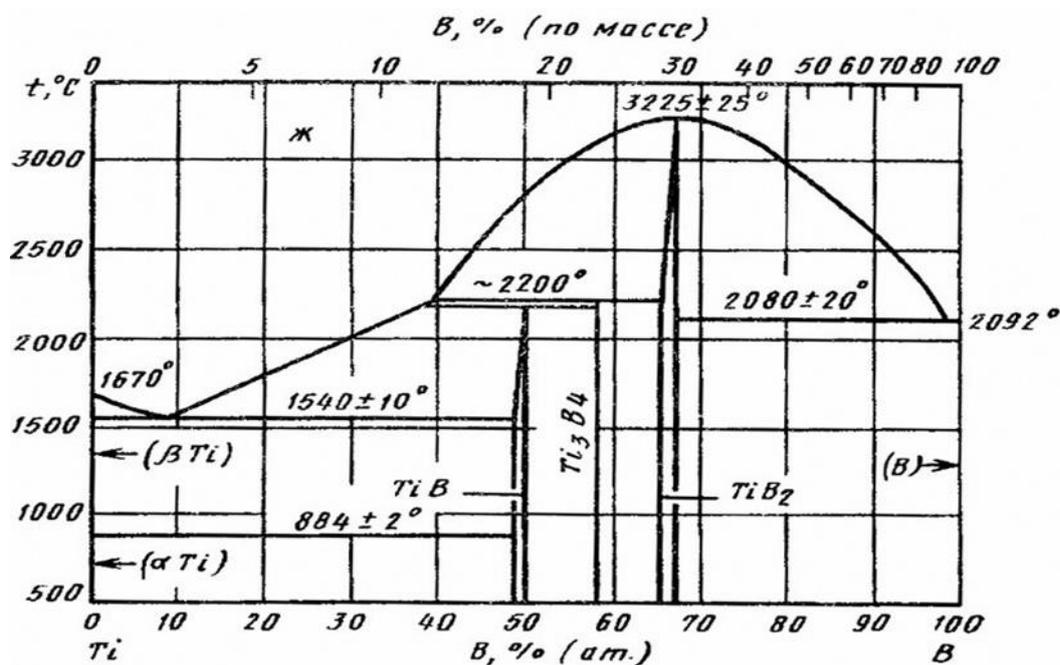


Рисунок 4 – Диаграмма состояния системы «титан – бор»

Композиты с металлической матрицей (КММ) в настоящее время исследуются из-за их превосходных свойств по сравнению с большинством традиционных материалов. КММ обладают высокой удельной прочностью,

жесткостью и износостойкостью. Тем не менее, периодически КММ имеют более низкую пластичность и вязкость разрушения, чем неармированные сплавы[16].

Карбидные, боридные и нитридные композиты представляют интерес из-за их превосходных механических свойств и химической стабильности по отношению к металлам. На основе системы Ti–Al–B были охарактеризованы микроструктура и механические свойства нанокompозитов TiB₂/Al, уплотненных искровым плазменным спеканием механически легированных активированных нанопорошков[12]. Особый интерес есть к керамике TiB вызванное их промежуточным металл/керамическим характером(высокая температура плавления, примечательная твердость, хорошая химическая стабильность и высокая электропроводность).

Титан-алюминиевые композиты широко применяются при создании материалов с высокими прочностью, жаро- и коррозионной стойкостями, температурой плавления и т.д.[13]. Бороалюминиевый композиционный материал в настоящее время имеет широкое применение в конструкциях авиационных двигателей[14].

В свою очередь также были изучены различные композитные материалы, полученные методом порошковой металлургии, в которых эти материалы получены уплотнением титановой матрицы с соединениями Ti-Al и алюминиевой матрицы с таким же соединением Ti-Al. Композиты с титановой матрицей размалывают с разным процентом армирования в шаровой мельнице; смесь прессуют в одноосном прессе и спекают в вакуумной печи при разных температурах. Алюминиевые матричные композиты также измельчают с различным процентом армирования в шаровых мельницах и экструдировать в одноосном прессе со скоростью экструзии 25:1, получая образцы диаметром 5 мм. Изучены механические свойства и влияние частиц армирования в разных матрицах. Кроме того, образцы исследуют с помощью оптической и электронной микроскопии для изучения его микроструктуры, а также изучают реактивность между армированием и матрицей[16].

Керамико-интерметаллические композиты, состоящие из керамических зерен(TiB_2) и интерметаллического связующего $TiAl$, обладают привлекательными свойствами для потенциального применения в качестве режущих инструментов, аэрокосмических материалов, твердых материалов и огнеупорных конструкционных материалов. Поскольку энтальпии реакции между Ti и B или Al велики, эти материалы могут быть получены с помощью самораспространяющегося высокотемпературного синтеза(СВС) посредством гетерогенных реакций в тройных смесях элементарных порошков. Поскольку характерными особенностями СВС являются быстрые колебания температуры и короткая продолжительность образования продукта (обычно от нескольких секунд до нескольких минут), синхротронная радиационная дифракция с временным разрешением (TRSRD) используется для мониторинга фазовых превращений. На рисунке 5 представлены микроструктуры продуктов сгорания. Идентификация фаз производится методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии(EDS) и электронно-зондового рентгеноспектрального анализа (EPMA). Продукты синтеза горения в системе $Ti-Al-B$ состоят из тонкоокруглых зерен TiB_2 (серая фаза) и интерметаллического связующего (белая фаза)[15].

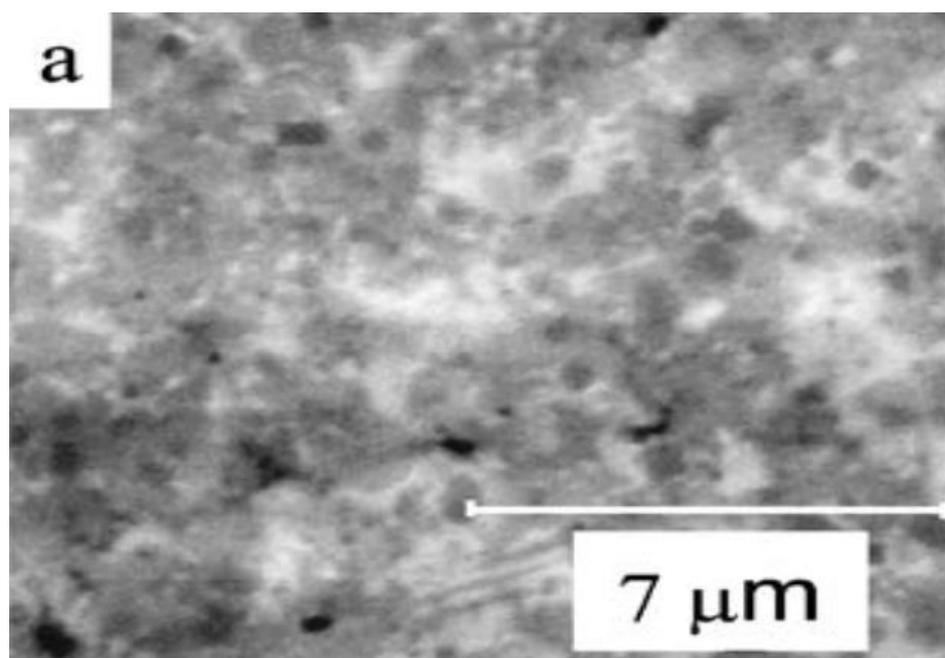


Рисунок 5 – Микроструктура продуктов в системе $Ti-Al-B$

Диборид титана TiB_2 [17] считается передовым керамическим порошком, обладающими высокими эксплуатационными свойствами, и производится различными способами. Эти керамические порошки можно использовать отдельно или в виде двойных или тройных композитов, чтобы обеспечить материалы с улучшенными механическими и высокотемпературными свойствами. Композиты диборида титана (TiB_2) и нитрида титана, имеющие высокую твердость, хорошую стойкость к окислению и высокую прочность на изгиб, получают способом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Поскольку диборид титана (TiB_2) обычно получают различными способами производства, трудно получить композиты, обладающие специфическими свойствами, обнаруженными в этих соответствующих компонентах, за одну стадию.

В 70-х годах прошлого столетия были проведены первые работы советских ученых по системе Ti–B. В качестве метода получения композиционного материала (на основе титана), состоящего из чередующихся слоев бора и титана была принята технология диффузионной сварки под давлением в вакуумном пакете. Материалом для изготовления образцов системы Ti–B служили борное волокно диаметром 85–100 мкм, намотанное на шпули, и фольга из титановых сплавов марок BT₁₅ и BT₂₃ толщиной 50 мкм в виде пластин. В итоге проделанной работы качественный образец получить не удалось. В связи с этим борные волокна без покрытий практически не применяют для упрочнения материалов на основе титановой матрицы. Для этих целей применяют волокно «борсик». Следует отметить, что по причине достаточно высокого уровня прочности современных титановых сплавов и сравнительно малой плотности, эффект от упрочнения их борными волокнами не очень велик. В настоящее время композиционный материал системы Ti–B, полученный методом диффузионной сварки при температуре 800–880°C, имеет предел прочности, равный 900 МПа при объемной доле волокон 0,36. Поскольку волокна бора хрупкие, то для получения компактных композиций чаще всего используют диффузионную сварку в вакууме(рис.6). Длительная выдержка

композиционного материала системы Ti–B под давлением при температурах выше 800°C приводит к образованию хрупких боридов титана, разупрочняющих композит[18].

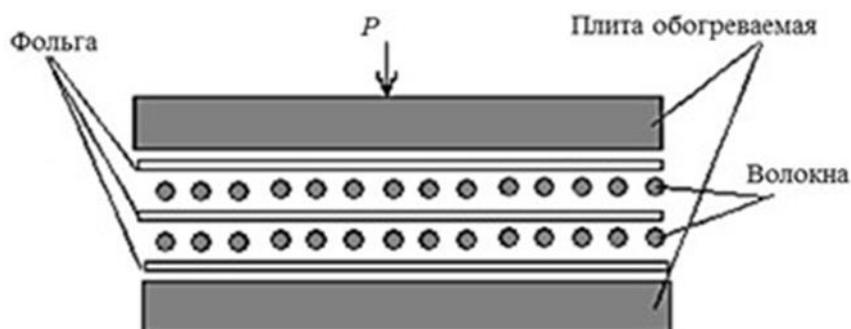


Рисунок 6 - Схема получения металлического композиционного материала с помощью диффузионной сварки

Также есть работы[19], в которых рассматривается одностадийный, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) диборида титана и композиций Ti-Al-B, где композиты подвергались термообработке и анализировались на микроструктуру и твердость. Замечено, что образование композита обладает большей теплотой реакции по сравнению с образованием диборида титана. Стехиометрические количества элементарных порошков титана и бора тщательно перемешивали. Элементарные алюминиевые порошки были использованы вместе с порошками Ti и B для синтеза композиционных материалов Ti-Al-B.

2. Материалы и методы

2.1. Описание экспериментальных методик и материалов

В этом разделе магистерской диссертации описаны применяемые материалы, оборудования и экспериментальные методики, использованные в исследованиях.

Составы порошковых смесей определялись исходя из расчетных соотношений компонентов, обеспечивающих синтез определенных фаз в соответствии с известными диаграммами равновесного состояния выбранной системы. Исходные порошки были рассчитаны на составы соединений (Ti_3Al , $TiAl_3$, TiB , TiB_2).

Для исследования были приготовлены не только смеси из элементарных порошков титана, алюминия, бора, но также использовали порошок диборида титана в смеси $Ti-Al-B$. Рабочие составы с весовым и атомным соотношением компонентов для смесей $Ti-Al-B$ приведены в таблице 1-2.

Материалы:

Таблица 1 - Состав и весовое соотношение исходных порошков из чистых компонентов

	Порошки/Состав	ат%			вес%			об.%		
		Ti, ат%	Al, ат%	B, ат%	Ti	Al	B	Ti	Al	B
1	$Ti_3Al+TiB$	4	1	1	83.5	11.8	4.7	74.2	17.6	8.1
2	$Ti_3Al+TiB_2$	4	1	2	79.8	11.2	9.0	68.7	16.3	15.0
3	$TiAl_3+TiB$	2	3	1	51.1	43.2	5.8	37.8	53.9	8.3
4	$TiAl_3+TiB_2$	2	3	2	48.3	40.8	10.9	34.9	49.8	15.3
5	$Ti+Ti_3Al+TiB$	6	1	1	88.4	8.3	3.3	81.2	12.9	5.9

Таблица 2 - Состав и весовое соотношение порошков из титана, алюминия и диборида титана

	Порошки/Состав	ат%			вес%			об.%		
		Ti	Al	TiB_2	Ti	Al	TiB_2	Ti	Al	TiB_2
6	$Ti_3Al+TiB_2$	3	1	1	59.8	11.2	28.9	55.5	17.6	26.9
7	$TiAl_3+TiB_2$	1	3	1	24.2	40.8	35.0	18.8	53.7	27.4

Смешивание порошков: Порошки титана Ti, алюминия Al и бора B смешивались в конусном смесителе 4 часа. Итоговое количество подготовленных смесей порошков равнялось – 7.

Прессование порошков: Смесь порошков далее свободно засыпается в полость матрицы, объёмная дозировка регулируется ходом нижнего пуансона. В нашем случае применяется двустороннее прессование. Прессование готовой смеси осуществляли в закрытой стальной пресс-форме с каналом цилиндрической формы диаметром 20 мм с помощью гидравлического пресса МС-500(рис.7,а). Из каждой смеси порошков путем прессования было получено 10 форм готового изделия, а общее количество изделий составило 70 штук.

СВС-синтез: Поджог производился путем пропускания большого тока через молибденовую спираль в течении нескольких секунд. Процесс синтеза сопровождается ярким свечением, так как температуры горения в зависимости от конкретной системы составляют 1500–4000 °С. При сгорании порошка волна горения распространялась тем медленнее, чем больше инертной связки было в порошке. Это объясняется тем, что избыточное содержание титана уменьшает количество областей протекания экзотермической реакции соединения титана, алюминия и бора, что приводит к снижению максимальной температуры фронта горения и снижает тем самым скорость сгорания.

Дробление порошков на фракции: Полученные спеки были раздроблены на порошок различной фракции. В среднем размер полученных после размолта частиц композиционного порошка составил от 50 до 350 мкм. При размолте наблюдалась следующая тенденция: с увеличением содержания связки размалывать порошок становилось труднее, что привело к формированию более крупной фракции.

Прессование и спекание: Часть порошков после обжига спрессовали в четыре прессовки диаметром около 10 мм, высотой около 15 мм с помощью двухсторонней цилиндрической пресс-формы с плавающим пуансоном. Реакционное спекание проводили в вакуумной печи при 1000, 1150 и 1300°С с выдержкой 60 мин. Для улучшения прессования добавляли пластификатор

(раствор каучука с бензином). Температура нагрева образцов не превышала температуры плавления металлов. С повышением температуры и увеличением продолжительности спекания увеличиваются усадка, плотность, и улучшаются контакты между зернами. Во избежание окисления спекание проводилось в вакууме.

Спекание осуществляли в вакуумной печи марки СНВЭ-1.3.1/160(рис.7,б), при остаточном давлении газов атмосферы не выше 10-2 Па. Спекание проходило в два этапа: 1) медленная отгонка пластификатора при нагреве до 500 °С; 2) последующий нагрев до температуры спекания со средней скоростью 5-7 °С/мин.



Рисунок 7 – Оборудования для прессования и спекания
а – Гидравлический пресс МС-500; б - Вакуумная печь СНВЭ-1.3.1/16

Шлифовка полировка и травление образцов: На шлифовально-полировальном станке ATMSaphir 520(рис.8) подготавливались металлографические шлифы для проведения оптических фотографий. Исходные порошки заливались эпоксидной смолой и далее шлифовались. Процесс шлифовки состоит из нескольких этапов: каждый этап использует

тоньше абразив, чем предыдущий, конечной целью которого является получение без деформационной, без царапин высокой отражающей способностью поверхности образца. Наплавки распиливались на образцы 15x20мм и подвергались триботехническим испытаниям.



Рисунок 8 - Шлифовально-полировальный станок АТМ Saphir 520(Германия)

Шлифовка и полировка состояла из следующих последовательных шагов:

- 1) Шлифовка на шкурке – 20 минут, нагрузка 50Н, скорость вращения 350 об/мин, охлаждение водой;
- 2) Алмазная паста, фракция 14-10 мкм. – 15 минут, 40Н, 400об/мин;
- 3) Алмазная паста, фракция 5-3 мкм. – 15 минут, 35Н, 450 об/мин;
- 4) Алмазная паста, фракция 1-0 мкм – 15 минут, 30Н, 500 об/ мин;

Все обработанные шлифы осматривались на наличие крупных царапин и при необходимости операции повторялись. При оптимальном качестве поверхности, шлиф протравлялся с помощью раствора азотной кислоты HNO_3 . На торцевую поверхность образца наносилась кислота в течении 3-5 секунд и уже после образцы подвергались промывке мощной струей воды.

Исследование: Композиционные порошки и наплавки были исследованы на оборудовании Центра коллективного пользования «Нанотех» ИФПМ СО РАН следующими способами:

- рентгенофазный анализ, для исследования общего характера (качественный и количественный фазовый анализ, исследования твёрдых растворов, определение макро- и микронапряжений, изучение ближнего порядка и другое) на дифрактометре ДРОН-7(Буревестник, Россия);

- оптической металлографии на микроскопе AXIOVERT-200MAT(рис.9,а), принцип которого основан на бесконтактном методе измерений размера изображения контролируемого объекта;

- растровой электронной микроскопии, с целью получения высококачественного изображения непроводящих и влажных образцов на оборудовании EVO 50(рис.9,б).



а



б

Рисунок 9 – Приборы для исследования:
а - Микроскоп AXIOVERT-200MAT (Zeiss, Germany);
б - Растровый электронный микроскоп EVO 50(Zeiss, Germany)

3. Результаты исследований

3.1. Изменение пористости и объема прессовок в результате вакуумного спекания.

В данной части описаны результаты исследований объемных изменений прессовок при спекании порошковых тел системы Ti-Al-V в области концентраций, важной с практической точки зрения. Анализ полученных результатов проведен на основе современной теории жидкофазного спекания с учетом возможных механизмов сплавообразования в данной системе.

3.1.1. Анализ спеченной порошковой системы Ti₃Al+TiB

Динамика объемных изменений прессовок порошковой смеси Ti₃Al+TiB(рис.10) при выбранных температурах спекания показывает, что при низкой температуре спекания (1000°C) образцы испытывают заметный рост, который сопровождается увеличением пористости и снижением интегральной плотности спеченного материала(рис.11).

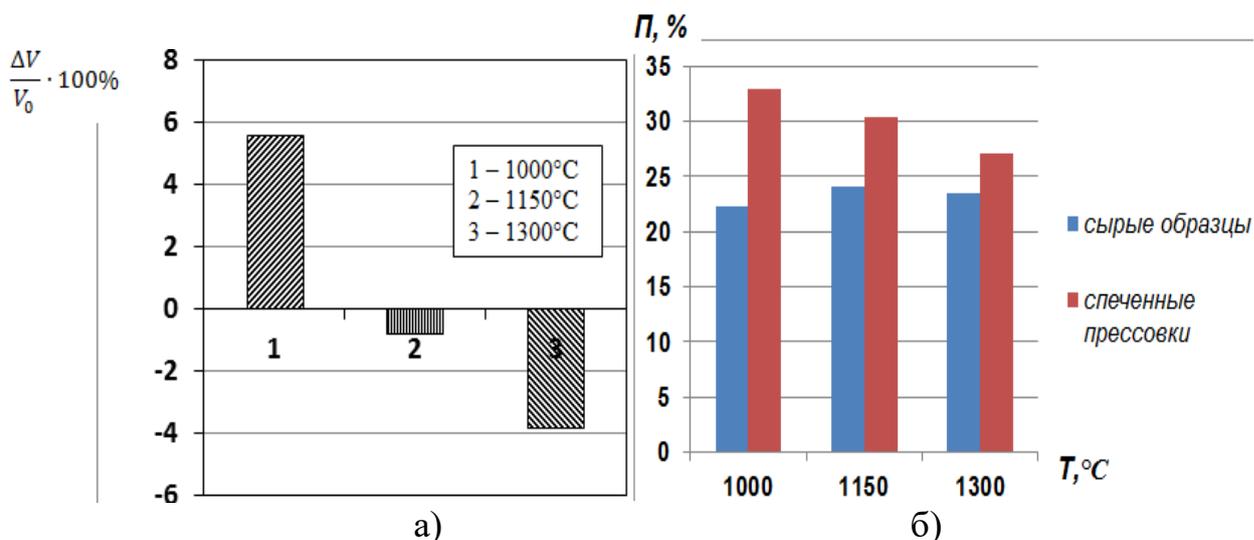


Рисунок 10 - Относительное изменение объема в процессе вакуумного спекания(а) и изменение пористости в процессе спекания(б) прессовок из состава №1(Ti₃Al+TiB) при различных температурах.

Последующее увеличение температуры спекания нивелирует вклад в объемный рост за счет образования соединений благодаря более заметным гомогенизационным механизмам твердофазного спекания. Интегральная плотность остается практически неизменной, но при расчете фактической

пористости с учетом образовавшихся фаз, а также визуальном наблюдении (металлографически) были получены значения больше, чем в сырых образцах. Таким образом, несмотря на отсутствие заметных объемных изменений (дилатаций) прессовок состава $Ti_3Al+TiB$ при температуре $1150^{\circ}C$, происходит увеличение плотности двухфазной матрицы на фоне увеличения поровой составляющей структуры. Сформированный жесткий каркас из алюминида и борида титана не дает существенно снизить пористость и при последующем повышении температуры до $1300^{\circ}C$, хотя спеченные прессовки демонстрируют заметную объемную усадку.

Структура системы $Ti_3Al+TiB$

Сведения о характере взаимодействия матрицы с частицами можно получить из металлографических исследований структуры спеченных композитов, представленных на рисунке 11.

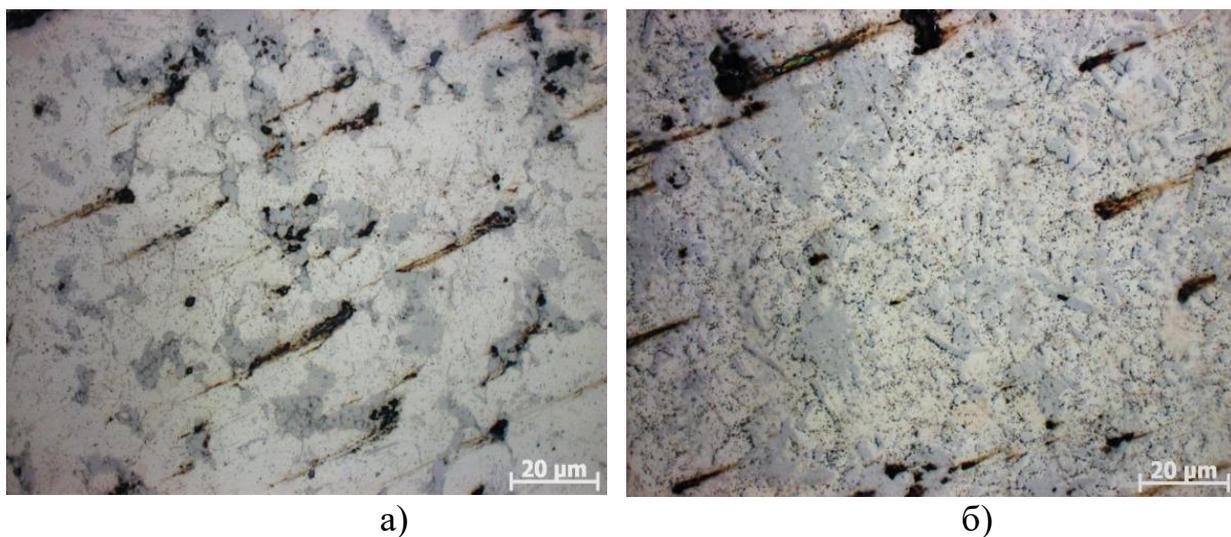


Рисунок 11 - Общий вид микроструктуры прессовок $Ti_3Al+TiB$, спеченных при разных температурах; $T=1000^{\circ}C$ (а) и $T=1300^{\circ}C$ (б).

Рентгеноструктурный анализ состава $Ti_3Al+TiB$

Проведенные рентгенофазовые исследования спеченных образцов из порошковой смеси №1 ($Ti_3Al+TiB$) подтвердили присутствие расчетных фаз Ti_3Al и TiB . Но, согласно рассчитанному с помощью рентгеновского анализа объемному соотношению этих соединений, итоговые пропорции после

спекания при 1300°C соответствовали $Ti_3Al:TiB = 80:20$. Это говорит о том, что в условиях реакционного спекания доминировали реакции с образованием алюминида, на образование борида использовался оставшийся после «насыщения» алюминидом титан. Моноборид титана имеет орторомбическую решетку, Ti_3Al -гексагональную. Фазы со сложными решетками и большим количеством пиков представлены на рентгенограмме (рис.12), поэтому происходит наложение части пиков этих двух основных фаз. Наличие малого количества других фаз (до 5 %) не исключено, их линии могут теряться в фоне и в широких линиях основных фаз.

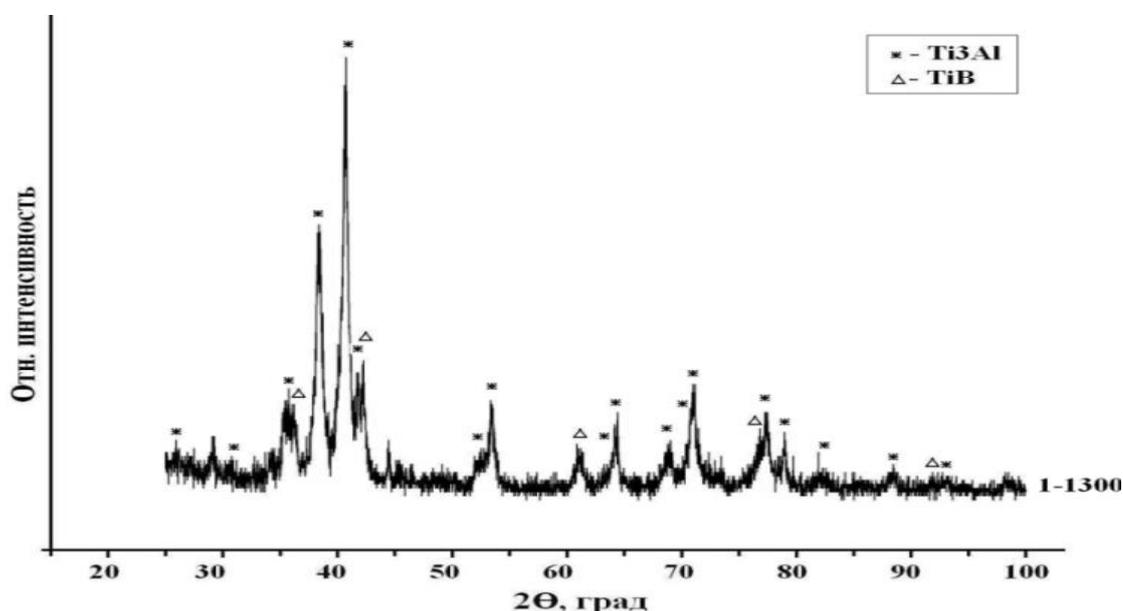


Рисунок 12 - Рентгенограмма смеси №1 ($Ti_3Al+TiB$)

3.1.2. Анализ спеченной порошковой системы $Ti_3Al+TiB_2$

При увеличении содержания бора для обеспечения формирования двухфазной композиции $Ti_3Al+TiB_2$ получить спеченные образцы при 1300°C не удалось, так как они хрупко растрескались на тонкие слои(рис.13). Спекание при низких температурах (1000 и 1150°C) показало результаты, аналогичные составу $Ti_3Al+TiB$: небольшой объемный рост при 1000°C с увеличением пористости и практически нулевые объемные изменения при спекании при 1150°C(рис.14).

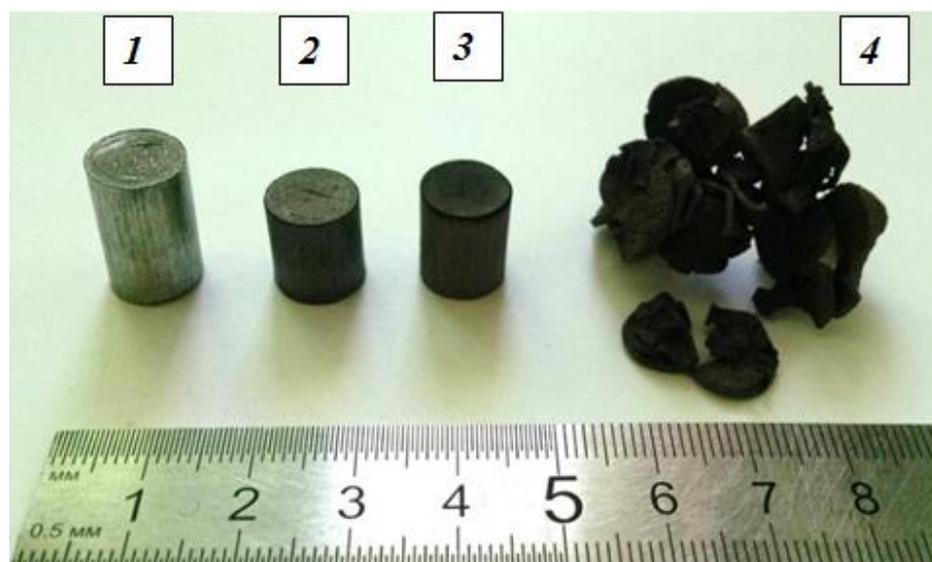


Рисунок 13 - Общий вид прессовок из смеси $Ti_3Al+TiB_2$ до (1) и после спекания (2 - $1000^{\circ}C$; 3 - $1150^{\circ}C$; 4 - $1300^{\circ}C$).

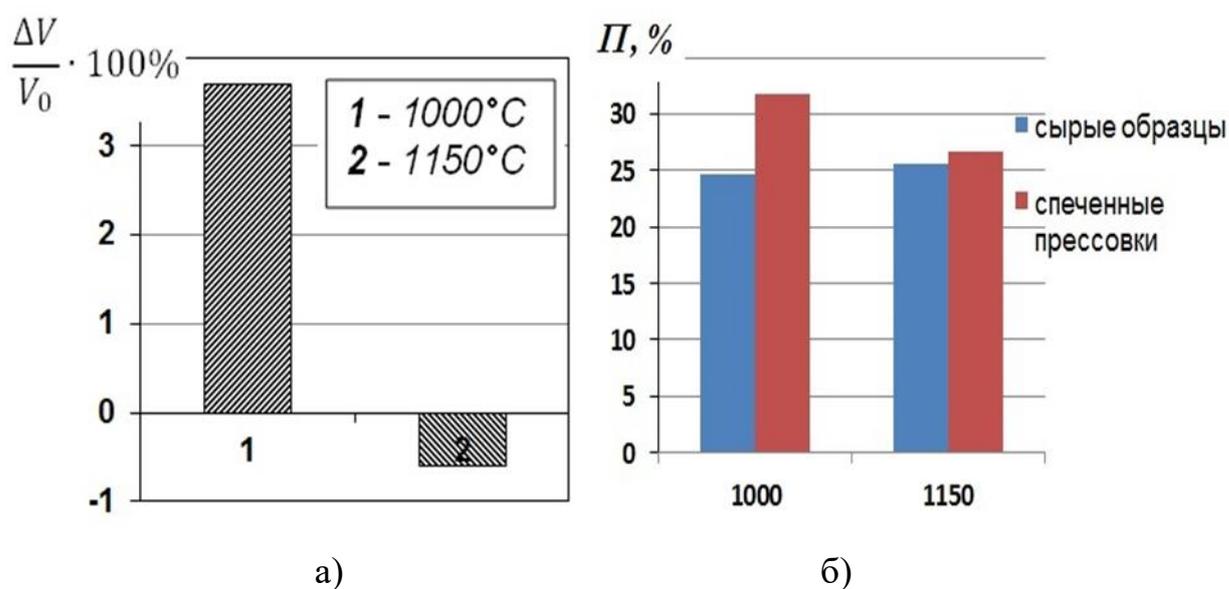
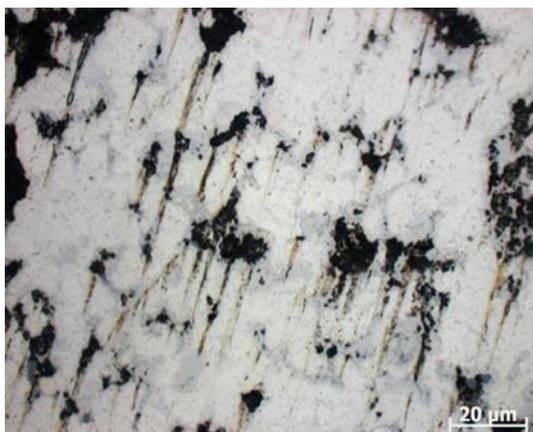


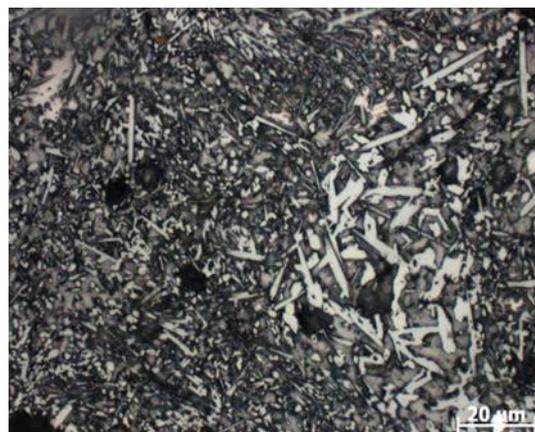
Рисунок 14 - Относительное изменение объема в процессе вакуумного спекания(а) и изменение пористости в процессе спекания(б) прессовок из состава №2($Ti_3Al+TiB_2$) при различных температурах.

Структура системы $Ti_3Al+TiB_2$

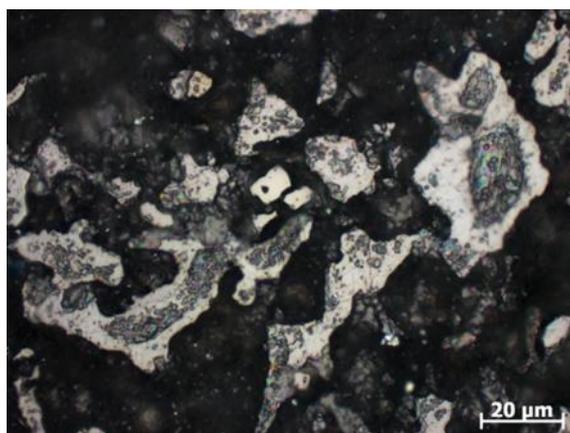
Сведения о характере взаимодействия матрицы с частицами можно получить из металлографических исследований структуры спеченных композитов, представленных на рисунке 15.



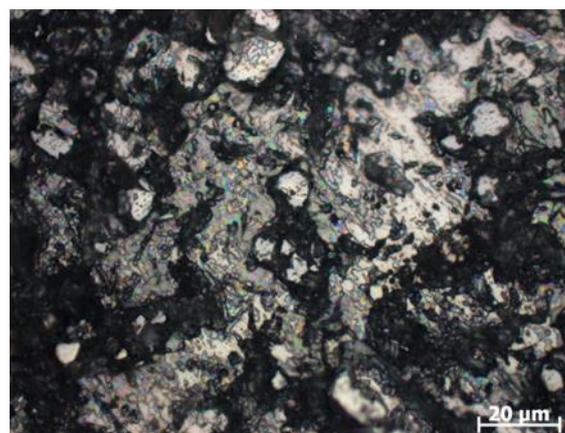
а) $Ti_3Al+TiB_2$



б) $Ti_3Al+TiB_2$



в) $Ti_3Al+TiB_2$ (диборид титана)



г) $Ti_3Al+TiB_2$ (диборид титана)

Рисунок 15 - Общий вид микроструктуры прессовок из состава $Ti_3Al+TiB_2$, спеченных при разных температурах: $T=1000^{\circ}C$ (а,в); $T=1300^{\circ}C$ (б,г).

Для сравнения были спечены прессовки из порошковой смеси аналогичного составу №2($Ti_3Al+TiB_2$) в качественном и количественном отношении элементного состава, но взамен чистого бора использовали промышленный порошок диборида титана(состав №6). Их поведение при спекании существенно отличается от смеси из элементарных порошков. Порошковые компакты хорошо спекались во всем диапазоне выбранных температур. Присутствие связанного бора благоприятно сказывалось на реакционном поведении прессовок в процессе нагрева, препятствуя нежелательному растрескиванию образцов. Несмотря на однозначный объемный рост компактов при всех температурах спекания, его максимальное значение фиксировалось при температуре $1000^{\circ}C$, дальнейшее повышение

нагрева демонстрировало практически одинаковые дилатации как при 1150°C, так и при 1300°C(рис.16). Возможно повышение температуры до 1350-1400°C могло бы проявить себя в более значительной мере, но это требует дополнительных экспериментов.

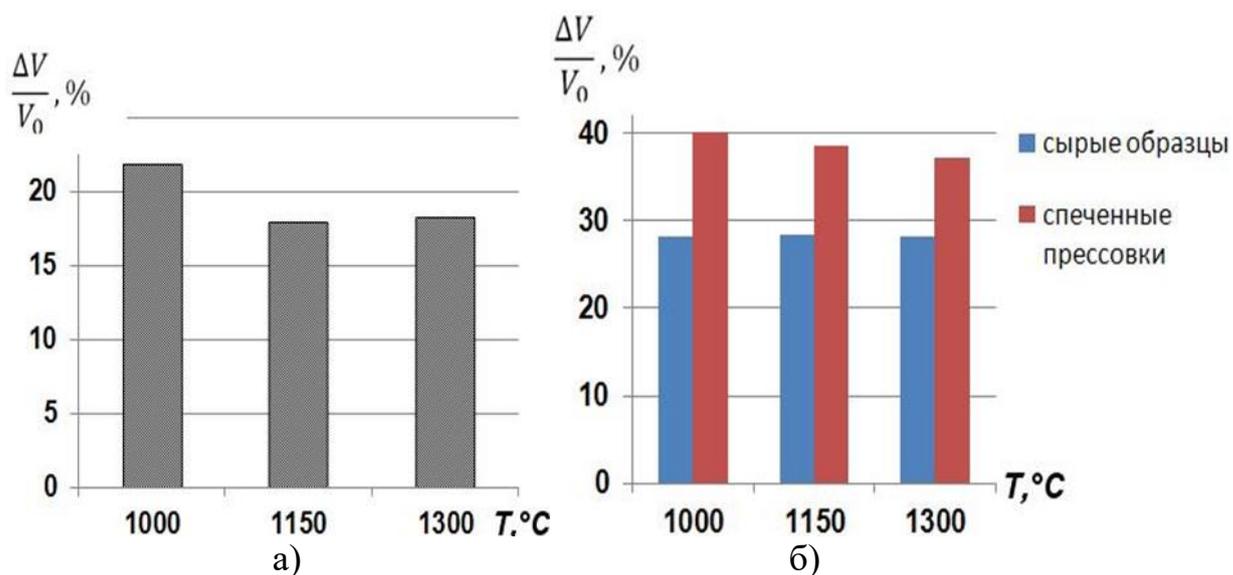


Рисунок 16 - Относительное изменение объема в процессе вакуумного спекания(а) и изменение пористости в процессе спекания(б) прессовок из состава №6($Ti_3Al+TiB_2$ (диборид титана)) при различных температурах.

Рентгеноструктурный анализ состава $Ti_3Al+TiB_2$

Рентгеноструктурный анализ спеченной смеси №2($Ti_3Al+TiB_2$) показал, что основными фазами являются фазы TiB и Ti_3Al . Небольшое количество запланированного диборида титана в составе №2($Ti_3Al+TiB_2$) присутствует лишь при спекании при 1000°C(рис.17), хотя в расчете рассматривался именно диборид титана ($Ti_3Al+TiB_2$). Таким образом, несмотря на увеличение содержания бора, при спекании доминирующей боридной фазой при соотношении компонентов состава №2 остается моноборид титана, а диборид титана синтезируется в небольшом количестве (не более 7%).

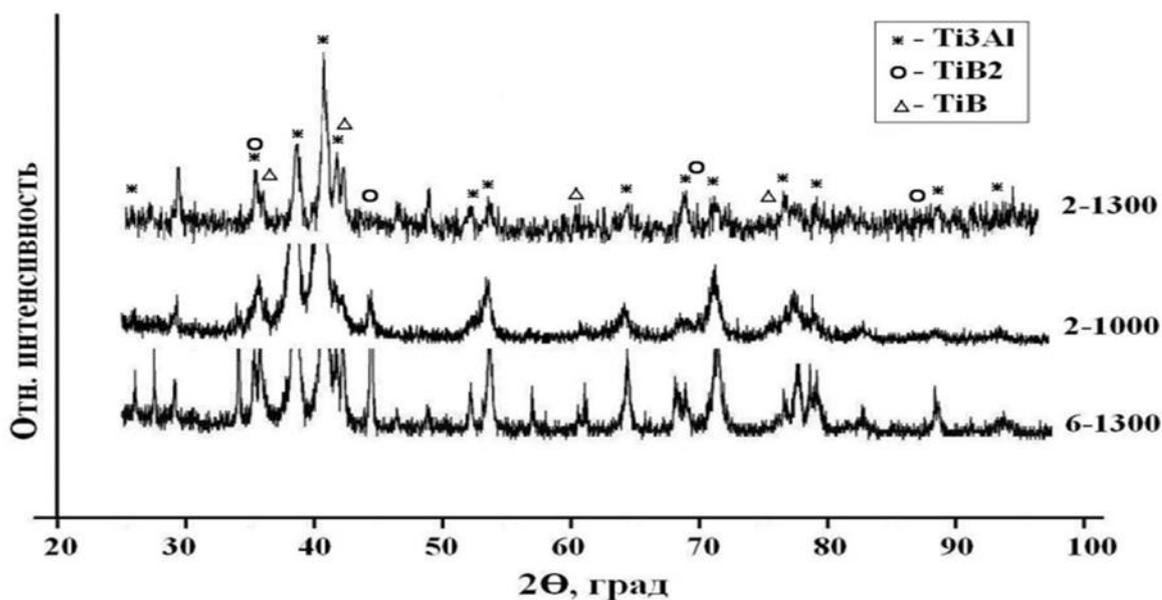


Рисунок 17 - Рентгенограмма смеси №2 и №6(один расчетный состав - $Ti_3Al+TiB_2$)

3.1.3 Анализ спеченной порошковой системы $TiAl_3+TiB$ и $TiAl_3+TiB_2$

Большое количество алюминия в этих составах(№3 и №4) способствовало тому, что уже при 1000°C происходили бурные реакции в условиях большого объема жидкой фазы. Поэтому при выбранных температурах спекания (1000, 1150 и 1300°C) получить образцы с правильной геометрией формы не представляется возможным.

Структура системы $TiAl_3+TiB$ и $TiAl_3+TiB_2$

Металлографические исследования структуры спеченных композитов, представленных на рисунке 18-19 показывают, что спеченные прессовки представляют собой бесформенные оплывшие образцы с широко развитой внутренней поровой составляющей.

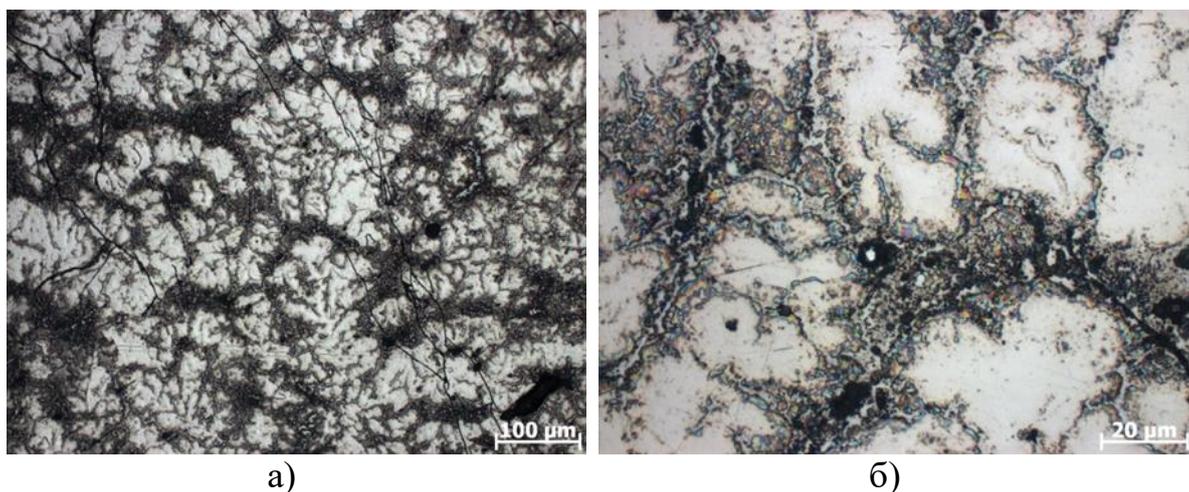


Рисунок 18 - Микроструктура спеченного порошкового композита системы $TiAl_3+TiB$ при $T=1000^{\circ}C$, где: а - общий вид поровой и зеренной структуры; б - структура зерен с распределением фаз.

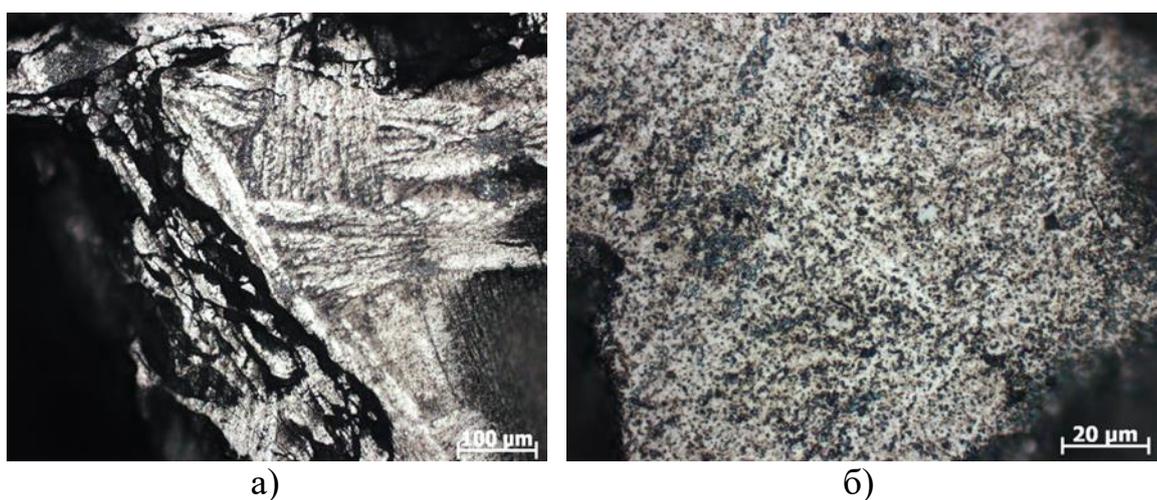


Рисунок 19 - Микроструктура спеченного порошкового композита системы $TiAl_3+TiB_2$ при $T=1000^{\circ}C$, где: а - общий вид поровой и зеренной структуры; б - структура зерен с распределением фаз.

Структура спеченных композитов системы $TiAl_3+TiB_2$, в составе которого вместо порошка чистого бора применялся порошок диборида титана, показана на рисунке 20.

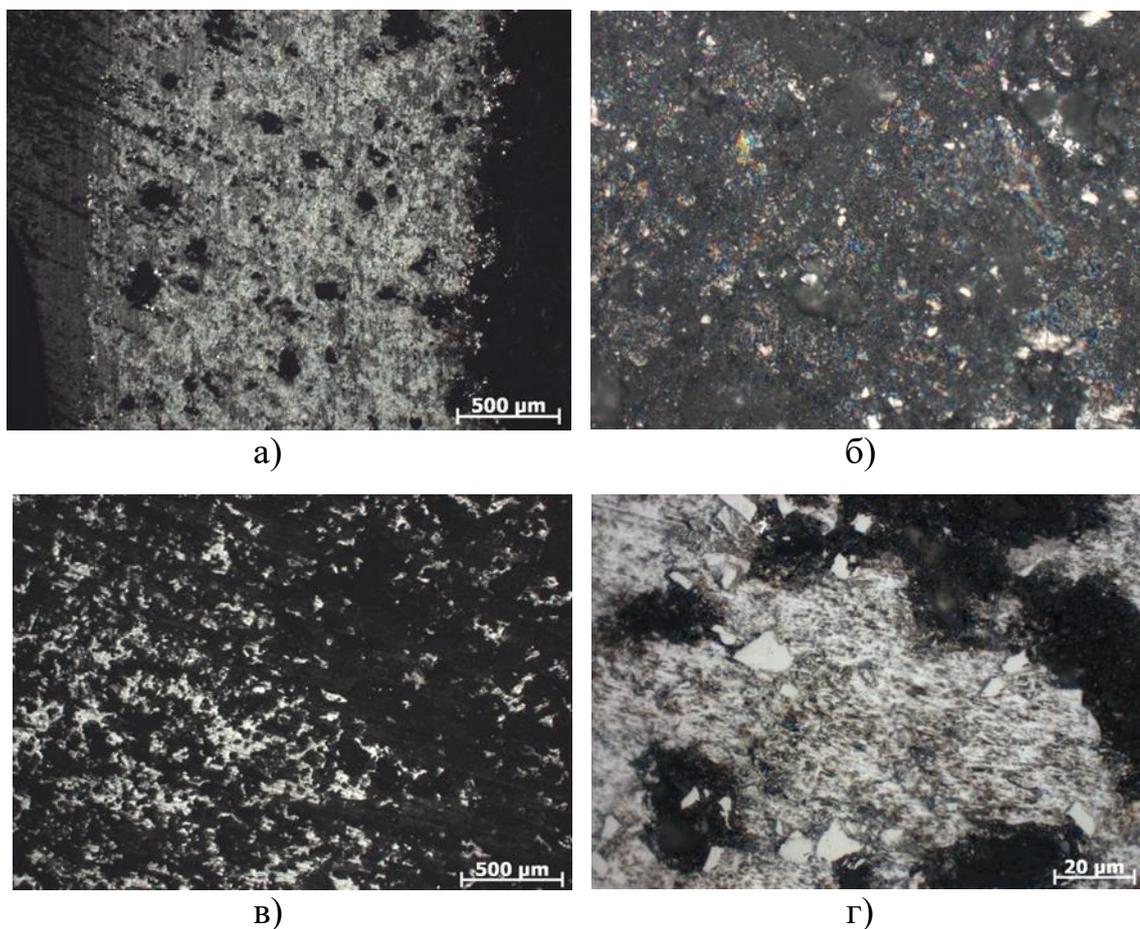


Рисунок 20 - Микроструктура спеченного порошкового композита системы $TiAl_3+TiB_2$ (диборид титана) при $T=1000^{\circ}C$ (а,б) и $T=1300^{\circ}C$ (в,г), где: а,в - общий вид поровой структуры, граница внутренней и кромочной зоны; б,г - структура зерен с распределением фаз ($\times 1000$), кромочная зона.

Рентгеноструктурный анализ состава $TiAl_3+TiB$ и $TiAl_3+TiB_2$

Спеченные составы №3 ($TiAl_3+TiB$) и №4 ($TiAl_3+TiB_2$) представляли собой композиции с избытком алюминия. Рентгеноструктурный анализ спеченной смеси №3 (рис.21) показал, что в данной порошковой композиции при спекании происходит образование многофазного материала, выявлено три фазы: TiB_2 , $TiAl_3$ и $TiAl$, хотя расчет был на состав: $TiAl_3+TiB$. И нельзя исключать наличие малого количества других фаз (до 5 %), линии которых могут теряться в фоне и в широких линиях основных фаз.

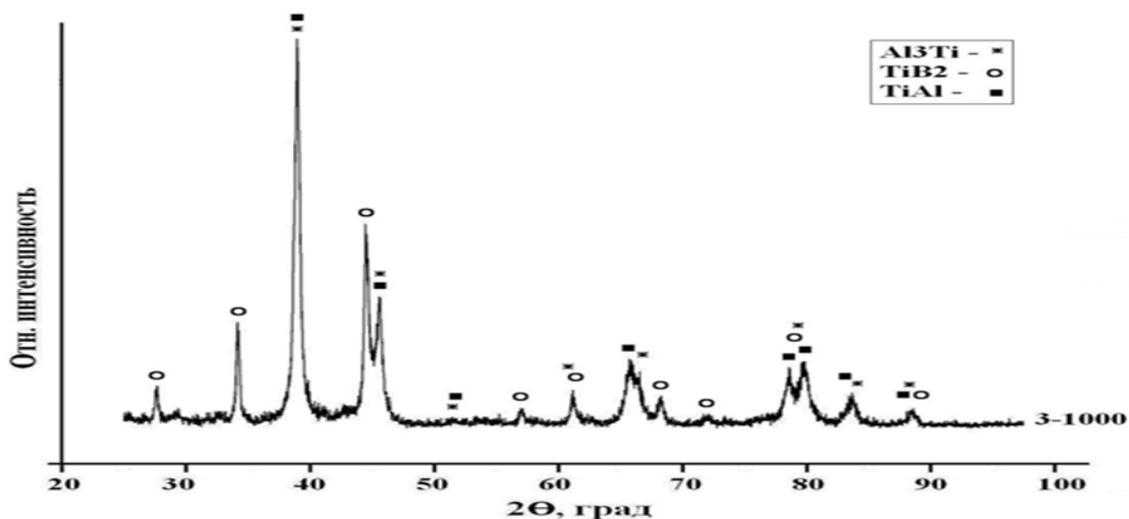


Рисунок 21 - Рентгенограмма смеси №3 ($TiAl_3+TiB$)

В случае состава №4 основными фазами, образующимися при спекании, являются фазы TiB_2 и $TiAl_3$, которые и были заложены в расчет порошковой смеси(рис.22).

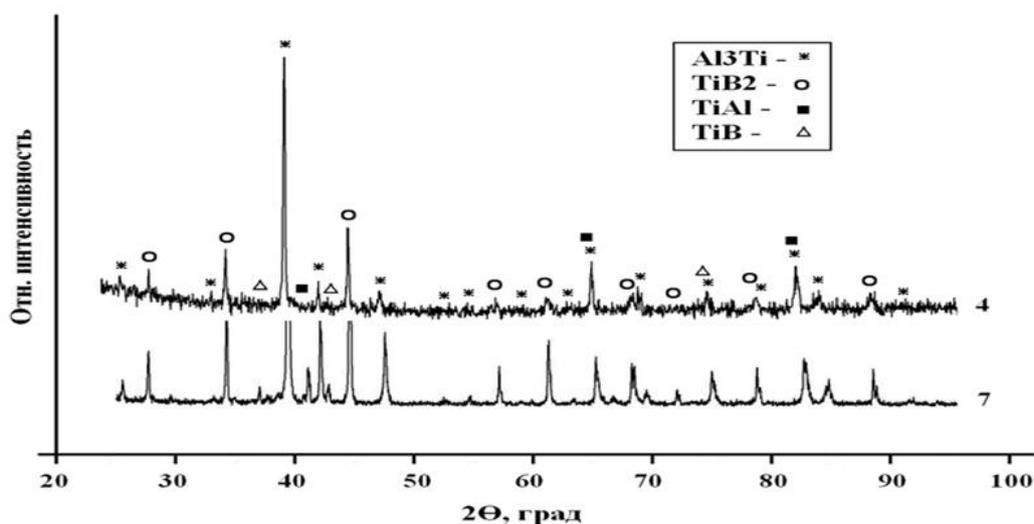


Рисунок 22 - Рентгенограмма смеси №4 и №7(один расчетный состав - $TiAl_3+TiB_2$)

3.1.4 Анализ спеченной порошковой системы $Ti+Ti_3Al+TiB$

Состав №5 представляет собой порошковую смесь($Ti+Ti_3Al+TiB$), где соотношение компонентов рассчитано таким образом, чтобы обеспечить присутствие свободного титана. Избыток титана снизил активность

порошковой смеси, что благоприятно отразилось на динамике объемных изменений(рис.23).

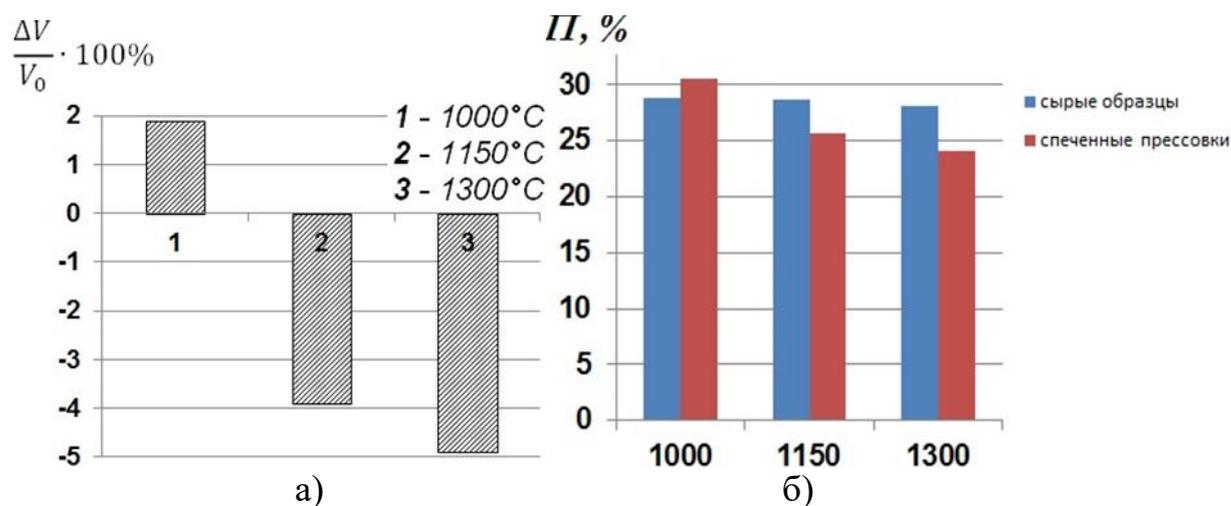


Рисунок 23 - Относительное изменение объема в процессе вакуумного спекания(а) и изменение пористости в процессе спекания(б) прессовок из состава №5(Ti+Ti₃Al+TiB) при различных температурах.

Структура системы Ti+Ti₃Al+TiB

Незначительный рост при низкой температуре спекания (1000°C) сменяется усадкой с уплотнением при повышении температуры спекания(рис.24).

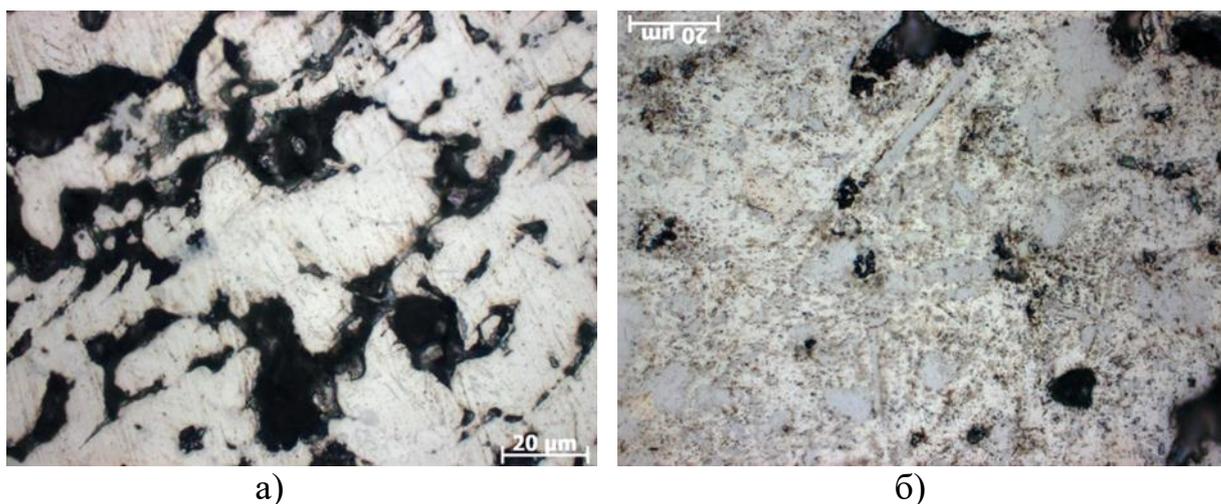


Рисунок 24 - Общий вид микроструктуры прессовок Ti₃Al+TiB, спеченных при разных температурах; T=1000°C(а) и T=1300°C(б).

Рентгеноструктурный анализ состава Ti+Ti₃Al+TiB

Состав №5 представляет собой порошковую смесь (Ti+Ti₃Al+TiB), где соотношение компонентов рассчитано таким образом, чтобы обеспечить присутствие свободного титана. Рентгеноструктурный анализ спеченной смеси №5 (Ti+Ti₃Al+TiB) показал, что основными фазами являются фазы Ti+Ti₃Al+TiB (рис.25), которые и были заложены в расчет.

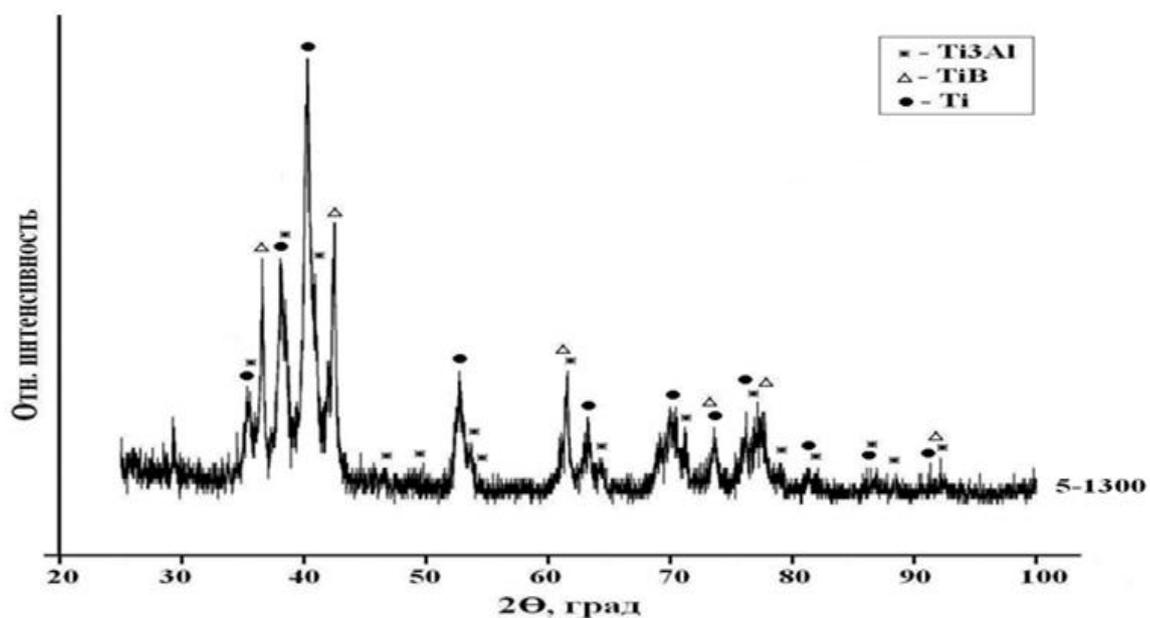


Рисунок 25 - Рентгенограмма смеси №3 (Ti+Ti₃Al+TiB)

В спеченной смеси №6 (Ti₃Al+TiB₂) и №7 (TiAl₃+TiB₂) рентгеноструктурный анализ показал, что введение в смесь готовой фазы TiB₂ при спекании 1300°C в течение одного часа приводит к взаимодействию диборида титана с титаном и образованию моноборида титана в небольшом количестве (до 5 масс.%). В смеси №6 происходит образование фазы Ti₃Al, как и было рассчитано (рис.17). При этом остается небольшое количество чистого титана (12 масс.%). В смеси №7 кроме запланированной фазы Al₃Ti, образуется фаза AlTi (рис.22) в очень малом количестве (3%).

3.2. СВС процессы в составах на основе Ti-Al-B

Поскольку порошковые композиции №3($TiAl_3+TiB$) и № 4($TiAl_3+TiB_2$) очень активно вели себя при спекании, то на примере состава №4 было решено проверить их способность к синтезу в условиях свободной насыпки в реакторе СВС(рис.26). Смесь в уплотненном состоянии не поджигалась, но активно загорелась, когда использовали свободно насыпанную порошковую смесь состава №4. Фазовый состав продуктов этой реакции также соответствовал расчетным составам, где в основном присутствуют фазы TiB_2 и $TiAl_3$.



Рисунок 26 – Образец из состава №4, прореагировавшего в условиях СВС (волновое горение)

3.3. Использование СВС порошка Ti-Al-B в наплавочных процессах и спекании

Для получения покрытия был выбран композиционный порошок $TiAl_3+TiB_2$ синтезированный в реакторе СВС(рис.6), с помощью аддитивной технологий путем лазерного спекания.

При высокой скорости охлаждения с небольшой продолжительностью по времени(воздействие лазера происходило в течении нескольких секунд) было попробовано провести лазерное спекание образца, но в связи с отсутствием металлической связки спекание не успевало произойти. В процессе

воздействия лазера, плавлению подвергся только металлический компонент состава, а порошки не удалось наплавить. Полученные спеки получились очень хрупкими, и это говорит о том, что лазерная наплавка при данном соотношении компонентов в порошковой смеси дает отрицательный результат. Плотность и прочность порошков не изменилась и соответствует донаплавочному состоянию.

Одним из способов улучшения ситуации с покрытиями – это увеличение доли металла в имеющиеся порошковой смеси, путем добавления в состав титана. И в этом случае, есть возможность производить наплавки в данном композиционном материале.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ71	Нурманов Жанболат Аскарлович

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

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

<ol style="list-style-type: none"> 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования 	<p><i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.</i></p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения 2. SWOT-анализ 3. Инициация проектом
<ol style="list-style-type: none"> 2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок 	<p><i>Бюджет научно – технического исследования (НТИ).</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Основная заработная плата исполнителей темы 2. Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Матрица SWOT
5. График проведения и бюджет НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

25.03.2019

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Рагозин Д.В.	к.и.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ71	Нурманов Ж.А.		

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1. Введение

Целью данного раздела является комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов научно-исследовательского проекта на тему: “Исследование и разработка технологии получения композиционных порошковых материалов на основе системы Ti-Al-B”. Необходимо определить перспективность и успешность научно-исследовательского проекта, оценить полные денежные затраты на исследование (проект), а также дать хотя бы приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

4.2. Потенциальные потребители результатов исследования

Научный проект заинтересован в тех потребителях, которые заинтересованы в его разработке. Следовательно, необходимо четко представлять, кто является конечным потребителем проекта или, кто может стать им в будущем и по какой причине они эту разработку приобретают, т. е. в итоге определить свой целевой рынок.

Рассмотрим целевой рынок и проведем сегментирование по применению порошковых материалов и изделий из них, в различных отраслях промышленности. Принимаются во внимание два критерия: отрасль промышленности и объем потребления. На основании этих критериев составляется карта сегментирования рынка в виде таблицы 3.

Из анализа сегментов рынка видно, что композиционные изделия с крупным объемом потребления относятся к космической промышленности и авиастроению, средний объем относится к машиностроению, а мелкий объем потребления к приборостроительной отрасли.

Таблица 3 - Карта сегментирования рынка

		Отрасль промышленности		
		Космическая промышленность и авиастроение	Машиностроение	Приборостроение
Объём потребления	Мелкий	-	-	+
	Средний	-	+	-
	Крупный	+	-	-

4.3. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Для изготовления деталей и инструментов в машиностроении применяют различные материалы: инструментальные углеродистые, легированные и быстрорежущие стали, твердые сплавы, минералокерамические материалы и алмазы. Методы изготовления изделий также развиваются. Наибольшее распространение при получении режущего инструмента, предназначенного для работы в отсутствие охлаждающих жидкостей и высоких скоростей вращения и подачи, получили технологии порошковой металлургии. Однако на данный момент всё большее распространение получают методы синтеза композиционных порошков, к которым относится самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС).

К композиционным порошкам системы «Ti-Al-B (Ti-Al, Ti-B, Al-Ti-B)» в настоящее время проявляется интерес, в связи с возможными преимуществами разработки трехкомпонентного материала с более улучшенными свойствами. Боридные композиты представляют интерес из-за их превосходных механических свойств и химической стабильности по отношению к металлам. Керамика из TiB представляет особый интерес из-за их промежуточного металлического/керамического характера, с высокой температурой плавления, замечательной твердостью, хорошей химической стабильностью и высокой электропроводностью. Таким образом, моноборид TiB, как ожидается, найдет

применение в качестве высокотемпературного материала, для высокоскоростных режущих инструментов, защиты поверхности, материалов для брони, огнеупоров для плавки алюминия, электродов для магнитогидродинамических генераторов и в качестве антиабразива в агрессивных средах. Титан-алюминиевые композиты широко применяются при создании материалов с высокими прочностью, жаро- и коррозионной стойкостями, температурой плавления и т.д. Бороалюминиевый композиционный материал в настоящее время имеет широкое применение в конструкциях авиационных двигателей

В настоящее время для получения композиционных порошков применяют вакуумное спекание прессованных смесей порошков титана, алюминия и связующего бора с последующим дроблением спеков. Однако с точки зрения производственных и экономических показателей это дорогой и низкопроизводительный способ. В этих отношениях предпочтительней выглядит метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

В таблице 4 приведена оценка конкурентов, где Ф – технологический процесс метода СВС, К – технологический процесс метода спекания.

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _Ф	Б _К	К _Ф	К _К
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1.Повышение производительности труда пользователя	0,2	4	3	0,8	0,6
2.Простота технологии нанесения покрытия	0,1	3	2	0,3	0,2

3. Энергоэкономичность	0,2	5	3	0,8	0,6
4. Надежность	0,05	4	4	0,20	0,20
5. Уровень шума	0,05	3	3	0,15	0,15
6. Экологичность материала	0,10	4	3	0,4	0,3
7. Область применения покрытия	0,10	3	2	0,3	0,2
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	2	0,4	0,2
2. Цена	0,05	3	3	0,4	0,45
3. Финансирование научной разработки	0,05	4	2	0,2	0,1
Итого	1	37	27	3,95	3,0

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Из проведенного в таблице 4 анализа видно, что метод СВС позволяет получить увеличение производительности при значительно более низких затратах по сравнению с методом вакуумного спекания порошковых смесей, имея значительное преимущество по следующим параметрам:

- простота нанесения покрытий;
- энергозатраты на производство партии продукта.

4.4. SWOT-анализ

SWOT анализ (перевод с англ. swot analysis) – один из самых эффективных инструментов в стратегическом менеджменте. Это анализ сильных и слабых сторон организации, а также возможностей и угроз со стороны внешней окружающей среды. Аббревиатуры SWOT анализа расшифровываются как: Strengths (сильные стороны), Weaknesses(слабые стороны), Opportunities(возможности) и Threats(угрозы). Сильные и слабые стороны являются факторами внутренней среды объекта анализа (то есть тем, на что сам объект способен повлиять); возможности и угрозы являются факторами внешней среды (то есть тем, что может повлиять на объект извне и при этом не контролируется объектом). SWOT-анализ является предварительным исследовательским этапом при составлении стратегических планов, разработке стратегических целей и задач компании.

Основные преимущества данного проекта – универсальность, высокая производительность и возможность создания композиционного покрытия с заданными служебными характеристиками, увеличение срока службы инструмента, улучшение качества обрабатываемой поверхности, повышение эффективности использования оборудования, снижение себестоимости изделия.

Но несмотря на все преимущества проекта, есть и слабые стороны. На данном этапе не проработана стабильная технология получения порошков, которые используются для нанесения покрытия, а также сама технология нанесения покрытия производится вручную, что вносит нестабильность в свойства получаемых покрытий.

В таблице 5 (матрица SWOT) более подробно изложены сильные и слабые стороны исследовательского проекта, а также возможности и угрозы.

Таблица 5 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно исследовательского	Слабые стороны научно исследовательского проекта:
--	--	--

	<p>проекта:</p> <p>C1.Возможность модифицирования состава исходного материала;</p> <p>C2.Высокая работоспособность изделия;</p> <p>C3.Улучшение свойств обрабатываемой поверхности;</p> <p>C4.Снижение себестоимости изделия;</p>	<p>Сл1.Отсутствие прототипа научной разработки;</p> <p>Сл2.Не отработана технология получения порошков, которые в дальнейшем используются для нанесения покрытий;</p> <p>Сл3.Вероятность структурообразования составов;</p> <p>Сл4.Вероятность получения брака;</p>
<p>Возможности:</p> <p>V1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ (т.е. использование научного оборудования);</p> <p>V2. Возможность внедрения технологии в производство;</p> <p>V3. Возможность участия в грантах, для повышения</p>	<p>C1 V2. Внедрение технологии в различные производства за счет возможности варьирования состава; C4 V2. Вероятность расширения количества поставщиков (снижение себестоимости изделия); C2 V3. участие в грантах приводят к улучшению высокой работоспособности изделия;</p>	<p>V1 Сл4. новейшее оборудование, позволит на ранних стадиях исследование, выявить и предотвратить появление брака; V1 Сл1. Возможность изготовления прототипа;</p> <p>V3 Сл2. Возможность отработки технологии на средства из грантов;</p>

<p>производительности изделия;</p> <p>В4. Появление дополнительного спроса на новый продукт;</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Вероятность появления более высокооплачиваемой предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований.</p> <p>У2. Отсутствие оборудования для массового производства;</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства приводит к несвоевременно</p>	<p>У1 С1. Возможность изменить состав для повышения конкурентоспособности с новыми предложениями на рынке.</p> <p>У3 С4. Появление резервных средств за счет экономии материала.</p>	<p>У3 Сл4. длительный простой производства.</p> <p>У2 Сл1. Нежелание крупных предприятий сотрудничать в условиях отсутствия прототипа и оборудования массового производства.</p>

выполнению заказов изделия;		
--------------------------------	--	--

Проанализировав матрицу SWOT можно сказать, что у исследовательского проекта есть как сильные, так и слабые стороны. Улучшение свойств поверхностей изделий или получение совершенно новых композиционных изделий, обеспечит актуальность этой темы на протяжении многих лет, а возможность модифицирования исходного состава порошков продлит этот срок еще большим количеством времени. Угрозы У1 и У2 представляются серьезными и являются объектами для внимания при выводе разработки на рынок.

4.5. Организация и планирование работ

В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Для построения линейного графика хронологически упорядоченные вышеуказанные данные сведены в таблицу 6.

Таблица 6 - Перечень работ и продолжительность их выполнения

Выполняемая работа	Загрузка исполнителей		
	НР	И	ИНЖ
Постановка целей и задач.	100%	–	–
Разработка календарного плана.	100%	10%	–
Подбор и изучение литературы по тематике.	20%	100%	–
Подготовка литературного обзора	15%	100%	–
Подготовка материалов	100%	20%	–
Выполнение исследовательской работы	10%	100%	80%

Анализ результатов	90%	100%	–
Оформление результатов исследования	–	100%	–
Подведение итогов	60%	100%	–

НР(научный руководитель) – Коростелева Елена Николаевна

И(исследователь) – Нурманов Жанболат Аскаревич

ИНЖ(инженер-технолог) – Кривопапов Владимир Петрович

4.5.1. Продолжительность этапов работ

Расчет продолжительности этапов работ может осуществляться двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим.

Первый применяется в случаях наличия достаточно развитой нормативной базы трудоемкости планируемых процессов, что в свою очередь обусловлено их высокой повторяемостью в устойчивой обстановке. Поскольку, соответствующие нормативы не имеются, то используется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Аналоговый способ привлекает внешней простотой и околонулевыми затратами, но возможен только при наличии в поле зрения исследователя не устаревшего аналога, т.е. проекта в целом или хотя бы его фрагмента, который по всем значимым параметрам идентичен выполняемой НИР. В большинстве случаев он может применяться только локально – для отдельных элементов (этапов работы).

Экспертный способ используется при отсутствии вышеуказанных информационных ресурсов и предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию. Для определения

вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ $t_{ож}$ применяется формула.

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{K_{вн}}, \quad (2)$$

где t_{min} – минимальная продолжительность работы, дн.;

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 6 работ требуются специалисты:

- исследователь – в его роли действует исполнитель НИР;
- научный руководитель;
- инженер-технолог – сотрудник, обеспечивающий работу оборудования.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д}, \quad (3)$$

где $t_{ож}$ – продолжительность работы, дн.;

$K_{вн}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно $K_{вн} = 1$;

$K_{д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{д} = 1-1,2$; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{к}, \quad (4)$$

где $T_{\text{КД}}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{\text{К}}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле

$$T_{\text{К}} = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}} \quad (5)$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни ($T_{\text{КАЛ}} = 365$);

$T_{\text{ВД}}$ – выходные дни ($T_{\text{ВД}} = 52$);

$T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни ($T_{\text{ПД}} = 10$).

$$T_{\text{К}} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

В таблице 7 приведен пример определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах (3–5) реализован экспертный способ по формуле (2). Столбцы 6, 7 и 8 содержат величины трудоемкости этапа для каждого из трех участников проекта (научный руководитель, исследователь, и инженер-технолог) по формуле(3) с учетом коэффициента $K_{\text{д}} = 1,2$. Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{\text{ож}} * K_{\text{д}}$. Столбцы 9, 10 и 11 содержат те же трудоемкости, выраженные в календарных днях по формуле(4) путем дополнительного умножения на $T_{\text{К}}$ (здесь оно равно 1,205). Итог по столбцу 5 дает общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 9, 10 и 11 – общие трудоемкости для каждого из участников проекта. Три последние величины далее будут использованы для определения затрат на оплату труда участников и прочие затраты. Величины трудоемкости этапов по исполнителям $T_{\text{КД}}$ (данные столбцов (9, 10 и 11 кроме итогов) позволяют построить линейный график осуществления проекта, показанный в таблице 8.

Таблица 7 - Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.					
					$T_{РД}$			$T_{КД}$		
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	ИНЖ	НР	И	ИНЖ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Постановка целей и задач.	НР	1	3	1,8	2,16	–	–	2,6	–	–
Разработка календарного плана.	НР, И	2	4	2,8	3,36	0,34	–	4,05	4,1	–
Подбор и изучение литературы по тематике.	НР, И	7	11	8,6	2,1	10,32	–	2,53	12,44	–
Подготовка литературного обзора	НР, И	6	10	7,6	1,37	9,12	–	1,65	10,99	–
Подготовка материалов	НР, И	10	12	10,8	12,96	2,6	–	15,62	3,13	–
Выполнение исследовательской работы.	И, ИНЖ	21	28	23,8	2,86	28,56	22,85	3,45	34,41	27,53
Анализ результатов	НР, И	15	19	16,6	17,93	19,92	–	21,61	24	–
Оформление результатов исследования	И	23	26	24,2	–	29,04	–	–	34,99	–
Подведение итогов	НР, И	5	8	6,2	4,46	7,44	–	5,37	8,97	–
Итого:				102,4	47,2	100,34	22,85	56,88	123,03	27,53

Таблица 8 - Линейный график работ

Этап	НР	И	ИНЖ	Февраль 2019			Март 2019			Апрель 2019			Май 2019		
				10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
1	2,6	–	–	■											
2	4,05	4,1	–	■	■										
3	2,53	12,44	–		■	■									
4	1,65	10,99	–			■	■								
5	15,62	3,13	–				■	■							
6	3,45	34,41	27,53					■	■	■					
7	21,61	24	–							■	■				
8	–	34,99	–									■	■		
9	5,37	8,97	–											■	

НР – ; ■ И – ■ ИНЖ ■

4.6. Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

4.6.1. Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). Расходы, связанные с приобретением сырья, материалов и комплектующих изделий, а также транспортно-заготовительные расходы для проведения исследования представлены в таблице 9.

Таблица 9 - Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Марка	Кол-во	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Промышленный порошок титана	ТПП-8	1 кг	5000	5000
Порошок алюминиевый	ПА-4	1 кг	555	555
Аморфный порошок бора	А	1 кг	2800	2800
Круг шлифовальный	Bosch	1 уп.	1000	1000
Шлифовальная паста	3М	3 шт.	2000	6000

Кислота	ННОЗ	1000 мл.	300	300
Всего за материалы				15655
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				715
Итого:				16 370

4.6.2. Расчет затрат на оборудование

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Таблица 10 - Список оборудования для исследования

№	Наименование оборудования	Количество
1	Вытяжной шкаф	1
2	Смеситель пьюная бочка	1
3	Гидравлический пресс МС-500	1
5	Вакуумная печь СНВЭ-1.3.1/16	1
7	Полировальный станок «Saphir 520»	1
8	Микроскоп «Axiovert 200 mat»	1
9	Компьютер	1

Вышеуказанное спецоборудование для научных работ были в лаборатории. Для оборудования не было финансовых расходов.

4.6.3. Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ZП_{дн-т}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = MO/15,45 \quad (6)$$

учитывающей, что в году 301 рабочий день и, следовательно, в месяце в среднем 15,45 рабочих дня (при пятидневной рабочей неделе).

Расчет затрат на полную заработную плату приведен в таблице 11. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 6. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{ПР}} = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,113$ (при пятидневной рабочей неделе); $K_p = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,113 * 1,3 = 1,62$.

Таблица 11 - Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	33 664	2178,9	47	1,62	165 901,06
И	10 633	688,22	100	1,62	111 491,64
ИНЖ	26298	1702,14	23	1,62	63 421,69
Итого:					340 814,39

4.6.4. Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту. В нашем случае:

$$C_{\text{соц.}} = 340\,814,69 * 0,3 = 102\,244,32 \text{ руб.}$$

4.6.5. Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}} \quad (7)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$\text{Ц}_{\text{Э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $\text{Ц}_{\text{Э}} = 5,748$ руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 7 для инженера ($T_{\text{РД}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{РД}} * K_t, \quad (8)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{РД}}$, определяется исполнителем самостоятельно ($K_t = 0.7$).

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{ОБ}} = P_{\text{ном.}} * K_C \quad (9)$$

где $P_{\text{ном.}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 11.

Таблица 11 - Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$, кВт	Затраты $\text{Э}_{\text{ОБ}}$, руб.
Гидравлический пресс МС-500	9,8	1,5	84,5
Вакуумная печь СНВЭ-1.3.1/16	11,2	18	1158,8
Полировальный станок «Saphir 520»	7	3,2	128,8
Микроскоп «Axiovert 200 mat»	7,7	0,1	4,42
Персональный компьютер	34	0,3	58,63
Итого:			1435,15

4.6.6. Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}}) \cdot 0,1$$

Для нашего примера это

$$C_{\text{проч.}} = (16\,370 + 340\,814,39 + 102\,244,32 + 1435,15) \cdot 0,1 = 46\,086,39 \text{ руб.}$$

4.6.7. Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Исследование и разработка технологии получения композиционных порошковых материалов на основе системы Ti-Al-B».

Таблица 12 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	16 370
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	340 814,69
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	102 244,32
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	1435,15
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	46 086,39
Итого:		506 950,55

Таким образом, общая себестоимость НИР равняется = **506 950,55** руб.

4.7. Заключение по разделу

Описан целевой рынок, то есть кто является конечным потребителем продукта или, кто может стать им в будущем. После анализа целевого рынка составлена карта сегментирования для композиционных порошков, в зависимости от двух критериев: отрасль промышленности и объем потребления.

При анализе конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения изготовления композиционных порошковых материалов методом СВС и методом вакуумного спекания, можно вывод, что метод СВС имеет преимущество перед методом вакуумного спекания, т.к. позволяет получить увеличение производительности при значительно более низких затратах.

На основе метода SWOT – анализа можно сказать, что улучшение свойств поверхностей изделий или получение совершенно новых композиционных изделий, обеспечит актуальность этой темы на протяжении многих лет. Но существуют угрозы в виде возможности появления более высокооплачиваемых предложений на рынке и отсутствия оборудования для массового производства, что требуют серьезного внимания и рассмотрения.

Рационально спланирована занятость каждого из участников и сроки проведения отдельных работ для организации процесса реализации исследовательской работы. Опытно-статистическим методом были определены продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе.

Вычислены полные денежные затраты на исследовательскую работу. В состав затрат на создание проекта включались величины всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание исследования. В итоге, общая себестоимость НИР по всем статьям затрат = 506 950,55 руб.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ71	Нурманов Жанболат Аскарлович

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Тема ВКР:

Исследование и разработка технологии получения композиционных порошковых материалов на основе системы Ti-Al-B	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p><i>Объектом исследования являются композиционные порошки системы Ti-Al-B, а также аддитивные технологии на их основе. Исследованы характеристики синтезированных порошков Ti-Al-B (морфология, микроструктура и фазовый состав, внутри частичная пористость и т.п.). Исследование проводилось на базе лаборатории физики наноструктурных функциональных материалов ИФПМ СО РАН. Область применения: порошковая металлургия.</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ; – Положение об организации работы по охране труда в ИФПМ СО РАН [Текст]. – Томск: ИФПМ СО РАН, 2018. – 18с; – Требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя устанавливаются в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78; – Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ должны обеспечиваться в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; – средства пожаротушения предусматриваются согласно требованиям противопожарной безопасности по СНиП 2.01.02. -85; – Использование электрических приборов осуществляются в соответствии с ГОСТ Р 52084-2003.
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>1. Превышение уровня шума</p> <p>2. Вредные вещества</p> <p>3. Отклонение показателей микроклимата</p> <p>4. Отсутствие или недостаток естественного света. Недостаточная освещенность рабочей зоны</p> <p>5. Опасность поражения электрическим током</p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>– Воздействие на атмосферу в связи с токсичностью порошков, взрывоопасностью и пожароопасностью</p>

	<i>некоторых материалов и газов; – Влияние на гидросферу посредством слива кислот, щелочей, солей отходов вредных веществ в общую систему канализации..</i>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<i>Возможные чрезвычайные ситуации при выполнении проекта являются: поражение электрическим током, короткое замыкание электрической цепи, и как следствие, пожар. Для предотвращения ЧС необходимым является осуществление меры по технике безопасности на рабочем месте.</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Исаева Е.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ71	Нурманов Ж.А.		

5. Социальная ответственность

5.1. Введение к разделу

Продукция современной порошковой металлургии включает материалы со специфическими свойствами и с широкой областью применения (дисперсно-упрочненные, фрикционные, антифрикционные, износостойкие, высокопористые и др.). Большинство из вышеперечисленных материалов имеет сложный фазовый состав и структуру и относится к классу композиционных материалов.

Композиционные материалы получили широкое применение в различных областях машиностроения благодаря возможности управления физическими и химическими свойствами на всех этапах производства изделий.

Боридные композиты представляют интерес из-за их превосходных механических свойств и химической стабильности по отношению к металлам. Титан-алюминиевые композиты широко применяются при создании материалов с высокими прочностью, жаро - и коррозионной стойкостями, температурой плавления и т.д. Бороалюминиевый композиционный материал в настоящее время имеет широкое применение в конструкциях авиационных двигателей.

Актуальность проекта заключается в том, что использование принципов порошковой металлургии при изготовлении композиционных материалов позволяет значительно уменьшить энергетические затраты и расход материалов. В социальном аспекте порошковая металлургия способствует снижению загрязнения окружающей среды газами, вредными выбросами и шлаками, т. е. обеспечивает большую экологическую чистоту производства.

В данном проекте были изучены возможности и особенности синтеза композиционных порошковых материалов на основе титана, алюминия и бора в зависимости от соотношения компонентов и условий реакции, а также покрытий полученных на основе аддитивных технологий. Исследованы характеристики синтезированных порошков Ti-Al-B (морфология, микроструктура и фазовый состав, внутри частичная пористость и т.п.). Для

анализа протекания возможных реакций в выбранной системе были проведены структурно-фазовые исследования.

Объектом исследования являлись композиционные порошки системы «Ti-Al-V», а также аддитивные технологии на их основе.

Для проведения исследовательских работ было использованы следующие оборудования:

- установка электронно-лучевой наплавки "ЛУНА-1",
- микроскоп AXIOVERT-200MAT,
- шлифовально-полировальный станок Saphir 520,
- дифрактометр ДРОН-7
- вакуумная печь «СНВЭ-1.3.1/160

В процессе подготовки исследуемых образцов выполнялась настройка оборудования, работа с ручным инструментом и работа с электронно-вычислительной машиной (ЭВМ).

5.2. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В соответствии с законодательством Российской Федерации [21] нормальная продолжительность рабочего дня не может превышать 40 часов в неделю. Сокращенная продолжительность рабочего дня устанавливается для лиц в возрасте 16-18 лет и составляет не более 36 часов в неделю, а для учеников от 14 до 15 лет, а также работников в возрасте 15 и 16 лет – 24 часа в неделю. При наличии вредных условий труда рабочий день лимитирован 26 часами в неделю. Накануне официальных праздничных дней продолжительность рабочего дня сокращается на один час. При работе в ночное время (с 22 до 6 утра) продолжительность рабочего дня также сокращается на час. Указом Министерства здравоохранения от 29 декабря 1993 года №256 создан перечень тяжелых работ и опасных условий труда, согласно которому запрещается привлекать женщин к работам, которые связаны с постоянным (больше 2-х раз) на протяжении одного часа перемещением грузов

массой свыше 7 кг. Если женщина занята подъемом или перемещением грузов до двух раз в течение часа, то ей может поручаться такая работа при весе груза до 10 кг. Причем в обоих случаях суммарная масса груза, который перемещается на протяжении каждого часа рабочей смены, не должна превышать 350 кг - с поверхности рабочего места и 175 кг с пола. Действующее законодательство особое внимание уделяет защите жизни и здоровья несовершеннолетних, то есть лиц, не достигших возраста 18 лет. Допускается с согласия одного из родителей принятие на работу учеников общеобразовательных школ для выполнения работы, которая не наносит ущерб их здоровью, в свободное от учебы время при достижении ими 14 - летнего возраста (на время школьных каникул). Как правило, несовершеннолетние принимаются на работу после достижения 16 лет. Их запрещается привлекать к работам, предусмотренным Перечнем тяжелых работ и работ с вредными и опасными условиями труда.

Основные принципы организации работы по охране труда, структуру и функции органов управления охраной труда, обязанности и ответственность Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН) устанавливается положением об организации работы по охране труда в ИФПМ СО РАН. Организация работ по охране труда в ИФПМ СО РАН возлагается на работников отдела охраны труда и техники безопасности, пожарной безопасности, гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (ОТ и ТБ, ПБ, ГО и ЧС)[22].

При поступлении на работу с каждым сотрудником проводится первичный инструктаж по технике безопасности, что фиксируется в журнале.

Сотруднику разъясняются основные опасные факторы среды, правила оказания первой помощи, расположения средств пожаротушения, планов эвакуации и аптечек первой помощи. На стенах лаборатории вывешены инструкции по технике безопасности, план эвакуации при пожаре.

Меры по технике безопасности на рабочем месте:

1. К работе с электроустановками допускаются лица, имеющие третью либо четвертую группу допуска, устанавливаемые квалификационной комиссией.

2. Лица, не имеющие непосредственного отношения к обслуживанию электроустановок, к работе с ними не допускаются.

3. Все питающие части должны быть заземлены. Сопротивление заземления должно не превышать 4 Ом.

4. При замене (установке) плат расширения необходимо пользоваться браслетом заземления, либо перед осуществлением этой операции избавиться от накопленного на теле статического заряда посредством прикосновения к зануленной части компьютера, в противном случае возможно повреждение чувствительных к статике микроэлементов ЭВМ.

5. Для исключения поражения электрическим током запрещается: часто включать и выключать компьютер без необходимости, прикасаться к экрану и к тыльной стороне блоков компьютера, работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании мокрыми руками, работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании, имеющих нарушения целостности корпуса, нарушения изоляции проводов, неисправную индикацию включения питания, с признаками электрического напряжения на корпусе, класть на средства вычислительной техники и периферийном оборудовании посторонние предметы.

6. Запрещается под напряжением очищать от пыли и загрязнения электрооборудование.

7. Запрещается проверять работоспособность электрооборудования в непригодных для эксплуатации помещениях с токопроводящими полами, сырых, не позволяющих заземлить доступные металлические части.

8. Недопустимо под напряжением проводить ремонт средств вычислительной техники и периферийного оборудования. Ремонт

электроаппаратуры производится только специалистами-техниками с соблюдением необходимых технических требований.

9. Во избежание поражения электрическим током, при пользовании электроприборами нельзя касаться одновременно каких-либо трубопроводов, батарей отопления, металлических конструкций, соединенных с землей.

10. При приближении грозы необходимо оперативно закончить работу на компьютере и отключить его от сети во избежание повреждения последовательного порта и исключения сбоев при возможных скачках напряжения в сети, характерных в подобных случаях.

5.3. Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при разработке проекта.

Для идентификации и описания потенциально опасных и вредных факторов, перечень которых приведен в таблице 13, использован ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

Таблица 13 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплу атация	
1. Превышение уровня шума		+	авиастроении и машиностроении	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности[2]
2. Вредные вещества	+	+		ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности[3]

3.Отклонение показателей микроклимата	+	+	1)СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»[6] 2)ГОСТ Р 52084-2003. Приборы электрические бытовые. Общие технические условия[7].
4.Отсутствие или недостаток естественного света. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	СНиП 23 – 05 –95. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение[8]. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[9].
5.Опасность поражения электрическим током		+	ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля[10].

5.3.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов

Существует множество проявлений факторов рабочей зоны, таких как электромагнитное и ионизирующее излучения, производственные метеоусловия, освещение, вредные вещества, виброакустические поля. При выполнении исследовательской работы очевидно влияние следующих факторов: шум, тепловыделение, недостаточная освещенность рабочего места, воздействие электрического тока, физическая и эмоциональная перегрузка. Все опасные и вредные производственные факторы в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 подразделяются на: физические, химические, биологические и психофизиологические.

К физическим факторам можно отнести опасность поражения электрическим током, поскольку работать приходится с оборудованием,

питающимся от сети 220В 50Гц. Воздействие излучения монитора компьютера также относится к данной категории.

К химическим факторам относится наличие в воздухе металлической пыли, которая образуется при шлифовании образцов. При попадании в организм через дыхательные органы, через поры кожи пыль может вызывать профессиональные заболевания. При передвижении людей пыль может легко подниматься с пола вверх и проникать в легкие.

К психофизическим факторам можно отнести шумовое воздействие, монотонность работы, умственное перенапряжение и т.п. При обработке данных полученных на рентгеновском дифрактометре или на микроскопе, оператор выполняет монотонную работу, что может вызвать возникновение нервных расстройств или переутомляемость.

На производительность труда влияют следующие опасные и вредные производственные факторы:

- недостаточная освещенность рабочего места;
- высокий уровень шума;
- пониженная или повышенная температура рабочей зоны;
- отклонение от нормативных значений влажности воздуха.

5.3.1.1 Превышение уровня шума

Сочетание различных по силе и частоте звуков может оказывать негативное воздействие на организм человека.

Шум – беспорядочное сочетание различных по силе и частоте звуков; может оказывать неблагоприятное воздействие на организм. Источником шума является любой процесс, вызывающий местное изменение давления или механические колебания в твердых, жидких и газообразных средах.

Шум имеет определенную частоту, или спектр, выражаемый в герцах, и интенсивность — уровень звукового давления, измеряемый в децибелах. Для человека область слышимых звуков определяется в интервале от 16 до 20 000 Гц.

Шум оказывает на организм человека неблагоприятное воздействие и может вызвать различного рода болезненные состояния, в том числе тугоухость и глухоту. Под влиянием шума учащаются пульс и дыхание, повышается расход энергии. Длительное воздействие шума оказывает вредное влияние на центральную нервную систему и психику человека. В результате воздействия шума у человека появляются симптомы переутомления и истощения нервной системы. Со стороны психики наблюдается подавленное настроение, понижение внимания, задерживаются интеллектуальные процессы, повышается нервная возбудимость. Шум снижает работоспособность и производительность труда, препятствует нормальному отдыху и нарушает сон. Под влиянием шума значительной силы наблюдается изменение нормальной деятельности различных органов и систем (изменение секреции желудочного сока, повышение кровяного давления и т. п.).

Основными источниками шума при выполнении исследовательской работы в помещении являются принтер, вентиляторы системы охлаждения, шлифовально-полировальный станок Saphir 520.

Уровень шума в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, не должен превышать 50 - 60 дБ А[23].

5.3.1.2. Вредные вещества

Вредными являются вещества, которые при контакте с организмом могут вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения в состоянии здоровья, как в процессе работы, так и в отдалённые сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Токсическое действие вредных веществ характеризуется показателями токсикометрии, в соответствии с которыми вещества классифицируют на чрезвычайно опасные (1-го класса), высокоопасные (2-го класса), умеренно опасные (3-го класса) и малоопасные (4-го класса). Эффект токсического действия различных веществ зависит от количества попавшего в организм вещества.

Для выявления структуры металлических наплавов применяется метод травления азотной кислотой. Она является едким веществом и относится к веществам 3-го класса опасности. Азотная кислота вызывает сильные ожоги при контакте с кожей, а её пары поражают слизистые оболочки, дыхательные пути, вызывают конъюнктивит. Предельно допустимая концентрация вредного вещества третьего класса опасности в воздухе рабочей зоны составляет от 1,1 до 10 мг/м³ [24].

5.3.1.3. Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат – это сочетание температуры, влажности и скорости движения воздуха в рабочих помещениях. Микроклимат влияет на процессы теплообмена и характер работ. Длительное воздействие неблагоприятных условий на человека ухудшает его самочувствие, снижает производительность труда и приводит к заболеваниям.

Рассмотрим воздействие факторов поподробнее:

- 1) воздействие высокой температуры быстро утомляет, может привести к перегреву организма, тепловому удару или профессиональным заболеваниям;
- 2) низкая температура – местное или общее охлаждение организма, причина простудных заболеваний или обморожения;
- 3) высокая относительная влажность при высокой температуре способствует перегреву организма; при низкой температуре усиливает теплоотдачу с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению;
- 4) низкая влажность вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

ЭВМ является источником существенных тепловыделений, что может привести к повышению температуры и снижению относительной влажности в помещении. В санитарных нормах СН-245-71 установлены величины параметров микроклимата, создающие комфортные условия [25].

Допустимые микроклиматические условия установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период восьмичасового рабочего дня. Они не вызывают повреждений или нарушений

состояния здоровья, но могут привести к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

5.3.1.4. Отсутствие или недостаток естественного света. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Создание комфортных световых условий труда улучшает условия зрительной работы, снижает утомляемость, способствует повышению производительности труда, благоприятно влияет на производственную среду, оказывая положительное психологическое воздействие на рабочих, повышая безопасность труда и снижая травматизм.

Недостаточное освещение приводит к перенапряжению зрения, ослабляет внимание, приводит к наступлению преждевременной утомленности. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и резь в глазах. Неправильное направление света на рабочем месте может создавать резкие тени, блики, дезориентировать рабочего.

5.3.1.5. Опасность поражения электрическим током

Опасность поражения электрическим током зависит от таких факторов, как сырость, жара, едкие пары и газы, токопроводящая пыль. При наличии данных факторов возникает возможность перехода напряжения на нетокопроводящие части электрооборудования (корпуса, станины, кожухи), с которыми работающий находится в контакте. В таких условиях также понижается электрическое сопротивление тела человека, дополнительно увеличивая опасность поражения током.

Предельно допустимые величины напряжения и тока согласно ГОСТ 12.1.038-82 приведены в таблице 14.

Таблица 14 - Предельно допустимые величины напряжения и тока

Допустимое время действия, с	Длительность	До 30	1	0,5	0,2	0,1
Величина тока, мА	1	6	50	100	250	500
Величина напряжения, В	6	36	50	100	250	500

Действующими правилами устройства электроустановок (ПУЭ) все помещения подразделены на следующие три класса:

I. Помещения без повышенной опасности: сухие, с нормальной температурой воздуха, с токонепроводящими полами.

II. Помещения с повышенной опасностью: сырые с относительной влажностью воздуха (длительной) более 75%; жаркие с температурой воздуха, длительно превышающей +30°C; с полами из токопроводящих материалов; с большим количеством выделяющейся токопроводящей технологической пыли, оседающей на проводах и проникающей внутрь электроустановок; с размещением электроустановок с металлическими корпусами, имеющих соединение с землей, металлоконструкций зданий и технологического оборудования, допускающих одновременное соприкосновение с ними.

III. Помещения особо опасные: особо сырые с относительной влажностью воздуха, близкой к 100%, химически активной средой, одновременным наличием двух и более условий, свойственных помещениям с повышенной опасностью.

Поражение электрическим током возникает при соприкосновении с электрической цепью, в которой присутствуют источники напряжения и/или источники тока, способные вызвать протекание тока по попавшей под напряжение части тела. Обычно чувствительным для человека является пропускание тока силой более 1 мА[31].

Одной из особенностей поражения электрическим током является отсутствие внешних признаков грозящей опасности, которые человек мог бы заблаговременно обнаружить с помощью органов чувств.

Ток приводит к серьезным повреждениям центральной нервной системы таких жизненно важных органов как сердце и легкие. Поэтому второй особенностью воздействия тока на человека является тяжесть поражения.

Третья особенность поражения человека электрическим током заключается в том, что токи промышленной частоты силой в 10-15мА способны вызвать резко интенсивные судороги мышц.

Окружающая среда (влажность и температура воздуха, наличие заземленных металлических конструкций и полов, токопроводящей пыли и др.) оказывает дополнительное влияние на условия электробезопасности. Степень поражения электрическим током во многом зависит от плотности и площади контакта человека с токоведущими частями.

5.3.2. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя

В данном подразделе разрабатываются решения, обеспечивающие снижение влияния выявленных опасных и вредных факторов на работающих. Также предлагаются мероприятия, обеспечивающие безопасность технологического процесса и эксплуатации оборудования.

Также необходимым является рассмотрение требования безопасности, предъявляемые ко всем видам работ, установкам и устройствам, формирующим опасные факторы, в том числе и электротехническим установкам в соответствии с нормативно-технической документацией.

Предусматриваются мероприятия и средства защиты работающих от поражения электрическим током установок, разрабатываемых и используемых при выполнении исследовательской работы.

5.3.2.1. Превышение уровня шума

В целях уменьшения или устранения шума в лаборатории применяются следующие меры: машины, производящие сильный шум, находятся в отдельной комнате, изолированной от помещений, в которых находится рабочий персонал; при длительном использовании данного оборудования, рабочим выдаются средства индивидуальной защиты, в виде противозумных наушников.

5.3.2.2. Вредные вещества

Для работы с опасными веществами применяют такие средства индивидуальной защиты, как латексные перчатки, защитные маски. Все работы проводятся в вытяжном шкафу.

Первая помощь - при попадании азотной кислоты в глаза их промывают проточной водой в течение 10 – 30 мин.; при попадании на кожу пораженную поверхность обмывают водой, прибавляя к ней питьевую соду, мыло. При проглатывании азотной кислоты показано промывание желудка обильным количеством воды, инъекции морфина, атропина.

5.3.2.3 Отклонение показателей микроклимата

Воздух, поступающий в рабочие помещения операторов ЭВМ, должен быть очищен от загрязнений, в том числе от пыли и микроорганизмов.

Вычислительная техника является источником существенных тепловыделений, что может привести к повышению температуры и снижению относительной влажности в помещении. В помещениях, где установлены компьютеры, должны соблюдаться определенные параметры микроклимата(табл.15)[26].

Кондиционирование воздуха должно обеспечивать поддержание параметров микроклимата в необходимых пределах в течение всех сезонов года, очистку воздуха от пыли и вредных веществ, создание необходимого избыточного давления в чистых помещениях для исключения поступления неочищенного воздуха. Температура подаваемого воздуха должна быть не ниже 19 °С[27].

В помещении имеется только естественная вентиляция (форточки окон, двери). Отопление зимой осуществляется через систему общего отопления (городская). В крайнем случае, устанавливаются электрические обогреватели в зимнее время и вентилятор в летнее[28].

Таблица 15 - Нормы подачи свежего воздуха в помещения с ЭВМ

Характеристика помещения	Объемный расход воздуха в помещении, м ³ /на одного человека в час
Объем до 20м ³ на человека	Не менее 30
20-40м ³ на человека	Не менее 20
Более 40м ³ на человека	Естественная вентиляция

5.3.2.4. Отсутствие или недостаток естественного света. Недостаточная освещенность рабочей зоны

В соответствии со СНиП II-4-79 в вычислительных центрах применяется система комбинированного освещения. Для работ категории высокой зрительной точности (наименьший размер объекта различения 0,3 - 0,5 мм) величина коэффициента естественного освещения (КЕО) должна быть не ниже 1,5 %, а при зрительной работе средней точности (наименьший размер объекта различения 0,5 - 1,0 мм) КЕО должен быть не ниже 1,0 % [29].

Искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, охранное и дежурное. Часть светильников рабочего или аварийного освещения может использоваться для дежурного освещения. Для общего освещения производственных помещений следует использовать светодиоды и энергоэффективные разрядные источники света. Применение ламп накаливания общего назначения для освещения ограничивается в соответствии с Федеральным законом от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»[30].

В помещениях, где установлены ЭВМ действуют следующие требования:

- при выполнении зрительных работ высокой точности общая освещенность должна составлять 300 лк, а комбинированная – 750 лк;
- при выполнении работ средней точности - 200 и 300 лк соответственно.

При этом крайне важно, чтобы все поле зрения было освещено равномерно. Это значит, что степень освещения помещения и яркость экрана ЭВМ должны быть примерно одинаковыми, так как яркий свет в районе периферийного зрения значительно увеличивает напряженность глаз и, как следствие, приводит к их быстрой утомляемости.

Для работы с ЭВМ рекомендуются помещения с односторонним боковым естественным освещением с северной, северо-восточной или северо-западной ориентацией светопроемов. Площадь световых проемов должна составлять 25 % от площади пола. Удовлетворительное естественное освещение проще

создать в небольших помещениях на 5-6 рабочих мест, а больших помещений с числом сотрудников более 20, лучше избегать. В случае, если экран ЭВМ обращен к окну, должны быть предусмотрены специальные экранизирующие устройства.

5.3.2.5. Опасность поражения электрическим током

По условиям электробезопасности установки, используемые при выполнении работы, относятся к категории установок, работающих с напряжением до 1000В. Устройства относятся к 1 классу, так как имеют рабочую изоляцию и место заземления.

Безопасность эксплуатации при нормальном режиме работы установок обеспечивается следующими защитными мерами:

1. применение изоляции;
2. недоступность токоведущих частей;
3. применение малых напряжений;
4. изоляция электрических частей от земли.

Рабочее помещение по опасности относится к 1 группе, т.е. пожарная нагрузка относительно мала.

Категория персонала – I (неэлектротехнический персонал), то есть это люди, прошедшие только первичный инструктаж.

Рабочее место удовлетворяет всем требованиям безопасности жизнедеятельности: нет доступа к токоведущим частям, все источники питания пронумерованы, корпуса компьютеров заземлены.

5.4. Экологическая безопасность

Любое предприятие, осуществляющее деятельность, неизбежно наносит тот или иной вред окружающей среде. В настоящем проекте основными факторами воздействия на среду являются:

–токсичность или другое физиологическое действие порошков ряда металлов и неметаллов, газов применяемых в производстве;

- взрывоопасность и пожароопасность некоторых материалов и газов;
- слив кислот, щелочей, солей отходов вредных веществ в общую систему канализации;
- пыль на рабочем месте.

Наибольшее внимание в природохране уделяется охране атмосферы, в которые включено:

- уменьшение и полное прекращение выбросов вредных веществ в атмосферу;
- сохранение и увеличение биомассы производителей кислорода и поглотителей углекислоты;
- сохранение и восстановление оптимальной циркуляции атмосферы в региональном масштабе;
- утилизация отходов вредных производств.

Полностью исключить факторы загрязнения невозможно, однако есть методы, позволяющие их существенно снизить. Оснащение производственных площадок современными пылеуловителями, использование современных фильтрационных установок, новых видов фильтров и мембран. В лаборатории в процессе работы образуются такие вещества как пыль, и аэрозоли. Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры. Вследствие использования работниками душевых, туалетов, специальных веществ для обработки материалов, а также средств хозяйственного назначения, образуются жидкие отходы для удаления которых применяют канализационную систему. Система канализации подсоединена к городской канализационной сети, поэтому полная очистка сточных вод на нем не проводится.

Также из-за использования обтирочных материалов образуются твердые отходы, для которых предусмотрены места хранения, и в конце рабочего дня они очищаются. При удалении отходов с территории предприятия им присваиваются категории опасности и вывозятся на соответствующие полигоны (промышленных отходов, токсичных отходов и т.д.).

5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При выполнении работ возможны следующие чрезвычайные ситуации: поражение электрическим током, короткое замыкание и пожар.

Согласно нормам пожарной безопасности, в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д [32].

Для большинства помещений вычислительного центра установлена категория пожарной опасности В. Характерной особенностью помещений является их малый размер. Горючими компонентами в комнатах являются двери, перегородки, отделка, перфокарты и перфоленты, эстетическая отделка помещений, изоляция кабелей. Источниками воспламенения могут быть электросхемы ЭВМ, устройства электропитания, в которых в результате неполадки образуются перегретые элементы, возникают электрические искры и дуги, способные вызывать загорание горючих материалов. Для отвода тепла от ЭВМ используются системы охлаждения, кондиционирования воздуха.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Во всех служебных помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники. Предусмотрены 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 оборудовано системой противопожарной сигнализации.

При возникновении пожара крайне важно соблюдать правила поведения при данном ЧС, так как данное явление может развиваться непредсказуемо и стремительно. Действия при пожаре прописаны в инструкции, которую обязан знать каждый сотрудник.

Действия персонала при пожаре на предприятии:

–услышав крики: "Пожар", ни в коем случае не поддаваться панике, сохранять спокойствие;

–осмотреться вокруг. Заметив телефон или кнопку пожарной безопасности, действовать незамедлительно - сообщить службам о возгорании;

–попробовать самостоятельно потушить возгорание, используя огнетушитель, землю;

–если ликвидировать пожар не получается, покинуть помещение через эвакуационный выход;

–не поддаваться панике, стараться успокоить других;

–двигаться к выходу, дышать через рукав одежды или носовой платок;

–если в помещении сильная задымленность, перемещаться, опираясь на стены или поручни;

–оказавшись на свежем воздухе, немедленно вызвать "Скорую помощь".

Основными мероприятиями, обеспечивающими успешную эвакуацию людей и имущества из горящего здания, являются:

–составление планов эвакуации;

–назначение лица, ответственного за эвакуацию, которое должно следить за исправностью дверных проемов, окон, проходов и лестниц;

–ознакомление работающих в лаборатории сотрудников с планом эвакуации (рисунок 27), который должен висеть на видном месте.



Рисунок 27 – План эвакуации

5.6. Заключение по разделу

В процессе данного раздела были рассмотрены вопросы, касающиеся социальной ответственности исследовательского проекта на тему: “Исследование и разработка технологии получения композиционных порошковых материалов на основе системы Ti-Al-B”.

При выполнении исследовательской работы существует вероятность воздействия следующих производственных факторов: шума, недостаточной освещенности, электрического тока, вредных веществ, физических и эмоциональных перегрузок, умственного перенапряжения. В лаборатории в процессе работы с порошковыми материалами присутствуют пыль и аэрозоли. Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры.

Расстояния между рабочими зонами, параметры освещения и микроклимата соответствуют нормам. Эффективный и безопасный труд возможен только в том случае, если производственные условия на рабочем месте отвечают всем требованиям международных стандартов в области охраны труда.

Для работы с опасными веществами применяют такие средства индивидуальной защиты, как латексные перчатки, защитные маски. Все работы проводятся в вытяжном шкафу

Рабочее место удовлетворяет всем требованиям безопасности жизнедеятельности: нет доступа к токоведущим частям, все источники питания пронумерованы, корпуса компьютеров заземлены. Рабочее помещение по опасности относится к 1 группе, т.е. пожарная нагрузка относительно мала.

С учетом актуальности проекта (уменьшение энергетических затрат и расходов материала), а также при условии обеспечения большей экологической чистоты производства и соблюдения требуемых стандартов, данная научно-исследовательская работа имеет возможность внедрения в производство.

6. Основные результаты и выводы по исследовательской работе

1. С использованием технологии порошковой металлургии (вакуумное спекание и СВ-синтез) в порошковых реакционных смесях титана, алюминия, бора и диборида титана TiB_2 получены композиционные порошки «титан – алюминий– бор», структуру которых (морфология и дисперсность фаз и объемная доля металлической связки) можно целенаправленно регулировать в широких пределах.

2. Рентгеноструктурный анализ спеченных тройных композиций показал, что образование фаз при спекании (и СВС) происходит по законам термодинамики и не всегда совпадает с расчетными данными. В смесях из чистых порошков богатых титаном (более 79 вес.%) происходит образование моноборида титана – смеси №1, 2 и 5. Диборид титана образовался в смесях № 3,4 при содержании титана около 50 вес.% и алюминия около 40 вес.%.

3. На примере состава №4($TiAl_3+TiB_2$) с большим количеством алюминия, была проверена его способность к синтезу в условиях свободной насыпки в реакторе СВС. Фазовый состав продуктов этой реакции также соответствовал расчетным составам, где в основном присутствуют фазы TiB_2 и $TiAl_3$.

4. При попытке нанесения покрытия на синтезированный порошок $TiAl_3+TiB_2$ методом лазерного спекания при высокой скорости охлаждения в процессе наплавки, лазерное спекание не успевало произойти, ввиду отсутствия металлической связки в наплавленном образце $TiAl_3+TiB_2$. Плавлению подвергался только металлический компонент состава.

5. При лазерной наплавке композиционного порошка $TiAl_3+TiB_2$ плотность и прочность напыляемого композиционного порошка остается неизменной, и соответствует состоянию до наплавки.

Список используемой литературы

1. Леонов В.В., Артемьева О.А., Кравцова Е.Д. Материаловедение и технология композиционных материалов. Курс лекций. - Красноярск: СФУ, 2007. -241с
2. Процессы порошковой металлургии. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : курс лекций / Е. Н. Осокин, О. А. Артемьева. – Электрон. дан. (5 Мб). - Красноярск : ИПК СФУ, 2008
3. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов: Учеб. пособ. / Под научной редакцией В.Н. Анциферова. – М.: Машиностроение–1, 2007. – 567 с.
4. Новые композиционные материалы : учебное пособие / Л.Н. Тялина, А.М. Минаев, В.А. Пручкин. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 80 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-0988-3
5. Исследовательская группа «Инфомайн». Аддитивные технологии – индикатор развития государства[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rareearth.ru/ru/pub/20160920/02905.html>.
6. Артем Згонников. Возможности 3D-технологий[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://blog.iqb-tech.ru/additive-technologies-in-production>.
7. Никита Кудряшов. 6 особенностей селективного лазерного спекания (SLS) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://blog.iqb-tech.ru/sls-technology>.
8. Никита Кудряшов. Технология селективного лазерного плавления (SLM/DMP) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://blog.iqb-tech.ru/slm-technology>.
9. ИФПМ СО РАН. Технология электронно-лучевой порошковой металлургии[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ispms.ru/ru/production/62/>.

10. Студопедия. Электронно-лучевая наплавка[Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.ru/14_136627_elektronno-luchevaya-naplavka.html.
11. Справочник: В 3 т.: Т. 1 / Под общ. ред. Н.П. Лякишева. — М.: Машиностроение, 1996. — 992 с
12. H. V. Lee, S. H. Kim, S.W. Kang and Y. H. Han. Characterisation of mechanically alloyed Ti–Al–B nanocomposite consolidated by spark plasma sintering // *British Ceramic Transactions* 102(6). - December 2003. – P. 231–236
13. Н. А. Панькин, В. П. Мишкин, М. А. Окин, А. Ф. Сигачев. (Ti–Al) – Композиционные материалы, полученные прессованием с последующим спеканием на воздухе. Структура и свойства // *Журнал: Известия высших учебных заведений.* – 2015. – С. 156-167
14. Р. А. Туранов. Композиционные материалы с использованием бора в авиастроении // *Журнал: Современные наукоемкие технологии № 8 (часть 2)* – 2013. – С. 230-231
15. A.S.Rogachev, J.-C.Gachon, H.E.Grigoryan, N.V.Sachkova, J.C.Schuster, D.Vrele. Phase evolution in the Ti–Al–B and Ti–Al–C systems during combustion synthesis: Time resolved study by synchrotron radiation diffraction analysis // *Journal of Materials Science* 40(9). – May 2005. – P. 2689–2691
16. V.Amigó, F.Romero, C.E.Da Costa, M.D.Salvador. Titanium and aluminium composites materials reinforced by Ti–Al compounds // *Universidade do Estado de Santa Catarina – CCT/UEDESC – Brasil*
17. Ö. Özdemir, F.Sahin, O.Yücel. Nitridation of Ti–B–Al–Al₂O₃ composite powder // *High Temperature Materials and Processes* 20(5-6). – December 2001. – P. 429–435
18. А. Ю. Изотова, О. И. Гришина, А. А. Шавнев. Композиционные материалы на основе титана, армированные волокнами(обзор) // *Электронный научный журнал: ТРУДЫ ВИАМ №5 (53).* – 2017. С. 42–49

19. M. Ramachandran, R. Reddy. In-Situ Synthesis and Characterization of TiB₂ and Ti-Al-B Composites // TMS2014 Annual Meeting Supplemental Proceedings. – 2014. – P. 57–64

20. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватули-на, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

21. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018).

22. Положение об организации работы по охране труда в ИФПМ СО РАН [Текст]. – Томск: ИФПМ СО РАН, 2018. – 18с.

23. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

24. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

25. Белов, Сергей Викторович. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность) : учебник для академического бакалавриата / С. В. Белов. - 5-е изд., перераб. и доп.. - Москва: Юрайт ИД Юрайт, 2015. - 703 с. Режим доступа: <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/advanced/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C315981>

26. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие для вузов / Под ред. проф. Л.А. Муравья. – 2-е изд., перераб. и доп. — М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2017. – 431 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/1028923>

27. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».

28. ГОСТ Р 52084-2003. Приборы электрические бытовые. Общие технические условия.

29. СНиП 23 – 05 – 95. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. М.: Минстрой России, 1995.
30. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.
31. ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
32. ГОСТ 12.1.018-93. Пожаровзрывобезопасность статического электричества

Приложение А

Раздел (1) Chapter 1 Literary review

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM71	Нурманов Ж.А.		

Консультант школы ИШНПТ

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

Консультант школы ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Рыбушкина С.В.	-		

1. Literary review

1.1. General concepts of powder materials science

Composite materials are materials from several (and more) dissimilar substances (phases) in the same volume. The materials are homogeneous at the macroscale, but heterogeneous at the microscale. Currently, a relatively small group of materials are usually referred to as composite materials - polymers, metals, ceramics and carbon, fiber-reinforced, as well as filled polymers, dispersion-hardened alloys and pseudo-alloys. The difference between the majority of composite materials from traditional ones is that the process of their manufacture can be combined with the process of manufacturing a product.

Typically, composites are a base (matrix) of one material, reinforced with fillers of fibers, layers, and dispersed particles of another material. This combines the strength properties of both components. By selecting the composition and properties of the filler and the matrix, their ratio, orientation of the filler, it is possible to obtain a material with the required combination of operational and technological properties.

Powder metallurgy, along with other high-tech and energy-saving industries, is one of the main directions of development of modern highly efficient production of technologically developed countries of the world. Powder metallurgy technology is based on one of the oldest methods of ore processing in the product – powder forging (spongy) of metal heated to 800-1 000°C. Metal powder is a collection of particles of a metal, alloy or metal-like compound with dimensions up to one millimeter that are in mutual contact and are not related to each other.

Conventional division of these methods into physical-chemical and mechanical ones is generally accepted.

- Physical and chemical methods include technological processes for the production of powders associated with deep physical and chemical transformations of raw materials. The resulting powder in its chemical composition and structure differs significantly from the starting material.

- Mechanical methods ensure the transformation of a source material into powder without significant changes in its chemical composition. Most often, grinding of solid materials in mills of various designs and dispersion of melts are used.

The main processes of manufacturing products by powder metallurgy include a number of the following sequentially implemented steps:

- production of powders;
- preliminary preparation of the powder mixture (mixture);
- molding;
- sintering;
- calibration and additional operations.

The method of furnace synthesis of metal-like compounds does not satisfy modern requirements of applied materials science in terms of performance and the purity of the product. Therefore, other methods of producing such powders are being actively developed, among which one can mention synthesis in low-temperature plasma, shock-wave compression and self-propagating high-temperature synthesis (SHS), which is currently of the greatest importance.

1.2. The main technological processes of powder metallurgy

The usual technological process of manufacturing parts using powder metallurgy consists of the following basic operations:

- *Preparation of the mixture.* Powder mixing is a preparatory operation. The powders are mixed to obtain the chemical homogeneity of a multicomponent mixture and introduce a solid lubricant or plasticizer.

- *Pressing powder.* In the course of cold pressing under high pressure (30-1000 MPa) samples are pressed in metal molds. A specialized press equipment with the mechanical, hydraulic or pneumatic drive is used for pressing.

- *Sintering.* In the sintering process, the pressed samples are heated in an insulating or reducing atmosphere (backfill). As a result, the molded samples acquire the final size, shape, surface quality and the required physical and mechanical

properties, reducing the physical and chemical heterogeneity of the powder parts. At the beginning of sintering, the technological bundle burns out and pressing turns the sample into a monolithic product. Sintering of products from homogeneous metal powders is carried out at a temperature below the melting point of the metal. With an increase in temperature and with an increase in the duration of sintering, shrinkage and density increase, and the bonds between grains improve.

- *Grinding*. Grinding of samples is essential to achieve the required dimensional accuracy, increase surface quality and improve strength properties. In some cases, the following operations may be used as additional: impregnation with lubricants, mechanical refinement, thermal, chemical treatment, etc.

1.2.1. Sintering in vacuum.

Vacuum sintering refers to the process by which a powder material turns into a dense material under vacuum conditions.

As a rule, after the formation of the powder and as a result of the sintering process, it becomes a dense material. The sintering process directly affects the grain size, pore size, as well as the shape and distribution of grain boundaries in the microstructure, which affects the properties of the material.

Vacuum sintering furnaces process materials under vacuum or inert gas conditions to prevent oxidation of the material. They are widely used for carbide, ceramic materials, carbon fiber graphitization. Vacuum sintering is suitable for hard alloys, ceramic materials, graphitization of carbon fiber, carbon and carbon composites, silicon carbide products, materials for photovoltaic coatings, refractory metals (tungsten, molybdenum, copper alloy based on curved mass) and other alloying materials working at high or low temperatures. Materials for space heating and other techniques can be designed and manufactured in accordance with the requirements of end user.

1.2.2 Self-propagating high-temperature synthesis (SHS)

SHS is a technological process of obtaining materials, based on the phenomena of propagation of the combustion front in powders of some refractory chemical elements, leading to the formation of corresponding compounds. Solid reagents for

the organization of the combustion process are almost always used in the form of powders. Here, combustion is not an ordinary oxidation reaction of powdered substances with oxygen to form the corresponding gaseous oxides, but a highly exothermic reaction of the interaction of most elements with boron, carbon, nitrogen, silicon and other metalloids, associated with the high heat of formation of the product metalloids in metals.

In the general case, the propagation of a combustion wave is one of the possible regimes in which exothermic reactions can take place; at the same time, the primary mixture of reagents is separated by a relatively narrow zone of combustion from the reaction products.

Under stationary conditions, the combustion zone moves towards the initial charge at an extremely high constant speed (up to 105–106 K/s), called the normal burning rate.

Figure 1 shows the four classical structures of the combustion wave:

- with a narrow zone (curve 1), when the burning rate is determined by its final temperature;

- with a wide zone (curve 2), when a strong inhibition of the reaction of the interaction of the components, their polydispersity and other reasons lead to the fact that the width of the reaction zone becomes larger than the heating zone;

- combustion during chemical interaction of reagents (curve 3), when the complete chemical transformation in the mixture occurs in several stages, each of which has its own thermal effect and intermediate product (the stages can be spatially separated in the combustion wave - “separation” mode);

- with phase transitions (curve 4 for a two-stage reaction), when, for example, a component or a reaction product melts simultaneously with a chemical interaction, a temperature plateau (isothermal area) of the phase transition can form on the temperature profile of the combustion wave.

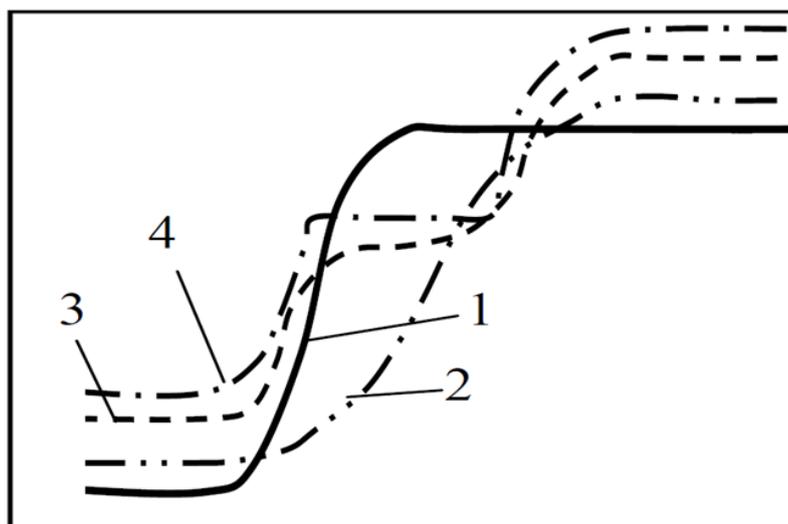


Figure 1 - Types of temperature profiles of a combustion wave during SHS

In many SHS systems, very complex temperature profiles of a combustion wave are observed, with kinks, isothermal platforms, and other features associated with various phase transitions, the formation of intermediate products, etc. (Fig.2).

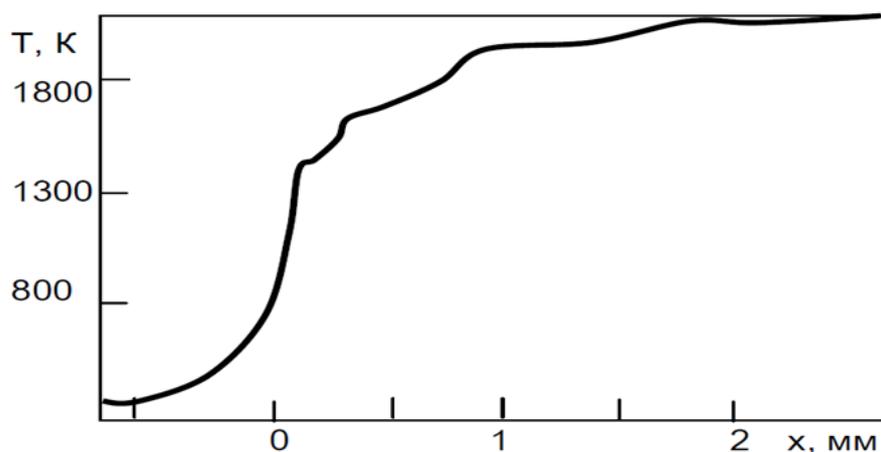


Figure 2 - Temperature profile of a combustion wave in the Ti + 3Si system (x is the distance from the start of propagation of the combustion wave)

The following advantages of SHS in the preparation of refractory compounds are obvious:

- low power consumption. Little energy is needed in the SHS method for heating the igniting helix and igniting the initial powder depending on a simple and compact equipment.

- high performance (high temperatures, well above the heating temperature in powder metallurgy processes, therefore, the synthesis reaction rate is much higher).
- environmental safety with high purity products with the CBC method.
- a wide range of materials: powders, porous materials, non-porous compact, cast, composite, surfacing and coating.
- practical application of SHS products in many industries: engineering, metallurgy, electrical engineering and electronics, high thermal ceramics, adhesives, sealants, chemical industry (catalysts); medicine (shape memory materials), etc.

The main disadvantage of the SHS method is that the reaction of the compound products can occur as a burning phenomenon and the initial powder could be set on fire; thus, it is necessary to achieve a high exothermicity of the reaction of the initial powder reactants.

1.3. Additive technology

The technology of three-dimensional printing (3D) began to develop in the late 80s of the last century. The discoverer in this area is the 3D Systems company, which in 1986 developed the first stereo lithographic device. The first laser machines, stereolithographic (SLA) and then powder (SLS machines) machines, were distinguished by their very high cost, narrow choice of materials, and were used mainly in defense industry until the mid-1990s. After the wide spread of digital technologies in the field of design, modeling and machining, 3D technologies began to flourish. For 3D technologies, the term additive manufacturing (AM) is currently recommended.

The main difference of additive technologies is that they are used to form a part by adding material, and not as in the case of machining, where it is removed. The methods of additive production used in powder metallurgy include:

- *SLS (Selective Laser Sintering)* – selective laser sintering of particles of a powdery material under the rays of a laser to form a physical object according to a given CAD model;

- *SLM / DMP (Selective Laser Melting / Direct Metal Printing)* – selective laser melting of metal powder according to mathematical CAD models for the production of complex products;

- *Electron-beam melting (EBM)*, carried out in vacuum due to the melting of the main and filler materials using an electron beam.

The principle of selective laser sintering (SLS) is the point sintering of plastic powders with different components of the laser beam. The process of selective laser sintering consists of the following operations:

- The process of selective laser sintering begins with the material being heated to a temperature close to the melting point, which ensures faster operation of the 3 D powder printer;

- The spray is fed into the construction chamber and leveled with a roller into thicknesses of a minimum layer of material;

- A laser beam sinters the powder layers in the necessary sections coinciding with the cross section of the 3D model;

- The next powder layer is treated, the construction chamber is lowered one level;

- The procedure is repeated until the finished product is obtained.

SLM / DMP (Selective Laser Melting / Direct Metal Printing). This process consists in the successive layer-by-layer melting of the powder material by means of powerful laser radiation. SLM opens up tremendous opportunities for modern production as it allows you to create metal products of high accuracy and density.

Electron-beam melting (EBM). The method of electron-beam powder metallurgy is designed to create protective and reinforcing composite coatings based on intermetallic compounds, oxides, carbides, nitrides, complex compounds (oxycarbonitrides) on the surfaces of metal products for various purposes. Under the action of an electron beam, a liquid metal bath arises on the surface being hardened, into which a surfacing material is fed with a powder dispenser. The high rate of crystallization contributes to the formation of a uniform fine structure of the deposited layer.

The parameters characterizing the process of surfacing are: accelerating voltage, electron beam current, distance of the focusing system to the surface of the workpiece, diameter and length of the beam sweep, the speed of movement of the part.

Surfacing is performed with an additive of solid or cored wire. Since surfacing is carried out in vacuum, the powder flux wire may consist of some alloying components.

Possibilities of electron beam surfacing:

- Formation of an extended (up to 1 mm) “base-coating” transition zone;
- Coating of products from steel, cast iron, copper, titanium ;
- Coating with hardening particles - carbides, nitrides, carbonitrides, borides and other compounds.

1.4. System "titanium-aluminum-boron"

The theme associated with composite powders of the “Ti-Al-B (Ti-Al, Ti-B, Al-Ti-B)” systems has not been sufficiently studied in our time. There are seven compounds in the system: from the side of titanium and aluminum - Ti_3Al , $TiAl$, $TiAl_2$, and $TiAl_3$; from the side of boron - TiB , Ti_3B_4 , and TiB_2 .

In the Ti-Al system we are interested in Ti_3Al compounds and $TiAl_3$. The compound Ti_3Al has a melting point equal to $1118^\circ C$, and the compound $TiAl_3$ has one of the highest melting points, equal to $1340^\circ C$ (Fig.3).

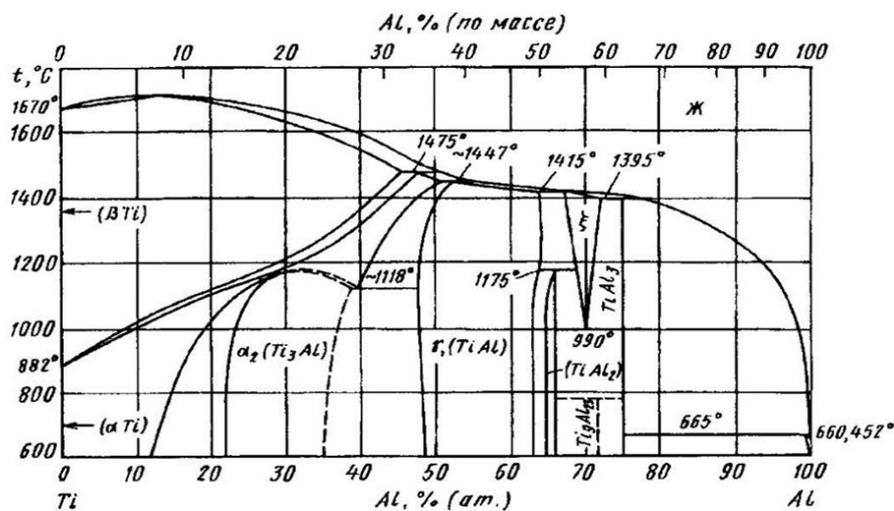


Figure 3 - Graph system status "titanium - aluminum"

In Ti - B system the compounds of interest are TiB and TiB₂ with a melting point of 3225°C (the highest melting point) and 2180°C, respectively (Fig.4).

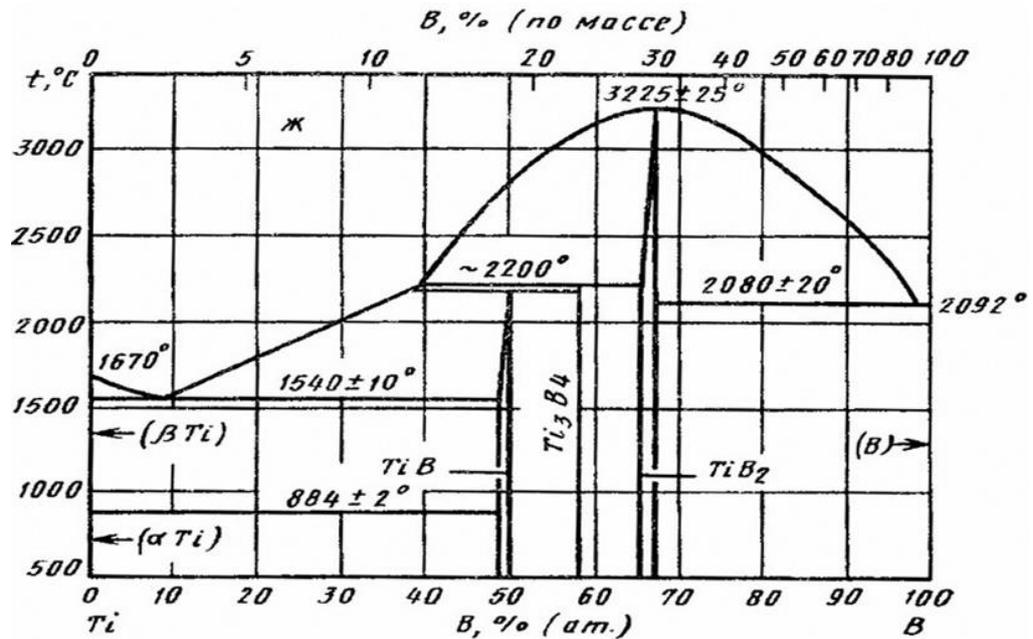


Figure 4 - Phase diagram of the system "titanium - boron"

Metal matrix composites (CMMs) are currently being investigated because of their superior properties compared to most traditional materials. CMM have high specific strength, rigidity and wear resistance. However, periodically CMM have lower ductility and fracture toughness than non-reinforced alloys.

Carbide, boride and nitride composites are of interest because of their excellent mechanical properties and chemical stability with respect to metals. On the basis of the Ti-Al-B system, microstructure and mechanical properties were characterized. Nanocomposites TiB₂/Al were compacted by spark plasma sintering of mechanically doped activated nanopowders. There is particular interest in TiB ceramics caused by their intermediate metal / ceramic character (high melting point, remarkable hardness, good chemical stability and high electrical conductivity).

Titanium-aluminum composites are widely used to create materials with high strength, heat and corrosion resistance, melting temperature, etc. Boron-aluminum composite material is currently widely used in the design of aircraft engines.

In turn, various composite materials obtained by powder metallurgy, in which these materials were obtained, were also studied. Composites with a titanium matrix are ground with different percentages of reinforcement in a ball mill; the mixture is pressed in an uniaxial press and sintered in a vacuum furnace at different temperatures. Aluminum matrix composites are also crushed with different percentages of reinforcement in ball mills and extruded in a uniaxial process with an extrusion rate of 25:1, obtaining samples with a diameter of 5 mm. Mechanical properties and the effect of reinforcement particles in different matrices are studied. In addition, samples are examined using optical and electron microscopy to study its microstructure and the reactivity between the reinforcement and the matrix.

Ceramic-intermetallic composites consisting of ceramic grains (TiB_2) and intermetallic binder TiAl have attractive properties for potential use as cutting tools, aerospace materials, hard materials and refractory structural materials. Since the enthalpies of the reaction between Ti and B or Al are large, these materials can be obtained using self-propagating high-temperature synthesis (SHS) through heterogeneous reactions in ternary mixtures of elemental powders. Since the characteristic features of SHS are rapid temperature fluctuations and a short product formation time (usually from a few seconds to a few minutes), time-resolved synchrotron radiation diffraction (TRSRD) is used to monitor phase transformations. Figure 5 shows the microstructure of the combustion products. Phase identification is performed by energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) and electron probe X-ray spectral analysis (EPMA). The products of combustion synthesis in the Ti–Al–B system consist of finely round grains of TiB_2 (gray phase) and an intermetallic binder (white phase).

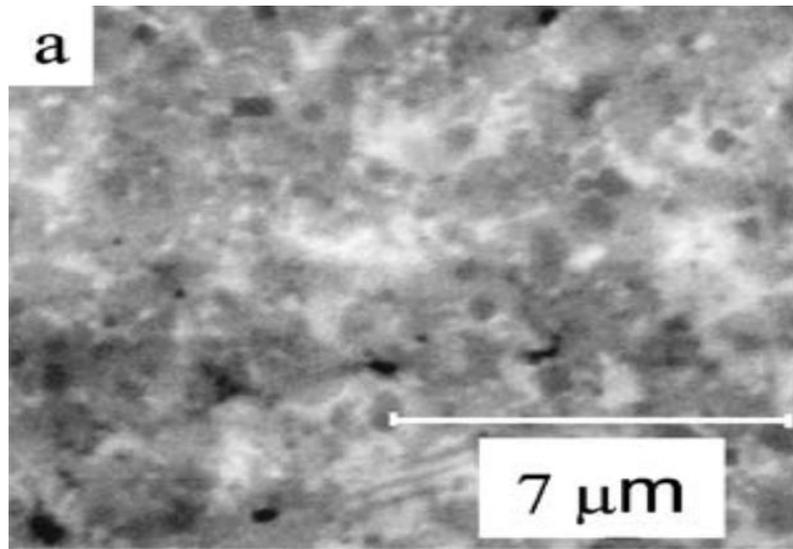


Figure 5 - The microstructure of products in the Ti - Al - B system

Titanium diboride TiB_2 is considered an advanced ceramic powder with high performance properties, and is produced in various ways. These ceramic powders can be used alone or in the form of double or triple composites to provide materials with improved mechanical and high temperature properties. Composites of titanium diboride (TiB_2) and titanium nitride, which have high hardness, good oxidation resistance, and high bending strength, are produced by self-propagating high-temperature synthesis (SHS). Since titanium diboride (TiB_2) is usually obtained by various production methods, it is difficult to obtain composites with specific properties found in these respective components in a single step.

In the 70s of the last century, the first works of soviet scientists on the Ti-B system were carried out. As a method of obtaining a composite material (based on titanium), consisting of alternating layers of boron and titanium, the technology of diffusion welding under pressure in a vacuum bag was adopted. The material for making samples of the Ti-B system was boron fiber with a diameter of 85–100 μm , wound on spools, and a foil of titanium alloys of the grades VT15 and VT23 with a thickness of 50 μm in the form of plates. As a result of the work done, it was not possible to obtain a quality sample. In this regard, boron uncoated fibers are practically not used for hardening materials based on titanium matrix. For these purposes, fiber "borsik" is used. It should be noted that due to the relatively high level

of strength of modern titanium alloys and relatively low density, the effect of hardening them with boron fibers is not very large. At present, the composite material of the Ti–B system, obtained by diffusion welding at a temperature of 800–880°C has a tensile strength of 900 MPa with a volume fraction of fibers of 0.36. Since the boron fibers are brittle, to obtain compact compositions, diffusion welding in vacuum is most often used (Fig. 6). A long exposure of the composite material of the Ti–B system under pressure at temperatures above 800°C leads to the formation of brittle titanium borides, which soften the composite.

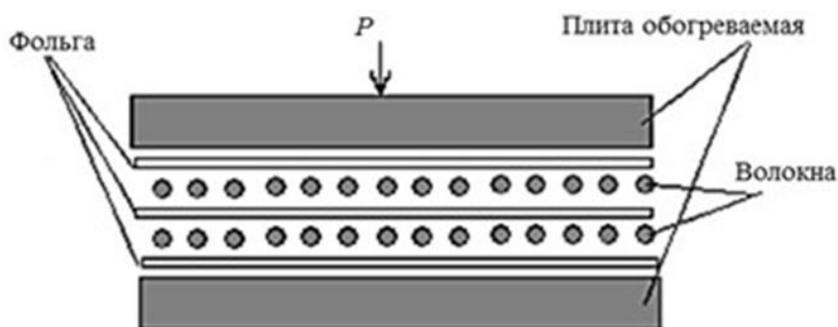


Figure 6 - Scheme of obtaining a metal composite material using diffusion welding

There are also works in which one-stage, self-propagating high-temperature synthesis (SHS) of titanium diboride and compositions Ti–Al–B are considered, where the composites were heat-treated and analyzed for microstructure and hardness. It is noticed that the formation of a composite has a greater heat of reaction than the formation of titanium diboride. The stoichiometric amounts of elemental powders of titanium and boron were thoroughly mixed. Elementary aluminum powders were used together with Ti and B powders for the synthesis of Ti–Al–B composite materials.