

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: Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ): Материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование формируемой структуры металломатричных порошковых материалов на основе системы Ti-Al-Si в условиях СВС и реакционного спекания

УДК 621.762.5:669.2/.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM71	Слепцов Василий Семенович		

Руководитель ВКР

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

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.Н.	к.т.н., доцент		

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты обучения

Код	Результат обучения
	<i>Профессиональные компетенции</i>
P1	Применять глубокие естественно научные, математические и инженерные знания при разработке наукоемких технологий изготовления и обработки новых материалов и изделий из них
P2	Применять глубокие знания в области современных технологий машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P4	Разрабатывать технологические процессы, проектировать и использовать новое оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства, с подготовкой и анализом технической документации
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования, расчеты на прочность в области современных технологий обработки материалов, производства узлов, деталей и конструкций в машиностроении
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное производство, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.
	<i>Универсальные компетенции</i>
P7	Использовать глубокие знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P9	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.
P10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития.
P11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.

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

Школа _____

Направление подготовки _____

(специальность) _____

Отделение школы _____

(НОЦ) _____

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП _____

(Подпись)

(Дата)

(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4AM71	Слепцову Василию Семеновичу

Тема работы:

Исследование формируемой структуры металломатричных порошковых материалов на основе системы Ti-Al-Si в условиях СВС и реакционного спекания

Утверждена приказом директора (дата, номер)

28.05.2019, №4300/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объектом исследования является металломатричный порошковый материал на основе системы Ti-Al-Si в условиях СВС и реакционного спекания. Целью данной работы изучение особенностей синтеза в условиях СВС и реакционного вакуумного спекания порошковых материалов систем «TiAl₃+Ti₅Si₃» и «Ti₃Al+Ti₅Si₃».

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Провести обзор литературных источников по теме диссертационной работы. 2. Исследовать особенности синтеза в условиях СВС и реакционного вакуумного спекания порошковых материалов системы Ti-Al-Si 3. Анализ результатов полученных при исследовании. 4. Заключение
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рагозин Д.В.
Социальная ответственность	Исаева Е.С.
Раздел выполненный на иностранном языке	Рыбушкина С.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
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
4AM71	Слепцов В.С.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4AM71	Слепцов Василий Семенович

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

Тема НИР:

Исследование формируемой структуры металломатричных порошковых материалов на основе системы Ti-Al-Si в условиях СВС и реакционного спекания	
Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
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	- стоимость расходных материалов; - норматив заработной платы; - коэффициенты для расчета заработной платы; - тариф на электроэнергию;
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	– Анализ конкурентных технических решений; – Выполнение SWOT – анализа проекта
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	– Определение трудоемкости выполнения работ; – Разработка графика проведения научного исследования; – Расчет материальных затрат НТИ; – Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта.
Перечень графического материала:	
1. Календарный график проведения исследования в виде диаграммы Ганта 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	
--	--

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
4AM71	Слепцов Василий Семенович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4AM71	Слепцов Василий Семенович

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

Тема ВКР:

Исследование формируемой структуры металломатричных порошковых материалов на основе системы Ti-Al-Si в условиях СВС и реакционного спекания	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования являются композиционные порошки системы Ti-Al-Si, а также аддитивные технологии на их основе. Исследованы характеристики синтезированных порошков Ti-Al-Si (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>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– "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.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Превышение уровня шума 2. Вредные вещества 3. Отклонение показателей микроклимата 4. Отсутствие или недостаток естественного света. Недостаточная освещенность рабочей зоны 5. Опасность поражения электрическим током
3. Экологическая безопасность:	– Воздействие на атмосферу в связи с токсичностью порошков, взрывоопасностью и пожароопасностью

	некоторых материалов и газов; – Влияние на гидросферу посредством слива кислот, щелочей, солей отходов вредных веществ в общую систему канализации..
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	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.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.04.2019
---	-------------------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM71	Слепцов В.С.		

Реферат

Магистерская диссертация содержит 102 с., 15 рисунков, 4 таблицы, 55 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: композиционный порошок, силицид титана, алюминид титана, спекание, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), тройная система титан-алюминий-кремний.

Объектом исследования являлись композиционные порошки системы «титан -алюминий-кремний»

Целью настоящей работы было изучение особенностей синтеза в условиях СВС и реакционного вакуумного спекания порошковых материалов систем « $\text{TiAl}_3 + \text{Ti}_5\text{Si}_3$ » и « $\text{Ti}_3\text{Al} + \text{Ti}_5\text{Si}_3$ » в зависимости от соотношения компонентов и условий реакции.

В результате исследований описаны структурные особенности и некоторые физико-механические свойства композиционных порошков «титан –алюминий-кремний».

Степень внедрения: внедрение в производство не осуществлено.

Область применения: порошковая металлургия.

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

Оглавление

Введение

1. Литературный обзор	11
1.1. Порошковые технологии получения материалов.....	11
1.2. Система «титан-алюминий»	20
1.3. Система «титан-кремний».....	24
1.4. Система «титан-алюминий-кремний»	26
2. Материалы и методы	29
2.1. Описание используемых экспериментальных методик и материалов	29
3. Результаты исследований.....	34
3.1. Результаты исследования синтезированных порошков.....	34
3.2. Исследование спекания синтезированных порошков $TiAl_3+Ti_5Si_3$ и $Ti_3Al+Ti_5Si_3$	35
3.3. Исследование микроструктуры поперечного шлифа	41
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	42
5. Социальная ответственность	63
Заключение	83
Список использованных источников	84
Приложение А	89

Введение

В настоящее время развитие машиностроения характеризуется применением новых материалов, значительно превосходящих традиционные стали и сплавы по твердости, прочности и стойкости при работе при повышенных температурах и в агрессивных средах. Без таких материалов невозможен дальнейший прогресс в авиакосмической, ядерной и других ведущих отраслях народнохозяйственного комплекса. Сплавы на основе интерметаллических фаз α_2 -Ti₃Al и γ -TiAl рассматриваются как возможные высокотемпературные конструкционные материалы для аэрокосмического применения, в основном из-за их высокой удельной жесткости, а также относительно высокой удельной прочности при повышенных температурах. Было обнаружено, что некоторые добавки тройного элемента, такие как Nb, V, Cr и Si, эффективны для улучшения высокотемпературных свойств в этом аспекте [1]. Среди этих элементов Si оказался одним из наиболее привлекательных кандидатов для повышения сопротивления ползучести сплавов благодаря фазе Ti₅Si₃, сформированной как упрочняющая составляющая [2].

Целью настоящей работы было изучение особенностей синтеза в условиях СВС и реакционного вакуумного спекания порошковых материалов систем «TiAl₃+Ti₅Si₃» и «Ti₃Al+Ti₅Si₃» в зависимости от соотношения компонентов и условий реакции.

В работе были поставлены следующие задачи:

1. Исследование формируемой структуры получаемых композитов;
2. Исследование характеристик синтезированных порошков «TiAl₃+Ti₅Si₃» и «Ti₃Al+Ti₅Si₃» (морфология и средний размер силицидных включений, микроструктура и фазовый состав, внутри частичная пористость и т.п.);
3. Оценка реакционной способности исследуемого состава.

1. Литературный обзор

1.1. Порошковые технологии получения материалов

Порошковая металлургия историческими корнями уходит в глубокую древность. Археологи датируют возникновение металлургии железа серединой второго тысячелетия до нашей эры. Однако становлением порошковой металлургии в том виде, в каком она существует в настоящее время, следует считать начало XIX века, когда русские ученые П.Г.Соболевский и В.В.Любарский в 1826 г. впервые получили изделия из платины прессованием порошков и спеканием [3].

Быстрое развитие порошковой металлургии с конца XIX и начала XX веков связано с потребностями практики, в частности, с получением в промышленных масштабах вольфрамовых нитей для электрических ламп накаливания. С этого времени порошковая металлургия является признанной технологией изготовления изделий из тугоплавких материалов, а также из особо чистых металлов. Интересно отметить, что уже почти сто лет технология производства тугоплавких металлов продолжает совершенствоваться, и сегодня еще далеко не все ясно в этом очень сложном и в физическом и в химическом отношениях процессе [4].

Значителен вклад в развитие порошковой металлургии советских ученых Г. И. Аксенова, А. Б. Альтмана, Р. А. Андриевского, В. Н. Анциферова, М. Ю. Бальшина, Б. А. Борока, Я. Е. Гегузина, Ю. Г. Дорофеева, В. П. Елютина, В. Н. Еременко, С. С. Ермакова, Г. М. Ждановича, В. А. Ивенсена, С. С. Кипарисова, М. С. Ковальченко, В. И. Костикова, Г. С. Креймера, А. И. Манохина, Г. А. Меерсона, Б. С. Митина, Б. Я. Пинеса, И. Д. Радомысельского, В. С. Раковского, О. В. Романа, Г. В. Самсонова, А.П. Савицкого, В. В. Скорохода, В. И. Трефилова, И. М. Федорченко, И. Н. Францевича и др. Активно над разработкой теории и технологии процессов порошковой металлургии работали и работают зарубежные ученые Ф. Айзенкольб, Х. Хауснер, В. Джонс, Р. Герман, Г. Кучинский, Ф. Ленел, М. Петрдлик, М. Ристич и др. [5].

1.1.1. Традиционные технологии порошковой металлургии

Порошковая металлургия является одним из наиболее перспективных направлений развития современного производства, находящегося на стыке металлургии и машиностроения. Основными операциями традиционной порошковой металлургии являются [6-9]:

- получение исходных металлических порошков;
- формование порошков или их смесей;
- спекание.

Получение исходных металлических порошков возможно двумя основными способами: механическим и физико-химическим. К механическим способам получения порошков относят: 1) дробление и размол; 2) распыление и грануляция жидких металлов; 3) обработка металлов резанием; 4) грануляция. К физико-химическим методам получения порошков относят: 1) восстановление оксидов и солей; 2) электролиз; 3) диссоциация карбониллов; 4) гидрометаллургический способ.

Формование порошков или их смесей представляет собой технологическую операцию, в результате которой образуется порошковая прессовка. Формование включает следующие операции: отжиг, рассев, смешивание и прессование [10].

- *Отжиг порошков* представляет нагрев порошков в защитной среде (восстановительной, инертной или вакууме) при температуре 0,4...0,6 абсолютной температуры плавления металла порошка. Его применяют с целью повышения пластичности и прессуемости порошка за счет снятия наклепа. Наиболее часто отжигают порошки, полученные механическим измельчением, электролизом и разложением карбониллов.

- *Рассев порошков* представляет процесс разделения порошков по величине частиц. Порошки с различной величиной частиц используют для составления смеси, содержащей требуемый процент каждого размера. Рассев

частиц размером более 40 мкм производят на проволочных ситах. Если свободный просев затруднен, то применяют протирачные сита.

- *Смешивание порошков* есть одна из важных операций и задачей ее является обеспечение однородности смеси, так как от этого зависят конечные свойства изделий. Смешивание может осуществляться в основном двумя путями: механическим и химическим. Наиболее часто применяют механическое смешивание компонентов в шаровых мельницах и смесителях.

- *Прессование*. В результате этой операции порошки или их смеси превращаются в более или менее прочные спрессованные брикеты, форма и размеры которых близки или полностью совпадают с таковыми для готовых изделий. Давление прессования зависит в основном от требуемой плотности изделий, вида порошка и метода его производства. Варианты процесса прессования: гидростатическое прессование, шликерное литье, горячее прессование, прокатка металлических порошков, мундштучное прессование.

Спекание представляет термическую обработку заготовок при температуре ниже точки плавления всего металла или основной его части. Спекание является одним из наиболее важных технологических процессов порошковой металлургии и в решающей степени определяет конечные свойства получаемых материалов и изделий. К настоящему моменту не удалось разработать единой, универсальной теории спекания, даже для наиболее простого случая - спекания однокомпонентных систем. Механизмы изменений, происходящие в спекаемом теле, до конца не ясны [11]. Так для спекания порошковых тел с усадкой (уменьшением объема при спекании) есть феноменологическая теория - модель В.А. Ивенсена [12]. Эта теория основана на обобщении экспериментальных данных, она не рассматривает механизмы и движущие силы усадки в порошковых телах. Но с ее помощью можно с достаточной точностью описать кинетику усадки, определить температуру и время выдержки при спекании.

Практической целью спекания является достижение определенного уровня требуемых свойств. Именно с этих позиций дана трактовка спекания

в ГОСТ 17359-82: спекание есть нагрев и выдержка порошковой формовки при температуре ниже точки плавления основного компонента с целью обеспечения заданных механических и физико-химических свойств.

Важно отметить зафиксированное в этом определении отсутствие расплавления основы при спекании. Однако это не означает, что в процессе нагрева вообще не должно происходить расплавление какой-либо составляющей в случае многокомпонентных материалов. В связи с этим возможны две основные разновидности процесса спекания: твердофазное, т.е. без образования жидкой фазы, и жидкофазное, при котором легкоплавкие компоненты смеси порошков расплавляются [12].

Твердофазное спекание.

При твердофазном спекании протекают следующие основные процессы: поверхностная и объемная диффузия атомов, усадка, рекристаллизация, перенос атомов через газовую среду. Температурный интервал спекания разделяют на три этапа. На первом этапе (температура до 0,2...0,3 Тпл) плотность почти не изменяется, здесь удаляются пластифицирующие присадки и адсорбированные поверхностью частички газа, частично снимаются остаточные напряжения (1-го и частично 2-го рода), ослабляется физическое взаимодействие между частицами порошка. На втором этапе (температура около 0,5 Тпл) развиваются процессы восстановления окислов и удаления газообразных продуктов. Плотность может несколько снижаться. Третий - высокотемпературный этап (температура около 0,9 Тпл) этап интенсивного спекания, характеризуется значительным увеличением скоростей диффузионных процессов, рекристаллизации, развитием полностью металлических контактов, существенным увеличением плотности материала.

Уплотнение порошкового тела при твердофазном спекании происходит неравномерно. На начальном периоде нагрева происходит расширение порошкового тела, которое может быть связано с упруго –

пластическим последствием в период снятия наклепа прессованного порошкового тела. Затем начинается усадка, которая также зависит от разных факторов: скоростей диффузии компонентов порошкового тела, возможности образования твердых растворов, влияния газовой среды и т.д. [12].

Жидкофазное спекание.

При жидкофазном спекании в случае смачивания жидкой фазой твердой фазы увеличивается сцепление твердых частичек, а при плохой смачиваемости жидкая фаза тормозит процесс спекания, препятствуя уплотнению. Смачивающая жидкая фаза приводит к увеличению скорости диффузии компонентов и облегчает перемещение частиц твердой фазы. При жидкофазном спекании можно получить практически беспористые изделия. Жидкофазное спекание можно разделить на 3 стадии:

- вязкое течение жидкости – перегруппировка частиц;
- растворение – осаждение;
- срастание частиц и образование жесткого скелета.

Технология спекания порошковых металлов делится на два типа: спекание под давлением, свободное спекание.

Спекание под давлением. Спекание под давлением происходит: а) при получении изделий с теми же значениями плотности и механическими свойствами, но при значительно короткой длительности спекания или же низкой температуре; б) при сохранении таких же режимов спекания во временном и температурном интервале, но существенно увеличивая плотность и механические свойства изделий по сравнению со спеканием без давления; в) при применении значительно более грубых порошков, чем при спекании без давления [13].

Свободное спекание. Свободное спекание (спекание порошка без приложения внешних сил) является термически активируемым процессом сокращения свободной поверхности пористого порошкового тела,

сопровождающимся консолидацией дискретных элементов дисперсной системы в единое целое. Сокращение свободной поверхности спекающегося порошкового тела происходит путем уменьшения объема пор, уменьшения количества пор при увеличении их размеров, ликвидации поверхностей раздела на межчастичных контактах и роста контактных мостиков [14].

Наиболее надежный способ получения качественных композиционных порошков – *вакуумное спекание* прессованных смесей порошков. Технологические параметры процесса порошкового спекания дают возможность управлять структурой композиционного материала, включая дисперсность силицидной фазы и фазовый состав металлической связки.



Рисунок 1 –Вакуумная печь СНВЭ-1.3.1/160

1.1.2. Технологии на основе СВС

Главный принцип "не греть исходные порошки, а сжигать их", отличающий технологию СВС от технологии традиционной порошковой металлургии, оказался очень плодотворным [15]. Явление самораспространяющегося высокотемпературного синтеза было впервые обнаружено в 1967г. А.Г. Мержановым, И.П. Боровинской и В.М. Шкиро при изучении горения спрессованных цилиндрических образцов, состоящих из смеси порошков титана и бора [16-19]. Метод позволяет получать как плотные изделия, так и порошки тугоплавких соединений, а также создавать композиции из тугоплавких частиц в металлической матрице. В СВС - процессе могут участвовать химически активные при высоких температурах вещества в качестве реагентов и инертные вещества в качестве наполнителей или разбавителей. Управляя параметрами синтеза можно обеспечить получение материала, не уступающего по свойствам материалам, полученным другими традиционными способами. Простота обслуживания и высокие скорости процессов СВС приводят к существенной экономии энергии и материалов. СВС представляет собой режим протекания сильной экзотермической реакции (реакции горения шихты), в котором тепловыделение локализовано в слое и передается от слоя к слою путем теплопередачи – процесс перемещения волны химической реакции по смеси реагентов с образованием твердых конечных продуктов. Основной способ инициирования реакции СВС - локальное инициирование реакции на поверхности системы путем подвода кратковременного теплового импульса (электрическая спираль, электрический разряд, лазерный луч и др.) с формированием волны горения, и ее распространения по не нагретому исходному веществу. Для слабоэкзотермических реакций или смесей с большим содержанием инертных наполнителей для инициирования реакции синтеза необходим предварительный подогрев шихты в печи. Шихта в СВС-

процессах может находиться в вакууме, на открытом воздухе, в инертном или реагирующем газе. В зависимости от химической природы ведущей реакции горения и агрегатного состояния реагентов, все СВС- системы можно разделить на 4 основных класса: безгазовые, фильтрационные, газовыделяющие системы и системы металлотермического типа (с восстановительной стадией).

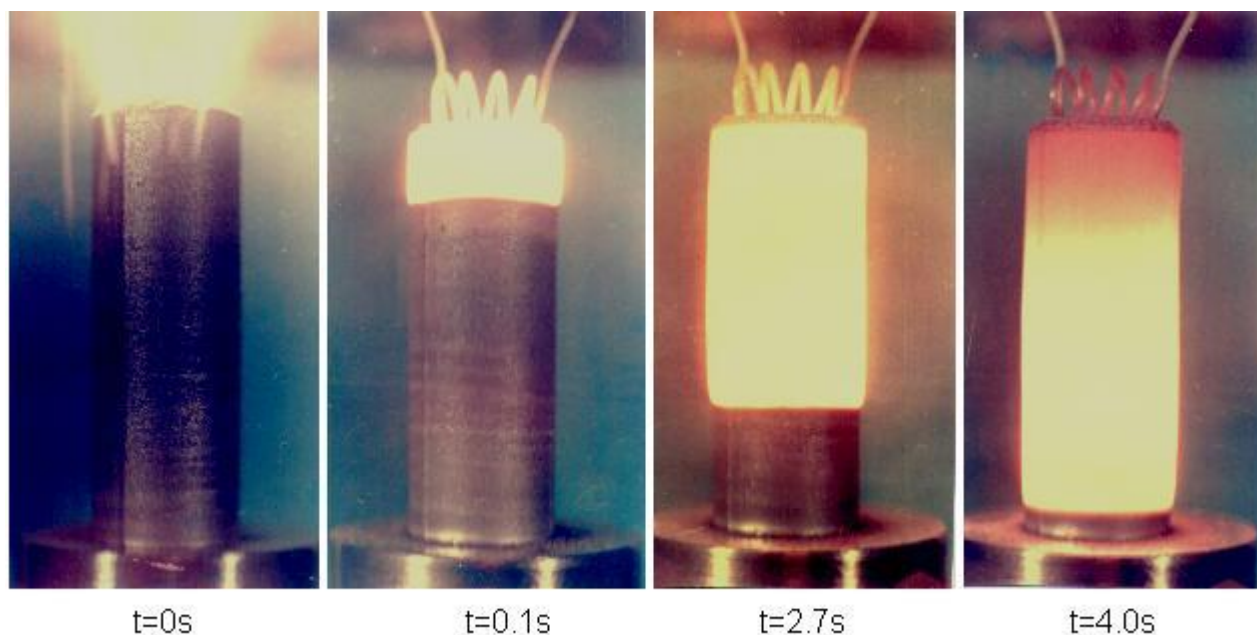


Рисунок 2 – Пример локальной инициации СВС.

Также возможно разделение СВС – процессов по технологическим типам. В настоящее время известно более 30 вариантов СВС – процессов, которые обычно объединяют термином «СВС-технологии», которые могут быть разбиты на 3 основных технологических типа [18]:

СВС - технология порошков

В эту группу отнесены продукты, полученные в герметичных реакторах, на открытом воздухе или в токе газа (инертного или реагирующего газа: азота, кислорода, водорода). Процесс может проходить либо послойным горением, либо в режиме теплового взрыва [19]. В режиме теплового взрыва (или самовоспламенения) происходит нагрев порошкового

материала до критической температуры, при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций. Режим теплового взрыва технологически легче осуществлять, чем СВ-синтез. СВС – продукт, получаемый в таких условиях, представляет собой спек или слиток, который перерабатывают в порошок. Таким образом, получают порошки тугоплавких неорганических соединений, азотированные ферросплавы, интерметаллиды, ферриты, сиаконы, сложные оксиды.

Силовое СВС - компактирование

Процесс осуществляют в специальных прессформах, в которых после окончания СВС продукт синтеза подвергают компактированию. Варианты: одноосное прессование, всестороннее сжатие продукта (HIP_процесс), экструзия, прокатка, взрыв, форджинг (динамическое воздействие, промежуточное по интенсивности между ударными волнами и статическим прессованием). В эту группу отнесены способы получения беспористых синтетических твердых инструментальных материалов СТИМ на основе TiB_2 , TiC и других тугоплавких соединений, металлокерамика, градиентные материалы с заранее заданной неоднородностью состава.

СВС - металлургия

Этот способ применяют для смесей, у которых тепловой эффект более 1000 кал/г, температура горения превышает температуру плавления продуктов горения и поэтому после кристаллизации они получают в литом виде. В эту группу отнесены процессы, основанные на алюмотермии, приводящие к получению литых материалов: CrB_2 , TiB_2 , CoB , NiB , MoB_2 , Cr_3C_2 , Cr_7C_3 , Mo_2C , Mo_3C_2 , $WC-W_2C$, $TiC-Cr_3C_2$ и т.д., керамики на основе оксидов, твердых сплавов, металлокерамики. Возможности этого направления обширны: позволяют получать многослойные слоевые наплавки, покрытия, литые металлокерамические композиции.

Основные преимущества технологии СВС перед другими технологиями заключаются в следующем: процесс является энергосберегающим, так как протекает за счет тепла, выделяемого в результате химической экзотермической реакции и не требует дополнительного нагрева после инициации; характеризуется высокой производительностью, определяемой скоростью горения (порядка 10...30 мм/с); высокая чистота продуктов синтеза, обусловленная высокими температурами горения (2000...3000 °C и выше) и разложением и испарением примесей; возможность получения многокомпонентных соединений в одну стадию в волне горения: использование технологически простого и малогабаритного оборудования [20].

1.2. Система «титан-алюминий»

Сплавы системы титан - алюминий широко применяются в различных отраслях промышленности. В настоящее время наиболее перспективная область применения этих сплавов - авиакосмическая техника. Сплавы титан алюминий сочетают малый удельный вес, высокую жаростойкость и жаропрочность. Особенно перспективным считается интерметаллид $TiAl$, имеющий высокие значения длительной прочности при повышенных температурах. Перспективным применением спеченных порошковых сплавов $Ti-Al$ является использование их в качестве мишеней (катодов) в технологиях нанесения ионно-плазменных покрытий. Однако порошковые катоды $Ti-Al$ до настоящего времени не нашли широкого применения по причине отсутствия достаточно простой, доступной и высокой производительной технологии производства катодов с однородной структурой и приемлемой пористостью. Предпринимаются попытки его использования для изготовления деталей газотурбинных двигателей. Однако применение спеченных сплавов титан алюминий в качестве конструкционных исключено из-за их высокой пористости. Объемные изменения и формирование структуры при жидкофазном спекании в системе

титан - алюминий подробно исследованы А.П. Савицким [21]. При этом установлено, что во всем концентрационном интервале при спекании наблюдается рост спрессованных брикетов. В результате прессовки имеют высокую пористость после спекания. Спецификой системы $Ti-Al$ является ее высокая термичность. Дело в том, что вследствие образования интерметаллида $TiAl$ при диффузии жидкого алюминия в титан спекание смесей порошков системы титан - алюминий сопровождается интенсивным выделением теплоты, которое при достаточно большом содержании алюминия приводит к кратковременному повышению температуры образцов на несколько сот градусов [21,25]. Этот саморазогрев сопровождается интенсивным газовыделением, приводящим к дополнительному объемному росту вследствие распирающего действия газов. Саморазогрев начинается при температурах плавления алюминия или появления эвтектической жидкости на контактах частиц титана и алюминия.

Принято считать, что образование жидкой фазы при спекании благоприятно сказывается на усадке порошковых тел [22-24]. Однако среди металлов существует много бинарных систем, в которых образование жидкой фазы при спекании сопровождается значительным ростом порошковых тел. К ним относятся системы с интерметаллидами и большой растворимостью компонента, образующего расплав в твердой фазе. Непосредственной причиной роста частиц при диффузии в них атомов из жидкой фазы является увеличение размеров частиц в условиях, когда переход атомов в обратном направлении, из твердой фазы в жидкую, практически отсутствует. Такой системой и является система титан - алюминий. В равновесии с расплавом алюминия в интервале температур 665 - 1395°C находится интерметаллид на основе титана $TiAl_3$, состоящий на 3/4 из алюминия. В силу того, что титан малорастворим в алюминии вплоть до температур 1000 - 1200 °C, то в результате униполярной диффузии зарождение дополнительных узлов, занимаемых диффундирующими

атомами, при любом знаке дилатации решетки приводит к общему увеличению объема растворителя [21,25].

По причине высокой пористости основное применение спеченных сплавов титан - алюминий ограничивается задачами создания фильтров с заданными характеристиками поровой структуры и прочности. Для расширения областей использования спеченных сплавов титан - алюминий необходимо существенное уменьшение пористости после спекания.

Двойная система титан–алюминий [26] имеет диаграмму состояния типичную для систем с интерметаллическими соединениями (рис.3) и характеризуется наличием широких областей твердых растворов на основе α -Ti и β -Ti. Фаза α -Ti образуется по перитектической реакции между жидкостью и β -Ti при температуре 1475°C. Твердый раствор на основе соединения Ti_3Al (α_2) согласно ряду анализов образуется по реакции $(\beta-Ti) \leftrightarrow Ti_3Al$ при температуре $\sim 1125^\circ C$. По данным других исследований соединение Ti_3Al образуется при упорядочении α -Ti в интервале температур 850-1180°C. Фаза $TiAl_2$ образуется по перетектической реакции при температуре 1175°C и может существовать в двух модификациях. Соединение $TiAl_3$ практически не имеет области гомогенности и образуется по перетектической реакции $\mathcal{K} + Ti_5Al_{11} (\zeta) \leftrightarrow TiAl_3$ при температуре 1395°C. Сама фаза ζ также возникает по перетектической реакции $\mathcal{K} + TiAl \leftrightarrow \zeta$ при температуре 1415 °C. Фаза ζ эвтектоидно распадается при температуре 990 °C на $TiAl_2 + TiAl_3$. При температурах $\sim 780^\circ C$, вероятно, по перитектоидной реакции возникает фаза Ti_9Al_{23} . [27,28]

Наличие множества интерметаллидов на двойной диаграмме титан алюминий сильно усложняет технологию получения как литых, так и спеченных сплавов. В особенности это относится к сплавам в окрестности эквиатомного состава. К сожалению, материалы именно этих составов представляют интерес в качестве распыляемых катодов. Материалы, полученные жидкофазным спеканием порошковых смесей алюминия с добавкой титана, подробно исследованы в работах А.П. Савицкого [21].

Установлено, что увеличение содержания титана в порошковой смеси ведет к прогрессирующему объемному росту. В результате, остаточная пористость при спекании смесей эквиатомного состава достигает 42 %.

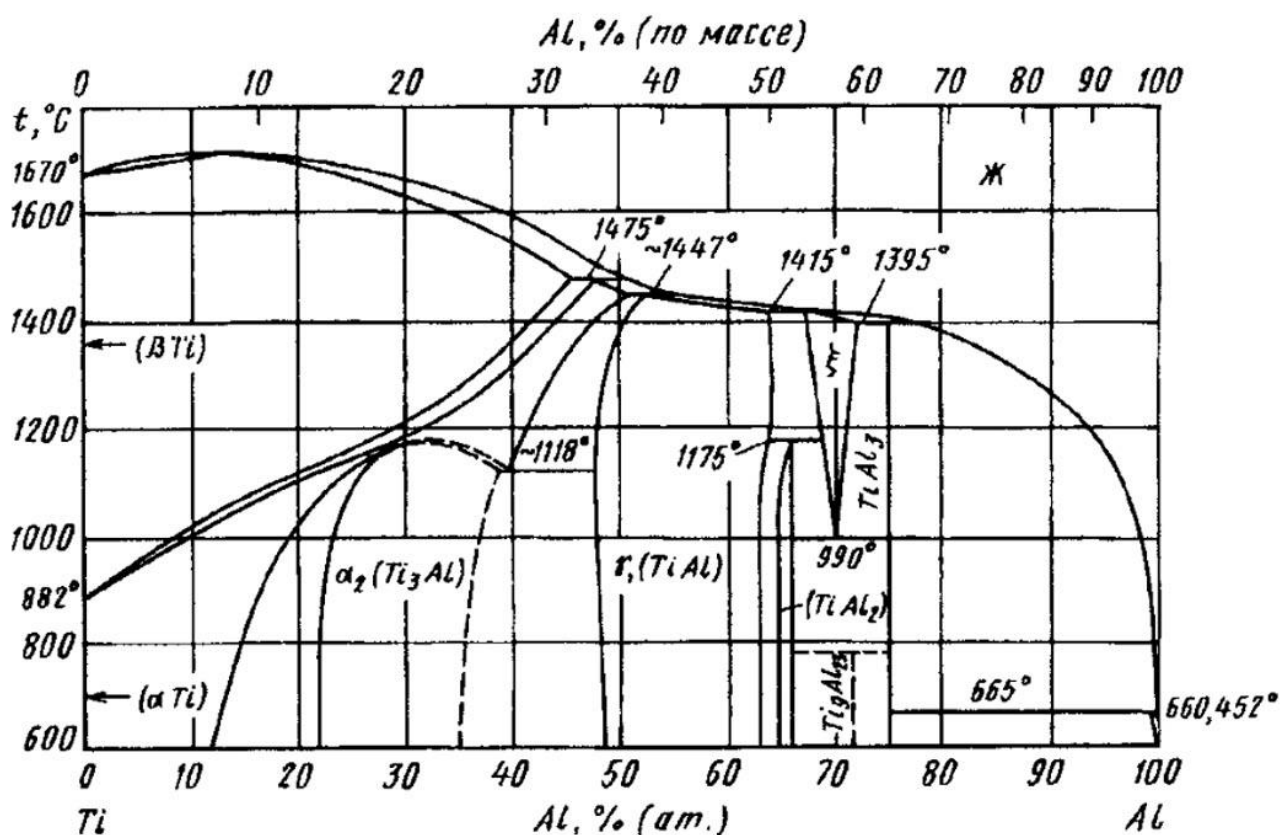


Рисунок 3 – Диаграмма состояния системы «Титан-алюминий»

Твердый раствор на основе соединения Ti_3Al получил символ α_2 . Характер и температуры образования соединения Ti_3Al и TiAl_2 , а также положения границ фазовых областей $(\alpha\text{Ti})/(\alpha\text{Ti}) + \alpha_2$ в течение длительного времени не получали у исследователей единого мнения. Согласно данным рентгеновского, микро-структурного и других анализов соединение Ti_3Al образуется по реакции $(\beta\text{Ti}) \leftrightarrow \text{Ti}_3\text{Al}$ при температуре 1125 $^\circ\text{C}$. По данным дифференциального термического и электронно-микроскопического анализов соединение TiAl образуется при упорядочении (αTi) в интервале температур 850—1180 $^\circ\text{C}$. По данным работы возможно существование двух модификаций базы TiAl_2 . Высокотемпературная фаза δ образуется перитектической реакции при температурах выше 1400 $^\circ\text{C}$ и

распадается о эвтектоидной реакции при температурах выше 1000°C на смесь $TiAl_2$ и $TiAl_3$. [29]

1.3. Система «титан-кремний»

Диаграмма состояния «Ti-Si» приведена по данным работы, основывающейся в основном на экспериментальных результатах работы из справочника Лякишева Н.П. [27]. Сплавы изготовляли плавкой в дуговой печи в инертной среде с использованием в качестве шихтовых материалов монокристаллов Si и иодидного Ti. Слитки после многоступенчатого отжига в кварцевых ампулах закаливали в воде и исследовали микроструктурным и рентгеновским анализами.

Тема, связанная с композиционными порошками системы «титан – кремний» не достаточно широко исследована в наше время. В системе существует пять соединений: Ti_3Si , Ti_5Si_3 , Ti_3Si_4 , $TiSi$ и $TiSi_2$. Соединение Ti_5Si_3 имеет наивысшую температуру плавления среди остальных соединений, равную - 2130 °C. Также оно находится в заметной области гомогенности, составляющей при температуре 1300 °C 4 % (ат.) в концентрационном интервале от 35,5 до 39,5 % (ат.) Si (рис. 4).

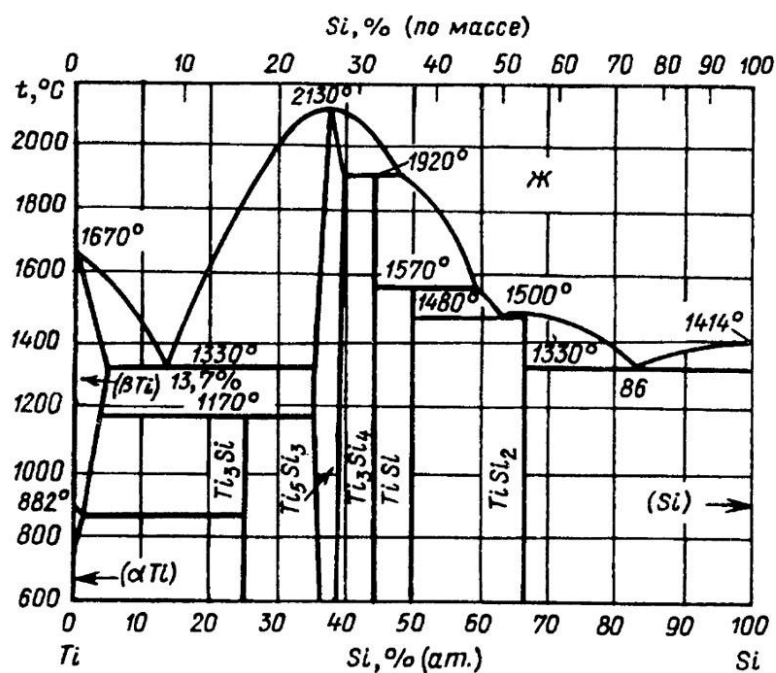


Рисунок 4 – Диаграмма состояния системы «Титан-кремний»

В начале 2000-х годов развитие и внедрение в производство новейших методов упрочнения инструментов и деталей машин, нанесение покрытий, обеспечивающих комплексную защиту их поверхности от воздействия рабочих сред, не теряют актуальность и в настоящее время. К таким видам технологий относится терморекреационное электроискровое упрочнение (ТРЭУ), которое сочетает в себе процессы электроискрового легирования (ЭИЛ) и высокотемпературного химического синтеза в межэлектродном пространстве. [30,31]

Перспективным материалом для создания высокотемпературных покрытий является металлокерамика на основе силицида титана, совмещающая особые свойства керамики (высокие показатели твердости, сопротивления износу и коррозии) с преимуществами металлов (хорошие теплопроводность, вязкость, адгезионная активность).

Один из вариантов получения силицидной металлокерамики – использование экзотермического взаимодействия титана с кремнием. В зависимости от количественного соотношения компонентов шихты возможно образование различных силицидных фаз, из которых наибольший интерес вызывает силицид титана Ti_5Si_3 , имеющий высокую температуру плавления и низкую плотность, а также повышенные показатели стойкости к окислению, тепло- и электропроводностей, термодинамической устойчивости [32-34]. Исследования на жаростойкость при $T = 750\text{ }^{\circ}\text{C}$ показали, что за 80 ч эксперимента значения удельной скорости окисления образцов с покрытиями из шихты составов $Ti-Si$ в 1,5 раза меньше, чем у незащищенного титанового сплава [35].

В настоящее время для улучшения эксплуатационных характеристик поверхности активно применяются всё те же материалы на основе силицидов титана. Для нанесения подобных покрытий используются такие методы, как дуговая наплавка, электроискровое легирование и другие методы. Это приводит к повышению коррозионной стойкости поверхностей различных деталей. В итоге, на поверхности детали или изделия образуется свежий

слоем, которому придаются совершенно новые свойства в зависимости от параметров искрового разряда, состава электродного материала, материала обрабатываемой детали или изделия и других факторов. Подобные покрытия могут быть использованы, на режущих инструментах и других трущихся поверхностях, в паре со слоем карбида.

1.4. Система «титан-алюминий-кремний»

Сплавы на основе моноалюминида титана являются перспективными материалами аэрокосмической техники. Другое применение материалов *Ti-Al*, *Ti-Al-Si* — катоды для вакуумно-дугового и магнетронного (physical vapour deposition (PVD) технологии) нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент. Катодные материалы систем «*Ti-Al-Si*» получают в основном с применением порошковых технологий: самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), спекания, горячего прессования смесей из элементарных порошков. Так как алюминий активно взаимодействует с большинством переходных металлов, включая титан, с образованием твердых и хрупких интерметаллидов, то температуру горячего прессования необходимо строго контролировать, чтобы сохранить исходный фазовый состав механической смеси элементарных порошков.[36,37,38]

В системе «*Ti-Al-Si*» три сплавообразующих элемента, два из которых являются металлами, а третий неметаллом. Кремний рассматривается как потенциально полезная легирующая добавка для улучшения стойкости к окислению и коррозии при повышенной температуре, а также свойств ползучести.

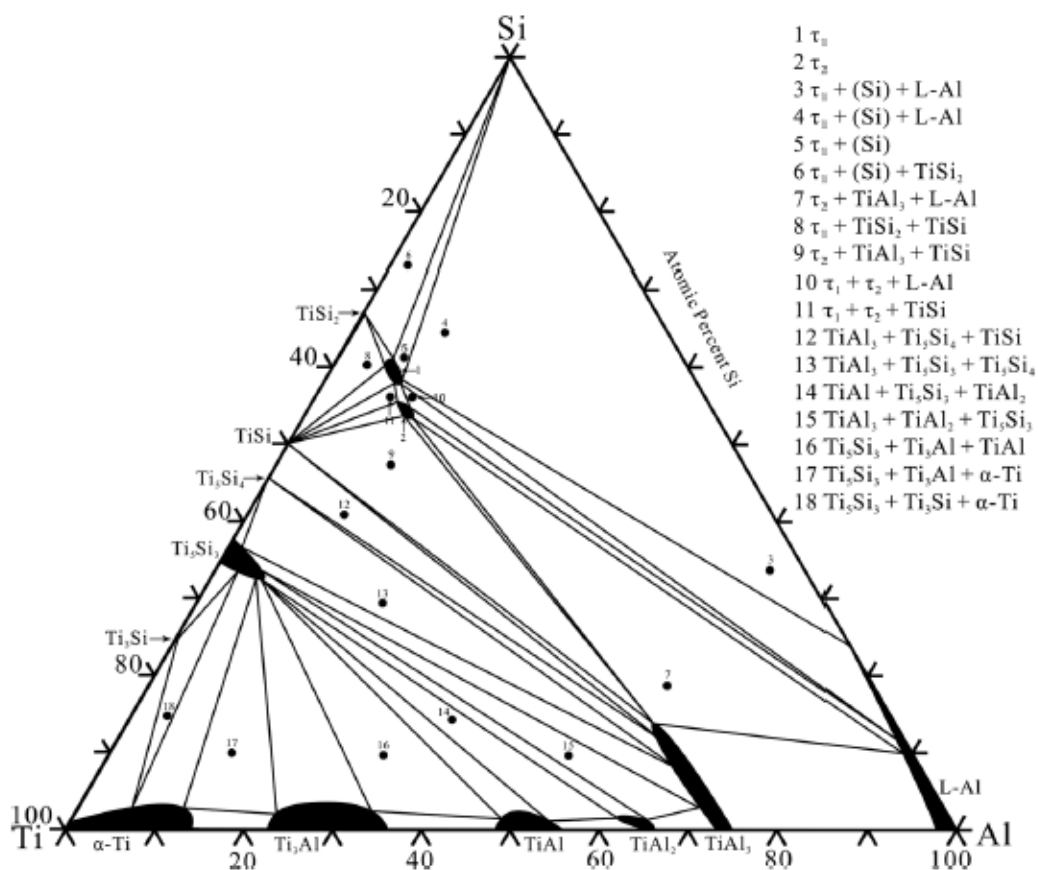


Рисунок 5 - изотермическое сечение тройной системы $Ti-Al-Si$ при $700^{\circ}C$.

В настоящее время данных по этой системе очень ограничено. Данное изотермическое сечение тройной системы (рис.3) приведена по экспериментальным данным работы китайских студентов [39].

В результате реакции между титаном и алюминием образуются фазы Ti_3Al и $TiAl$, которые в результате превращаются в $TiAl_3$. В системе $Ti-Al-Si$ определялась только фаза Ti_5Si_3 . После того, как весь кремний израсходован, начинает образовываться алюминид, что подтверждается реальными экспериментами по реактивному спеканию. Реактивное спекание является процессом, управляемым реакцией как в системах $Ti-Al$, так и в $Ti-Al-Si$. Скорость реакции значительно увеличивается с добавлением кремния.

Известно, что интерметаллическое соединение $TiAl_3$ несет много привлекательных характеристик, таких как очень низкая плотность ($3,37 \text{ г / см}^3$), относительно высокая твердость ($660-750 \text{ HV}$), хорошее окисление и

термостойкость, а также умеренно высокая температура плавления (1 623 K), которые также упоминаются в качестве достоинств для низкоплотных высокотемпературных конструкционных материалов.

Среди различных интерметаллидов соединение Ti_5Si_3 рассматривается как перспективный материал для высокотемпературных конструкционных применений ввиду его высокой температуры плавления (2403 K), низкой плотности (4,32 г/см³), высокой твердости (1 130 HV) и высокой стойкости к окислению. Кроме того, Ti_5Si_3 также был идентифицирован как совместимая и термохимически стабильная упрочняющая фаза для матрицы $TiAl$, а композиты $TiAl_3+Ti_5Si_3$ были предметом многочисленных исследований в качестве материалов потенциальной структуры для высокотемпературных применений.[40,41,42]

Исследовано влияние добавления Al на продукты реакции самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в системе $Ti-Al-Si$. Когда содержание Al составляет 0 мас.%, Продукт состоит только из Ti_5Si_3 . При изменении добавки Al в диапазоне 5–15 мас.% фаза $TiAl_3$ появляется вместе с фазой Ti_5Si_3 . Помимо Ti_5Si_3 и $TiAl_3$, переходная фаза Ti_5Si_4 также обнаруживается в конечных продуктах при увеличении содержания Al в диапазоне 20–40 мас.%. Однако фазы Ti_5Si_3 и Ti_5Si_4 полностью исчезают, когда содержание Al дополнительно увеличивается до 50 мас.%; в конечных продуктах присутствуют только фаза $TiAl_3$ и следы Al . Кроме того, увеличение содержания Al вызывает уменьшение Ti_5Si_3 и увеличение количества $TiAl_3$, что указывает на то, что Al не только служит разбавителем, но также участвует в процессе реакции СВС. Кроме того, растворимость Si в $TiAl_3$ значительно увеличивается с увеличением добавления Al , в то время как растворимость Al в Ti_5Si_3 в основном зависит от содержания Al в системе $Ti-Al-Si$. Кроме того, включение Al оказывает большое влияние на образование микроструктуры и выделение продуктов реакции СВС. Когда содержание Al составляет менее 25 мас.%, конечный продукт в основном состоит из Ti_5Si_3 . [43]

2. Материалы и методы

2.1. Описание экспериментальных методик и материалов

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

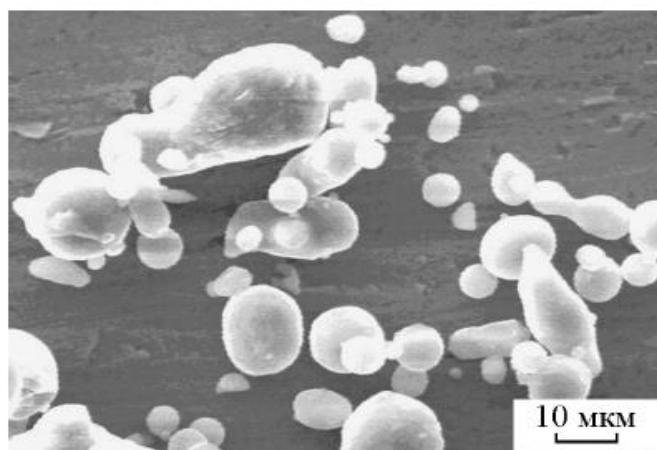
Экспериментальные образцы готовили из смесей полидисперсных порошков алюминия (ПА-4, менее 100 мкм), титана (ТПП-8, менее 160 мкм) и кремния технической чистоты (менее 50 мкм).

Материалы:

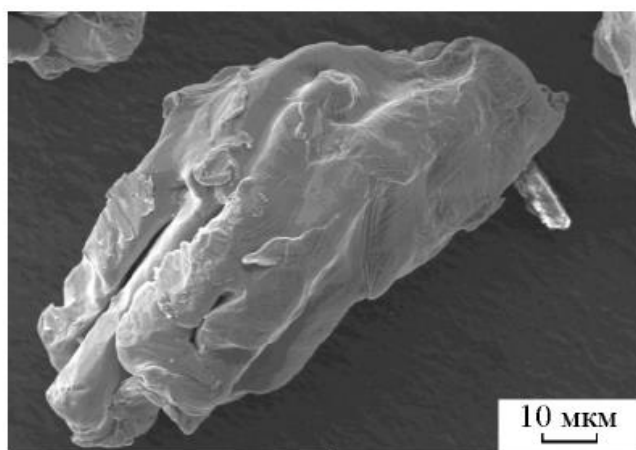
Таблица 1 – Состав и весовое соотношение исходных порошков

Порошки/Состав	$TiAl_3 + Ti_5Si_3$	$Ti_3Al + Ti_5Si_3$
Порошок титана марки «ТПП-8»	63.5	77.5
Порошок алюминия марки «ПА-4»	17.9	5.4
Порошок кремния технической чистоты	18.6	17.0
Итого	100	100

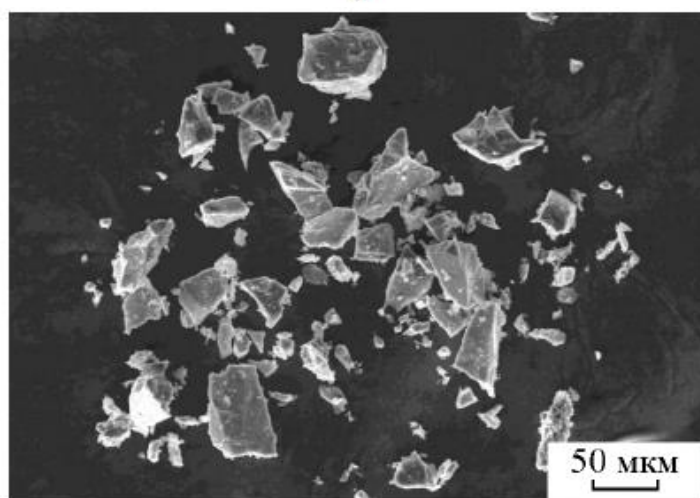
Порошок титана марки «ТПП-8» представляет собой порошкообразное вещество, изготовленное из сплава титана и с компонентами: 2,1% железо, 1,1% азота, 0,5% хлора. В промышленности кремний технической чистоты получают, восстанавливая расплав SiO_2 коксом при температуре около 1800 °С в рудотермических печах шахтного типа. Алюминий ПА-4 представляют собой продукт серебристо-серого цвета с металлическим блеском, не содержащий инородных включений и слипшихся комочков, не рассыпающихся от легкого прикосновения.



a



б



в

Рисунок 6 - Морфология исходных порошков: *a* — алюминий ПА-4; *б* — титан ТПП-8; *в* — кремний.

Смешивание и прессование порошков:

Гомогенные порошковые смеси предварительно смешивали в смесителе типа "пьяная бочка" в течение 4-х часов, после чего прессовались в цилиндрический штабик высотой 100 мм и диаметром 40 мм.

СВС-синтез:

Поджог производился путем пропускания большого тока в течение двух секунд через молибденовую спираль. 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 кремния, что приводит к снижению максимальной температуры фронта горения и снижает тем самым скорость сгорания.



Рисунок 7 – Синтезированный спек

Дробление порошков на фракции:

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

Отжиг:

Раздробленный порошок был подвержен отжигу в вакуумной печи при температуре 1000 °С продолжительностью 120 мин, для снятия напряжений и химической активности.

Оборудование: Вакуумная печь СНВЭ-1.3.1/160.

Прессование и спекание:

Часть порошков после обжига спрессовали в две прессовки диаметром около 10 мм, высотой около 15 мм с помощью двухсторонней цилиндрической пресс-формы с плавающим пуансоном, и после спекли в вакуумной печи с температурой 1300 °С продолжительностью 60 минут. Для улучшения прессования добавляли пластификатор (раствор каучука с бензином). Спекание проходило в два этапа: 1) медленная отгонка пластификатора при нагреве до 500 °С; 2) последующий нагрев до температуры спекания со средней скоростью 10-13 °С/мин.

Оборудование: Вакуумная печь СНВЭ-1.3.1/160.

Шлифовка полировка и травление образцов:

Для осуществления оптических фотографий изготавливались металлографические шлифы на специализированном станке (Saphir 720, Германия). Все шлифы предварительно осматривались на инвертированном металлографическом микроскопе МИМ-9.

Исходные порошки заливались эпоксидной смолой и далее шлифовались. Наплавки распиливались на образцы 15x20мм и подвергались триботехническим испытаниям.

Шлифование проходило поэтапно:

- 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 полученные шлифы осматривались на наличие крупных царапин и при необходимости операция повторялась. Если качество поверхности не вызывало нареканий, то 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 методом рентгенофазового анализа (дифрактометр ДРОН-7, Буревестник, Россия), оптической металлографии (AXIOVERT-200MAT, Zeiss, Germany) и растровой электронной микроскопии (EVO 50, Zeiss, Germany).



а)



б)



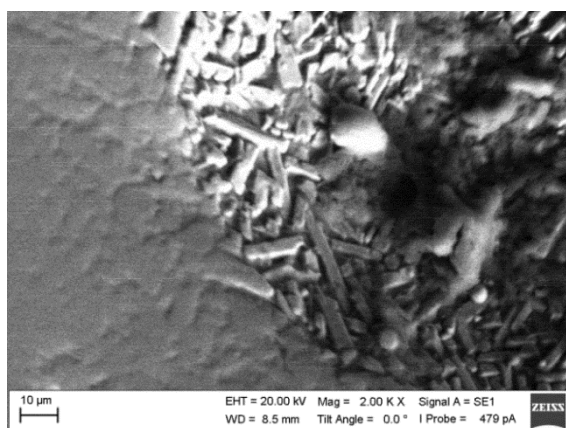
в)

Рисунок 8 – а) дифрактометр ДРОН-7, б) AXIOVERT-200MAT, в) EVO 50.

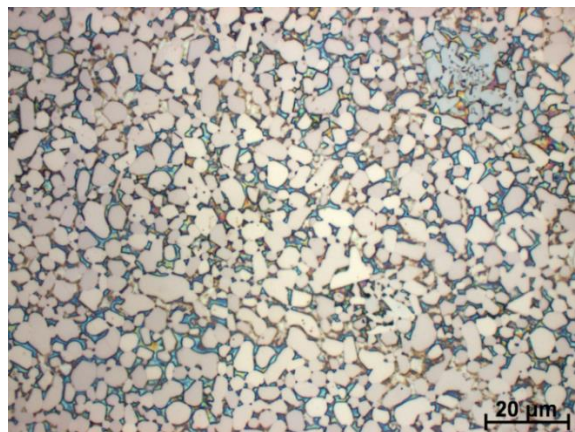
3. Результаты исследований

3.1. Результаты исследования синтезированных порошков

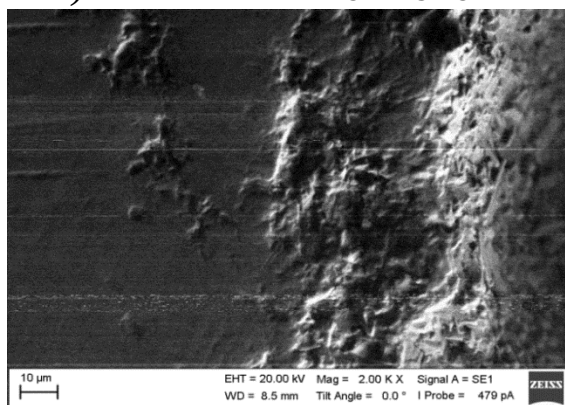
Результаты оптической и растровой электронной микроскопии шлифов композиционных порошков приведены на рисунке 9. На оптических фотографиях с протравленными металлографическими шлифами порошков, залитых в эпоксидную смолу (рисунок 9, б, г), видим, что включения силицида титана имеют округлую и в некоторых местах овальную формы представлены в структуре композита либо в виде изолированных частиц, либо образуют сrostки из смежных частиц. Алуминиды титана выглядят как трубки.



а) Состав I – $TiAl_3+Ti_5Si_3$



б) Состав I – $TiAl_3+Ti_5Si_3$



в) Состав II – $TiAl_3+Ti_5Si_3$



г) Состав II – $Ti_3Al+Ti_5Si_3$

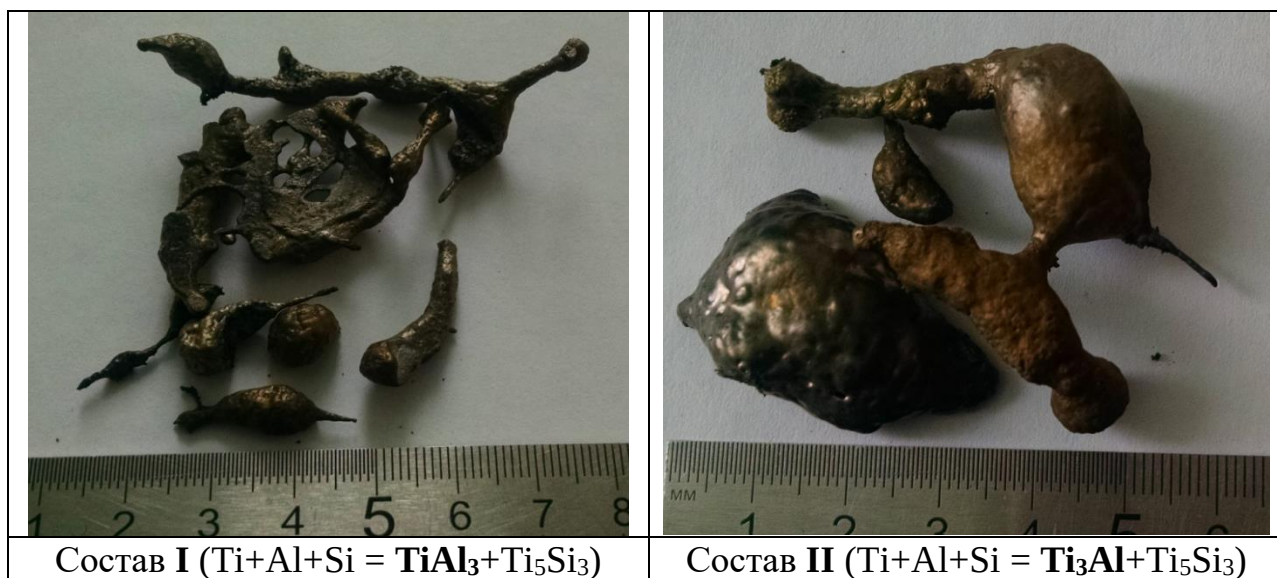
Рисунок 9 – Морфология (а,в) и внутренняя структура (б,г) гранул композиционного порошка составов I и II

3.2. Исследование спекания порошковых смесей Ti-Al-Si составов I и II

Таблица 2 – Расчетные составы

Расчетные составы	КОЛ-ВО атомов			ат%			вес%			об.%		
	Ti	Al	Si	Ti	Al	Si	Ti	Al	Si	Ti	Al	Si
I (TiAl ₃ +Ti ₅ Si ₃)	6	3	3	50	25	25	63.5	17.9	18.6	48.9	23.2	27.9
II (Ti ₃ Al+Ti ₅ Si ₃)	8	1	3	66.7	8.3	25	77.5	5.4	17.0	64.6	7.7	27.7

Температура спекания T=1000°C, выдержка 120 мин.

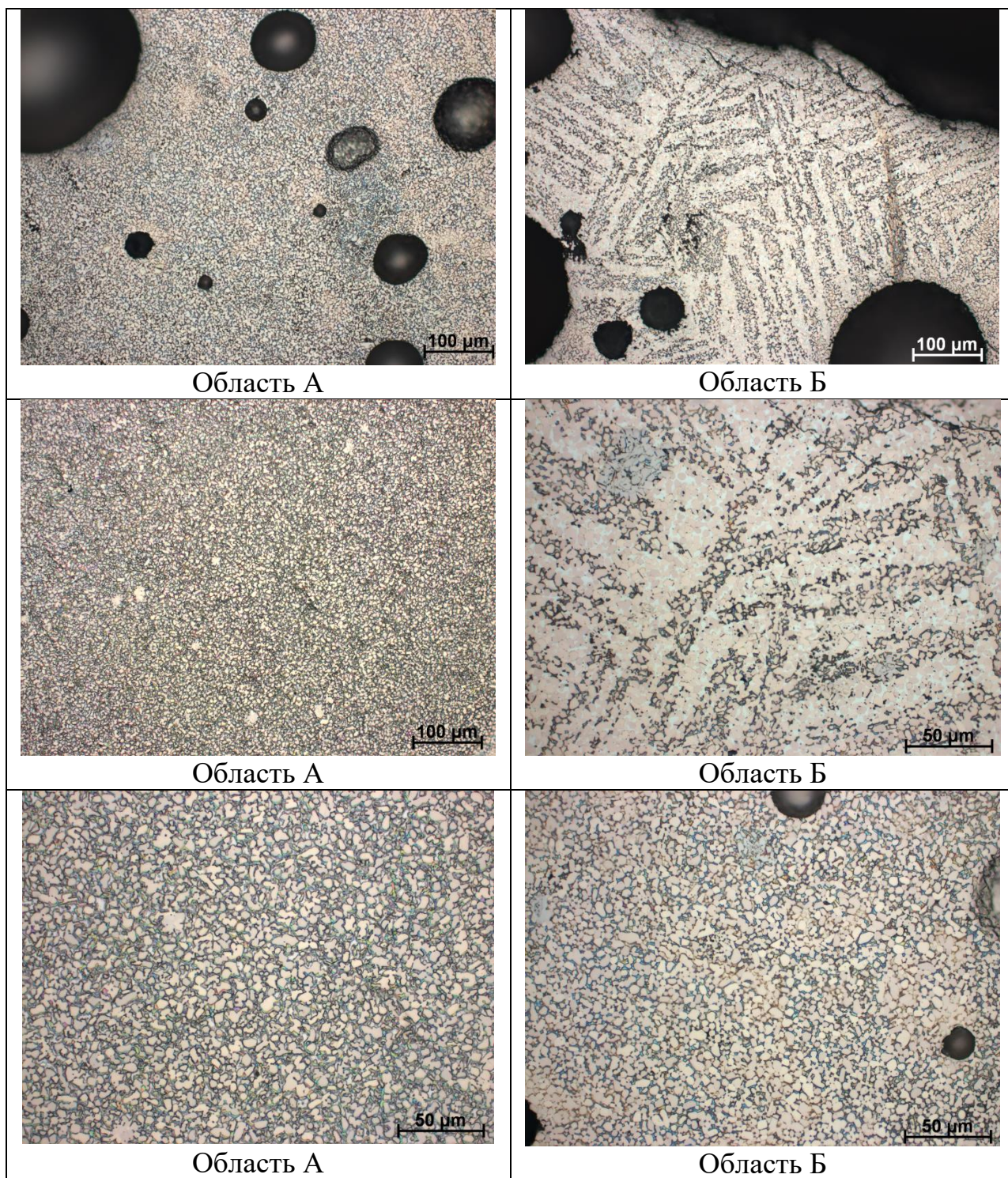


Состав I (Ti+Al+Si = TiAl₃+Ti₅Si₃)

Состав II (Ti+Al+Si = Ti₃Al+Ti₅Si₃)

Рисунок 10 – Спеченные образцы

Состав I ($\text{Ti}+\text{Al}+\text{Si} = \text{TiAl}_3+\text{Ti}_5\text{Si}_3$)



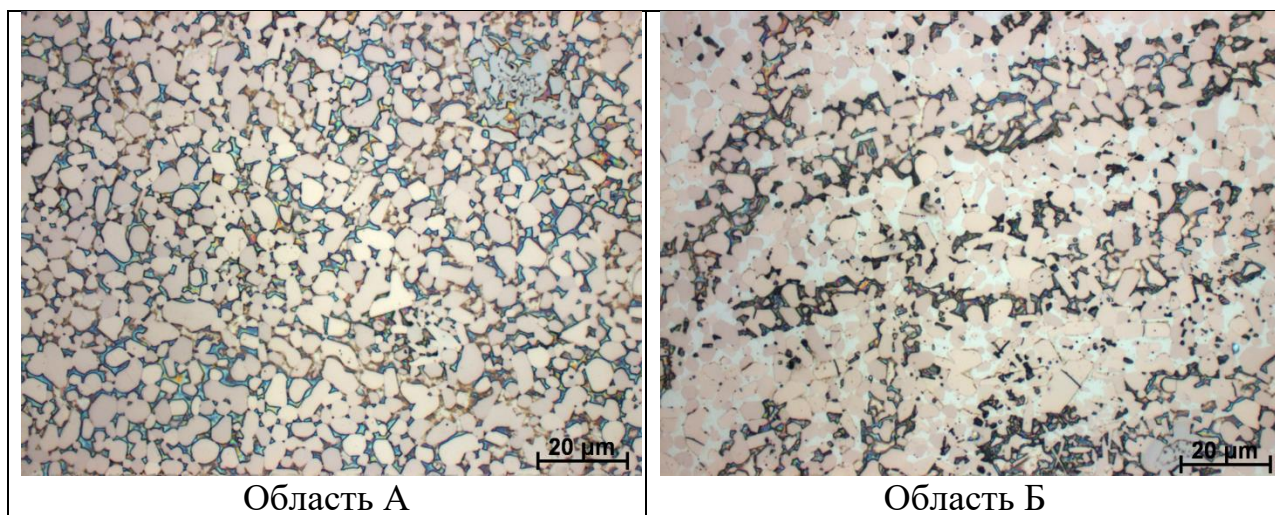
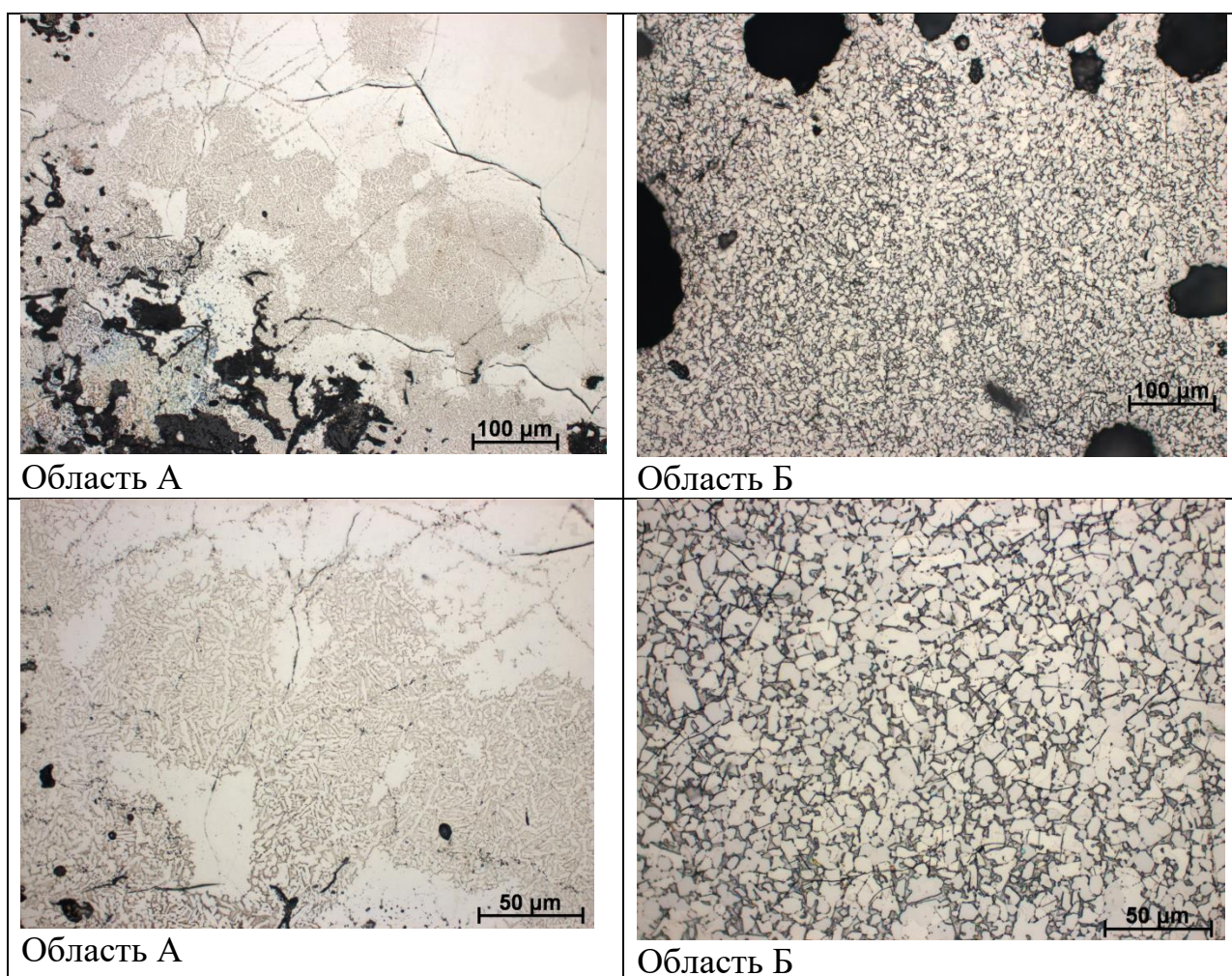


Рисунок 11 - Микроструктура спеченных при 1000°С образцов из смеси
состава I

Состав II ($\text{Ti}+\text{Al}+\text{Si} = \text{Ti}_3\text{Al}+\text{Ti}_5\text{Si}_3$)



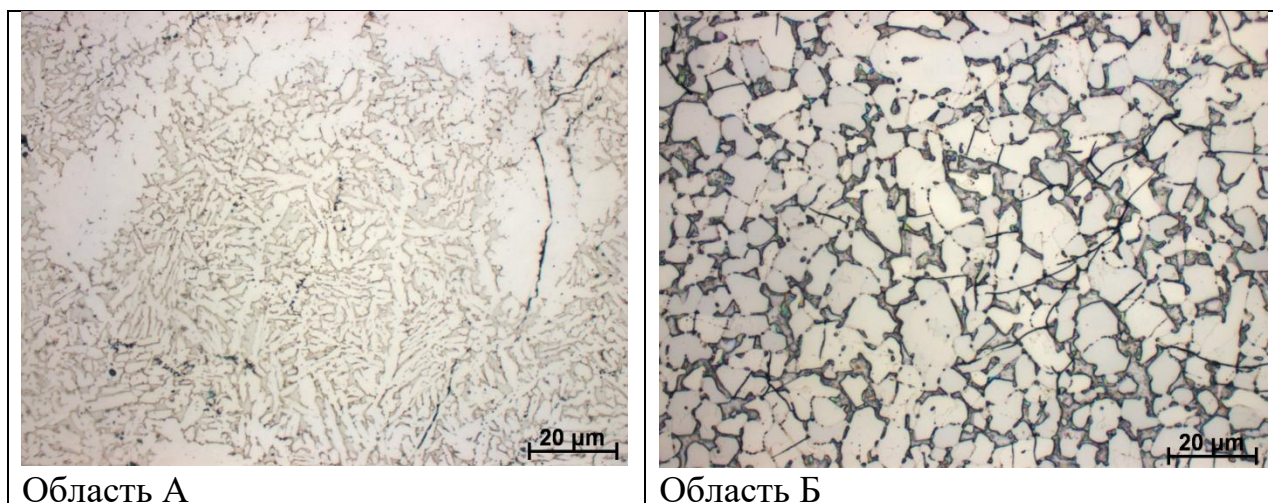


Рисунок 12 - Микроструктура спеченных при 1000°C образцов из смеси состава II

Исследование фазового состава и структурных параметров образцов проводилось на дифрактометре XRD-6000 на CuK_α -излучении с вращением. Анализ фазового состава проведен с использованием баз данных PDF 4+, а также программы полнопрофильного анализа POWDER CELL 2.4. Исследования выполнены в Материаловедческом центре коллективного пользования ТГУ, г.Томск.

Таблица 3 - Фазовый состав спеченных при $T=1000^\circ\text{C}$ порошковых смесей из Ti-Al-Si в пропорциях, соответствующих составам I и II:

	Состав смеси	Обнаруженные фазы		
		TiAl_3	Ti_3Al	Ti_5Si_3
I	$\text{TiAl}_3 + \text{Ti}_5\text{Si}_3$	26	-	74
II	$\text{Ti}_3\text{Al} + \text{Ti}_5\text{Si}_3$	-	19	81

На СВС-порошках I и II с кремнием получен ожидаемый фазовый состав, только количество силицида явно завышено, это может быть связано с сильной хрупкостью этой фазы. При дроблении СВС-спека силицид дробится и высыпается через мелкое сито гораздо лучше, чем алюминиды. И

как следствие его количество в порошке для РФА может быть больше, чем реально присутствует в СВС-спеке.

СВС порошковой смеси Ti-Al-Si состава I ($\text{TiAl}_3 + \text{Ti}_5\text{Si}_3$)

Смесь загорелась в условиях компакта из порошков с остаточной пористостью не менее 40%. Продукты горения были измельчены и рассеяны по фракциям. Для работы использовали СВС порошки с дисперсностью до 56 мкм. Дополнительно была проведена механоактивация этих порошков, после чего их спрессовали в виде цилиндрических образцов и спекли в вакуумной печи при 1300°C с выдержкой 60 мин.

Таблица 4 - Результаты спекания синтезированных порошков состава I ($\text{TiAl}_3 + \text{Ti}_5\text{Si}_3$)

Характеристики	относительное изменение плотности, $\frac{\Delta\rho}{\rho_0}, \%$	относительное изменение пористости, $\frac{\Delta\pi}{\pi_0}, \%$	относительное изменение объема, $\frac{\Delta V}{V_0}, \%$
T=1300°C	34,5	-59,3	26,7

Пористость сократилась почти на 60%

Объем уменьшился почти на 30%

Плотность возросла в среднем на 35%

Рентгенограммы с продуктов синтеза приведены на рисунках 13,14. Объектом съемки были порошки дисперсностью менее 56 мкм. Режим съемки: $\text{CuK}\alpha$ – излучение, шаг 0.050, время экспозиции 5 сек, интервал съемки от 25 до 100 °. Идентификация фаз была проведена с использованием картотеки рентгеновских данных ASTM.

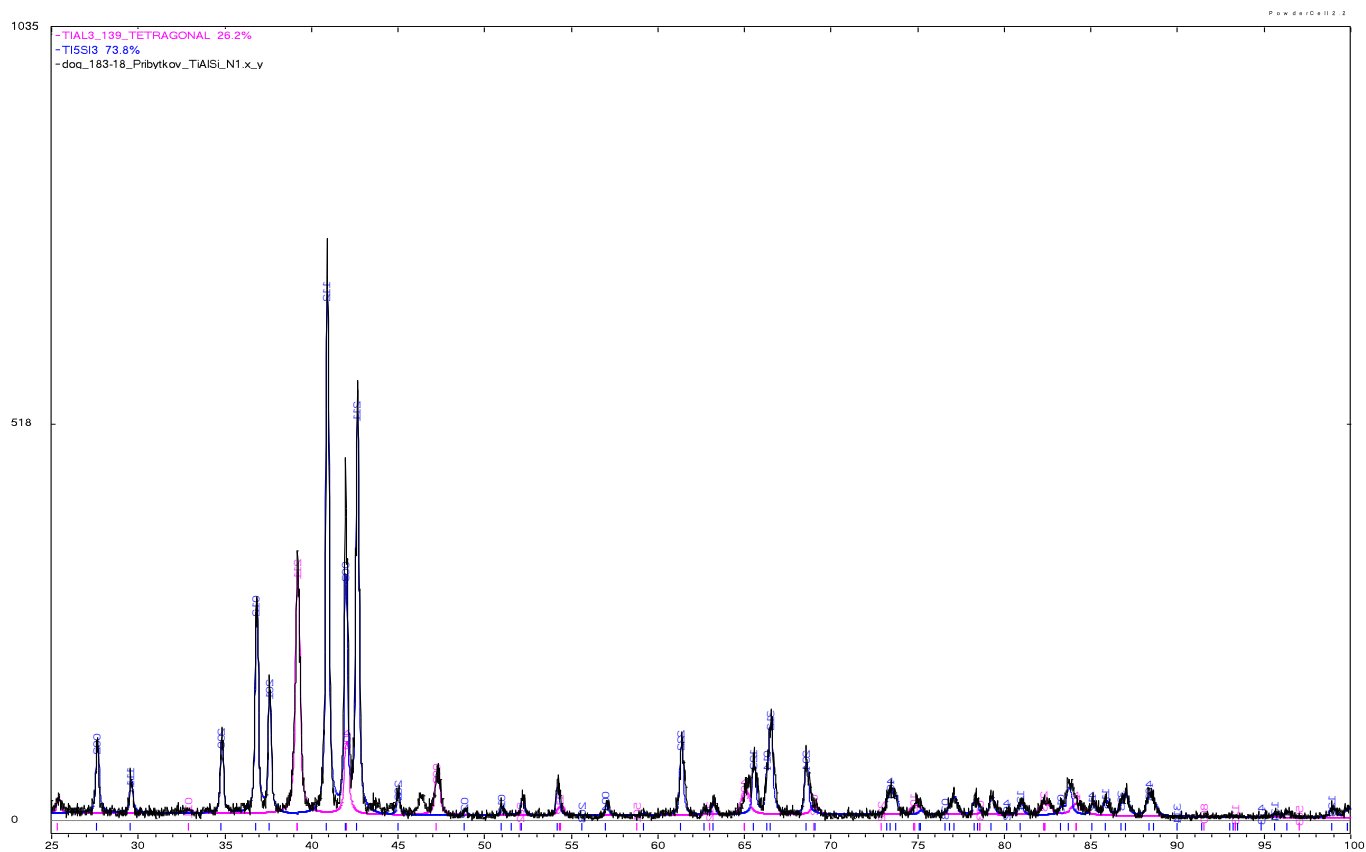


Рисунок 13 – Рентгенограмма композиционного порошка состава I

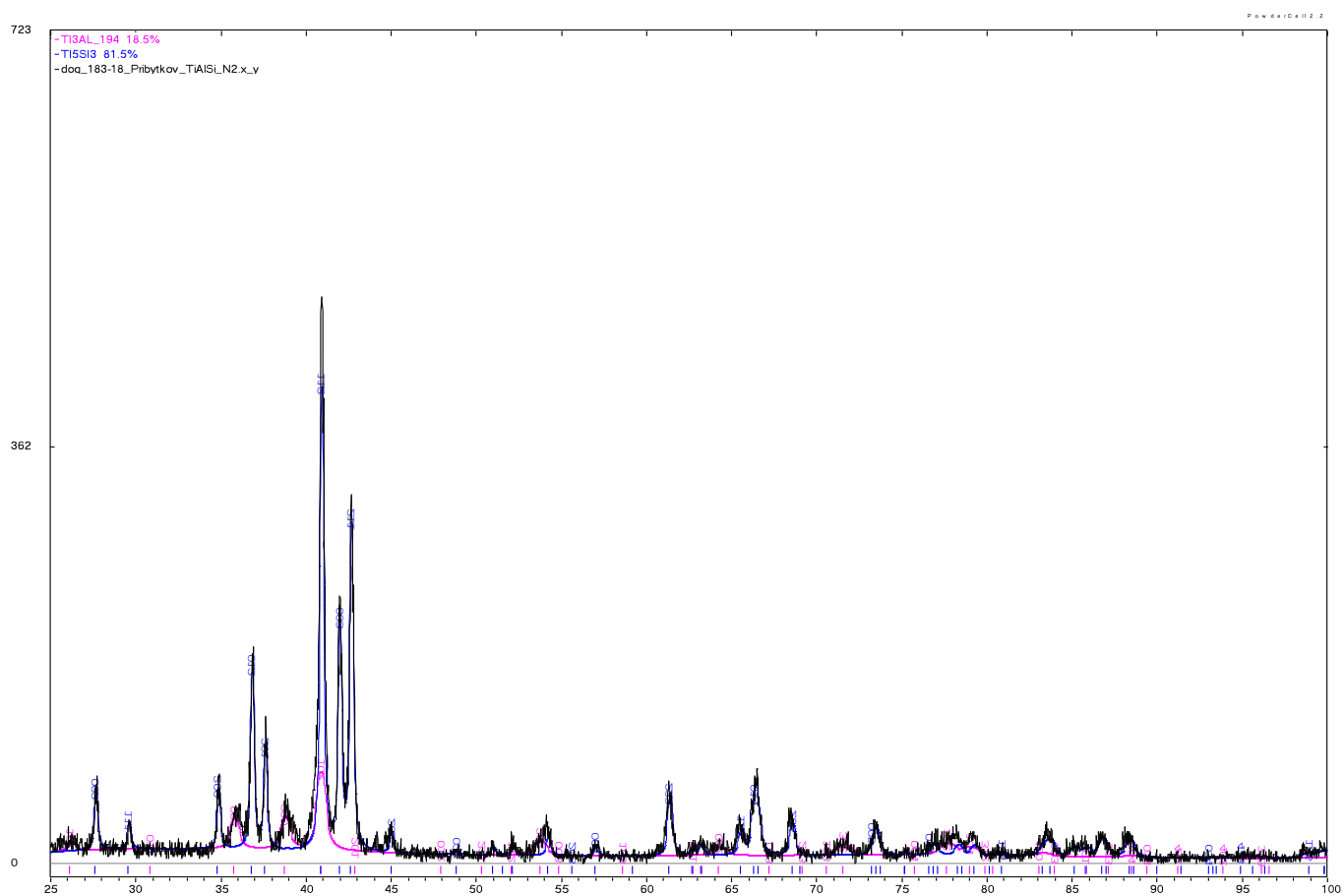


Рисунок 14 – Рентгенограмма композиционного порошка состава II

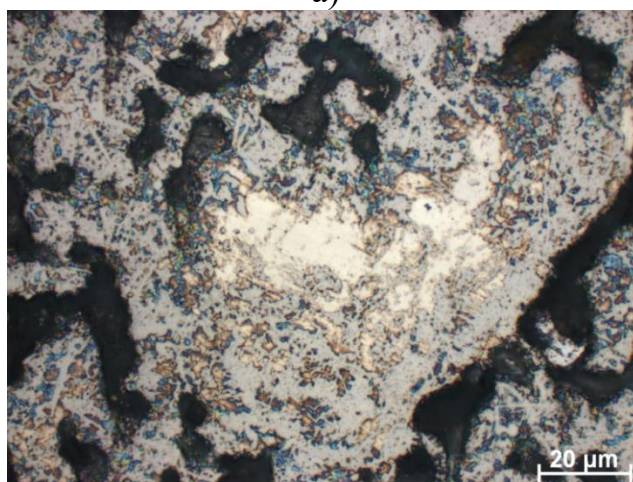
Результаты рентгенофазового анализа содержат линии фаз исходных составов: состава I ($TiAl_3$, Ti_5Si_3) и состава II (Ti_3Al , Ti_5Si_3)

3.3. Исследование структуры поперечного шлифа

В результате СВС порошковой смеси Ti-Al-Si состава I ($TiAl_3+Ti_5Si_3$) загорелась смесь в условиях компакта из порошков с остаточной пористостью не менее 40%. Продукты горения были измельчены и рассеяны по фракциям. Для работы использовали СВС порошки с дисперсностью до 56 мкм. Дополнительно была проведена механоактивация этих порошков, после чего их спрессовали в виде цилиндрических образцов и спекли в вакуумной печи при 1300°C с выдержкой 60 мин. Полученный поперечный шлиф был поэтапно отшлифован, отполирован, протравлен и отснят.



а)



б)

Рисунок 15 – Микроструктура образца спеченного при 1300°C а) при 200-х увеличении, б) при 1000-х увеличении.

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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-Si”. 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.

4.1 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 4.1.

Таблица 4.1 - Карта сегментирования рынка

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

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.

4.2 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 отсутствии 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-Si (Ti-Al, Ti-Si, Al-Ti-Si)» в настоящее время проявляется интерес, в связи с возможными преимуществами разработки трехкомпонентного материала с более

улучшенными свойствами. Металломатричные композиты и покрытия на их основе, состоящие из твердых соединений (Ti_5Si_3) скрепленных относительно мягкой и вязкой металлической связкой (Ti), обладают высокими параметрами твердости, износостойкости и коррозионностойкости, необходимыми для работы в условиях агрессивных сред и интенсивных абразивных нагрузок, которые могут наблюдаться при высокоскоростной металлообработке, при эксплуатации деталей машин аграрной, горной и нефтегазовой отраслей.

В настоящее время для получения композиционных порошков применяют реакционное спекание прессованных смесей порошков титана, алюминия и кремния 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).

Проведем анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения изготовления композиционных порошковых материалов. Данный анализ выполним с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 4.2, где Ф – технологический процесс метода СВС, К – технологический процесс метода спекания.

Таблица 4.2 – 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:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Из проведенного в таблице 4.2 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.

4.3. 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 4.3 (матрица SWOT) более подробно изложены сильные и слабые стороны исследовательского проекта, а также возможности и угрозы

Таблица 4.3 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно исследовательского проекта: С1.Возможность модифицирования состава исходного материала; С2.Высокая работоспособность изделия; С3.Улучшение свойств обрабатываемой поверхности; С4.Снижение себестоимости изделия;	Слабые стороны научно исследовательского проекта: Сл1.Отсутствие прототипа научной разработки; Сл2.Не отработана технология получения порошков, которые в дальнейшем используются для нанесения покрытий; Сл3.Вероятность структурообразования составов; Сл4.Вероятность получения брака;
--	--	---

Продолжение таблицы 4.3

Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ (т.е. использование научного оборудования); В2. Возможность внедрения технологии в производство; В3. Возможность участия в грантах, для повышения производительности изделия; В4. Появление дополнительного спроса на новый продукт;	С1 В2. Внедрение технологии в различные производства за счет возможности варьирования состава; С4 В2. Вероятность расширения количества поставщиков (снижение себестоимости изделия); С2 В3. участие в грантах приводят к улучшению высокой работоспособности изделия;	В1 Сл4. новейшее оборудование, позволит на ранних стадиях исследование, выявить и предотвратить появление брака; В1 Сл1. Возможность изготовления прототипа; В3 Сл2. Возможность отработки технологии на средства из грантов;
Угрозы: У1. Вероятность появления более высокооплачиваемой предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований. У2.Отсутствие оборудования для массового производства; У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства приводит к несвоевременно выполнению заказов изделия;	У1 С1. Возможность изменить состав для повышения конкурентоспособности с новыми предложениями на рынке. У3 С4. Появление резервных средств за счет экономии материала.	У3 Сл4. длительный простой производства. У2 Сл1. Нежелание крупных предприятий сотрудничать в условиях отсутствия прототипа и оборудования массового производства.

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.

4.4 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 4.4.

Таблица 4.4 - 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) – Слепцов Василий Семенович

ИНЖ(инженер-технолог) – Кривопапов Владимир Петрович

4.4.1 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.

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{K_{ВН}}, \quad (4.2)$$

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

t_{max} – максимальная продолжительность работы, дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 4.4 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:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (4.3)$$

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:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \quad (4.4)$$

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

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

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}} \quad (4.5)$$

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

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

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

$$T_K = \frac{365}{365-52-10} = 1,205$$

Расчёт трудозатрат на поиск и изучение материалов:

Определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож}$:

$$T_{ож} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 5}{5} = 4,4;$$

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$), при $K_d = 1,2$:

$$T_{РД} = \frac{4,4 \cdot 1,2}{1} = 5,28;$$

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) для научного руководителя, при $K_d = 1,2$:

$$T_{РД} = \frac{4,4 \cdot 1,2 \cdot 0,2}{1} = 1,05;$$

Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ($T_{РД}$) для студента, при $K_d = 1,2$:

$$T_{РД} = \frac{4,4 \cdot 1,2 \cdot 1}{1} = 5,28;$$

Продолжительность выполнения этапа в календарных днях:

$$T_{КД} = 5,28 \cdot 1,56 = 8,23;$$

Продолжительность выполнения этапа в календарных днях, для научного руководителя:

$$T_{КД} = 5,28 \cdot 1,56 \cdot 0,2 = 1,63;$$

Продолжительность выполнения этапа в календарных днях:

$$T_{КД} = 5,28 \cdot 1,56 = 8,23.$$

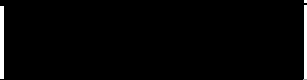
В таблице 4.5 приведен пример определения продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах (3–5) реализован экспертный способ по формуле (4.2). Столбцы 6, 7

и 8 содержат величины трудоемкости этапа для каждого из трех участников проекта (научный руководитель, исследователь, и инженер-технолог) с учетом коэффициента $K_d = 1,2$. Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение $t_{ож} * K_d$. Столбцы 9, 10 и 11 содержат те же трудоемкости, выраженные в календарных днях путем дополнительного умножения на T_k (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_{kd} (данные столбцов (9, 10 и 11 кроме итогов) позволяют построить линейный график осуществления проекта, показанный в таблице 4.6.

Таблица 4.5 - Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.					
					Т _{РД}			Т _{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 4.6 - 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 – 

4.5 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);
- оплата услуг связи;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

4.5.1 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 4.7.

Таблица 4.7 - 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
Порошок кремния высокочистый полупроводниковый	-	1 кг	2000	2000
Круг шлифовальный	Bosch	1 уп.	1000	1000
Шлифовальная паста	3М	3 шт.	2000	6000
Кислота	ННОЗ	1000 мл.	300	300
Всего за материалы				14855
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				715
Итого:				15 570

4.5.2 Расчет затрат на оборудование

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

Таблица 4.8 - Список оборудования для исследования

№	Наименование оборудования	Количество
1	Вытяжной шкаф	1
2	Смеситель пьяная 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.

4.5.3. 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 ($ЗП_{\text{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = МО/15,45 \quad (4.6)$$

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 4.9. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 4.5. 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); $K_{\text{р}} = 1,3$. 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 4.9 - 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

4.5.4 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:

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

4.5.5 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:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{э}} \quad (4.7)$$

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

$Ц_{\text{э}}$ – тариф на 1 кВт·час;

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

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

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 4.2 для инженера ($T_{\text{рд}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} * K_t, \quad (4.8)$$

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:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном.}} * K_c \quad (4.9)$$

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 $K_c = 1$.

Пример расчета затраты на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 - Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{об}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{об}}$, кВт	Затраты $Э_{\text{об}}$, 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

4.5.6 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

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

4.5.7 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-Si».

Таблица 4.11 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	15570
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:		506 150,55

Таким образом, общая себестоимость НИР равняется = **506 150,55** руб.

4.5.8 Расчет экономической эффективности

$$E = ЭЭ/З; \quad (4.10)$$

Здесь ЭЭ – величина экономического эффекта,

З – затраты на его осуществление.

В статье «Расчет экономической эффективности» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 20% общей себестоимости, т.е.:

$$E = 101230,11$$

Заключение

В процессе данного раздела были рассмотрены вопросы, касающиеся финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения исследовательского проекта на тему: “Исследование формируемой структуры металломатричных порошковых материалов на основе системы Ti-Al-Si в условиях СВС и реакционного спекания”.

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.

С помощью оценочной карты проделан анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения изготовления композиционных порошковых материалов методом СВС и методом вакуумного спекания, посредством которого можно вывод, что метод СВС имеет преимущество перед методом вакуумного спекания, т.к. позволяет получить увеличение производительности при значительно более низких затратах.

Методом SWOT – анализа были исследованы внутренние и внешние факторы, влияющие на развитие проекта. На основе этой методики 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 = 506 150,55 руб.

С учетом всех рассмотренных вопросов по разделу, анализе различных факторов и расчетов денежных затрат исследовательского проекта, можно резюмировать, что данная научно исследовательская работа перспективна.

5. Социальная ответственность

5.1. Введение

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.

К композиционным порошкам системы «Ti-Al-Si (Ti-Al, Ti-Si, Al-Ti-Si)» в настоящее время проявляется интерес, в связи с возможными преимуществами разработки трехкомпонентного материала с более улучшенными свойствами. Металломатричные композиты и покрытия на их основе, состоящие из твердых соединений (Ti_5Si_3) скрепленных относительно мягкой и вязкой металлической связкой (Ti), обладают высокими параметрами твердости, износостойкости и коррозион-нстойкости, необходимыми для работы в условиях агрессивных сред и интенсивных абразивных нагрузок, которые могут наблюдаться при высокоскоростной металлообработке, при эксплуатации деталей машин аграрной, горной и нефтегазовой отраслей.

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-Si* (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-Si*», а также аддитивные технологии на их основе.

Для проведения исследовательских работ были 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[1] 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)[2].

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 аптек 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 заземленной 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 1, использован ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

Таблица 1 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплуа тация	
1. Превышение уровня шума		+	ст ро ен	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].

5.4. 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.

5.4.1 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[3].

5.4.2. 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 [4].

5.4.3. 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 подробнее:

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 [5].

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.

5.4.4. 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.

5.4.5. 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 нетоковедущие 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 3.

Таблица 3 - 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 $+30^{\circ}\text{C}$; 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[11].

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.

5.5. 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.

5.5.1 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 находиться рабочий персонал; при длительном использовании данного оборудования, рабочим выдаются средства индивидуальной защиты, в виде противошумных наушников.

5.5.2 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.

5.5.3 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. 2)[6].

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[7].

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[8].

Таблица 2 - 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

5.5.4. 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 % [9].

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»[10].

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.

5.5.5. 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.

5.6. 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).

5.6. 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 [12].

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. Учитывая высокую стоимость электронного оборудования ВЦ, а также

категорию его пожарной опасности, здания для ВЦ и части здания другого назначения, в которых предусмотрено размещение ЭВМ, должны быть первой и второй степени огнестойкости. Для изготовления строительных конструкций используются, как правило, кирпич, железобетон, стекло, металл и другие негорючие материалы. Применение дерева должно быть ограничено, а в случае использования необходимо пропитывать его огнезащитными составами.

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.

Для предотвращения ЧС необходимо осуществлять меры по технике безопасности на рабочем месте, указанные ниже.

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 1), который должен висеть на видном месте.

Выводы по разделу

В процессе данного раздела были рассмотрены вопросы, касающиеся социальной ответственности исследовательского проекта на тему: «Исследование формируемой структуры металломатричных порошковых материалов на основе системы $Ti-Al-Si$ в условиях СВЧ и реакционного спекания». 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.

Заключение

1. Реакционным спеканием трехкомпонентных СВС порошков системы Ti-Al-Si при температуре 1000°C и длительности изотермической выдержки 120 минут получены удачно сплавленные образцы двух составов ($\text{TiAl}_3 + \text{Ti}_5\text{Si}_3$ и $\text{Ti}_3\text{Al} + \text{Ti}_5\text{Si}_3$)
2. На СВС-порошках I и II с кремнием получена морфология и ожидаемый фазовый состав, только количество силицида явно завышено, это может быть связано с сильной хрупкостью этой фазы. При дроблении СВС-спека силицид дробится и высыпается через мелкое сито гораздо лучше, чем алюминиды. И как следствие его количество в порошке для РФА может быть больше, чем реально присутствует в СВС-спеке.
3. В процессе СВ-синтеза загорелась только I смесь ($\text{TiAl}_3 + \text{Ti}_5\text{Si}_3$) в условиях компакта из порошков с остаточной пористостью не менее 40%. Продукты горения были измельчены и рассеяны по фракциям. Для работы использовали СВС порошки с дисперсностью до 56 мкм. Дополнительно была проведена механоактивация этих порошков, после чего их спрессовали в виде цилиндрических образцов и спекли в вакуумной печи при 1300°C с выдержкой 60 мин.
4. В результате спекания синтезированных порошков состава I фактически фазовый состав не поменялся, сократилась пористость почти на 60%, объем уменьшился почти на 30% и возросла плотность в среднем на 35%.

Список использованной литературы

1. J.H. Westbrook (ed.), *Mechanical Properties of Intermetallic Compounds*, Wiley, New York, 1960.
2. M. Es-Souni, R. Wagner and P.A. Beaven, *Mater. Sci. Eng.*, A153 (1992) 444.
3. Г.А.Либенсон. Основы порошковой металлургии./ 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 208с.
4. В.В.Скороход, С.М.Солонин. Физико – металлургические основы спекания порошков. – М: Металлургия, 1984. – 159с.
5. И.М.Федорченко, Р.А.Андриевский. Основы порошковой металлургии. – Киев: Изд-во Академии наук Украинской ССР, 1963. – 420с
6. Бальшин М.Ю., Кипарисов С.С. Основы порошковой металлургии. – М.: Металлургия, 1978. – 184с.
7. Бальшин М.Ю. Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна. – М.: Металлургия, 1972. – 335с.
8. Р.А. Андриевский. Введение в порошковую металлургию. – Фрунзе: Изд. Илим, 1988. – 172с.
9. Гегузин Я.Е. Физика спекания. – М.: Наука, 1984. – 310с.
10. Порошковая металлургия и напыленные покрытия./ Под ред. Б.С.Митина. – М: Металлургия, 1987. – 792с.
11. Савицкий А.П. Жидкофазное спекание систем с взаимодействующими компонентами. – Новосибирск: Наука, 1991. – 184с.
12. В.А. Ивенсен. Феноменология спекания и некоторые вопросы теории. М.: Металлургия, 1985. – 247с.
13. Скороход В.В., Солонин С.М. Физико-металлургические основы спекания порошков. – М: Металлургия, 1984. – 159 с.
14. Ивенсен В.А. Феноменологический анализ кинетики уплотнения порошковых тел при спекании. Теория и технология спекания: Сб. статей / Под ред. Г.В.Самсонова. – Киев: Наукова думка, 1974. – С. 86 - 95.

15. А.П. Амосов, И.П. Боровинская, А.Г. Мержанов. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов. – М.: Маш-е, 2007. – 567с.
16. Мержанов А.Г., Боровинская И.П. Самораспространяющийся высокотем-пературный синтез тугоплавких неорганических соединений.// Доклады Ака-демии наук СССР. – 1972. – т.204. – № 2.
17. Е.А. Левашов, А.С.Рогачев, В.И.Юхвид, И.П.Боровинская. Физико-химические и технологические основы самораспространяющегося высокотем-пературного синтеза. – М.: Бином, 1999. – 176с.
18. А.Г. Мержанов. Процессы горения и синтез материалов. – Черноголовка: Изд-во ИСМАН, 1998. – 512с.
19. В.В. Евстигнеев. СВС. Современные проблемы. // Ползуновский вестник. – 2005. – № 4-1. – С.21-35.
20. Концепция развития самораспространяющегося высокотемпературного синтеза как области научно-технического прогресса. – Черноголовка: Изд-во «Территория», 2003. – 368с.
21. Савицкий А.П. Жидкофазное спекание систем с взаимодействующими компонентами. - Новосиb.: Наука СО, 1991. - 184 с.
22. Пинес Б.Я., Сухинин Н.И. О спекании неоднoфазных тел. 2. Спекание спрессованных смесей порошков. Концентрационная зависимость усадки // ЖТФ. - 1956. - Т. 26, № 9. - С. 2100 - 2107.
23. Kuczynski G.C Progress in research of sintering with liquid phase // Contemporary inorganic materials. - Stuttgart. - 1978. - P. 32 - 40.
24. Еременко В.Н., Надич Ю.В., Лавриенко И.А. Спекание в присутствии жидкой металлической фазы. - Киев: Наук. Думка, 1970. - С. 124 - 128.
25. Савицкий А.П. Многоуровневое моделирование объемных изменений двухкомпонентных порошковых тел при спекании / А. П. Савицкий // Журнал технической физики. - 2010. - Т. 80, № 3. - С. 63 - 68.

26. Савицкий А.П. Особенности процесса спекания бинарных систем // Порошковая металлургия. - 1980. - №7. - С. 62 - 69
27. Диаграмма состояния двойных металлических систем: Справочник: В 3 т.: Т. 1 / Под общ. ред. Н.П. Лекишева - М.: Машиностроение. - 1996.-992 с : ил.
28. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа. Банных О. А., Будберг П.Б., Алисова С. П. и др. Металлургия, 1986 г.
29. Двойные и многокомпонентные системы на основе меди. под ред. Шухардина С.В. Наука, 1979 г.
30. Пат. 99/18258 (WO). Электродный материал для осаждения суперабразивных покрытий и способ их получения / Е.А. Левашов, А.Г. Николаев, А.С. Рогачев и др. 1997.
31. Pat. 6336950 B1 (USA). Electrode rod for spark deposition, process for covering with superabrasive-containing layer / M. Kaizumi, M. Ohyanagi, S. Hosomi et al. 2002.
32. Самсонов Г.В., Вилицкий И.М. Тугоплавкие соединения: Справочник. М.: Металлургия, 1976.
33. Войтович Р. Ф., Пугач Э. А. Окисление тугоплавких соединений: Справочник. М.: Металлургия, 1978.
34. Суперсплавы II: Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок / Под ред. Ч.Т. Симса, Н.С. Столоффа, У.К. Хагеля; Пер. с англ под ред. Р.Е. Шалина. М.: Металлургия, 1995.
35. Замулаев Е.И., Левашов Е.А., Кудряшов А.Е., Вакаев П.В., Свиридов Т.А. Получение жаростойких металлокерамических покрытий на основе силицида и нитрида титана методом термореакционного электроискрового упрочнения // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия: сб. науч. тр. / - Москва, 2005. – С. 63-70
36. Levashov E.A., Rogachev A.S., Shtansky D.V., Senatulin B.R., Grigoryan H.E., Leyland A., Suchentrunk R. Self-propagating high-temperature

synthesis of cathodes composed of TiC_xNy – Ti_5Si_3 – TiB_2 . Galvanotechnik, 2005, no. 5, pp. 1202 – 1210.

37. Pribytkov G.A., Andreeva, Korjova V.V. Bulk changes and structure formation in solid phase sintering of Ti – TiAl_3 powder mixtures. Powder metallurgy and metal ceramics, 2008, vol. 47, nos. 11 – 12, pp. 687 – 692

38. Pribytkov G.A., Firsina I.A., Korzhova V.V. Kompozity Al – Ti, Al – Ti – Si, poluchennyye goryachim uplotneniyem poroshkovykh smesey. [Al – Ti, Al – Ti – Si composites received by hot compaction of powder mixtures]. Tekhnologiya metallov — Technology of metals (in Rus), 2013, no. 9, pp. 42 – 49.

39. Zhi Li, Conglai Liao, Yongxiong Liu, Xinming Wang, Yu Wu, Manxiu Zhao, Zhaohui Long, and Fucheng Yin - 700°C Isothermal Section of the Al-Ti-Si Ternary Phase Diagram

40. C. L. Yeh, R. F. Li, C. L. Yeh and R. F. Li: J. Alloys Compd., 47 (2007), 64.

41. D. E. Alman: Intermetallics, 13 (2005), 572.

42. K. P. Rao and J. B. Zhou: Mater. Sci. Eng., A356 (2003), 208.

43. Knaislova, A., Šimunkova, V., Novak, P., Prusa, F. (2017). High-temperature behaviour of Ti-Al-Si alloys prepared by Spark Plasma Sintering. In: Manufacturing Technology, Vol. 17, No. 5, pp. 733-738

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

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

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

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

48. 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:

49. 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:

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

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

52. СНиП 23 – 05 – 95. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. М.: Минстрой России, 1995.

53. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.

54. ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

55. ГОСТ 12.1.018-93. Пожаровзрывобезопасность статического электричества

Приложение А

Literature review

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM71	Слепцов Василий Семенович		

Консультант школы отделения ИШНПТ:

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

Консультант – лингвист отделения иностранных языков:

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

Introduction

The modern level of development of mechanical engineering is characterized by the use of new materials, which significantly surpass traditional steels and alloys in hardness, strength and durability when operating at elevated temperatures and in corrosive environments. Without such materials, further progress is impossible in the aerospace, nuclear and other leading sectors of the national economic complex. The alloys based on the intermetallic phase's $\alpha_2\text{-Ti}_3\text{Al}$ and $\gamma\text{-TiAl}$ are considered as possible high-temperature structural materials for aerospace applications, mainly because of their high specific rigidity, as well as relatively high specific strength at elevated temperatures. It was found that some additions of the triple element, such as *Nb*, *V*, *Cr* and *Si*, are effective for improving the high-temperature properties in this aspect [1]. Among these elements, *Si* turned out to be one of the most attractive candidates for improving the creep strength of alloys due to the Ti_5Si_3 phase, formed as a reinforcing component [2].

The purpose of this work was to study the characteristics of the synthesis under conditions of SHS and reaction vacuum sintering of powder materials of the systems $\text{TiAl}_3 + \text{Ti}_5\text{Si}_3$ and $\text{Ti}_3\text{Al} + \text{Ti}_5\text{Si}_3$, depending on the ratio of components and reaction conditions.

The following tasks were set in work:

1. Study of the formed structure of the resulting composites;
2. Study of the characteristics of the synthesized powders " $\text{TiAl}_3 + \text{Ti}_5\text{Si}_3$ " and " $\text{Ti}_3\text{Al} + \text{Ti}_5\text{Si}_3$ " (morphology and average size of silicide inclusions, microstructure and phase composition, partial porosity inside, etc.);
3. Evaluation of the reactivity of the studied composition.

1. Literary review

1.1. Powder techniques of receiving materials

Historical root of powder metallurgy goes back to deep antiquity. Archaeologists date the emergence of iron metallurgy mid-second millennium BC. However, the development of powder metallurgy in the form in which it currently exists should be considered the beginning of the XIX century, when Russian scientists P.G. Sobolevsky and V.V. Lyubarsky first received products from platinum by pressing powders and sintering in 1826 [3]. The rapid development of powder metallurgy from the end of the 19th and the beginning of the 20th centuries is connected with the needs of practice, in particular, with the production of tungsten filaments for electric incandescent lamps on an industrial scale. Since that time, powder metallurgy has been a recognized technology for manufacturing products from refractory materials, as well as from highly pure metals. It is interesting to note that for almost a hundred years the technology of production of refractory metals continues to improve, and today not everything is clear in this very complex process, both physically and chemically [4]. A significant contribution to the development of powder metallurgy of Soviet scientists G. I. Aksenov, A. B. Altman, R. A. Andrievsky, V. N. Antsiferova, M. Yu. Balshina, B. A. Boroka, Ya. E. Geguzina, Yu. G. Dorofeeva, V. P. Elyutin, V. N. Eremenko, S. S. Ermakova, G. M. Zhdanovich, V. A. Ivensen, S. S. Kiparisova, M. S. Kovalchenko, V. I. Kostikova, G. S. Kreimer, A. I. Manokhin, G. A. Meerson, B. S. Mitin, B. Ya. Pines, I. D. Radomysylsky, V. S. Rakovsky, O. V. Roman, G. V. Samsonov, A. P. Savitsky, V. V. Skorokhod, V. I. Trefilova, I. M. Fedorchenko, I. N. Frantsevich and others. Foreign scientists F. Ayzenkolb, H. Hausner, and others worked actively on the development of the theory and technology of powder metallurgy processes, W. Jones, R. Herman, G. Kuchinsky, F. Lenell, M. Petrdlik, M. Ristic and others [5].

1.1.1. Traditional powder metallurgy technology

Powder metallurgy is one of the most promising areas for the development of modern production, located at the interface of metallurgy and mechanical engineering. The main operations of traditional powder metallurgy are [6]:

- obtaining the original metal powders;
- molding powders or mixtures thereof;
- sintering.

Getting the original metal powders is possible in two main ways: mechanical and physicochemical. The mechanical methods for producing powders include: 1) crushing and grinding; 2) spraying and granulation of liquid metals; 3) metal cutting; 4) granulation. Physicochemical methods for obtaining powders include: 1) reduction of oxides and salts; 2) electrolysis; 3) dissociation of carbonyls; 4) hydrometallurgical method.

The molding of powders or their mixtures is a technological operation, as a result of which a powder compact is formed. Molding includes the following operations: annealing, seeding, mixing and pressing [7].

- *Annealing of powders* represents the heating of powders in a protective medium (reducing, inert, or vacuum) at a temperature of 0.4 ... 0.6 absolute melting point of the metal of the powder. It is used to improve the plasticity and compressibility of the powder by removing the work hardening. The most frequently annealed powders are obtained by mechanical grinding, electrolysis and decomposition of carbonyls.

- *Seeding of powders* is the process of separation of powders by the size of the particles. Powders with different particle sizes are used to make a mixture containing the required percentage of each size. Seeding of particles larger than 40 microns is carried out on wire screens. If free seeding is difficult, then wiping seeds are used.

- *Mixing powders* is one of the important operations and its task is to ensure the homogeneity of the mixture, since the final properties of the products depend on it. Mixing can be carried out mainly in two ways: mechanical and chemical. The most commonly used mechanical mixing of components is in ball mills and mixers.

- *Pressing*. As a result of this operation, the powders or their mixtures turn into more or less durable compressed briquettes, the shape and dimensions of which are close or completely coincide with those for finished products. The pressure depends mainly on the required density of products, the type of powder and the method of its production. Variants of the pressing process: hydrostatic pressing, slip casting, hot pressing, rolling of metal powders, mouth pressing.

Sintering is the heat treatment of blanks at a temperature below the melting point of the entire metal or its main part. Sintering is one of the most important technological processes of powder metallurgy and to a crucial degree determines the final properties of the resulting materials and products. To date, it has not been possible to develop a unified, universal sintering theory, even for the simplest case - sintering of one-component systems. The mechanisms of changes occurring in the sintered body are not completely clear [8]. So for sintering powder bodies with shrinkage (volume reduction during sintering) there is a phenomenological theory – a model by V.A. Ivensen [9]. This theory is based on a synthesis of experimental data; it does not consider the mechanisms and driving forces of shrinkage in powder bodies. However, with its help it is possible to describe the shrinkage kinetics with sufficient accuracy, determine the temperature and the exposure time during sintering.

The practical purpose of sintering is to achieve a certain level of desired properties. It is from these positions that the interpretation of sintering is given in GOST 17359-82: sintering is the heating and holding of the powder molding at a temperature below the melting point of the main component in order to ensure the specified mechanical and physicochemical properties.

It is important to note the absence in the definition of the melting of the base during sintering. However, this does not mean that during the heating process no component should be melted in the case of multicomponent materials. In this connection, two main types of sintering process are possible: solid phase, i.e. without the formation of a liquid phase, and a liquid phase, in which the low-melting components of the mixture of powders melt [11].

Solid-phase sintering.

During solid-phase sintering, the following main processes occur: surface and bulk diffusion of atoms, shrinkage, recrystallization, transfer of atoms through a gaseous medium. The temperature range of sintering is divided into three stages. At the first stage (temperature up to 0.2 ... 0.3 Tpl) the density almost does not change, plasticizing additives and gas particles adsorbed by the surface are removed, residual stresses are partially removed (1st and partially 2nd kind), physical interaction between powder particles are attenuated. At the second stage (temperature about 0.5 Tpl), processes of oxide reduction and removal of gaseous products develop. Density may decrease slightly. The third is the high-temperature stage (temperature is about 0.9 Tpl), the stage of intense sintering, characterized by a significant increase in the rates of diffusion processes, recrystallization, the development of completely metal contacts, a significant increase in the density of the material.

The compaction of the powder body during solid-phase sintering is uneven. At the initial period of heating, the powder body expands, which can be associated with the elastic-plastic aftermath during the removal of the work hardening of the pressed powder body. Then shrinkage begins, which also depends on various factors: the diffusion rates of the components of the powder body, the possibility of the formation of solid solutions, the influence of the gaseous medium, etc. [12].

Liquid sintering.

In the case of liquid-phase sintering, in the case of wetting by the liquid phase of the solid phase, the adhesion of solid particles increases, and in case of poor wettability the liquid phase inhibits the sintering process, preventing compaction. Wetting liquid phase leads to an increase in the rate of diffusion of components and facilitates the movement of particles of the solid phase. With liquid-phase sintering, practically porous products can be obtained. Liquid sintering can be divided into 3 stages:

- viscous fluid flow - rearrangement of particles;
- dissolution-precipitation;
- accretion of particles and the formation of a rigid skeleton.

The technology of sintering powder metals is divided into two types: sintering under pressure, free sintering.

Sintering under pressure. Sintering under pressure occurs: a) upon receipt of products with the same density and mechanical properties, but with a significantly short sintering time or low temperature; b) while maintaining the same modes of sintering in the time and temperature range, but significantly increasing the density and mechanical properties of products compared to sintering without pressure; c) when using much coarser powders than when sintering without pressure [13].

Free sintering. Free sintering (sintering of a powder without the application of external forces) is a thermally activated process of reducing the free surface of a porous powder body, accompanied by the consolidation of discrete elements of a disperse system into a single whole. The reduction of the free surface of the fusible powder body occurs by reducing the pore volume, reducing the number of pores with increasing their size, eliminating the interfaces on contacts between particles and increasing the contact bridges [14].

The most reliable way to obtain high-quality composite powders is *vacuum sintering* of pressed powder mixtures. The technological parameters of the powder

sintering process make it possible to control the structural composition of the material, including the dispersion of the silicide phase and the phase composition of the metal binder.



Figure 1 – the Vacuum furnace SNVE-1.3.1/160

1.1.2. Technologies based on SHS

The basic principle of “do not get the initial powders, but burn them”, which distinguishes the technology of SHS from the technologies using powder metallurgy, has been very fruitful [15]. The phenomenon of self-propagating high-temperature synthesis was first discovered in 1967 by A.G. Merzhanov, I.P. Borovinskaya and V.M. Shkyro in the study of combustion of isolated crystalline samples consisting of mixtures of titanium and boron powders. [16]. The method allows obtaining both refractory particles in a metal matrix, and powder compounds. Chemically active substances may be present in SHS processes at high temperatures. The controlled method of synthesis can provide materials that do not receive the properties of materials obtained by other traditional methods. The ease of maintenance and high speed of the SHS processes lead to significant energy and

material savings. SHS is a mode of strong exothermic reactions (combustion reactions) in which thermal emission is localized in a layer and transferred from layer to layer using heat transfer - the process of transition from wave to reaction against a mixture of agents with the formation of final products. The main way of initiating a SHS reaction is the local initiation of a reaction on the surface of the system by supplying a short thermal pulse (electric coil, electrical discharge, laser beam, etc.) with the formation of combustion waves and its propagation through the unheated source material. To initiate the reaction, the necessary preheating of the air in the furnace is necessary. The mixture in SHS processes can be in a vacuum, in open air, in an inert or reactive gas. All SHS-systems can be divided into 4 main classes: gas-free, filtering, gas systems and systems of metallothermic type (with a reduction stage).

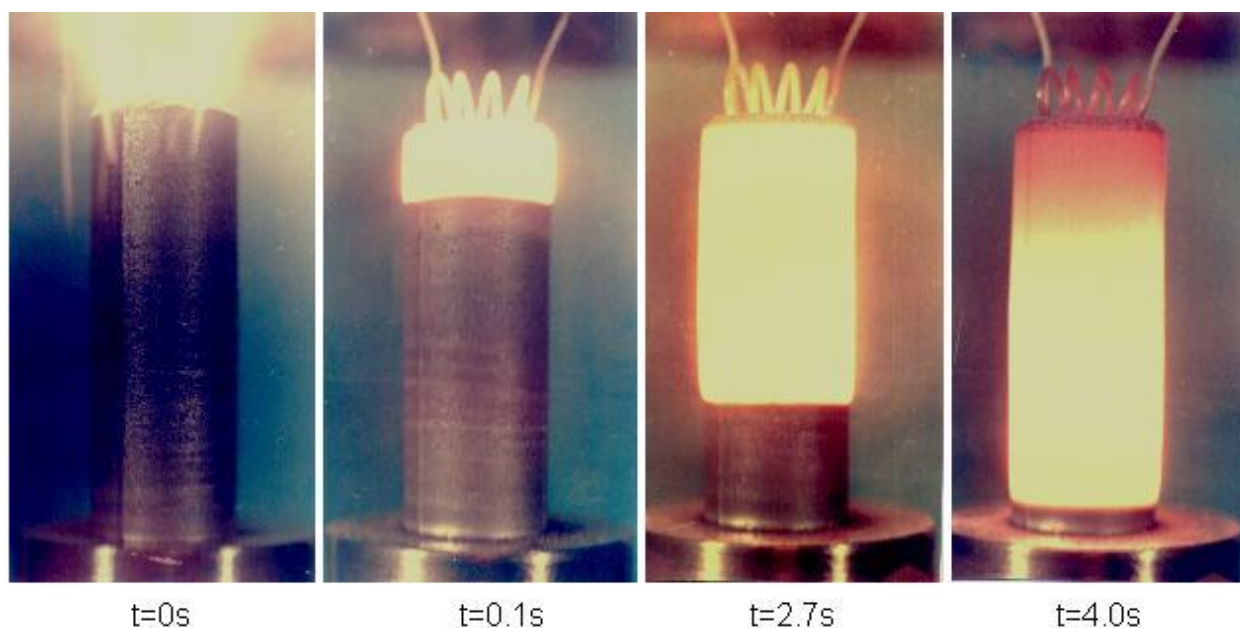


Figure 2 – Example of local initiation of SHS.

Classification of SHS processes by technological types is also possible. Currently, there are more than 30 variants of SHS – that are usually combined under the terms "SHS-technologies", which can be divided into 3 main technological types [17]:

SHS – powder technology

In this group, products released in pressurized reactors, in open air or in gas (inert or reactive gas: nitrogen, oxygen, hydrogen) are isolated. The process can take place in the thermal explosion mode [18]. In the thermal explosion (or self-ignition) mode, the powder material is heated to a critical temperature, at which a sharp increase in the rate of exothermic reactions occurs. The thermal explosion mode is technologically easier to implement than the CB-synthesis. The SHS - product obtained in such conditions is a spec or ingot. Thus, powders of refractory inorganic compounds, nitrated ferroalloys, intermetallics, ferrites, sialons and complex oxides are obtained.

SHS - power compacting

The process is carried out in special molds, in which, after termination of SHS, the synthesis product is compacted. Options: uniaxial pressing, all-round product compression (HIP-process), extrusion, rolling, explosion, forging (dynamic effect, intermediate in intensity between shock waves and static pressing). This group includes methods for producing non-porous synthetic solid instrumental materials of STIM based on TiB_2 , TiC and other refractory compounds, metal ceramics, gradient materials with a predetermined heterogeneity of composition.

SHS – metallurgy

This method is used for mixtures in which the heat effect is more than 1000 cal / g, the combustion temperature exceeds the melting point of the combustion products and therefore, after crystallization, they are obtained in a cast form. This group includes processes based on aluminothermy, resulting in the production of cast materials: CrB_2 , TiB_2 , CoB , NiB , MoB_2 , Cr_3C_2 , Cr_7C_3 , Mo_2C , Mo_3C_2 , $WC - W_2C$, $TiC - Cr_3C_2$, etc., ceramics based on oxides, hard alloys, metal ceramics. The possibilities of this area are extensive: they allow obtaining multilayer surfacing, coatings, cast metal-ceramic compositions.

The main advantages of the SHS technology over other technologies are as follows: the process is energy-efficient, as it flows through the heat generated by the chemical exothermic reaction and does not require additional heating after initiation; characterized by high performance, determined by the burning rate (about 10 ... 30 mm / s); high purity of synthesis products, due to high combustion temperatures (2000 ... 3000 ° C and higher) and decomposition and evaporation of impurities; the possibility of obtaining multicomponent compounds in one stage in the combustion wave: the use of technologically simple and compact equipment [19].

1.2. «Titanium-aluminum» system

Titanium-aluminum system alloys are widely used in various industries. Currently, the most promising area of application of these alloys is aerospace technology. Alloys titanium aluminum combines small specific weight, high heat resistance and heat resistance. The intermetallic compound *TiAl*, which has high values of long-term strength at elevated temperatures, is considered particularly promising. A promising application of sintered *Ti-Al* powder alloys is their use as targets (cathodes) in the technology of deposition of ion-plasma coatings. However, powdered *Ti-Al* cathodes have not yet been widely used due to the lack of a fairly simple, affordable, and high-performance production technology for producing cathodes with a uniform structure and acceptable porosity. Attempts are being made to use it for the manufacture of parts for gas turbine engines. However, the use of sintered titanium-aluminum alloys as structural ones is excluded due to their high porosity. Volumetric changes and the formation of the structure during liquid-phase sintering in a titanium-aluminum system were studied in detail by A.P. Savitsky [20]. It was found that in the entire concentration range during sintering, an increase in pressed briquettes was observed. As a result, pressing has a high porosity after sintering. The specificity of the *Ti-Al* system is its high thermality. The fact is that, due to the formation of *TiAl* intermetallic with the diffusion of liquid aluminum into titanium, sintering mixtures of titanium-aluminum powders is accompanied by

intense heat release, which, with sufficiently high aluminum content, leads to a short-term increase in the sample temperature by several hundred degrees [21]. This self-heating is accompanied by intense gassing, leading to additional volume growth due to the arching action of gases. Self-heating begins at the melting point of aluminum or the appearance of a eutectic fluid at the contacts of particles of titanium and aluminum.

It is believed that the formation of the liquid phase during sintering has a positive effect on the shrinkage of powder bodies [22,23,24]. However, among metals there are many binary systems in which the formation of a liquid phase during sintering is accompanied by a significant growth of powder bodies. These include systems with intermetallic compounds and high solubility of the component forming the melt in the solid phase. The direct cause of the growth of particles during the diffusion of atoms in them from the liquid phase is the increase in particle size under conditions where the transition of atoms in the opposite direction, from the solid to the liquid phase, is practically absent. Such a system is the titanium-aluminum system. In the equilibrium with the molten aluminum in the temperature range 665 - 1395 ° C is an intermetallic compound based on titanium TiAl_3 , consisting of 3/4 of aluminum. Due to the fact that titanium is poorly soluble in aluminum up to temperatures of 1000–1200 ° C, as a result of unipolar diffusion, the formation of additional sites occupied by diffusing atoms, with any sign of lattice dilation, leads to an overall increase in solvent volume [25].

Due to the high porosity, the main use of sintered titanium-aluminum alloys is limited to the task of creating filters with specified characteristics of the pore structure and strength. To expand the use of sintered titanium-aluminum alloys, a significant decrease in porosity after sintering is necessary.

The titanium – aluminum dual system [26] has a typical state diagram for systems with intermetallic compounds (Fig. 3) and is characterized by the presence of wide areas of solid solutions based on $\alpha\text{-Ti}$ and $\beta\text{-Ti}$. The $\alpha\text{-Ti}$ phase is formed by the peritectic reaction between the liquid and $\beta\text{-Ti}$ at a temperature of 1475 ° C. According to a number of analyzes, a solid solution based on the Ti_3Al compound

(α_2) is formed by the reaction $(\beta\text{-Ti}) \leftrightarrow \text{Ti}_3\text{Al}$ at a temperature of $\sim 1125^\circ\text{C}$. According to other studies, a Ti_3Al compound is formed when $\alpha\text{-Ti}$ is ordered in the temperature range of $850\text{--}1180^\circ\text{C}$. The TiAl_2 phase is formed by the peritectic reaction at a temperature of 1175°C and can exist in two modifications. The TiAl_3 compound has practically no homogeneity region and is formed by the peritectic reaction $W + \text{Ti}_5\text{Al}_{11} (\xi) \leftrightarrow \text{TiAl}_3$ at a temperature of 1395°C . The phase ξ itself also occurs by the peritectic reaction $L + \text{TiAl} \leftrightarrow \xi$ at a temperature of 1415°C . Phase ξ eutectoid disintegrates at a temperature of 990°C on $\text{TiAl}_2 + \text{TiAl}_3$. At temperatures of $\sim 780^\circ\text{C}$, the $\text{Ti}_9\text{Al}_{23}$ phase probably appears from the peritectoid reaction.

The presence of multiple intermetallic compounds on a double titanium diagram greatly complicates the technology for producing both cast and sintered alloys. This applies in particular to alloys in the vicinity of an equiatomic composition. Unfortunately, the materials of these particular compositions are of interest as sputtered cathodes. The materials obtained by the liquid-phase sintering of powder mixtures of aluminum with the addition of titanium were studied in detail in the works of A.P. Savitsky [27,28]. It is established that an increase in the titanium content in the powder mixture leads to a progressive volume growth. As a result, the residual porosity during sintering mixtures of equiatomic composition reaches 42%.

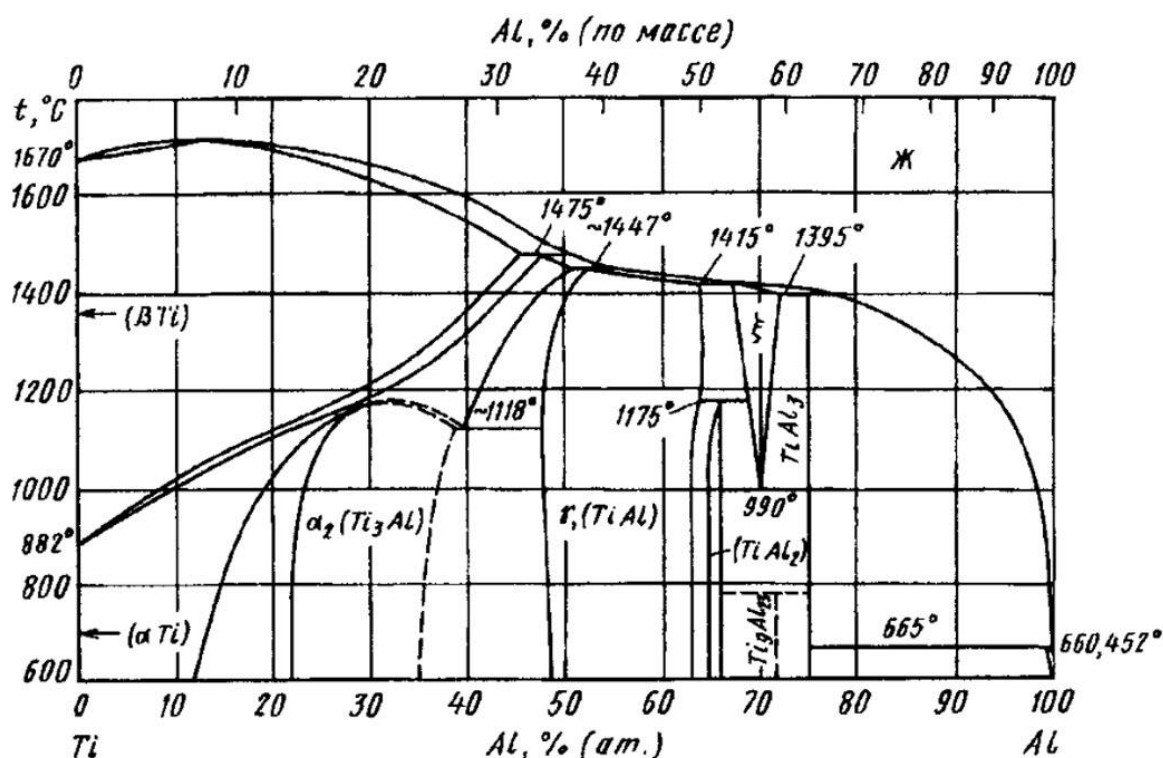


Figure 3 – Diagram of phase of the Titanium-aluminum system

The solid solution based on the compound Ti_3Al received the symbol α_2 . The nature and temperature of formation of the Ti_3Al and TiAl_2 compounds, as well as the position of the boundaries of the phase regions $(\alpha\text{Ti}) / (\alpha\text{Ti}) + \alpha_2$ for a long time, were not received from the researchers. According to X-ray, microstructural and other analyzes, the Ti_3Al compound is formed by the reaction $(\beta\text{Ti}) \leftrightarrow \text{Ti}_3\text{Al}$ at a temperature of 1125 °C. According to the data of differential thermal and electron-microscopic analyzes, the TiAl compound is formed upon ordering (αTi) in the temperature range of 850–1180 °C. According to the work, two modifications of the TiAl_2 base are possible. The high-temperature phase δ forms a peritectic reaction at temperatures above 1400 °C and disintegrates about a eutectoid reaction at temperatures above 1000 °C into a mixture of TiAl_2 and TiAl_3 .