

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 03.03.02 «Физика»
 Отделение школы (НОЦ) Экспериментальной физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Влияние параметров искрового плазменного спекания на структурно-фазовое состояние керамических композитов на основе МАХ – фаз, полученных из прекерамической бумаги

УДК 539.2:669.295.5:669.788

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБ61	Пирожков Алексей Владимирович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ	Сыртанов Максим Сергеевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева Ирина Леонидовна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ	Склярова Елена Александровна	Кандидат пед. наук, доцент		

Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник способен)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные компетенции</i>		
Р1	Использовать основные этапы и закономерности исторического развития общества, основы философских, экономических, правовых знаний для формирования мировоззренческой, гражданской позиций и использования в различных сферах жизнедеятельности	Требования ФГОСЗ+ (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4)
Р2	К самоорганизации и самообразованию, работать в коллективе, к коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке, толерантно воспринимать социальные, этические и культурные различия, использовать методы и средства физической культуры, приёмы первой помощи и методы защиты в условиях ЧС.	Требования ФГОСЗ+ (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9)
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>		
Р3	Использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, современные концепции и ограничения естественных наук, использовать фундаментальные знания разделов общей и теоретической физики, математики для создания моделей и решения типовых профессиональных задач, в том числе с использованием знаний профессионального иностранного языка.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-7)
Р4	Понимать сущность и значение информации, соблюдать основные требования информационной безопасности, использовать методы, способы, средства получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6)
Р5	Получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах, критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-8, ОПК-9)

<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р6	<p><u>Научно-исследовательская деятельность</u></p> <p>Проводить научные теоретические и экспериментальные исследования в областях: материаловедения, атомной и ядерной физики, водородной энергетики, физики плазмы с помощью современной приборной базы с использованием специализированных знаний физики и освоенных профильных дисциплин.</p>	<p>Требования ФГОСЗ+</p> <p>(ПК-1, ПК-2)</p>
Р7	<p><u>Научно-инновационная деятельность</u></p> <p>Применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований, а также профессиональные знания и умения в результате освоения профильных дисциплин для проведения физических исследований в инновационных областях науки, используя современные методы обработки, анализа и синтеза информации.</p>	<p>Требования ФГОСЗ+</p> <p>(ПК-3, ПК-4, ПК-5)</p>
Р8	<p><u>Организационно-управленческая</u></p> <p>Использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований, участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме, понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования</p>	<p>Требования ФГОСЗ+</p> <p>(ПК-6, ПК-7, ПК-8)</p>
Р9	<p><u>Педагогически-просветительская</u></p> <p>Проектировать, организовывать, анализировать педагогическую деятельность, владеть последовательностью изложения материала с использованием междисциплинарных связей физики с другими дисциплинами, участвовать в информационно-образовательных мероприятиях по пропаганде и распространению научных знаний</p>	<p>Требования ФГОСЗ+</p> <p>(ПК-9)</p>

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 03.03.02 «Физика»
 Отделение школы (НОЦ) Экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Склярова Е.А.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОББ1	Пирожкову Алексею Владимировичу

Тема работы:

Влияние параметров искрового плазменного спекания на структурно-фазовое состояние керамических композитов на основе МАХ – фаз, полученных из прекерамической бумаги	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	26.05.2020 г., №147-54/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020 г.
------------------------------------------	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	Прекерамическая бумага на основе МАХ-фазы Ti_3SiC_2 , дифрактометр XRD 7000S «Shimadzu» для проведения рентгенофазового анализа, персональный компьютер с необходимым программным обеспечением, а также сканирующий электронный микроскоп Vega 3
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Обзор литературных источников; – Изготовление композитов из прекерамической бумаги; – Изучение фазового состава композита с помощью рентгенофазового анализа; – Изучение микроструктуры поверхности с помощью сканирующей электронной микроскопии; – Изучение механических свойств и пористости полученных композитов; – Анализ полученных результатов; – Социальная ответственность; – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; – Заключение.
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Мезенцева Ирина Леонидовна, ассистент ООД</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Киселева Елена Станиславовна, доцент ОСНГ</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p> </p>	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент ОЭФ ИЯТШ</p>	<p>Сыртанов Максим Сергеевич</p>	<p>к.т.н.</p>	<p> </p>	<p> </p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>ОБ61</p>	<p>Пирожков Алексей Владимирович</p>	<p> </p>	<p> </p>

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОБ61	Пирожкову Алексею Владимировичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭФ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02 «Физика»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Оклады в соответствии с окладами «НИ ТПУ»
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- 30% премии - 20% надбавки - 16% накладные расходы - 30% районный коэффициент - Тариф на промышленную электроэнергию 5,8 рублей за 1 кВт
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)	Анализ конкурентоспособности технического решения с позиции ресурсоэффективности SWOT – анализ для выделения сильных и слабых сторон проекта
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	- Диаграмма Ганта - структура работ в рамках научного исследования; - разработка графика проведения научного исследования; - бюджет научно-технического исследования.
3. Оценка ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности научного исследования	Расчет и оценка финансовой эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности научного исследования
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Основные показатели эффективности научного исследования

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	К.Э.Н.		10.03.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОБ61	Пирожков Алексей Владимирович		10.03.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 0Б61	ФИО Пирожков Алексей Владимирович
----------------	--------------------------------------

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЭФ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02 / «Физика»

Тема ВКР:

Влияние параметров искрового плазменного спекания на структурно-фазовое состояние керамических композитов на основе МАХ – фаз, полученных из прекерамической бумаги

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	<i>Композиционные материалы на основе прекерамической бумаги. Рабочее место – лаборатория. Эксперименты проводятся на дифрактометре «Shimadzu XRD 7000S» с вакуумной камерой.</i>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<ul style="list-style-type: none"> – 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. 	<ul style="list-style-type: none"> – СН 2.2.4/2.1.8.562-96 – ГОСТ 12.4.318-2019 (ISO 4869-3:2007) – СанПин 2.2.4.548-96 – СанПин 2.2.1/2.1.1.1278–03 – СП 52.13330.2016 – ГОСТ 12.1.030 – 81
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные: отклонение показателей микроклимата, превышение уровня шума, недостаточная освещённость рабочей зоны</p> <p>Опасные: опасность поражения током, вероятность возникновения пожара и взрыва газовых баллонов.</p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Отходы не являются токсичными.
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – к возможным ЧС относится угроза возникновения пожара и взрыв газовых баллонов; – к типичным ЧС относится пожар

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б61	Пирожков Алексей Владимирович		

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 03.03.02 «Физика»
 Уровень образования бакалавр
 Отделение школы (НОЦ) Экспериментальной физики
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020 г.
------------------------------------------	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2020	Аналитический обзор литературы	15
06.04.2020	Синтез композита из прекерамической бумаги	10
17.04.2020	Исследование фазового состава	10
20.04.2020	Исследование микроструктуры и механических свойств	10
30.04.2020	Анализ результатов	20
16.05.2020	Социальная ответственность	15
20.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
26.05.2020	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ	Сыртанов Максим Сергеевич	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ	Склярова Елена Александровна	Кандидат пед. наук, доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 95 с., 19 рис., 30 табл., 63 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: MAX – фаза, искровое плазменное спекание, прекерамическая бумага, Ti_3SiC_2 , композитные материалы, рентгенофазовый анализ, сканирующая электронная микроскопия, пористость.

Объектом исследования является (ются): Объектом исследования является композит на основе MAX – фазы Ti_3SiC_2 , полученный из прекерамической бумаги с использованием искрового плазменного спекания в диапазоне давлений от 20 до 50 МПа, а также в диапазоне температур от 1100°C до 1300°C.

Цель работы: целью данной работы является оценка влияния параметров искрового плазменного спекания на структурно-фазовое состояние керамических композитов на основе MAX – фаз, полученных из прекерамической бумаги.

В процессе исследования проводились: синтез прекерамической бумаги, искровое плазменное спекание MAX – фазы Ti_3SiC_2 , рентгенофазовый анализ, сканирующая, электронная микроскопия, гидростатическое взвешивание.

В результате исследования: получены данные, что при температуре 1100°C давление почти не влияет на фазовый состав композита. Однако при увеличении температуры фаза Ti_3SiC_2 , начинает разлагаться, что приводит к увеличению количества фазы TiC. Данное явление негативно сказывается на механических свойствах материала. Повышение температуры и давления увеличивают плотность материала и снижают его пористость.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: оптимальная плотность композита полученного при 1200°C составляет 4,04 г / см³.

Степень внедрения: на данный момент работа планируется в качестве публикации

Область применения: в ядерной отрасли. Высокая термическая стабильность и высокое сопротивление тепловому удару подходит для областей материаловедения, где материал находится под действием высоких температур. Электроника.

Экономическая эффективность/значимость работы: данная работа экономически эффективна, так как позволяет производить композиты с более высокими физико – механическими свойствами по сравнению с методами, которые используют в качестве исходного сырья порошки. Также метод позволяет создавать детали сложной геометрической формы.

В будущем планируется: продолжить исследование изменения фазового состава и микроструктуры композита.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	14
Глава 1. Литературный обзор	16
1.1. Характеристика керамических композитов на основе МАХ – фаз	16
1.2. Свойства керамических материалов на основе МАХ – фазы	22
1.2.1. Электропроводность.....	22
1.2.2. Механические свойства.....	27
1.2.3. Термическая стабильность и разложение МАХ - фаз.....	28
Глава 2. Методы получения МАХ – фаз	30
2.1. Методы горячего прессования	30
2.2. Метод искрового плазменного спекания.....	32
2.3. Самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.....	32
Глава 3. Материалы и методы исследования	34
3.1. Получение прекерамической бумаги на основе Ti_3SiC_2	34
3.2. Получение композитов на основе Ti_3SiC_2	35
3.3. Рентгеноструктурный анализ	36
3.4. Сканирующая электронная микроскопия	40
Глава 4. Результаты исследования	42
4.1. Фазовый состав и параметры кристаллических решеток.....	42
4.2. Микроструктура и элементный состав.....	45
4.3. Плотность и пористость	50
Глава 5. Социальная ответственность	52
Введение	52
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ..	53

5.2. Производственная безопасность	53
5.2.1. Превышены уровни шума	55
5.2.2. Отклонение показателей микроклимата.....	57
5.2.3. Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	59
5.2.4. Опасность электрического тока	60
5.3. Экологическая безопасность	61
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	63
5.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникать в лаборатории при проведении научных исследований	63
5.4.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС.....	63
Выводы по разделу	65
Глава 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	66
6.1. Потенциальные потребители результата исследования	67
6.2. Анализ конкурентных технических решений.....	67
6.3. SWOT – анализ.....	69
6.4. Организация и планирование научного исследования	74
6.4.1. Определение трудоемкости выполнения работ.....	76
6.4.2. Разработка графика проведения научного исследования.....	78
6.5. Расчет материальных затрат НИИ.....	80
6.5.1. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	80
6.5.2. Основная заработная плата исполнителей.....	81
6.5.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	82

6.5.4. Накладные расходы	82
6.5.5. Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта	83
6.6. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	84
6.7. Выводы по главе «Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	86
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	88
Приложение А	94

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире идет активное производство композитных материалов. Эти материалы, способные сочетать в себе свойства и керамик, и металлов применяются в передовых областях производства. Благодаря своей внутренней структуре они способны сочетать в себе высокую электро- и теплопроводность, низкую плотность, а следовательно, и маленький вес, при этом сохраняя высокие механические характеристики. Более того отмечается возможность использования указанных композитов в качестве потенциального материала для ядерной энергетики [1]. В связи с этим создание новых композитов и модификация уже имеющихся является перспективной областью современного материаловедения. Композит на основе Ti_3SiC_2 относится к классу тугоплавких слоистых соединений, не содержащих кислород. Он обладает высокой прочностью, трещиностойкостью, высоким сопротивлением термическому удару, а также стойкостью к агрессивным химическим средам. К этому списку достоинств можно добавить хорошую проводимость, что позволяет рассматривать данный композит в качестве материала для сложнопрофильных устройств в области электротехники и использования в условиях высоких температур. Однако создание такого композита связано с проблемами, вызванными образованием примесных фаз, которые негативно сказываются на свойствах материала.

Существует множество методов синтеза композитов на основе МАХ-фаз. Одним из наиболее перспективных методов является метод искрового плазменного спекания (ИПС) за счет высокой скорости синтеза и возможности управления параметрами спекания. В последнее время привлекательным является использование в качестве исходного сырья для получения композитов на основе Ti_3SiC_2 прекерамическую бумагу. Прекерамическая бумага представляет из себя керамический порошок

Ti_3SiC_2 , частицы которого связаны между собой органическим связующим. Одним из важных преимуществ метода получения композита на основе Ti_3SiC_2 из прекерамической бумаги методом ИПС является возможность производство деталей сложных форм и геометрии.

Данная выпускная квалификационная работа посвящена синтезу композита на основе Ti_3SiC_2 из прекерамической бумаги и изучения влияния параметров искрового плазменного спекания на физико-механические свойства полученного соединения.

Таким образом, целью данной работы является оценка влияния параметров искрового плазменного спекания на структурно-фазовое состояние керамических композитов на основе МАХ – фаз, полученных из прекерамической бумаги.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующий ряд задач:

- Синтезировать композиционный материал на основе МАХ – фазы Ti_3SiC_2 методом искрового плазменного спекания, используя прекерамическую бумагу в качестве исходного сырья;
- Оценить влияние параметров искрового плазменного спекания на структурно-фазовое состояние полученных композитов;
- Установить изменение физико-механических свойств в зависимости от параметров спекания;

Глава 1. Литературный обзор

1.1. Характеристика керамических композитов на основе МАХ-фаз

В начале работы необходимо рассмотреть кристаллическую структуру и химический состав существующих МАХ – фаз, так как это является ключевым понятием в данной работе. Фазы $M_{n+1}AX_n$ представляет из себя тройные соединения, состоящие из слоев, где М – переходный металл, А – один из металлов групп IIIA и IVA периодической таблицы, а Х – либо азот, либо углерод, а $n = 1, 2$ или 3 . На основании химической формулы подобные соединения получили название МАХ – фазы. Данные фазы кристаллизуются в гексагональной системе, пространственная группа $R63/ mmc$. Данная структура состоит из октаэдров $M6X$, которые разделены слоями металлов А (группы IIIA и IVA). Подобная структура сочетает в себе сильные ковалентные связи переходного металла М и элемента Х, а также слабые связи между тем же металлом и элементом А. На сегодняшний день известно 155 МАХ – фаз [2], которые могут быть классифицированы по n , на несколько категорий. Наиболее распространенные МАХ – фазы представлены в таблице 1, а их элементарные ячейки представлены на рисунке 1

Таблица 1 – Типовые соединения МАХ – фазы

Значение n	Обозначение соединения	Химическая формула
1	«211 s»	M_2AX
2	«312 s»	M_3AX_2
3	«413 s»	M_4AX_3

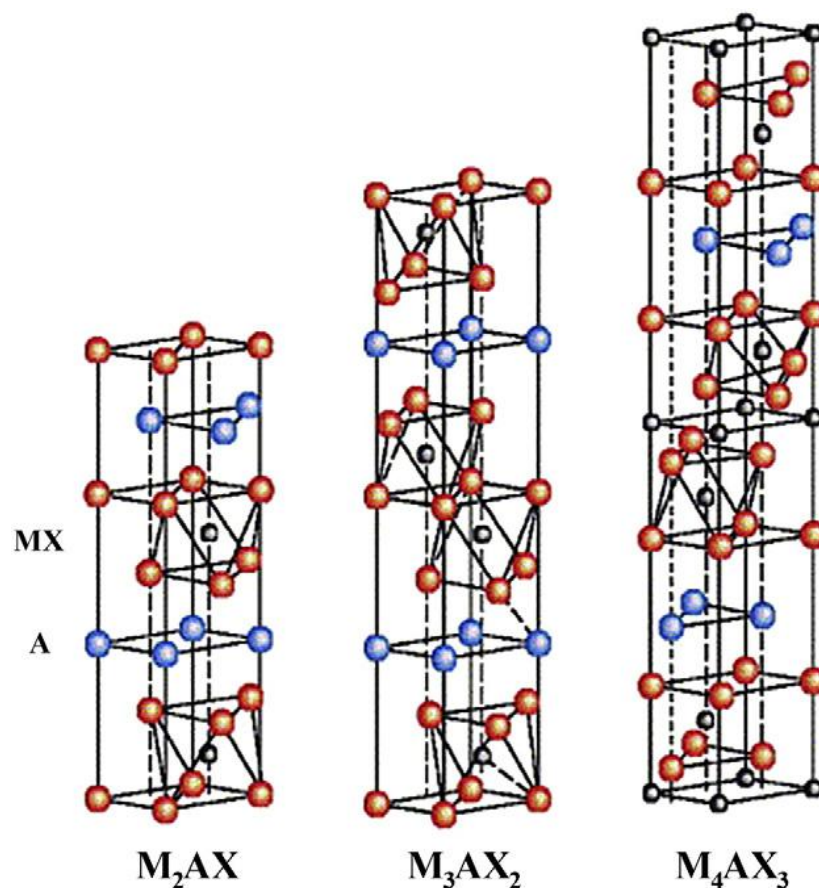


Рисунок 1 – Элементарные ячейки фаз 211, 312 и 413[3]

В каждой из ячеек плотно упакованные слои М чередуются со слоями чистого элемента А. Атомы Х элементов сначала заполняют октаэдрические поры. Элементы группы А расположены в центре тригональных призм, которые больше, чем октаэдрические позиции и, следовательно, лучше способны вместить более крупные атомы. Основным различием между фазами является количество слоев переходного металла, которые продемонстрированы на рисунке 2. Октаэдрический строительный блок M_6X с разделением краев в фазах MAX такой же, как и в бинарных карбидах и нитридах, имеющих формулу MX. В структурах 312 и 413 MAX – фаз есть два разных М – положения: соседние с А и нет. Эти положения упоминаются как М (1) и М (2), соответственно. В структуре 413 также есть два неэквивалентных положения Х, Х (1) и Х (2). В фазах MAX слои MX сдвоены по отношению друг к другу и разделены слоем А, который действует как зеркальная плоскость.

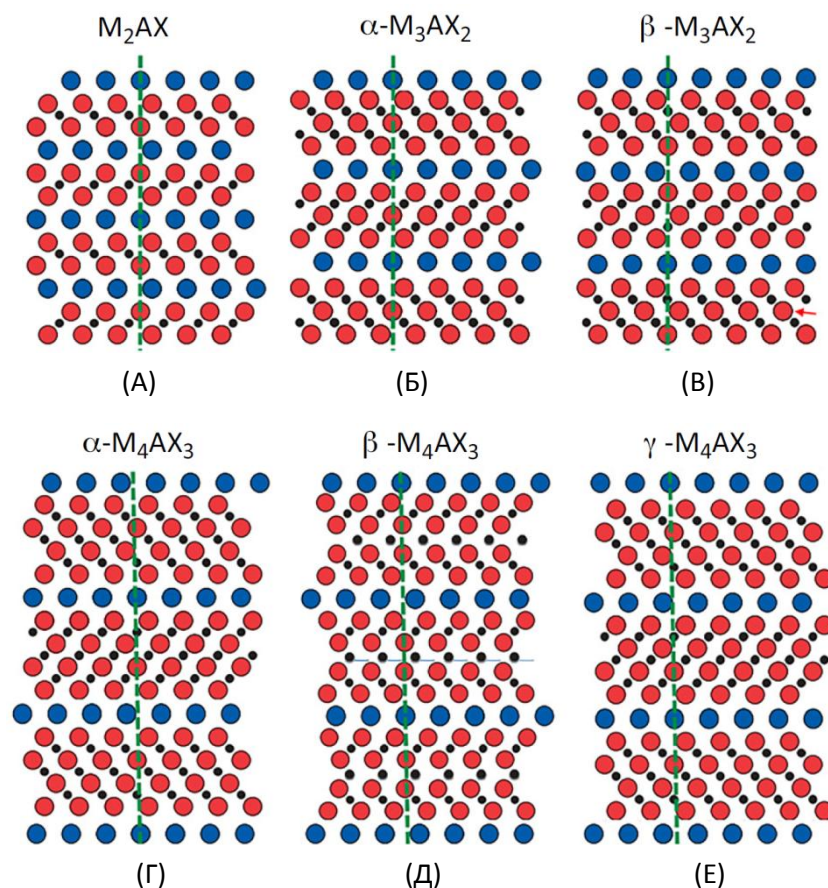


Рисунок 2 – Кристаллические структуры различных максимальных фаз. Кристаллическая структура в плоскости $(11\bar{2}0)$ для случаев: (А) M_2AX ; (Б) α - M_3AX_2 ; (В) β - M_3AX_2 ; (Г) α - M_4AX_3 ; (Д) β - M_4AX_3 ; (Е) γ - M_4AX_3 . Пунктирные линии обозначают порядок укладки слоев в соединениях [2]

Керамические свойства придают материалу небольшой вес, жесткость, а также высокую химическую устойчивость к окислительным процессам. Металлические свойства проявляются пластичность при высоких температурах, устойчивость к тепловым ударам, а также теплопроводность и электропроводность. К ряду преимуществ можно отнести также относительную простоту обработки данных соединений, которая была достигнута благодаря уникальным свойствам.

Ранее перечисленные свойства относились ко всем соединениям на основе MAX – фазы. Однако, некоторые характерные особенности позволяют провести условную классификацию. К первому множеству относятся соединения Ti_3AlC_2 , Ti_2AlC и Cr_2AlC , которые обладают высокой

жесткостью и легким весом. Плотности данных соединения располагаются в диапазоне от 4 до 5 г/см³, а модули Юнга в пределах 300 ГПа. Удельные значения жесткости соединений значительно выше, чем у титана.

Первым полностью описанная МАХ – фаза была получена на основе композитного материала Ti₃SiC₂, полученной при 1600°С [4]. Данное соединение показало высокое сопротивление усталостному напряжению при показателях вязкости в пределах от 10 до 15 МПа*м^{0,5}, в зависимости от микроструктуры [5,6]. Несмотря на высокие механические характеристики, данный материал не получил распространения в областях связанных с высокими температурными соединениями. В этой области наиболее перспективным оказались материалы, содержащие МАХ – фазы на основе Al (Ti₂AlC и Cr₂AlC). Решающим преимуществом этих композитов оказалась высокая сопротивляемость окислению до 1400°С. Это связано с образованием слоев оксида алюминия (Al₂O₃), которые препятствует окислению [7]. Другим важным преимуществом Ti₂AlC оказался коэффициент теплового расширения (8,2*10⁻⁶/°С)[8], что по характеристикам близко к коэффициенту теплового расширения α - Al₂O₃ (9,3*10⁻⁶/°С)[7].

Свойства соединения Ti₃AlC₂ рассмотрены в статье [9] проводилось исследование в целях изучения влияния микроструктуры на стойкость к окислению образцов. Для этого были произведены образцы мелкозернистого и крупнозернистого композитного соединения. Следует отметить, что для изготовления каждого вида из соединения применялись различные методы. Для крупнозернистого применялся метод горячего изостатического прессования (ГИП), а для производства мелкозернистого применяли метод искрового спекания (ИПС). Параметры обоих методов представлены в таблице 2

Таблица 2 – Параметры порошков Ti_3AlC_2

Параметр	ИПС	ГИП
Температура спекания, °C	1450	1450
Время спекания,ч	2	2
Давление уплотнения порошка, МПа	30-75	50
Время уплотнения,мин	2-20	60

Данная работа была направлена на изучение способности сопротивлению окислению образцов за счет изменения размеров зерна. Но наибольший интерес, в контексте данной работы, представляет динамика изменения МАХ – фазы при изменении параметров искрового спекания, которые представлены в таблице 3

Таблица 3 – Влияние параметров искрового спекания на материал

ИПС параметры	Al_2O_3 и поры, об.%	TiC , об.%	Ti_xAl_y , об.%	Пористость, об.%
1315 ⁰ C/75МПа/2мин Содержание Al: 1,05	2,5 – 4,1	0,3-0,4	0,02 – 0,99	0,5 -1,5
1330 ⁰ C/60МПа/5мин Содержание Al: 1,05	3,5	0,04	0,26	1,4 – 7,9
1330 ⁰ C/30МПа/7мин Содержание Al: 1,05	6,1	0,2	0,57	7,1 – 7,5
1330 ⁰ C/60МПа/5мин Содержание Al: 1,00	1,4	1,0	0,61	1,4 – 5,2

Как можно видеть из таблицы 3 уменьшение давления приводит к увеличению пористости материала, а также к увеличению фазы Ti_xAl_y . Увеличение пористости материала приводило к тому, что в нем легче образовываться фазам TiO_2 , которые затормаживают развитие оксидной пленки и приводят к снижению сопротивлению окислению образцов.

Соединение Ti_2AlC считается наиболее часто используемой МАХ – фазой при высоких температурах за счет хороших механических свойств, а также хорошей устойчивости к окислению. В статье [10], которая посвящена изучению данного соединения высокую сопротивляемость окислению объясняют образованием слоя $\alpha-Al_2O_3$ на поверхности при $1000^\circ C$. Прочная адгезия слоя Al_2O_3 позволяет хорошо защитить подложку Ti_2AlC против окисления. Адгезионная прочность подложки и оксидный слой значительно больше, чем адгезия оксида алюминия к другим субстратам. Это превосходное сопротивление оксидного слоя может быть связано с близкими значениями коэффициента теплового расширения и плотности Al_2O_3 и Ti_2AlC , который делает его, нелегко отделить от подложки. Однако, при повышении температуры выше $1400^\circ C$, в оксидном слое обнаруживается фаза Al_2TiO_5 , которая приводит к образованию трещин в оксидном слое. Это приводит к его разрушению и последующему окислению образца. Изменение фазового состава продемонстрировано на рисунке 3.

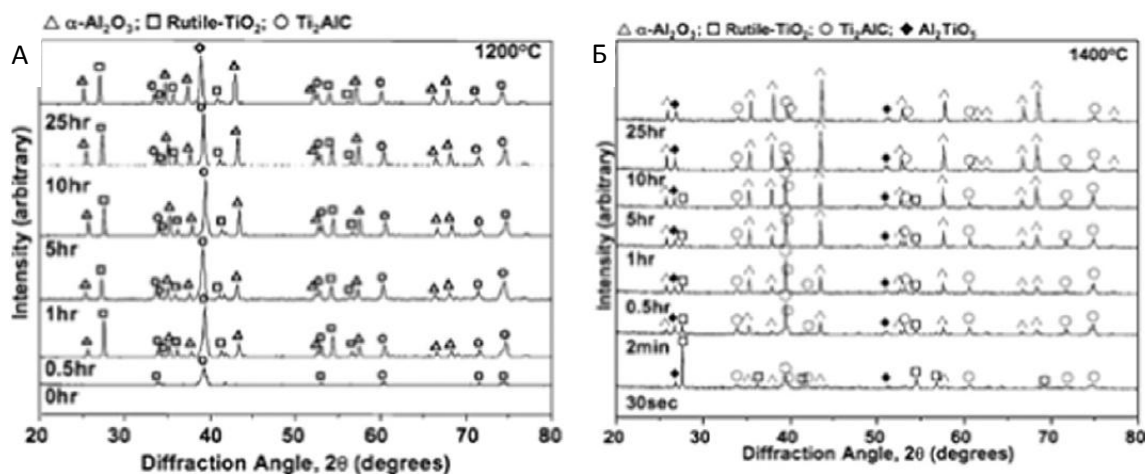


Рисунок 3 – Рентгенограммы на оксидной шкале, сформированной на Ti_2AlC , в зависимости от времени изотермического окисления при (А) $1200^\circ C$ и (Б) $1400^\circ C$ [10]

Вторым классом соединений являются композиты Ta_4AlC_3 и Ti_4AlN_3 . В работе [11] синтезировали соединения Ta_4AlC_3 путем горячего прессования, а также искрового плазменного спекания. В качестве исходных порошковых смесей использовали $Ta_2H/Al/C$. Для достижения высокой

фазовой частоты α фазы Ta_4AlC_3 необходимо было провести измельчение исходного порошка до размеров менее 10 мкм. В случае использования метода горячего прессования при 1500°C или при 1600°C при 30 МПа образуется чистая фаза α - Ta_4AlC_3 . Образец Ta_4AlC_3 с самой высокой фазовой чистотой был получен методом горячего прессования (ГП) при 1500°C и имел следующие свойства, представленные в таблице 4

Таблица 4 – Механические характеристики соединения Ta_4AlC_3

Параметр	Значение
Прочность на изгиб	407 ± 50 МПа
Ударная вязкость	SEVNB: 5 ± 0,6 МПа · м ^{1/2}
Модуль Юнга	модуль Юнга: 248 ± 27 ГПа
Твердость по Виккерсу	VH30: 6,1 ± 0,4 ГПа

Как можно видеть из таблицы данный композит демонстрирует механические свойства схожие со свойствами металлов, а иногда даже и превосходят их.

В работе [12] проводилось исследование термического разложения соединения Ti_4AlN_3 в динамической среде высокого вакуума при температуре выше 1400°C. Результатом исследования стало обнаружение образующегося слоя TiN_x ($0,5 \leq x \leq 0,75$) на поверхности образца. В результате исследования было выявлено, что разложение было ограничено диффузионным процессом, предположительно алюминия из объема образца до его поверхности.

1.2. Свойства керамических материалов на основе МАХ-фаз

1.2.1. Электропроводность

Для простейшей качественной картины электропроводности в МАХ-фазах рассмотрим пример систем $Ti - A - C$. Бинарный карбид TiC , как и другие карбиды переходных металлов, представляет собой типичную

керамику с преимущественно ковалентной связью. Механизм электронного транспорта, тем не менее, представляет собой механизм металла, то есть электрический заряд переносится посредством электронов проводимости. Концентрация электронов проводимости низкая, а удельное сопротивление TiC относительно высокое, около 200 мкОм см, в зависимости от состава. Если слои А вставляются для формирования структуры MAX, удельное электрическое сопротивление уменьшается на порядок величины. Разницу в проводимости можно объяснить наличием Si или Ge, который ослабляет связи Ti (1) –C и, таким образом, увеличивает относительную прочность металлических связей Ti (1) –Ti (1) в базисных плоскостях. Следовательно, получается материал с более сильным металлическим характером и, следовательно, более высокой проводимостью, чем у TiC. Согласно этому рассуждению, чем больше слоев А вставлено в структуру MAX, тем выше проводимость. Этот аргумент подтверждается данными из систем Ti– (Si, Ge) –C; Ti₂GeC является лучшим проводником, чем Ti₃SiC₂ и Ti₃GeC₂, которые, в свою очередь, являются лучшими проводниками, чем Ti₄SiC₃. Эта интуитивная картина электропроводности в MAX - фазах полезна. Однако во многих аспектах он слишком упрощен, поскольку он явно противоречит нитридам: в отличие от TiC, бинарный нитрид TiN является лучшим проводником, чем любая MAX-фаза. Ti₂AlN является достаточно хорошим проводником, а Ti₄AlN₃ - полуметаллом. Интуитивное рассуждение также противоречит тому факту, что, например, Ti₃AlC₂ и Ti₂AlC имеют почти равные проводимости.

Поэтому первым шагом к пониманию электрических свойств MAX-фаз является изучение их зонной структуры. Показатель проводимости материала определяется плотностью состояний на уровне Ферми, поскольку в модели свободных электронов концентрация электронов пропорциональна плотности состояний (E_f). В свою очередь, проводимость пропорциональна концентрации электронов, умноженной на подвижность электронов. Таким образом, материал с высокой плотностью состояний (E_f) должен быть

хорошим проводником. Для сравнения, для изолятора плотность состояний (E_f) равен нулю, поскольку уровень Ферми находится внутри запрещенной зоны. Чтобы вернуться к примеру TiC , плотность состояний (E_f) составляет $\sim 0,08$ состояний / (эВ*ячейка). Для сравнения, расчеты DFT дают значения плотности состояний (E_f) 4,38 состояний / (эВ*ячейка) для Ti_3SiC_2 , 4,65 состояний / (эВ*ячейка) для Ti_3GeC_2 [13] и 4,07 состояний / (эВ*ячейка) для Ti_3SnC_2 [14]. Эти данные соответствуют измеренным значениям электропроводности и упрощенной картине, приведенной выше. Однако по причинам, обсуждаемым ниже, аргумент о том, что МАХ-фазы с более высокой плотностью состояний (E_f) должны быть лучшими проводниками, неверен.

Тем не менее, этот тип расчета очень полезен, потому что он предоставляет информацию не только об абсолютных значениях плотности состояний, но и о том, какие состояния способствуют увеличению плотности (E_f) и электропроводности. В большинстве фаз МАХ проводимость осуществляется преимущественно или почти исключительно через состояния M_d . Это лучше всего понять из примеров систем $Ti_3 (Si, Ge, Sn, Al) C_2$. На рис. 3 показана расчетная полная и парциальная плотность состояний для Ti_3AlC_2 и Ti_3SiC_2 , адаптированная из работы. [13].

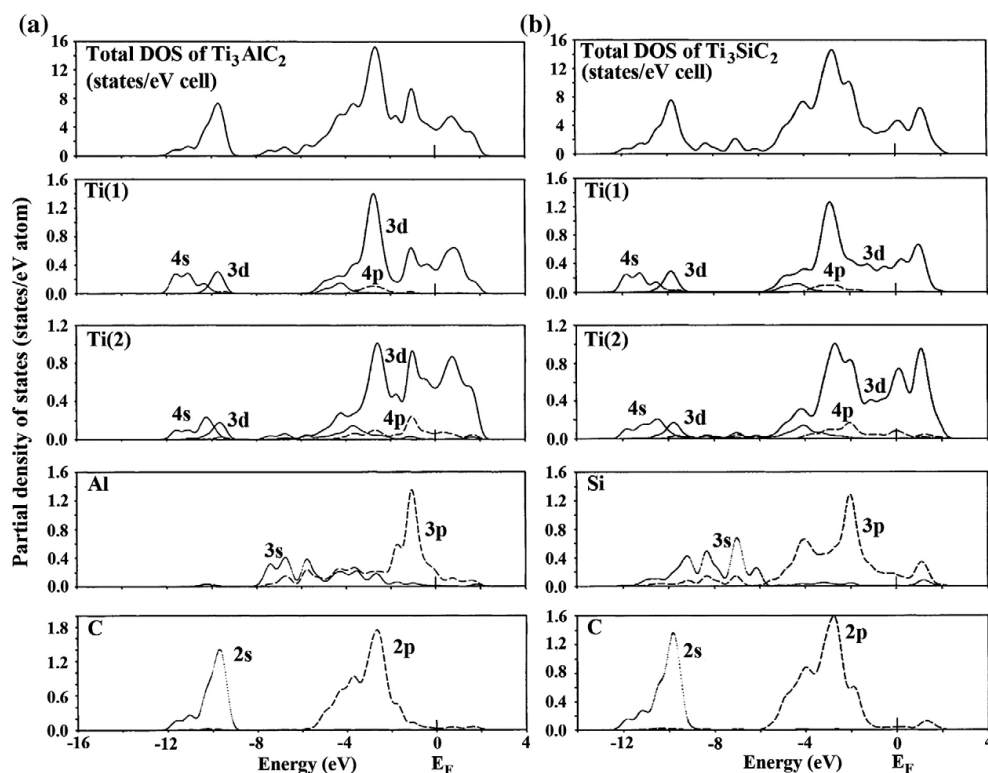


Рисунок 4 – Рассчитанные плотности состояний (DOS) и парциальная плотность состояний (PDOS), связанных с атомами Ti (1), Ti (2), Al или Si и C в (a) Ti_3AlC_2 и (b) Ti_3SiC_2 [13].

Плотности состояний для этих двух фаз очень похожи друг на друга. Доминирующий вклад в плотность состояний (E_f) вносят Ti 3d-электроны. Однако наблюдается одно ключевое отличие: для Ti_3AlC_2 плотность состояний (E_f) составляет 3,72 состояния/(эВ*ячейка) и соответствует локальному минимуму плотности состояний, тогда как для Ti_3SiC_2 плотность состояний (E_f) составляет 4,38 состояния/(эВ*ячейка) и соответствует до локального максимума в плотности состояний. Локальный максимум в плотности состояний на уровне Ферми в первом приближении часто коррелирует со степенью структурной неустойчивости [15], поскольку провал соответствует разделению между связывающим и антисвязывающим состояниями. Это приближение кажется слишком упрощенным, чтобы быть полностью действительным для фаз MAX, поскольку оно не согласуется с фактом стабильности Ti_3SiC_2 .

Локальный максимум на уровне Ферми, наблюдаемый для Ti_3SiC_2 и Ti_3GeC_2 , в частности, соответствует локальному максимуму плотности 3d-

состояний Ti (2). Такой максимум не наблюдается для Ti_3AlC_2 . Плотность состояний для Ti_3GeC_2 практически идентична плотности Ti_3SiC_2 , хотя с немного большим значением плотности состояний (E_f), 4,65 состояний / (эВ*ячейка) [13]. Эти предсказания согласуются с экспериментальными данными исследований методом мягкой рентгеновской эмиссионной спектроскопии пленок Ti_3AlC_2 , Ti_3SiC_2 и Ti_3GeC_2 [16]. Теоретические результаты показывают, что, хотя Ti-состояния Ti дают основной вклад в плотность состояний (E_f), элемент A влияет на плотность состояний (E_f) посредством смешивания между Ti 3d и A p-состояниями. Кроме того, разница в конфигурации валентных электронов между элементами A в группах 13 (Al) и 14 (Si, Ge) соответственно важна, в то время как разница ограничена для элементов A в пределах одной группы.

После этого обсуждения систем Ti_3AC_2 , давайте теперь продолжим с фазами Ti_2AC . Для всех этих фаз энергия Ферми находится в локальном минимуме между гибридом Ti d-A p и незаполненной полосой Ti d; увеличение плотности состояний (E_f) происходит из-за того, что заполнение p-зоны увеличивается с ростом концентрации валентных электронов (т.е. перемещение вправо в периодической таблице).

По всем этим причинам понимание электрических свойств фаз MAX является одной из наиболее важных и трудных исследовательских задач в этой области. С экспериментальной стороны необходимо надежное определение анизотропии проводимости. Как правило, прямое измерение проводимости вдоль различных ориентаций кристаллов требует достаточно больших объемных монокристаллов. Пока такие кристаллы MAX-фазы не будут доступны, требуются косвенные подходы, например локальные измерения спектроскопии характеристических потерь энергий электронов для отдельных зерен, ориентированных в различных кристаллографических ориентациях. Первоначальный подход к выводу об анизотропии электрических свойств путем сравнения транспортных данных для монокристаллических эпитаксиальных пленок с соответствующими

объемными МАХ – фазами [17,18] недостаточен без подробной информации о неосновных фазах, дефектах, и примеси (как в [18]). Следовательно, необходим улучшенный экспериментальный контроль дефектов (вакансий и атомов замещения). Одним из примеров является недавняя работа Scabarozzi et al. [19], которые сравнивали образцы Ti_2AlN с небольшими изменениями содержания N. Другим важным вкладом будет синтез эпитаксиальных тонких пленок с другой ориентацией вне плоскости, чем [0001]. Это могло бы позволить прямое измерение анизотропии в проводимости. С теоретической стороны важны расчеты для выяснения роли примесей и вакансий в плотности состояний [20].

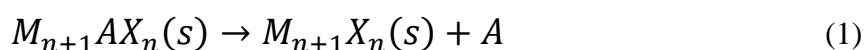
1.2.2. Механические свойства

Механические свойства объемных МАХ-фаз ранее были рассмотрены Barsoum и Zhang et al. [21]. Таким образом, заявленные механические свойства фаз МАХ замечательны: полностью обратимая деформация на основе дислокации и высокая удельная жесткость вместе с высокой обрабатываемостью. Фазы МАХ деформируются путем сочетания образования изломов и полос сдвига, а также расслоения внутри зерен. Объемный Ti_3SiC_2 представляет собой необычайно прочную керамику даже при комнатной температуре, поскольку микротрещины, расслоение, отклонение трещин, выталкивание зерна, вытягивание зерна и выпучивание отдельные зерна действуют как механизмы поглощения энергии во время деформация [22,23]. Такое поведение обусловлено анизотропной структурой, которая делает дислокации базальной плоскости подвижными при комнатной температуре, обеспечивая способность формировать полосы излома при приложенной нагрузке [24]. Деформационное образование изломов наблюдалось в исследованиях сжатия объемного Ti_3SiC_2 [25]. Неудивительно, что Ti_3SiC_2 подвержен образованию полос излома; излом предсказывается в гексагональных кристаллах с отношением c/a ,

превышающим 1,732 Согласно Barsoum и др., Моды деформации, наблюдаемые в Ti_3SiC_2 , а именно сдвиг, изгиб, изгиб и расслоение, могут быть объяснены генерация и скольжение дислокаций вдоль базисных плоскостей без активации дополнительных неосновных систем скольжения. На основании косвенных данных (кривые гистерезиса, наблюдаемые при наноиндентировании), и др. также предложили обратимое образование и аннигиляцию зарождающихся полос излома (ИКБ) при комнатной температуре.

1.2.3. Термическая стабильность и разложение МАХ – фаз

Термическая стабильность объемных МАХ-фаз была ранее рассмотрена Barsoum [26] , а также в обзоре Zhang et al. [21], посвященному соединению Ti_3SiC_2 . Данный раздел посвящено общим принципам разложения и термической стабильности МАХ – фаз. Рассмотрим плавление объемной МАХ – фазы. Следует отметить, что плавление происходит не конгруэнтно, что означает разницу между исходной твердой фазой и получившейся жидкостью. Плавление МАХ – фазы происходит по формуле (1):



Примером разложения МАХ-фаз может служить Ti_3SiC_2 . В Ti_3SiC_2 слои TiC (111) чередуются между листами Si . Слои Ti_3C_2 спарены друг с другом, разделены слоем Si , выступающим в качестве зеркальной плоскости. Удаление плоскости Si создает систему двойникования $TiC_{0.67}$. Механизм двойникования к обычному TiC возникает в результате вращения слоя Ti_3C_2 . Таким образом, разложение МАХ – фазы инициируется потерей элемента A . Указанные температуры разложения варьируются в широких пределах: от $850^\circ C$ для объемного Cr_2GaN [27] до $1800^\circ C$ [28,29]. В работе [30], посвященной изучению Ti_3SiC_2 приводится температура выше $2300^\circ C$.

Осложняющим фактором является то, что температура разложения сильно зависит от окружающей среды и примесей. Например, утверждение о том, что объемный Ti_3SiC_2 является термически стабильным при температуре выше $1800^{\circ}C$, справедливо для Ti_3SiC_2 достаточной чистоты в окружающем воздухе. Температура разложения ниже, чем указано выше, если для увеличения сегрегации Si предусмотрена движущая сила. Было показано, что это происходит в результате науглероживания [31] или погружения в расплавленный криолит [32] или расплавленный Al [33]. Кроме того, Zhou et al. [34] сообщили, что Ti_3SiC_2 разлагается в присутствии Cu при температуре выше $900^{\circ}C$. В зависимости от температуры и количества Cu образуются продукты Cu (Si) (твердый раствор Si в Cu), TiC, Cu_5Si и $Cu_{15}Si_4$. Ценов и Барсум [35] сообщили, что только 1 ат.% Примесей Fe и V в горячем изостатическом прессованном Ti_3SiC_2 приводят к высокопористой структуре, которая снижает температуру разложения ниже $1600^{\circ}C$. Racault et al. [36] обнаружили, что поликристаллический объемный материал Ti_3SiC_2 разлагается при $1300^{\circ}C$ в вакууме, вызванном химической реакцией между Si и окружающим C тиглем. Глиноземный тигель в атмосфере Ar 100 кПа повышает температуру разложения до $1450^{\circ}C$ [36]. Основной вывод, который можно сделать из этих результатов, заключается в том, что температура разложения зависит от окружающей среды. Высокая термическая стабильность и стойкость к окислению, которые были изучены для объемных МАХ – фаз соединений Ti_2AlC и Ti_3AlC_2 , обусловлена образованием защитной плотной оксидного слоя Al_2O_3 [37].

Глава 2. Методы получения МАХ – фаз

В большинстве случаев для получения керамики с МАХ – фазой используют метод реактивного спекания исходных элементарных порошков в печи [38]. Такой метод является наиболее простым для выполнения, но также приносит множество трудностей, связанных с образованием интерметаллидов и бинарных карбидных фаз, что влияет на чистоту необходимых фаз, а следовательно и на физические характеристики. В предыдущих работах небольшие монокристаллы Ta_3AlC_2 и Ta_4AlC_3 были выращены методом расплавленного металла [39]. Однако для производства объемной поликристаллической керамики МАХ-фазы обычно используют металлургические пути, которые включают уплотнение под давлением методы, такие как горячее прессование (ГП) или спекание в искровой плазме (ИПС). ИПС полагается на местное прямое объемное нагревание по закону Джоуля-Ленца, управляемое электрическим током через порошковый компакт, в отличие от ГП, который использует внешний источник тепла [39]. ИПС предпочтительнее ГП из-за его прямого объемного нагрева, высоких скоростей нагрева и меньшей энергии. Рассмотрим наиболее подробно каждый из возможных методов.

2.1. Методы горячего прессования

Горячее прессование (ГП) заключается в сжатие порошков, положенных в специальную пресс-форму, под действием высокой температуры. Высокая температура в данном методе необходима для уменьшения давления необходимого для сжатия порошка. Уплотнение в данном случае достигается за счет двух факторов – деформации молекул внешними силами и собственной подвижностью атомов, вызванных высокими температурами. Основной установкой данного метода является гидравлический пресс. Порошок засыпается в специальные пресс – формы.

Для температур ниже 1000 С° используются жаропрочные сплавы, а для температур выше пресс – формы из графита. Необходимо отметить, что методы горячего прессования различаются по способу нагрева пресс – формы. Основными из них являются:

- Метод нагрева за счет внешних источников
- Метод нагрева за счет пропускания тока через пресс форму или непосредственно сам порошок
- Метод индукционного высокочастотного нагрева

Однако простота метода также приносит и недостатки, а именно невысокую производительность и требования производства недолговечных пресс – форм. Также следует отметить невысокую скорость нагрева, что не позволит получить определенные типы композитных материалов. Пример установки изображен на рисунке 5



Рисунок 5 – Гидравлический пресс для горячего прессования

2.2. Метод искрового плазменного спекания

Метод искрового плазменного спекания (ИПС) является модификацией метода горячего прессования. Нагрев в данном методе происходит за счет протекающего через пресс – форму электрического тока, вызванного искровым разрядом. Высокая скорость позволяет подавить рост зерна и получить равновесное состояние, что открывает возможности для создания новых материалов с ранее недоступными композициями и свойствами, материалов с субмикронным или наномасштабным зерном, а также композитных материалов с уникальными или необычными композициями. В дальнейшем будет продемонстрировано влияние параметров спекания (давления и температуры) на свойства полученного композита.



Рисунок 6 – Схематичное изображение установки для метода искрового плазменного спекания

2.3. Метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза

Данный метод заключается в том, что не требует внешнего давления для проведения синтеза. Порошковую смесь (шихту) помещают в реактор и в газовой среде производят локальное инициирование процесса (зажигание).

Затем происходит самопроизвольное распространение волны горения, охватывающую всю смесь, завершение реакции и остывание синтезированного продукта.

Глава 3. Материалы и методы исследования

3.1. Получение прекерамической бумаги на основе Ti_3SiC_2

Прекерамические листы бумаги с керамическим наполнителем Ti_3SiC_2 были изготовлены с помощью бумагоделательной машины D7 (Sumet Systems GmbH, Денклинген, Германия), которая схематически показана на рисунке 7.

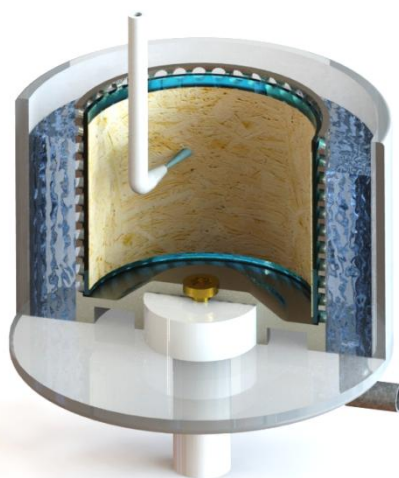


Рисунок 7 – Установка для создания прекерамической бумаги

Исходя из рисунка можно заметить, что внутри находится перфорированная вращающаяся проволока. Скорость вращения проволоки была доведена до 1000 об/мин. Для приготовления водной суспензии водопроводную воду (рН: 7,6, концентрация щелочноземельного металла: 2,9 ммоль/л) и смесь целлюлозы, содержащую 40 масс.% нерафинированной целлюлозы из мягкой древесины (средний диаметр: 22 мкм, средняя длина: 1665) μm ; Orion ECF, Zellstoff Pöls AG, Pöls, Австрия) и 60 мас.% нерафинированной целлюлозы из твердой древесины (средний диаметр: 15 мкм, средняя длина: 657 мкм; Celbi PP, Celulose Beira Industrial SA, Figueira da Foz, Португалия) были использованы. Концентрация волокон в водном растворе составляла 1,2 масс.%. Концентрация керамического наполнителя в прекерамических бумагах составляла 90 мас.%. Наполнитель добавляли с использованием раствора на водной основе с 50 масс.% воды. После

добавления сложного эфира анионного и катионного крахмала (Fibraffin A5 и Fibraffin K72, Südstärke GmbH, Schrobenuhausen, Германия) достигается удержание твердого вещества путем флокуляции в суспензии исходного сырья. Кроме того, производное полиакриламида (Percol 121L, BASF, Людвигсхафен, Германия) использовалось в качестве удерживающего средства. После обезвоживания бумажные листы размером $94 \times 25 \times 0,05 \text{ см}^3$ сушили при 110°C в течение 15 минут. Впоследствии высушенные листы предварительной керамики были каландрированы с помощью каландра с зазором (CA5 / 250-150-20, Sumet Systems GmbH, Денклинген, Германия) с максимальной нагрузкой 100 Н/мм при температуре 80°C и подачей бумаги. Состав листов представлен в таблице 5

Таблица 5 – Состав листов из прекерамической бумаги с 90 масс.% керамического наполнителя.

Компонент	Содержание, масс. %
Порошок	164,7
Волокна целлюлозы	13,35
Катионный крахмал	1,8
Анионный крахмал	1,8
Удерживающее средство	1.4

3.2. Получение композитов на основе Ti_3SiC_2

В данной работе получение композитов на основе Ti_3SiC_2 проводилось с помощью искрового плазменного спекания. Отличие заключалось в исходных материалах для изготовления. В работах, в качестве исходного материала применялись порошки. В данной работе исходным сырьем является прекерамическая бумага.

Бумага укладывалась в стопку из 12 слоев и имела диаметр 20 мм. Искровое плазменное спекание проводилось с помощью установки SPS25 (FCT Systeme GmbH, Германия). Упакованные образцы помещали между

двумя графитовыми пуансонами в графитовой форме. Графитовая фольга вводится в интерфейс пробойник/образец для обеспечения хорошего электрического контакта. Параметры искрового плазменного спекания представлены в таблице 6

Таблица 6 – Параметры спекания композитов на основе Ti_3SiC_2 .

Температура, °С	1100-1300
Время выдержки, мин	10
Давление, МПа	20-50
Атмосфера	Вакуум
Скорость нагрева, °С / мин	180

3.3. Рентгеноструктурный анализ

Рассмотрим разработанную еще в 1912 году схему установки Брэгга - Брентано, которая изображена на рисунке 9. За основу была взята длиннофокусная рентгеновская трубка. Перед ней расположены широкие щели. Их задача сделать пучок расходящимся. Это позволило изучать образцы, площадь которых могла составлять до 15x30 мм. Это накладывает определенные ограничения на сам образец- он должен иметь гладкую поверхность. Следующей частью устройства является гониометр, задача которого поворачивать закрепленный образец на определенный угол от первоначального пучка. Радиус гониометра представляет из себя расстояние от оси гониометра до фокуса. Щель S_{\perp} предназначена для того, чтобы регулировать расходимость сгенерированного пучка в экваториальной площади [40]. Благодаря этому стало возможно изменять освещаемую площадь поверхности образца. Щели $S_{=}$ и S_{sp} предназначены для ограничения аксиальной расходимости. S_{sp} являются щелями Соллера и представляют собой стопку вольфрамовых пластин. Лучи, попадающие в

устройство под углом гасится, таким образом угол расходимости становится равен(2):

$$\beta = \frac{360d}{\pi f}, \quad (2)$$

Где d – межплоскостное расстояние;

f – фокусное расстояние;

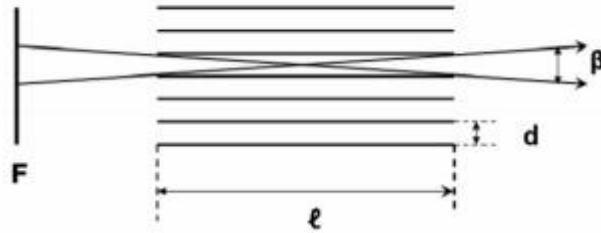


Рисунок 8 – Принцип действия щели Соллера [40]

На дифрагируемом пучке устанавливают вторую щель Соллера S_{sd} . За этим следует антирассеивающая щель S_a , задача которой устранять засветку детектора первичным пучком. За ней располагается приемная щель S_r и детектор.

Для изучения образцов на дифрактометрах схемы Брэга – Brentано, требуется выполнения ряда требований. Помимо ровной поверхности кристалла, требуется наличия достаточно большого количества мелких обломков кристалла вещества ($\sim 10^{15}$). Это связано с тем, что каждый из полученных рефлексов дифрактограммы связан с отражением пучка от группы кристаллов с одинаковой ориентацией, относительно изначального угла. Так как набор ориентаций ограничен и дискретен, то группы кристаллов с определенными ориентациями могут вовсе не попасть на дифрактограмму.

Съемка дифрактограммы производится согласно закону Вульфа – Брэггов (3):

$$2\Delta = 2d_{hkl} \sin \theta, \quad (3)$$

где: θ – угол скольжения падающих лучей;

d_{hkl} – межплоскостное расстояние;

Δ - разница хода лучей.

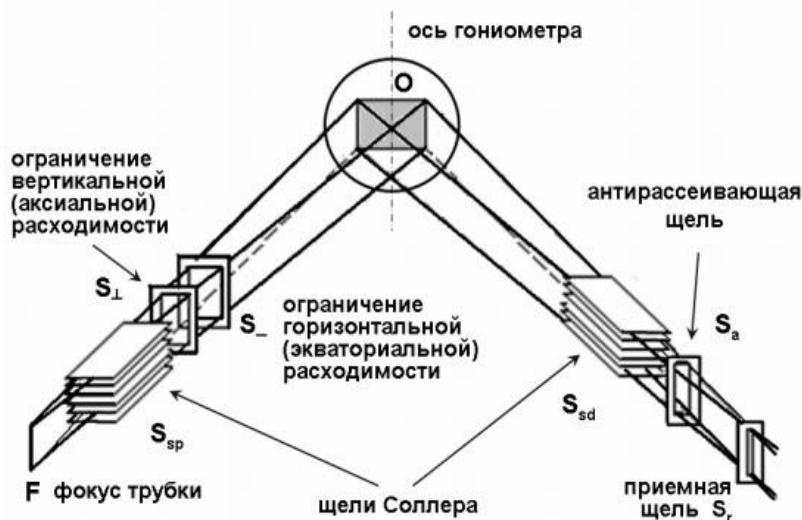


Рисунок 9 – Схема установки Брэгга-Брентано[40]

Полученные спектры поступают на персональный компьютер, оснащенный программным специальным обеспечением для их обработки. Изначально файлы снятых дифрактограмм имеют разрешения «.ORG» и «.RAW». Использую программу XRDХ, проводится конвертирование данных файлов в формат «.txt». Данный формат файла позволяет применять его с рядом программ в дальнейшем.

Следующим этапом обработки спектров является определение фазового состава исследуемого композита. Для определения наличия той или иной фазы применяется программа «Crystallographica - Search Match». Crystallographica-Search Match (CSM) - это программа поиска соответствия, которая будет использоваться вместе с базами данных PDF Международного центра дифракционных данных. Работа с данной программой происходит по следующему алгоритму.

1. Полученные данные загружаются в основную программу, по которым та строит дифрактограмму.

2. Происходит определение основных пиков на полученных дифрактограммах. Программное обеспечение позволяет убрать присутствующие шумы, которые возникали при записи.

3. После программных преобразований происходит анализ полученных рефлексов. Он осуществляется с помощью внутренней базы программы. Оператор проводит визуальный анализ каждого рефлекса на предмет соответствия его с базой данных известных фаз. При исследовании следует учитывать исходный состав материала, а также механизм воздействия на него. Данные действия позволяют ограничить круг определения полученных фаз и ускоряет процесс анализа оператором.

После определения фаз необходимо провести определение параметров решетки и расчет микронапряжений. Для этого используется программа «Powder_Cell». Данная программа требует изменения полученных файлов «.txt» в формат «X_Y», с которым она работает. Первичная обработка файлов, за исключением разницы в интерфейсах, не отличается от программы «Crystallographica-Search Match». После обработки исходной дифрактограммы на предмет удаления шумов и определения пиков, начинается загрузка карточек фаз, которые были найдены благодаря первой программе. Однако рефлексы полученных фаз, полученных экспериментально, на дифрактограмме могут быть смещены относительно тех, что имеются в карточке. Это вызвано тем, что в результате экспериментов (например нагрев) параметры кристаллической решетки могут быть изменены. В таком случае оператор вручную смещает исходную дифрактограмму так, чтобы её рефлексы совпали с рефлексами образца из карточки. Следующим этапом является аппроксимация данных дифрактограмм полиномами различных порядков.

После проведения всех действий программа определяет параметры кристаллических фаз, а также их объемное содержание. Отдельным пунктом программа проводит расчет микронапряжений в материале.

Рентгеноструктурный анализ проводили на дифрактометре XRD 7000S (Shimadzu, Япония) в геометрии Брэгга-Брентано, с $\text{CuK}\alpha$ -излучением (длина волны 1,5410 Å), оснащенным высокоскоростным детектором 1280 каналов OneSight при ускоряющем напряжении 40 кВ и токе 30 мА. Данный

дифрактометр позволяет регулировать скорость движения гониометра, а также начальный и конечный угол сбора. Дифрактограммы собирали от 5 до 80° со скоростью сканирования 10,0°/мин, шагом выборки 0,0143° и временем экспозиции 21,49 с. Данные дифракции анализировали с использованием программы Slevе +. В качестве эталона для дифракционных картин Ti_3SiC_2 , TiC и $TiSi_2$ использовались базы данных ICDD PDF-4 +: # 00-059-0189, # 00-031-1400 и # 03-065-2522, соответственно.

3.4. Сканирующая электронная микроскопия

Для изучения поверхности исследуемого образца применяется сканирующая электронная микроскопия. Сканирующий электронный микроскоп это прибор позволяющий получить изображение поверхности образца с большим разрешением, которое достигает нескольких нанометров. Принцип работы сканирующего электронного микроскопа представлен на рис 10. Электронный поток первичных электронов генерируется электронной пушкой. Полученный поток корректируется электронными линзами. Следующими элементами являются катушки, которые расположены согласно двум взаимоперпендикулярным направлениям. Электронные линзы и катушки образуют электронную колонну. Проходя через данную систему электроны взаимодействуют с поверхностью изучаемого образца. Результатом данного взаимодействия становятся вторичные электроны, энергия которых не превышает 50 эВ. Вторичные электроны фиксируются детекторами. Следует отметить, что за счет использования такого типа системы, получается сформировать очень тонкий пучок электронов.

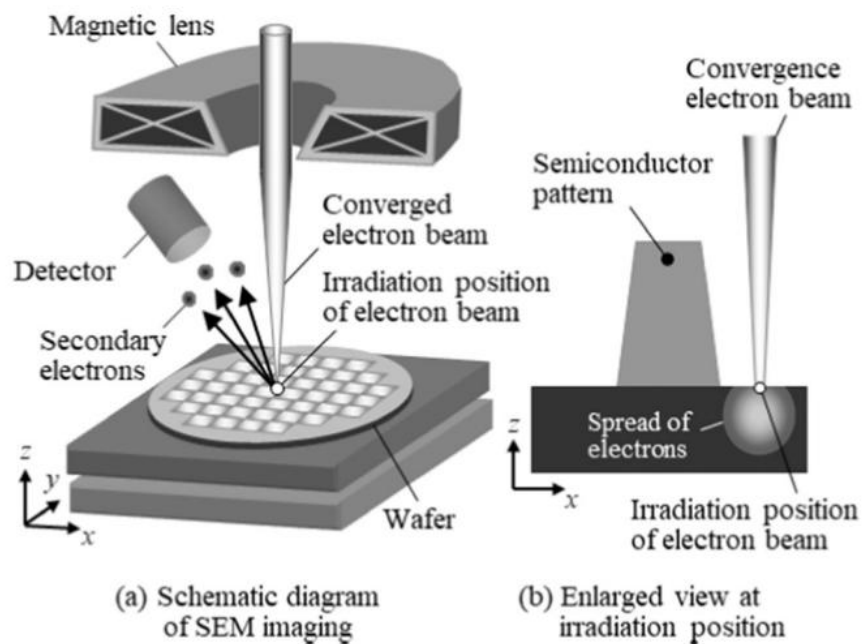


Рисунок 10 – (a) – схематичное изображения сканирующего электронного микроскопа, (b) – увеличенный вид поверхности при облучении [63]

Микроструктуру и элементный состав исследовали с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с использованием Vega 3 (Tescan, Брно, Чешская Республика), снабженной насадкой для энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭРС).

Глава 5. Социальная ответственность

Введение

Основная задача данного раздела осветить вопросы связанные с обеспечением нормативных условий труда, а именно: санитарно – гигиеническим условиям, обеспечению пожарной безопасности, а также защите от опасных производственных факторов. Важным условием является согласование данных действий с нормативными документами, действующими на территории Российской Федерации.

На данный момент, создание перспективных конструкционных материалов является условием развития современного общества. Данные материалы должны удовлетворять большому перечню характеристик (механическим, электрическим, коррозионная стойкость). На основании вышеизложенного в данной работе происходит изучение композиционного материала на основе MAX – фазы Ti_3SiC_2 , произведенного из прекерамической бумаги методом искрового спекания. В работе были проведены исследования по изучению фазового состава полученного композита, а также исследования на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ). Эксперименты проводились на дифрактометре «Shimadzu XRD 7000S» с применением вакуумной камеры, откачка из которой ведется с помощью ЭВМ, баллонов с газом водородом (H_2), турбомолекулярного и форвакуумного насосов. В результате возникает ряд опасных и вредных факторов, которые могут воздействовать на человека при несоблюдении определенных требований безопасности. Следовательно, требуется разработать комплекс мероприятий технического, организационного, режимного и правового характера, минимизирующие негативные последствия.

Данный раздел несёт в себе не только правовой смысл, но и отвечает на вопросы безопасности исследователей и сохранности здоровья, рассматривая опасные и вредные факторы.

5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

К работе на комплексной установке, которая включает в себя высокочастотные генераторы потенциалов смещения не могут быть допущены лица моложе 18 лет. Также сотрудник должен не иметь медицинских противопоказаний, обязан пройти обучение безопасности труда, а также инструктаж непосредственно на рабочем месте [52]. К самостоятельной работе может быть допущен работник, который прошел специальное обучение и прошедший проверку знаний, норм и правил работы с электроустановками, приобретенных навыков и безопасных способов выполнения работы на установке, имеющие не менее III группы по электробезопасности.

Повторная проверка знаний норм и правил электробезопасности проводится с работниками не реже 1 раза в 12 месяцев, повторный инструктаж на рабочем месте – не реже 1 раза в 3 месяца. Проведение всех видов инструктажа должно оформляться в журнале регистрации инструктажа установленного образца, с обязательными подписями получившего и проводившего инструктаж, с указанием даты проведения инструктажа, наименования и номеров инструкции на виды работ, по которым проводится инструктаж.

Проведение всех видов инструктажа должно оформляться в журнале регистрации инструктажа установленного образца, с обязательными подписями получившего и проводившего инструктажа, с указанием даты проведения инструктажа, наименования и номеров инструкции на виды работ, по которым проводится инструктаж.

По данной теме рассматриваются специальные законодательные и нормативные документы:

инструкция № 2-14 по охране труда при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В;

инструкция № 2-07 по охране труда при работе с баллонами, работающими под давлением;

инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ.

Согласно [52], продолжительность работ не должна превышать 40 часов в неделю, таким образом, при шестидневной рабочей неделе продолжительность рабочего дня должна составлять не более 7 часов.

Обязательное социальное страхование работников регламентируется [53, 54]. Работодатели обязуются обеспечить своим подчиненным социальное страхование от возможных производственных несчастных случаев. Также представленный вид страхования может применяться в случае возникновения профессионального заболевания. Работники могут получать выплаты на основаниях, указанных в [52].

Пособия по временной нетрудоспособности, размеры пособий по временной нетрудоспособности и условия их выплаты устанавливаются [52, ст. 236].

Работники всех категорий подлежат обязательному социальному страхованию (ОСС) вне зависимости от их желания. Обязанность создания гарантий возложена на работодателей и производится за счет расходов предприятия. Каждый из видов ОСС имеет четко установленные ставки, преимущественно зависящие от принятой в компании-работодателе системы налогообложения [53]

5.2. Производственная безопасность

При проведении работ на установке возможно воздействие вредных факторов таких, которые представлены в таблице 9:

Таблица 9 – Перечень возможных опасных и вредных факторов

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разра-	Изготовле	Эксплуата	
1.Превышение уровня шума	+	+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Санитарные нормы. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой[4]
2. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПин 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений[7]
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий»[8]
5.Опасность электрического тока	+	+	+	ГОСТ 12.1.030 – 81 “ССВТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление”[10]

Рассмотрим факторы по отдельности.

5.2.1. Превышение уровня шума

Производственным шумом называется шум на рабочих местах, на участках или на территориях предприятий, который возникает во время производственного процесса. Следствием вредного действия производственного шума могут быть: профессиональные заболевания, повышение общей заболеваемости, снижение работоспособности, повышение степени риска травм и несчастных случаев, связанных с нарушением восприятия предупредительных сигналов, нарушение слухового

контроля функционирования технологического оборудования, снижение производительности труда.

При работе механических и электромеханических изделий часто возникают шумы. Шумы, возникающие при работе экспериментальной установки, связаны с вращением движущихся частей форвакуумного и турбомолекулярного насоса. Согласно [55] предельный уровень шума для научной деятельности не должен превышать 75 дБ

Таблица 10 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных видов трудовой деятельности

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровни звука в (дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	
Работа, требующая сосредоточенности	103	91	83	77	73	70	68	66	75

Согласно ГОСТ 12.4.318-2019 (ISO 4869-3:2007) «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органа слуха. Упрощенный метод измерения акустической эффективности противошумных наушников для оценки качества» [56] – в качестве средств коллективной защиты применяются следующие методы: изменение направленности излучения шума, рациональная планировка помещения позволяющая увеличить расстояние до источника шума и уменьшить его воздействие на человека, акустическая обработка помещения, а также применение звукоизоляции.

Работающих в шумоопасных зонах, администрация снабжает средствами индивидуальной защиты, которыми являются специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумовые каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения звука.

5.2.2. Отклонение показателей микроклимата

При работе установки включены охлаждающие системы и одновременно с этим процессом происходит нагрев вакуумной камеры, что приводит к изменению микроклимата в помещении. Параметрами, характеризующими микроклимат, являются: температура воздуха, температура поверхности установки, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха. Перегрев организма наступает при высокой температуре воздуха и высокой относительной влажности, которые сопровождаются низкой подвижностью воздушной массы. При наступлении переохлаждения снижается температура тела, происходит сужение кровеносных сосудов, возникают сбои в работе сердечно - сосудистой системы [57].

Согласно [58] выполняемые работы относятся к Ib категории работ. К данной категории относятся работы с интенсивностью энергозатрат 121-150 ккал/ч (140-174 Вт), производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением. Температура наружных поверхностей технологического оборудования, ограждающих устройств, с которыми соприкасается в процессе труда человек, не превышает 450°С. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений представлены в табл.11.

Таблица 11 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений для категории работ Ib

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения потока воздуха, м/с
Холодный	21-23	60-40	0,1
Теплый	22-24	60-40	0,1

Таблица 12 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений для категории работ Ib

Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения потока воздуха, м/с	
	Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше допустимых величин		для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	19,9 -20,9	23,1-24,0	15-75	0,1	0,2
Теплый	20,0-21,9	24,1-28,0	15-75	0,1	0,3

В данном случае, микроклимат в помещении поддерживается: в холодный период года системой центрального водяного отопления, в теплый период года системой кондиционирования воздуха.

В любое время года температура на рабочем месте составляет 20-24°С, влажность воздуха равна 50%, скорость воздуха находится в пределах 0,1-0,3 м/с.

5.2.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Наиболее благоприятное воздействие на организм человека оказывает естественное ощущение. Однако, не всегда возможно создать данные условия на рабочем месте. В таком случае используется искусственное освещение. Недостаточное освещение рабочего места затрудняет длительную работу, вызывает повышенное утомление и способствует развитию близорукости. Слишком низкие уровни освещенности вызывают апатию, сонливость, а в некоторых случаях способствуют развитию чувства тревоги. Длительное пребывание в условиях недостаточного освещения сопровождается снижением интенсивности обмена веществ в организме и ослаблением его реактивности. Нормы естественного и искусственного освещения, а также тип зрительных работ, для которых необходим тот или иной уровень освещения регламентирован документами СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий» [59] и СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*(с Изменением N 1)» [60]. В соответствии с данными документами принимается разряд точности зрительной работы 4, который прописан в таблице 13. На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Таблица 13 – Нормирование значения освещенности на рабочих местах производственных помещений при искусственном освещении

Характер зрительной работы	Наименьший размер объекта, мм	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта различия с фоном	Характер фона	Освещенность, лк	
					Комбинированное	Общее
Средняя точность (4 разряд зрительной работы)	0,5-1,0	а	Малый	Темный	750	400
		б	Малый	Средний	500	300
			Средний	Темный	500	300
		в	Малый	Светлый	400	200
			Средний	Средний	400	200
			Большой	Темный	400	200

Естественного освещения в лаборатории по условиям зрительной работы, как правило, недостаточно, поэтому на рабочих местах оказывается задействованным и искусственное освещение. Оно может быть обеспечено с помощью люминесцентных ламп ЛВ (белого цвета) мощностью 20, 40, 80 Вт. Для рабочих мест с искусственным освещением регламентирована допустимая освещенность, согласно действующим санитарным нормам и правилам СП 52.13330.2016 [9].

5.2.4 Опасность электрического тока

Неисправность проводки установки может стать причиной поражения электрическим током. Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и повреждение различных органов. Пороговый не отпускающий ток составляет 50 Гц (6-16мА). Защита от воздействия электрического тока осуществляется путем проведения организационных, инженерно-технических и лечебно-профилактических мероприятий. Электробезопасность должна обеспечиваться конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты. Используемое помещение относится к классу с повышенной опасностью, так как в данном помещении возможно одновременное прикосновения человека

к имеющей соединение с землей металлоконструкцией здания с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования с другой стороны. Граничные значения напряжений, при повышении которых требуется выполнение защиты от косвенного прикосновения для помещений с повышенной опасностью составляет >25 В переменного тока и >60 В постоянного тока. Для предотвращения поражения электрическим током следует проводить следующие мероприятия: содержать оборудование в работоспособном состоянии и эксплуатировать его в соответствии с нормативно-техническими документами, а также своевременно проводить техническое обслуживание и соблюдать технику безопасности при работе с оборудованием.

В качестве мероприятий по обеспечению безопасности работы с электрооборудованием согласно [61] и [62] могут быть использованы: изоляция токоведущих частей, малое напряжение в электрических цепях, защитное заземление, зануление, защитное отключение, применение разделяющих трансформаторов, использование оболочек и блокировок для предотвращения возможности случайного прикосновения к токоведущим частям и ошибочных действий или операций, защитные средства и предохранительные приспособления. В качестве индивидуальных защитных средств, в случаях, когда необходимо произвести техническое обслуживание оборудование используется диэлектрические перчатки. В качестве дополнительного оборудования возможно использование диэлектрических ковриков.

5.3. Экологическая безопасность

Вопрос об охране окружающей среды являются актуальным и крайне важным в настоящее время, так как с каждым годом увеличивается количество веществ, загрязняющих окружающую среду. В ходе данной

работы были использованы следующие ресурсы: электроэнергия для работы насосов и компьютера; бумага; образцы композита Ti_3SiC_2 .

С точки зрения потребления ресурсов компьютер потребляет сравнительно небольшое количество электроэнергии, что положительным образом сказывается на общей экономии потребления электроэнергии в целом, что нельзя сказать про вакуумные насосы, так как процесс достижения вакуума достаточно долговременный. При написании ВКР вредных выбросов в атмосферу, почву и водные источники не производилось, радиационного заражения не произошло, чрезвычайные ситуации не наблюдались, поэтому не оказывались существенные воздействия на окружающую среду, и никакого ущерба окружающей среде не было нанесено. В связи с тем, что огромная масса информации содержится на бумажных носителях, уничтожение бумаги играет очень важную роль. Среди основных методов уничтожения, которые применяются на сегодняшний день для бумажных документов, следует отметить следующие:

- Сжигание документов
- Шредирование
- Закапывание
- Химическая обработка

Для утилизации титановых проб используют специальные контейнеры для неорганических материалов. Произведенные композиционные материалы не являются токсичными. В связи с этим данные материалы не требуют специальных способов хранения до момента утилизации. Утилизация данных материалов происходит специальными службами.

5.4.Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникать в лаборатории при проведении научных исследований

В здании, где была разработана бакалаврская работа, возможны следующие чрезвычайные ситуации: пожар, взрывы, террористические акты и диверсии, природные чрезвычайные ситуации (мороз), проникновение посторонних лиц на рабочее место.

Но наиболее вероятным ЧС является пожар. Пожар определяют как неконтролируемое горение, которое наносит вред здоровью и жизни человека, а также причиняет материальный ущерб.

Пожар может возникнуть из – за неисправности работы технического оборудования, короткого замыкания, а также неисправности проводки и т.д.

5.4.2. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС

При возникновении аварийных ситуаций происходит резкое выделение тепловой энергии, которая может явиться причиной возникновения пожара. Мероприятия по пожарной безопасности делятся на пожарную профилактику и тушение пожаров. Меры пожарной профилактики следующие могут быть следующие: строительно-планировочные, технические, организационные.

Строительно-планировочные меры определяются огнестойкостью зданий и сооружений (выбор материалов конструкций по степени огнестойкости). В зависимости от степени огнестойкости определяются наибольшие дополнительные расстояния от выходов для эвакуации при пожарах. Технические меры: 1) соблюдение противопожарных норм для систем отопления, освещения, электрического обеспечения и т.д. 2)

использование разнообразных защитных систем; 3) соблюдение параметров технологических процессов и режимов работы оборудования.

Организационные меры представляют собой проведение инструктажа персонала по пожарной безопасности, соблюдение мер пожарной безопасности. Для предупреждения возникновения пожара необходимо соблюдать следующие правила пожарной безопасности: правильная эксплуатация оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

Согласно СНиП 21-01-97 , по взрывоопасности и пожароопасности помещение относится к классу Б. К этому классу относятся помещения, в которых опасные состояния не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварии или неисправностей. В помещении для тушения возгораний предусмотрено использование углекислотного огнетушителя ОУ-3 для тушения возгораний классов А, В и электроустановок до 1000 В при температуре воздуха -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Таким образом, состояние помещения соответствует нормам и пожаробезопасности.

В случае, если пожар не удастся устранить своими силами, необходимо эвакуировать персонал из здания. Помещение, в котором находится установка, оснащено аварийными выходами, обеспечено средствами пожаротушения, сигнализацией оповещения пожара. План эвакуации представлен на рис.19.

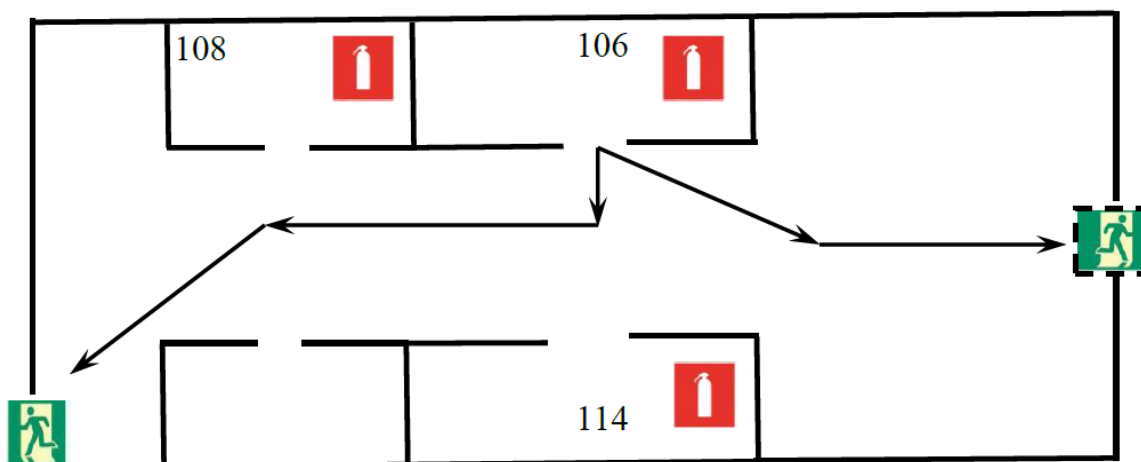


Рисунок 19 – План эвакуации рабочих помещений.

Выводы по разделу

В разделе выпускной квалификационной работы, посвященной социальной ответственности был проведен анализ вредных и опасных факторов для инженера непосредственно на рабочем месте. Был предложен перечень меры, для предотвращения заболевания, а также меры безопасности. Так же проведен анализ безопасности предприятия по отношению к экологии и безопасность в случае чрезвычайных ситуаций. В результате анализа было подтверждено, что все необходимые меры для обеспечения безопасности сотрудников в лаборатории приняты, например, все элементы, порождающие шум изолированы. Так же в лаборатории установлены широкие пластиковые окна, которые обеспечивают необходимый уровень освещения и вентиляции воздуха. Установлена оптимальная система освещения для обеспечения искусственного белого света. В случае ЧС в лаборатории присутствует план эвакуации, огнетушитель. Лаборатория устанавливается на сигнализацию и корпус находится под вахтовой охраной.

Глава 6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела выпускной квалификационной работы «Влияние параметров искрового плазменного спекания на структурно-фазовое состояние керамических композитов на основе МАХ-фаз, полученных из прекерамической бумаги» заключается в экономическом планировании и оценке ресурсоэффективности создания материалов. Изготовление керамических композитов на основе МАХ –фазы методом искрового разряда является альтернативой стандартным методом его изготовления, поэтому необходимо сравнить необходимость данного метода по сравнению с остальными.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований;
2. Провести SWOT – анализ для выявления сильных и слабых сторон проекта;
3. Провести планирование научно – исследовательской работы;
4. Определить бюджет научного проекта;
5. Определить ресурсоэффективность проекта;

На сегодняшний момент данный раздел является одним из значимых в проектировании в различных областях, как технических, так и гуманитарных наук. В контексте данной работы необходимо рассмотреть не только технические характеристики рабочего оборудования, применяемого для изготовления керамических композитов, но и провести экономическую оценку, из которой будет показана выгодность данного метода.

6.1. Потенциальные потребители результата исследования

Продукт: керамический композит Ti_3SiC_2 , созданный на основе прекерамической бумаги и обладающий свойствами характерными и металлам, и керамикам.

Целевой рынок: предприятия высокотехнологичной электроники и конструкторские компании.

Таблица 14 – Карта сегментирования рынка услуг по производству композитных материалов

	Высокая электропроводность	Механические свойства
Научно – исследовательские центры		
Фирмы по производству электроники		

6.2. Анализ конкурентных технических решений

Анализ различных конкурентных разработок, которые непрерывно проводятся научными группами и адаптируется для рынка, происходит постоянно, поскольку рынки не стоят на месте и постоянно находятся в движении. Подобный тип анализа позволяет внести необходимые правки и коррективы в научное исследование, для того, чтобы сделать его рентабельнее, чем решения других научных групп. Необходимо непредвзято рассмотреть научный проект и определить его сильные и слабые стороны, по сравнению с разработками конкурентов.

Для решения этой задачи необходимо использовать всю доступную информацию об аналогичных разработках в подобной области, а именно:

- конкурентоспособность разработки;
- технические характеристики разработки;

- бюджет разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Необходимо рассмотреть наиболее влияющие технические критерии в данной таблице, такие как: надежность, твердость и электропроводность, так как они напрямую связаны с конструкторскими преимуществами представленного научного исследования. Твердость – это физическая характеристика, которая отвечает за способность материала сопротивляться внешнему воздействию. Надежность показывает, насколько долго материал способен сопротивляться циклическим нагрузкам. А электропроводность насколько хорошо материал пропускает электрический ток. Это наиболее важный критерий для компаний, занимающихся электроникой.

Таблица 15 – Оценочная карта для конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		проект	Кон-т 1	Кон-т 2	проект	Кон-т 1	Кон-т 2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Скорость производства	0.1	5	3	4	0.5	0.3	0.4
2. Удобен в эксплуатации	0.06	4	3	4	0.24	0.18	0.24
3. Твердость	0.05	5	4	3	0.25	0.2	0.15
4. Электропроводность	0.1	5	5	3	0.5	0.5	0.3
5. Надежный	0.1	4	4	4	0.4	0.4	0.4
6. Безопасный	0.1	4	4	4	0.4	0.4	0.4
7. Простота эксплуатации	0.06	4	4	5	0.24	0.24	0.3

Продолжение таблицы 15

Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0.07	4	4	4	0.28	0.28	0.28
2. Уровень проникновения на рынок	0.06	2	4	5	0.12	0.24	0.3
3. Цена	0.1	3	1	3	0.3	0.1	0.3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.2	5	4	3	1	0.8	0.6
Итого	1	45	40	42	4.23	3.64	3.67

Оценка конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum V_i \cdot B_i$$

Где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки, V_i – вес показателя (в долях единицы), B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

По результатам оценки можно выявить следующие конкурентные преимущества: такие как скорость производства, твердость, долгий срок службы в эксплуатации. Следует отметить, что большинство конкурентных преимуществ достигается за счет конструктивных особенностей полученного материала. Это объясняется тем, что конкурентные методы используют почти те же исходные составляющие для изготовления, но используют другие методы производства.

6.3. SWOT – анализ

Для оценивания актуальности проекта часто применяется методика SWOT – анализа, которая позволяет рассмотреть его перспективы, слабые и сильные стороны. SWOT – является аббревиатурой, которая раскрывает аспекты данного вида анализа, а именно:

- Сильные стороны (Strengths) - преимущества проекта
- Слабости (Weaknesses) - недостатки проекта

- Возможности (Opportunities) - факторы внешней среды, использование которых создаст преимущества проекту на рынке
- Угрозы (Threats) - факторы, которые могут потенциально ухудшить положение проекта на рынке

Основная задача данного типа анализа систематизировать все данные об имеющемся проекте и на основе наглядно представленной информации принимать решения о дальнейшем развитии проекта, а в нашем случае научного исследования

Таблица 16 – SWOT – анализ

	<p>Сильные стороны научно - исследовательского проекта</p> <p>С1 Возможность изготовления высокотехнологичного композита с необходимыми свойствами</p> <p>С2 Использование нового метода изготовления композита снижает количество пор в материале</p> <p>С3 Экологически безопасное производство</p> <p>С4 Высокие технологические свойства материала</p> <p>С5 Применение для создания деталей сложных геометрических форм</p>	<p>Слабые стороны научно – исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Высокие требования к исходным материалам для изготовления</p> <p>Сл2. Необходимость изготовления большего количества оборудования для промышленных нужд</p> <p>Сл3. Требования к расчету параметров для получения необходимых свойств</p>
<p>Возможности</p> <p>В1 Высокая потребность современных отраслей промышленности в новых материалах</p> <p>В2 Улучшение плотности самого композита</p> <p>В3 Возможность изготовления деталей, которые ранее изготавливались «классическими» методами и замена этих методов</p>		

Продолжение таблицы 16

<p>В4 Увеличение количества производимого композита и сокращение затрат на производство В5 Добавление возможных примесей для получения новых свойств</p>		
<p>Угрозы У1 Наличие других исследовательских групп, занимающимися схожими разработками У2 Возможность сокращения бюджета исследования, за счет отданного предпочтения «классическим» проверенным методам.</p>		

По завершению первого этапа SWOT – анализа были обозначены и сформулированы четыре необходимых области. Второй этап заключается в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно – исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Анализ несоответствий поможет привнести необходимые корректировки в научно – исследовательский проект

Таблица 17 – Интерактивная матрица сильных сторон с учетом возможностей

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	+
	B2	+	-	-	+	+
	B3	+	-	-	+	+
	B4	+	-	-	-	-
	B5	+	-	-	+	-

При проведении анализа таблицы учета сильных сторон и

возможностей, можно выделить следующие коррелирующие комбинации: B1C1C2C3C4C5, B2C1C3C4C5, B3C1C4C5, B4C1, B5C1C4C5.

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

Таблица 18 – Интерактивная матрица слабых сторон с учетом возможностей

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	+	+	+
	B2	+	-	+
	B3	-	+	-
	B4	-	-	-
	B5	-	-	-

При проведении анализа таблицы учета слабых сторон и возможностей, можно выделить следующие коррелирующие комбинации: B1Сл1Сл2Сл3, B2Сл1Сл3, B3Сл2.

Таблица 19– Интерактивная матрица сильных сторон с учетом угроз

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	-	+	-	-
	У2	+	-	-	-	-

При проведении анализа таблицы учета «сильных сторон проекта с учетом угроз», выявлены следующие комбинации: У1С1, У1С3, У2С1.

Таблица 20 – Интерактивная матрица слабых сторон с учетом угроз

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

При реализации 3 этапа в результате рассмотрения 4 матриц составляется окончательная матрица SWOT – анализа.

Таблица 21 – Итоговая матрица SWOT - анализа

	<p>Сильные стороны научно - исследовательского проекта С1 Возможность изготовления высокотехнологичного композита с необходимыми свойствами С2 Использование нового метода изготовления композита снижает количество пор в материале С3 Экологически безопасное производство С4 Высокие технологические свойства материала С5 Применение для создания деталей сложных геометрических форм</p>	<p>Слабые стороны научно – исследовательского проекта Сл1. Высокие требования к исходным материалам для изготовления Сл2. Необходимость изготовления большего количества оборудования для промышленных нужд Сл3. Требования к расчету параметров для получения необходимых свойств</p>
<p>Возможности В1 Высокая потребность современных отраслей промышленности в новых материалах В2 Улучшение плотности самого композита В3 Возможность изготовления деталей, которые ранее изготавливались «классическими» методами и замена этих методов В4 Увеличение количества производимого композита и сокращение затрат на производство В5 Добавление возможных примесей для получения новых свойств</p>	<p>В1С1С2С3С4С5 – современные производства нуждаются в создание новых, более совершенных композитов. К данным композитам также предъявляется ряд серьезных требований, которые согласуются с сильными сторонами проекта. В2С4С4 – увеличение плотности позитивно сказывается на параметрах материала при применении в механических конструкциях В3С1С5 – данная возможность появляется благодаря лучшим свойствам материала, что позволяет занять область рынка, которая раньше принадлежала другим методам. В4С1 – для достижения свойств материала, полученного методом искрового разряда, другим производствам требуется затратить большее количество ресурсов. В5С1С4 – возможности исходного композита открывают широкую область возможных модификаций.</p>	<p>В1Сл1Сл2Сл3 - к композиционным материалам предъявляются высокие требования. Однако из – за новизны метода требуется создание производственной базы для создания больших партий композита. В2Сл1Сл3 – подобные возможности открываются только при условии закрепления исходного композитного материала на рынке. В3Сл2 – Нежелание или невозможность переоснащения может помешать выпуску нового композита.</p>

Продолжение таблицы 21

<p>Угрозы У1 Наличие других исследовательских групп, занимающимися схожими разработками У2 Возможность сокращения бюджета исследования, за счет отданного предпочтения «классическим» проверенным методам.</p>	<p>У1С1С3 – наличие конкурирующих научных групп, занимающимися схожей тематикой создает угрозы того, что будет создан композит со свойствами лучшим, чем у данного У2С1 – угроза непринятия нового метода за счет длительного существования старого, консервативного подхода к производству</p>	<p>У1Сл1Сл2 – подобные исследования требуют постоянного финансирования на ранних этапах У2Сл1Сл2 – консервативным методам отдается предпочтение как наиболее зарекомендовавшим себя</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

В результате рассмотрения матрицы SWOT – анализа можно сделать вывод, что основные угрозы проекту следует ожидать со стороны внешнего вида. Он имеет ряд преимуществ, связанных с физическими свойствами заданного композита, что позволяет ему занять место на рынке по сравнению с другими. Однако новое производство требует нового дорогостоящего оборудования для его производства, что и является основной трудностью его реализации.

6.4. Организация и планирование научного исследования

Данный раздел посвящен планированию научного исследования на данную тематику. Правильное распределение рабочего времени и производственных возможностей позволяет сократить время научного исследования и дать четкое определение зон ответственности каждого из членов научной группы. Для выполнения данной цели сформирована рабочая группа, задача которой определить основную цель и задачи проекта, а также уточнить порядок выполнения работ и содержательную часть каждого действия. Результаты работы представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя	Трудовой вклад
Определение основной цели	1	Составление и утверждение	Научный руководитель	НР – 100%
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	И – 100%
	3	Выбор направления исследований	Научный руководитель, Инженер	НР – 50% И – 50%
	4	Календарное планирование работ по теме	Инженер	И – 100%
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер	И – 100%
	6	Проведение синтеза материалов из исходных составляющих и проведение исследования с помощью лабораторного оборудования	Научный руководитель, Инженер	НР – 20% И – 80%
	7	Проверка результатов расчетов	Научный руководитель, Инженер	НР – 40% И – 60%
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, Инженер	НР – 60% И – 40%
	9	Определение целесообразности проведения ВКР	Научный руководитель, Инженер	НР – 20% И – 80%
Оформление отчета	10	Составление ВКР	Инженер	И – 100%

Продолжение таблицы 22

Итоговый вклад	НР – 29%, И – 71%
----------------	-------------------

Результаты таблицы показывают, что основной вклад в научное исследование вносит инженер (И).

6.4.1. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается как:

$$t_{\text{ож}} = \frac{3t_{\text{min}} + 2t_{\text{max}}}{5},$$

где $t_{\text{ож}}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения работы в чел.-дн.;

t_{min} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{max} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

Проведем расчет ожидаемой трудоемкости для научного руководителя:

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 20 + 2 \cdot 30}{5} = 24 \text{ чел. -дн.}$$

И для инженера:

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot 70 + 2 \cdot 115}{5} = 88 \text{ чел. -дн.}$$

Из этих расчетов видно, что предполагаемые трудозатраты инженера превышают предполагаемые трудозатраты научного руководителя больше, чем в 3,5 раза.

После проведения расчётов ожидаемой трудоёмкости работ, имеет смысл определить продолжительность каждой работы в рабочих днях $T_{\text{рд}}$, учитывая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, по следующей формуле:

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д},$$

где $T_{рд}$ – продолжительность одного этапа работы, раб.дн.;

$K_{вн}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение определённых длительностей, для данного случая, можно принять его равным $K_{вн} = 1$;

$K_{д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию не предвиденных задержек и согласование работ, так же в данном случае имеет смысл принять его $K_{д} = 1$.

Произведём расчёт продолжительности работы выполнения научного исследования для научного руководителя:

$$T_{рд} = \frac{24 \text{ чел. -дн.}}{1} \cdot 1 = 24 \text{ чел. -дн.}$$

Произведём расчёт продолжительности работы выполнения научного исследования для инженера:

$$T_{рд} = \frac{88 \text{ чел. -дн.}}{1} \cdot 1 = 88 \text{ чел. -дн.}$$

Таблица 23 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{рд}$,
	t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ож}$, чел-дни		
Составление и утверждение технического задания	1	11	5	НР, И	3
Подбор и изучение материалов по теме (проведение литературного обзора)	12	39	23	И	23
Выбор направления исследований	3	16	8	НР, И	5
Календарное планирование работ по теме	3	12	7	НР, И	4

Продолжение таблицы 23

Проведение теоретических расчетов и обоснований	2	11	6	И	6
Проведение синтеза материалов из исходных составляющих и проведение исследования с помощью лабораторного оборудования	15	47	28	И	29
Проверка результатов расчетов	3	12	7	НР, И	4
Оценка эффективности полученных результатов	3	16	8	НР, И	5
Определение целесообразности проведения ВКР	3	12	7	НР, И	3
Составление ВКР	2	11	6	И	6

6.4.2. Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками T_{ki} , характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности:

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

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

Рассчитаем коэффициент календарности:

$$T_k = \frac{366}{366 - 93 - 25} = 1,476$$

По результатам расчета, будет целесообразно построить таблицу, с указанием трудоемкостей и длительности работ

Таблица 24 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

№ раб	Вид работ	Исполнитель и	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность														
				февр			март			апр			май					
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Составление и утверждение технического задания	НР, И	3	1	2	3												
2	Подбор и изучение материалов по теме (проведение литературного обзора)	И	23	1	2	3												
3	Выбор направления исследований	НР, И	5				1	2	3									
4	Календарное планирование работ по теме	НР, И	4				1	2	3									
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	И	6					1	2	3								
6	Проведение синтеза материалов из исходных составляющих и проведение исследования с помощью лабораторного оборудования	И	29							1	2	3						
7	Проверка результатов расчетов	НР, И	4										1	2	3			
8	Оценка эффективности полученных результатов	НР, И	5											1	2	3		
9	Определение целесообразности проведения ВКР	НР, И	3												1	2	3	
10	Составление ВКР	И	6													1	2	3
НР, И	 И 	НР – руководитель, И – Инженер																

Исходя из представленных данных, можно утверждать, что в календарных днях длительность работ для руководителя составляет 25 дней, а для инженера – 101 дней. Самая продолжительная по времени работа – это «Проведение синтеза материалов из исходных составляющих и проведение исследования с помощью лабораторного оборудования».

6.5. Расчет материальных затрат НТИ

Работа полностью теоретическая, поэтому в материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п.

Таблица 25 – Материальные затраты

Материал	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
Бумага	Упаковка	0,5	200	100
Шариковые ручки	Шт.	5	40	200
Итого				300

6.5.1. Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Для осуществления исследования по тематике данной ВКР необходимо наличие персонального компьютера или ноутбука.

Таблица 26 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
Персональный компьютер (ноутбук)	1	35	35
Итого:			35

6.5.2. Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, включая премии, доплаты:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где $Z_{осн}$ - основная заработная плата; $Z_{доп}$ - дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p$$

где $Z_{осн}$ - основная заработная плата одного работника; T_p - продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{дн}$ - среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

где Z_m - месячный должностной оклад работника, руб. (окладом инженера выступает стипендия, 1750 руб.); M - количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб.дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб.дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Месячный должностной оклад

$$Z_m = Z_б \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p$$

где Z_6 - базовый оклад, руб; k_p - районный коэффициент, равный для Томска 1,3; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3; k_d - коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2

Таблица 27 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Таблица 28 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Z_6 , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	39 000	0,3	0,2	1,3	76050	3151	24	59 869
Студент	1750	-	-	1,3	2275	111	88	9102
Итого $Z_{осн}$								68 971

6.5.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} * (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,302 \cdot 68971 \text{ руб.} = 20829,24 \text{ руб.}$$

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

6.5.4. Накладные расходы

В силу теоретического характера исследований, в качестве накладных расходов выступают расходы на электроэнергию. Учитывая что тариф

составляет 5,8 руб./(кВт·ч), мощность оборудования (персональный компьютер) равна 0,9 кВт, а трудозатраты – 606 ч, можем посчитать накладные расходы:

$$Q_3 = W \cdot P \cdot t = 5,8 \cdot 606 \cdot 0,9 = 3163 \text{ руб.}$$

где W – тариф на электроэнергию (5,8 рублей за 1 кВт/ч), P – 71 электроэнергетические затраты компьютера за весь период работы (компьютер – 0,22 кВт), t – время работы над проектом в часах.

6.5.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Таблица 29 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	300
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	35000
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	68971
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	0
5. Отчисления во внебюджетные фонды	20829,24
6. Накладные расходы	3163
7. Бюджет затрат НТИ	128263,24

По данным таблицы видно, что большую часть бюджета потребляет основная заработная плата исполнителей. Это характерно для теоретического исследования, в которое не вовлечены дорогостоящие установки и образцы. На втором месте по потреблению бюджета находится позиция 2: «Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ». Однако, в ней заключены затраты на приобретение персонального

компьютера. Такую закупку производит университет при комплектации помещения оборудованием и этот компьютер используется на протяжении всего срока эксплуатации при проведении большого числа исследований.

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

С помощью интегрального критерия ресурсоэффективности определим ресурсоэффективность полуэмперического метода исследования. Формула для его определения имеет следующий вид:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности, a_i – весовой коэффициент проекта, b_i – балльная оценка проекта, устанавливается экспериментальным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 30 – Оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки
1. Быстродействие	0,30	5
2. Надежность	0,20	4
3. Удобство в эксплуатации	0,20	3
4. Энергосбережение	0,10	4
5. Материалоемкость	0,20	5
Итого:	1,00	4,3

Для разрабатываемого проекта интегральный показатель ресурсоэффективности – 4,3. Полученное значение интегрального показателя свидетельствует о достаточно хорошей эффективности реализации проекта.

6.7. Выводы по главе «Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Были определены потенциальные потребители итогового продукта. Наиболее заинтересованными оказались фирмы по производству электроники и научно исследовательские центры.

2. Проведен SWOT-анализ продукта. Анализ показал, что технология, находясь на этапе разработки, имеет хорошие шансы на коммерциализацию, с учетом проявляемого интереса партнеров и удачных исследований.

3. Помимо прочего, продемонстрировано, что в календарных днях длительность работ для руководителя составляет 26 дней, а для студента – 82 дней. Временные показатели в календарном плане-графике показывают, что наиболее продолжительной работой является «Проведение синтеза материалов из исходных составляющих и проведение исследования с помощью лабораторного оборудования»

После формирования бюджета затрат на проектирование суммарные капиталовложения составили 128263,24 рублей.

4. Таким образом, капиталовложения в размере 128263,24 рублей дают возможность провести исследования полученного композитного соединения, а также проведения всего перечня необходимых тестов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что метод искрового плазменного спекания может быть успешно использован для синтеза керамических композитов на основе МАХ-фазы Ti_3SiC_2 из прекерамической бумаги. Спеченные композиты состоят из кристаллических фаз Ti_3SiC_2 , TiC и $TiSi_2$, и их содержание зависит от параметров спекания. Содержание фазы Ti_3SiC_2 уменьшается с 65 до 40 об.% при увеличении температуры спекания с 1100 до 1300°C соответственно. Более того, разложение силицидной фазы происходит при 1300°C, однако TiC становится основной фазой в композите. Снижение содержания МАХ-фазы объясняется частичным разложением исходной фазы Ti_3SiC_2 в прекерамической бумаге во время спекания. Доминирующую роль в разложении МАХ - фазы при таких низких температурах синтеза, вероятно, будет оказывать присутствие избыточного углерода, образующегося в результате разложения целлюлозных волокон. Последнее приводит к образованию волокнистых пор, обогащенных углеродом, в спеченных композитах. Увеличение давления спекания приводит к уплотнению микроструктуры и разрушению волокнистых пор (при 50 МПа) и не оказывает существенного влияния на фазовый состав образующихся композитов. Кажущаяся плотность композитов увеличивается с ростом температуры и давления спекания. Пористые композиты с плотностью от 2,93 г/см³ (20 МПа) до 3,26 г/см³ (40 МПа) были получены при температуре спекания 1100°C. Оптимальная температура для получения более плотных композитов с преимущественным содержанием МАХ-фазы составляет 1200°C, где конечная плотность композита составляла 4,04 г / см³ (50 МПа).

Будущая работа будет сосредоточена на синтезе более плотных композитов с высоким содержанием МАХ-фазы путем оптимизации параметров спекания, добавления металлического порошка для компенсации избытка углерода из целлюлозы, а также возможности заполнения пор в уже

синтезированных композитах для их потенциального применения в различных отраслях промышленности.

Список литературы

1. Qiu Bowen., Wang Jun., Deng Yangbin., Wang Mingjun., Wu Yingwei., Qiu S.Z. A review on thermohydraulic and mechanical-physical properties of SiC, FeCrAl and Ti_3SiC_2 for ATF cladding //Nuclear Engineering and Technology.– 2020. – Т. 52. – С. 1 – 13.
2. Sokol Maxim., Natu Varun., Kota Sankalp., Barsoum Michel W. On the Chemical Diversity of the MAX Phases //Trends in Chemistry. – 2019. – Vol. 1. – No. 2. – С. 210-233.
3. Barsoum M.W. //American Scientist. – 2001. . – Т. 89. – С. 334.
4. Barsoum M.W., and El-Raghy T. Synthesis and characterization of a remarkable ceramic: Ti_3SiC_2 //Journal of the American Ceramic Society – 1996. – Т. 79. – С. 1953–1956.
5. Barsoum, M.W. and Radovic, M. Elastic and mechanical properties of the MAX phases. //Annual Review of Materials Research. – 2011. – Т. 41.– С. 195– 227.
6. Chen, D. et al. Cyclic fatigue-crack growth and fracture properties in Ti_3SiC_2 ceramics at elevated temperatures //Journal of the American Ceramic Society. – 2001. – Т. 84. – С. 2914–2920.
7. Haftani, M. et al. Studying the oxidation of Ti_2AlC MAX phase in atmosphere: a review // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2016. – Т. 61. – С. 51–60.
8. Lane, N.J. et al. High-temperature neutron diffraction and first-principles study of temperature-dependent crystal structures and atomic vibrations in Ti_3AlC_2 , Ti_2AlC and $Ti_5Al_2C_3$ //Journal of Applied Physics. – 2013. – Т. 113. – С. 183 -184.
9. Du Y.L., Sun Z.M., Hashimoto H., Tian W.B. //Physics Letters A. – 2008. – Т. 372. – С. 5220.
10. Bei G.P. Synthesis, microstructural characterization and mechanical properties of nanolaminated $Ti_3Al_xSn_{(1-x)}C_2$ MAX phases. //Universit de Poitiers, PhD thesis. – 2011.

11. Griseri Matteo., Tunca Benu., Lapauw Thomas., Huang Shuigen., Popescu Lucia., Barsoum Michel W., Lambrinou Konstantina., Vleugels Jozef. Synthesis, properties and thermal decomposition of the Ta₄AlC₃ MAX – phase //Journal of the European Ceramic Society. – 2019. – T. 39. – C. 2973–2981.
12. Low I.M., Pang W.K., Kennedy S.J., Smith R.I. High-temperature thermal stability of Ti₂AlN and Ti₄AlN₃:A comparative diffraction study //Journal of the European Ceramic Society. – 2011. – T. 31. – C.159–166.
13. Zhou Y.C., Sun Z.M., Wang X.H., Chen S.Q. //Journal of Physics: Condensed Matter. – 2001. – T. 13.
14. Kanoun M.B., Jaouen M. //Journal of Physics: Condensed Matter. – 2008. – T. 20.
15. Hug G. // \Physical Review B: Condensed Matter and Materials Physics.– 2006. – T. 74.
16. Magnuson M., Palmquist J.-P., Mattesini M., Li S., Ahuja R., Eriksson O., Emmerlich J., Wilhelmsson O., Eklund P., Högberg H., Hultman L., Jansson U. // Physical Review B: Condensed Matter and Materials Physics.– 2005. – T. 72.
17. Scabarozi T.H., Roche J., Rosenfeld A., Lim S.H., Salamanca-Riba L., Yong G., Takeuchi I., Barsoum M.W., Hettinger J.D., Lofland S.E. //Thin Solid Films. – 2009. – T. 517. – C. 2920.
18. Scabarozi T.H., Eklund P., Emmerlich J., Högberg H., Meehan T., Finkel P., Barsoum M.W., Hettinger J.D., Hultman L., Lofland S.E. //Solid State Communications.– 2008. – T.146. – C. 498.
19. Scabarozi T., Ganguly A., Hettinger J.D., Lofland S.E., Amini S., Finkel P., El-Raghy T., Barsoum M.W. // Journal of Applied Physics. – 2008. – T. 104. – C. 183 -184.
20. Du Y.L., Sun Z.M., Hashimoto H., Tian W.B. //Materials Transactions.– 2008. – T.49. – C. 1934.
21. Zhang H.B., Bao Y.W., Zhou Y.C. // Journal of Materials Science & Technology. – 2009. – T. 25. – C. 1.

22. El-Raghy T., Barsoum M.W., Zavaliangos A., Kalidinidi S. //Journal of the American Ceramic Society. – 1999. – T. 79. – C. 2855.
23. El-Raghy T., Zavaliangos A., Barsoum M.W., Kalidinidi S. // Journal of the American Ceramic Society. – 1997. – T. 80. – C.513.
24. Barsoum M.W., Farber L., El-Raghy T. //Metallurgical and Materials Transactions A. – 1999. – T.30. – C. 1727.
25. Barsoum M.W., Radovic, M. in: Buschow K.H.J., Cahn R.W., Flemings M.C., Kramer E.J., Mahajan Veysiere S. //Mechanical Properties of the MAX Phases in Encyclopedia of Materials Science and Technology, Elsevier Science, Amsterdam. – 2004.
26. Barsoum M.W. // Progress in Solid State Chemistry. – 2000. – T. 28. – C. 201.
27. Farber L., Barsoum M.W. // Journal of Materials Research. – 1999. – T. 14. – C. 2560.
28. Radhakrishnan R., Williams J.J., Akinc M. //Journal of Alloys and Compounds. – 1999. – T. 285. – C. 85.
29. Barsoum M.W., El-Raghy T., Radovic M. //Interceram. – 2000. – T. 49. – C. 226.
30. Du Y., J Schuster.C., Seifert H., Aldinger F. //Journal of the American Ceramic Society – 2000. – T. 83. – C. 1953–1956.
31. El-Raghy T., Barsoum M.W. // Journal of Applied Physics.– 1998. – T. 83. – C. 112.
32. Barsoum M.W., El-Raghy T., Farber L., Amer M., Cristin R., Adams A. // Journal of The Electrochemical Society. – 1999. – T. 146. – C. 197.
33. El-Raghy T., Barsoum M.W., Sika M. //Materials Science and Engineering: A . – 2001. – T.298. – C. 174.
34. Zhou Y., Gu W. //Zeitschrift für Metallkunde. – 2004. – T. 95. – C. 50.
35. Tzenov N., Barsoum M.W., El-Raghy T. //Journal of the European Ceramic Society. – 2000. – T.20. – C. 801.

36. Racault C., Langlais F., Naslain R., Kihn Y. //Journal of Materials Science. – 1994. – Т. 29. – С. 3941.
37. Wang X.H., Zhou Y.C. // Corrosion Science. – 2002. – Т.45. – С. 891.
38. Barsoum, M.W. and El-Raghy, T. Synthesis and characterization of a remarkable ceramic: Ti_3SiC_2 . //Journal of the American Ceramic Society. – 1996. – Т. 79. – С. 1953–1956.
39. Barsoum, M.W. and Radovic, M. Elastic and mechanical properties of the MAX phases. //Annual Review of Materials Research. – 2011. – Т. 41. –С. 195– 227.
40. С.А. Громилов. Введение в рентгенографию поликристаллов //Учебное пособие.Новосибирск: НГУ. – 2008. –С. 50.
41. Bilge Y. A., Erhan A. Evaluation of properties of spark plasma sintered Ti_3SiC_2 and Ti_3SiC_2/SiC composites. //Ceramics International.–2019. – Т.45. – С. 12297–12306.
42. El Saeed M.A., Deorsola F.A., Rashad R.M. Influence of SPS parameters on the density and mechanical properties of sintered Ti_3SiC_2 powders. //International Journal of Refractory Metals and Hard Materials.– 2013. – Т. 41. – С. 48–53.
43. Barsoum M.W. The $M_{N+1}A_XN$ phases: A new class of solids: Thermodynamically stable nanolaminates. //Progress in Solid State Chemistry.– 2000. – Т. 28. – С. 201–281.
44. Zhou Y., Sun Zh. Electronic structure and bonding properties in layered ternary carbide Ti_3SiC_2 . // Journal of Physics: Condensed Matter. – 2000. – Т.12. – С. 457–462.
45. Saeed M.A. El, Deorsola F.A., Rashad R.M., Optimization of the Ti_3SiC_2 MAX phase synthesis. // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials.– 2012. – Т. 35. – С. 127–135.

46. Gao N.F., Li J.T., Zhang D., Miyamoto Y. Rapid synthesis of dense Ti_3SiC_2 by spark plasma sintering. // Journal of the European Ceramic Society. – 2002. – Т.22. – С. 2365–2370.
47. J. Qin, D. He, Phase stability of Ti_3SiC_2 at high pressure and high temperature. // Ceramics International. – 2013. – Т.39. – С. 9361–9367.
48. Emmerlich J. Thermal stability of Ti_3SiC_2 thin films // Acta Materialia. – 2007. – Т. 55. – С. 1479–1488.
49. Kero, R. Tegman, M.-L. Antti, Effect of the amounts of silicon on the in situ synthesis of Ti_3SiC_2 based composites made from TiC/Si powder mixtures. // Ceramics International. – 2010. – Т.36. – С. 375–379.
50. Gao N.F., Miyamoto Y., Zhang D. On physical and thermochemical properties of high-purity Ti_3SiC_2 . // Materials Letters. – 2002. – Т.55. – С. 61–66.
51. F. Turki, H. Abderrazak, F. Schoenstein, M. Abdellaoui, N. Jouini. SPS parameters influence on Ti_3SiC_2 formation from Si/TiC: Mechanical properties of the bulk materials. // Journal of Alloys and Compounds. – 2017. – Т. 708. – С. 123–133.
52. Трудовой Кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От. 01.04.2019).
53. Федеральный закон «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» от 24.07.1998 N 165-ФЗ (последняя редакция).
54. Федеральный закон «Об основах обязательного социального страхования» от 16.07.1999 N 165-ФЗ (последняя редакция).
55. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Санитарные нормы. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
56. ГОСТ 12.4.318-2019 (ISO 4869-3:2007). Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органа слуха. Упрощенный метод измерения акустической эффективности противошумных наушников для оценки качества.

57. Беляков Г. И. Охрана труда и техника безопасности [Электронный ресурс]: учебник для прикладного бакалавриата/ГИ Беляков.—3-е изд., перераб. и доп.—Мультимедиа ресурсы (10 директорий; 100 файлов; 740МВ).—Москва: Юрайт, 2016.—1 Мультимедиа CD-ROM.—Бакалавр. Прикладной курс.— Электронные учебники издательства» Юрайт».— Электронная копия печатного издания.—Системные требования: Pentium 100 MHz, 16 Mb RAM //М.: Юрайт.– 2017. – Т. 404.

58. СанПин 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

59. СанПин 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.

60. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*(с Изменением N 1).

61. ГОСТ 12.1.030 – 81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.

62. ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

63. Yasui K., Osaki M., Miyamoto A., Namai H. Three-dimensional structure recognition of circuit patterns on semiconductor devices using multiple SEM images detected in different electron scattering angles. //Microelectronics Reliability. – 2020. – Т. 108. – С. 1-9.

Приложение А

Таблица 7 – Фазовый состав, параметры решетки и размеры областей когерентного рассеяния образцов.

Образец	Фаза	Содержание фазы, об%.	Параметр решетки, Å	Область когерентного рассеяния, нм
Ti ₃ SiC ₂ _1100°C_20MPa	Ti ₃ SiC ₂	65.0	a=3.066; c=17.662	46
	TiC	22.8	a=4.312	17
	TiSi ₂	12.2	a=8.221; b=8.575; c=4.799	12
Ti ₃ SiC ₂ _1100°C_30MPa	Ti ₃ SiC ₂	60.1	a=3.067; c=17.667	44
	TiC	27.7	a=4.314	13
	TiSi ₂	12.2	a=8.185; b=8.545; c=4.809	11
Ti ₃ SiC ₂ _1100°C_40MPa	Ti ₃ SiC ₂	62.5	a=3.066; c=17.664	47
	TiC	24.2	a=4.314	19
	TiSi ₂	13.3	a=8.241; b=8.565; c=4.789	14
Ti ₃ SiC ₂ _1200°C_20MPa	Ti ₃ SiC ₂	56.4	a=3.065; c=17.664	46
	TiC	30.5	a=4.318	32
	TiSi ₂	13.1	a=8.262; b=8.537; c=4.788	15

Продолжение таблицы 7

Ti ₃ SiC ₂ _1200°C_30MPa	Ti ₃ SiC ₂	59.0	a=3.066; c=17.670	51
	TiC	28.0	a=4.318	17
	TiSi ₂	13.0	a=8.244; b=8.568; c=4.785	10
Ti ₃ SiC ₂ _1200°C_40MPa	Ti ₃ SiC ₂	58.9	a=3.066; c=17.667	52
	TiC	24.0	a=4.317	22
	TiSi ₂	17.1	a=8.247; b=8.575; c=4.785	10
Ti ₃ SiC ₂ _1200°C_50MPa	Ti ₃ SiC ₂	54.5	a=3.065; c=17.663	51
	TiC	27.0	a=4.316	32
	TiSi ₂	18.5	a=8.249; b=8.558; c=4.789	10
Ti ₃ SiC ₂ _1300°C_20MPa	Ti ₃ SiC ₂	46.4	a=3.067; c=17.673	49
	TiC	53.6	a=4.320	34