

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 03.03.02 Физика
 Отделение школы (НОЦ) отделение экспериментальной физики (ОЭФ)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Влияние армирования волокнами SiC ламинатов на основе МАХ-фаз, полученных из прекерамических бумаг, на механические свойства

УДК 539.2:661.665-024.25

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б71	Жданов Андрей Евгеньевич		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Спицына Л.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ ТПУ	Склярова Е.А.	к.п.н., доцент		

Запланированные результаты освоения ООП

Код	Результат освоения ООП
P1	Использовать основные этапы и закономерности исторического развития общества, основы философских, экономических, правовых знаний для формирования мировоззренческой, гражданской позиций и использования в различных сферах жизнедеятельности
P2	Уметь работать в коллективе, быть готовым 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.
P3	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.
P4	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.
P5	Применять 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.
P6	Проводить научные теоретические и экспериментальные исследования в областях: материаловедения, атомной и ядерной физики, водородной энергетики, с помощью современной приборной базы с использованием специализированных знаний физики и освоенных профильных дисциплин.
P7	Применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований, а также профессиональные знания и умения для проведения физических исследований в инновационных областях науки, используя современные методы обработки, анализа и синтеза информации.
P8	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

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 (специальность) 03.03.02 «Физика»
 Отделение школы (НОЦ) Экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (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
0Б71	Жданов Андрей Евгеньевич

Тема работы:

Влияние армирования волокнами SiC ламинатов на основе МАХ-фаз, полученных из прекерамических бумаг, на механические свойства
Утверждена приказом директора (дата, номер)

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

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>	<p>Прекерамическая бумага на основе МАХ-фазы $Ti_3Al(Si)C_2$, дифрактометр XRD 7000S «Shimadzu»</p> <p>для проведения рентгенофазового анализа, персональный компьютер с необходимым программным обеспечением, а также сканирующий электронный микроскоп Vega 3</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной</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

<i>работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Изучение механических свойств полученных композитов – Социальная ответственность – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение – Заключение
----------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицына Любовь Юрьевна, Доцент ОСГН ШБИП ТПУ
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна, Ассистент ООД

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

--

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ ТПУ	Сыртанов М.С.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б71	Жданов Андрей Евгеньевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0Б71	Жданову Андрею Евгеньевичу

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

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Затраты на сырье, размер окладов, затраты на электроэнергию, амортизационные расходы</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<ul style="list-style-type: none"> – 30% премии; – 20% надбавки; – 30% районный коэффициент – Максимальный бюджет НИ 1300000 руб – 4.4 индекс ресурсоэффективности
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	– <i>Отчисления во внебюджетные фонды 30%</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<ul style="list-style-type: none"> – <i>Потенциальные потребители результатов исследования;</i> – <i>проведение анализа конкурентоспособности.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<ul style="list-style-type: none"> – <i>цели и результаты проекта;</i> – <i>организационная структура проекта.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<ul style="list-style-type: none"> – <i>структура работ в рамках научного исследования;</i> – <i>разработка графика проведения научного исследования;</i> – <i>бюджет научно-технического исследования.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценка конкурентоспособности НИ;*
2. *SWOT- анализ;*
3. *Диаграмма Ганта;*
4. *Бюджет затрат научно-технического исследования*

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б71	Жданов Андрей Евгеньевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0Б71	Жданов Андрей Евгеньевич

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

Тема ВКР:

Влияние армирования волокнами SiC ламинатов на основе МАХ-фаз, полученных искровым плазменным спеканием прекерамических бумаг	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Композиционные материалы на основе прекерамической бумаги. Рабочее место – лаборатория. Эксперименты проводятся на дифрактометре «Shimadzu XRD 7000S» с вакуумной камерой.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– ГОСТ 12.2.032-78 – ГОСТ 12.2.049-80 – ПНД Ф 12.13.1-03 – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.04.2021)
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные: отклонение показателей микроклимата, превышение уровня шума, недостаточная освещенность рабочей зоны Опасные: опасность поражения током, вероятность возникновения пожара и взрыва газовых баллонов.
3. Экологическая безопасность:	Гидросфера: производственные сточные воды, в процессе охлаждения дифрактометра. Литосфера: в ходе работы системы искрового плазменного спекания может образовываться осажденный слой (тяжелые металлы) на поверхности анода, очистка которого приводит к загрязнению литосферы.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– 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	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б71	Жданов Андрей Евгеньевич		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа – Инженерная школа ядерных технологий

Уровень образования Бакалавриат

Направление подготовки – Физика конденсированного состояния

Отделение школы (НОЦ) – Отделение экспериментальной физики

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2020/2021 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:	
------------------------------------------	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.10.2020	Аналитический обзор литературы	15
25.12.2020	Синтез композита из прекерамической бумаги	15
05.02.2020	Исследование фазового состава, микроструктуры и механических свойств	20
30.04.2021	Анализ результатов	15
01.05.2021	Социальная ответственность	15
01.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
05.06.2021	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ ТПУ	Сыртанов М.С.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭФ ИЯТШ ТПУ	Склярова Е.А.	к.п.н., доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 93 с., 35 рисунков, 18 формул, 23 таблицы и 48 используемых источников.

Ключевые слова: МАХ-фаза, искровое плазменное спекание, прекерамическая бумага, композитные материалы, рентгенофазовый анализ, сканирующая электронная микроскопия, прочность на изгиб.

Объектом исследования являются композиты на основе МАХ-фазы $Ti_3Al(Si)C_2$, полученные из прекерамической бумаги с использованием искрового плазменного спекания, армированные волокнами SiC и без армирования.

Цель работы: Исследовать влияние армирования волокнами SiC композитов на основе $Ti_3Al(Si)C_2$, полученных из прекерамической бумаги на механические свойства.

В процессе исследования проводились: синтез прекерамической бумаги, искровое плазменное спекание $Ti_3Al(Si)C_2$, рентгенофазовый анализ, компьютерная томография, испытания на твердость, прочность на изгиб, сканирующая электронная микроскопия.

В результате исследования: получены данные, что метод искрового плазменного спекания может быть успешно использован для синтеза керамических композитов на основе $Ti_3Al(Si)C_2$ из прекерамической бумаги. Были получены три серии образцов: армированные без углеродного покрытия, армированные с углеродным покрытием и без армирования. Композит $Ti_3Al(Si)C_2$ имеет многофазную структуру, состоящую из фаз $Ti_3Al(Si)C_2$, TiC и Al_2O_3 . Волокна равномерно расположены в матрице композита. Твердость по Виккерсу показала, что средние значения твердости не зависят от армирования, значения твердости составляют 9 ± 1 ГПа. Результаты твердости на изгиб для армированных композитов с углеродным покрытием на 20 % больше, чем для образцов без углеродного волокна.

Экономическая эффективность работы: данная работа экономически эффективна, так как позволяет производить с более высокими физико-механическими свойствами, по сравнению с аналогами.

В будущем планируется: продолжить исследование ориентации армирующих волокон на механические свойства композитов.

Оглавление

Введение.....	13
1 Литературный обзор	15
1.1 Классификация соединений на основе МАХ-р.....	15
1.1.1 Структура МАХ-фаз	15
1.1.2 Методы получения МАХ–фаз	19
1.2. Свойства Мах-фаз.	24
1.2.1 Механические свойства.....	24
1.2.2 Химические свойства	27
1.2.3 Электрические свойства.....	30
1.3. Армирование композитов на основе МАХ-фаз	33
2. Материалы и методы исследование	39
2.1. Получение прекерамической бумаги на основе Ti_3AlC_2	39
2.2. Получение армированных композитов.....	41
2.3. Оценка механических свойств.....	42
2.3.1 Прочность на изгиб.....	42
2.3.2 Твердость по Виккерсу.....	44
2.4. Методы анализа.....	45
2.4.1. Рентгеноструктурный анализ.	45
2.4.2. Сканирующая электронная микроскопия	47
2.4.3. Компьютерная томография.....	48
3 Результаты исследования	50
3.1 Структурный и фазовый анализ композитов	50
3.2 Механические характеристики композитов.....	52
3.3 Микроструктура композитов после механических испытаний	54
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	58
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	59
4.2 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.	60
4.3 Планирование научно-технического исследования.....	67
4.4 Бюджет научного исследования.....	71

4.5 Ресурсоэффективность	74
5. Социальная ответственность	76
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. ...	77
5.2 Производственная безопасность	78
5.2.1 Превышение шума	79
5.2.2 Отклонение показателей микроклимата.....	80
5.2.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	82
5.3 Экологическая безопасность.....	84
5.3.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду ...	84
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	84
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	84
5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	85
Заключение	88
Список литературы	89

Введение

На сегодняшний день актуальны задачи, связанные с разработкой новых материалов, которые имеют лучшие свойства, по сравнению с их аналогами, которые используются сейчас. Одними из таких материалов являются композиты, которые сочетают в себе свойства керамики и металла. Данные материалы активно используются во многих областях промышленности, таких как авиационная, космическая, транспортная, химическая и т.д. Одними из наиболее интересных по совмещению свойств металлов и керамики, являются керамические структуры на основе МАХ-фаз, которые представляют собой трехкомпонентные соединения, состоящие из атомов переходных металлов, металла группы IIIA и IVA, а также азота или углерода [1]. Благодаря своей внутренней структуре они способны сочетать в себе высокую электропроводность и теплопроводность, низкую плотность, малый вес, при этом сохраняя высокие механические характеристики. Также данные материалы можно использовать в качестве потенциального материала для ядерной энергетики [1]. Композит на основе Ti_3AlC_2 относится к классу тугоплавких слоистых соединений, обладает высокой прочностью, трещиностойкостью, высоким сопротивлением термическому удару, а также стойкостью к агрессивным химическим средам. К его характеристикам относятся также хорошая проводимость, что позволяет рассматривать данный композит в качестве материала в области электротехники и использования его в условиях высоких температур. Однако создание такого композита связано с проблемами, вызванными образованием примесных фаз, которые негативно сказываются на свойствах материала [2].

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_3AlC_2 прекерамическую бумагу. Прекерамическая бумага представляет из себя керамический порошок Ti_3AlC_2 , частицы которого связаны между собой органическим связующим. Одним из важных преимуществ метода получения композита на основе Ti_3AlC_2 из прекерамической бумаги методом ИПС является возможность производство деталей сложных форм и геометрии. Для повышения механических свойств данных композитов используется дополнительное армирование непрерывными волокнами. Данная работа посвящена синтезу и изучению влияние армирования волокнами карбида кремния композитов на основе Ti_3AlC_2 из прекерамической бумаги на физико-механические свойства.

Таким образом, целью настоящей работы является оценка влияния влияние армирования волокнами карбида кремния композитов на основе Ti_3AlC_2 из прекерамической бумаги на физико-механические свойства.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- синтезировать композиты на основе $Ti_3Al(Si)C_2$, армированные волокнами SiC методом искрового плазменного спекания, используя прекерамическую бумагу в качестве исходного сырья;
- проанализировать изменение механических свойств композитов;
- оценить структуру полученных композитов.

1 Литературный обзор

1.1 Классификация соединений на основе МАХ-фаз.

МАХ-фазы представляют собой семейство слоистых карбидов или нитридов, гексагональной структуры, переходного металла (М) и элемента IIIA или IVA группы (А) периодической системы с пространственной группой $R\bar{6}_3/mmc$, показаны на рисунке 1.1.

1	2													13	14	15	16	17	18
H	He													B	C	N	O	F	Ne
Li	Be													Al	Si	P	S	Cl	Ar
Na	Mg													Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn								
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd								
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg								
Fr	Ra	Lr	Unq	Unp	Unh	Uns	Uno	Une											

Рисунок 1.1 – Периодическая таблица элементов, образующих МАХ-фазы [1]

Основной формулой для идентификации МАХ-фаз является – $M_{n+1}AX_n$, число n принимает значение от 1 до 3, используется для классификации систем на основе $M_{n+1}AX_n$. Основываясь на веществах, входящих в состав данных веществ, они и получили название МАХ-фазы [1].

1.1.1 Структура МАХ-фаз

МАХ-фазы представляют собой наноламинаты. Наноламинаты – материалы, состоящие из многослойной структуры, у которых толщина одного слоя приблизительно находится в нанометровом диапазоне. Благодаря такой многослойной структуре, материалы обладают рядом уникальных свойств. [1]

МАХ-фазы состоят из плотно упакованных слоев октаэдров атомов M_6X , чередующиеся слоями чистых атомов элементов А-группы, в то время

как атомы X заполняют октаэдрические поры между атомами элемента М. Классификация МАХ-фаз зависит от числа n и делятся на три основные группы: 211, 312, 413, которые различаются количеством слоев и способом упаковки этих слоев (рисунок 1.2). Для структур 211 характерна химическая формула M_2AX , для 312 – M_3AX_2 , для 413 – M_4AX_3 . Структура МАХ-фаз позволяет путем легирования и замещения элементов на место металлов, получать структуры с разными физическими и химическими свойствами [1,2].

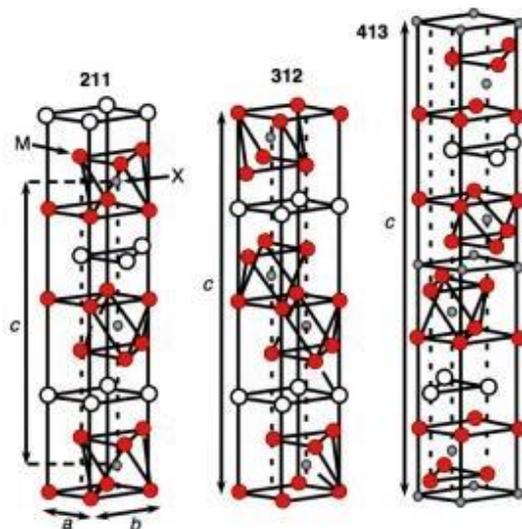


Рисунок 1.2 - Кристаллическая структура фаз M_2AX , M_3AX_2 и M_4AX_3 [3]

Характерные СЭМ-изображения соединений на основе МАХ-фаз представлены на рисунок 1.3. МАХ-фаза Ti_3SiC_2 выглядят как слоистый композитный материал.

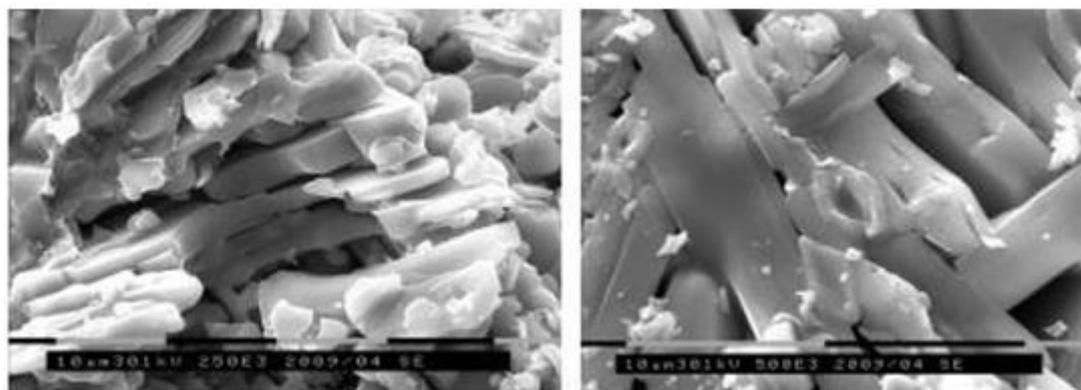


Рисунок 1.3 - Сканирующие электронные микрофотографии (СЭМ) образца Ti_3SiC_2 [1]

На рисунке 1.4а представлены сканирующие электронные микрофотографии (СЭМ) пористого образца Ti_3SiC_2 , где четко видны полосы расслоения и перегиба. На рисунке 1.4б показаны типичные перегибы и расслоения, наблюдаемые на поверхностях с трещинами Ti_3SiC_2 . На рисунке 1.4с представлено просвечивающее электронное микроскопическое изображение изломанной полосы с высоким углом разориентации, содержащей расслаивающиеся трещины. Отдельные дислокационные стенки, которые обычно нормальные к базисным плоскостям, но наклоненные к границам излома, обозначены как V.

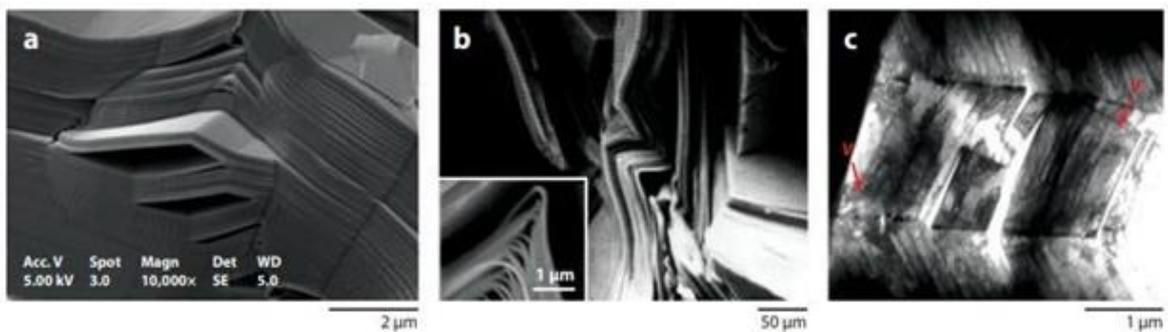


Рисунок 1.4 - а) сканирующие электронные микрофотографии образца Ti_3SiC_2 , б) показаны типичные перегибы и расслоения, наблюдаемые на поверхностях Ti_3SiC_2 , с) просвечивающее электронное микроскопическое изображение [2]

В таблице 1.1 представлены большинство известных фаз $M_{n+1}AX_n$, которые расположены в зависимости от электронной конфигурации для А и М элементов.

Таблица 1.1 - Известные фазы $M_{n+1}AX_n$ [2]

	Элементы А-группы				
	s^2	s^2p^1	s^2p^2	s^2p^3	s^2p^4
	211 фазы				
3d	Ti_2CdC	Sc_2InC	Ti_2GeC	V_2PC	Ti_2SC
		Ti_2AlC	Ti_2SnC	V_2AsC	
		Ti_2AlN	Ti_2PbC		
		Ti_2GaC	V_2GeC		
		Ti_2GaN	Cr_2GeC		
		Ti_2InC			

Продолжение таблицы 1.1.

		Ti ₂ TiC			
		V ₂ AlC			
		V ₂ GaC			
		V ₂ GaN			
		Cr ₂ AlC			
		Cr ₂ GaC			
		Cr ₂ GaN			
		Mn ₂ GaC			
4d		Zr ₂ AlC	Zr ₂ SnC	Nb ₂ PC	Zr ₂ SC
		Zr ₂ InC	Zr ₂ PbC	Nb ₂ AsC	Nb ₂ SC
		Zr ₂ InN	Nb ₂ SnC		
		Zr ₂ TiC			
		Nb ₂ AlC			
		Nb ₂ GaC			
		Nb ₂ InC			
		Mo ₂ GaC			
5d		Hf ₂ IC	Hf ₂ SnC		Hf ₂ SC
		Hf ₂ TC	Hf ₂ SnN		
		Hf ₂ C	Hf ₂ PbC		
		Hf ₂ GaC			
312 фазы					
3d		Ti ₃ Al ₂ C	Ti ₃ SiC ₂		
		Ti ₃ AlC ₂	Ti ₃ Ge ₂		
		Ti ₃ GC ₂	Ti ₃ Sn ₂		
		Ti ₃ AlC ₂			
4d		Zr ₃ AlC ₂			
5d		Ta ₃ AlC ₂			
413 фазы					
3d		Ti ₄ Al ₃ C ₃	Ti ₄ SiC ₃		
		Ti ₄ GaC ₃	Ti ₄ Ge ₃		
		V ₄ AlC ₃			
4d		Nb ₄ AlC ₃			
5d		Ta ₄ AlC ₃			

Среди всех известных МАХ-фаз наиболее исследованными системами являются системы на основе Ti-Si-C. Данные системы характеризуются хорошими электропроводимостью и теплопроводностью, а также небольшими по величине коэффициентами трения в сравнении с металлами. Данные материалы обладают отличной жесткостью, малой плотностью и хорошей прочностью.

Материалам на основе Ti-Al-C свойственно сохранять свои свойства при повышенных температурах, при этом обладая высокой стойкостью к окислению при высоких температурах, исходя из керамической природы материалов. Также большинство материалов на основе МАХ-фаз обладают хорошей электропроводностью. Это обусловлено тем, что материалы, в составе структур на основе МАХ-фаз, которым свойственно окисление не образуют оксидный слой на поверхности материала, что способствует хорошей электропроводности [4].

1.1.2 Методы получения МАХ-фаз

Существует несколько основных методов синтеза МАХ-фаз. В настоящей главе будут рассмотрены методы, которые получили широкое распространение в последние несколько лет.

1.1.2.1 Горячее прессование

Горячее прессование (ГП) - производственный процесс, при котором используется одновременно применение высокой температуры и давления. Он был изобретен в 1955 году для диффузионно-связывающих процессов в атомной промышленности и с тех пор применяется во многих других областях. ГП включает одновременное приложение изостатического давления и повышенной температуры к порошку-заготовке, что приводит к его уплотнению. Для создания среды спекания используется инертный газ, такой как аргон или азот, который закачивается в сосуд высокого давления (до 200 МПа), в то время как печь в сосуде производит температуру до 2000 °С [5]. Заготовки помещаются в вакуумированную капсулу из листового металла, керамики или стекла. Дальнейшие действия можно описать следующими циклами [5]:

Цикл 1. Цикл холодной загрузки, где температура повышается через некоторое время после подачи давления, причем как температура, так и давления достигают своего пика одновременно: применяется для задания определённой геометрической формы листового металла.

Цикл 2. Цикл горячей загрузки, когда давление прикладывается после того, как температура достигла желаемого значения: Важный этап, особенно в случаях стеклянных изделий, так как раннее применение давления приведет к растрескиванию стеклянной капсулы.

Цикл 3. Температура повышается только после того, как давление достигает желаемого значения, так что рекристаллизация частиц порошка усиливается за счет пластической деформации, что позволяет использовать более низкую температуру.

Цикл 4. Экономичный цикл, в котором давление и температура повышаются одновременно, чтобы сократить время обработки.

Технологическая схема может представляется следующим образом:

1. Смешивание исходных материалов
2. Размельчение смеси исходных материалов
3. Горячее прессование
4. Механическая обработка

Параметры процесса горячего прессования:

- Рабочее давление от 50 МПа.
- Скорость повышения температуры от 5°C/мин до температуры 300°C/мин.
- Температуры выдержки в диапазоне 1250–2000 °C исходя из состава смеси. Температура выдержки выбирается, учитывая данные о температуре плавления вещества матрицы.
- Время выдержки при давлении и максимальной температуре от 1.5 до 2 часа.
- Среда, в которой происходит спекание - инертный газ (аргон) или вакуум.

Установки для ГП показаны на рисунке 1.5.

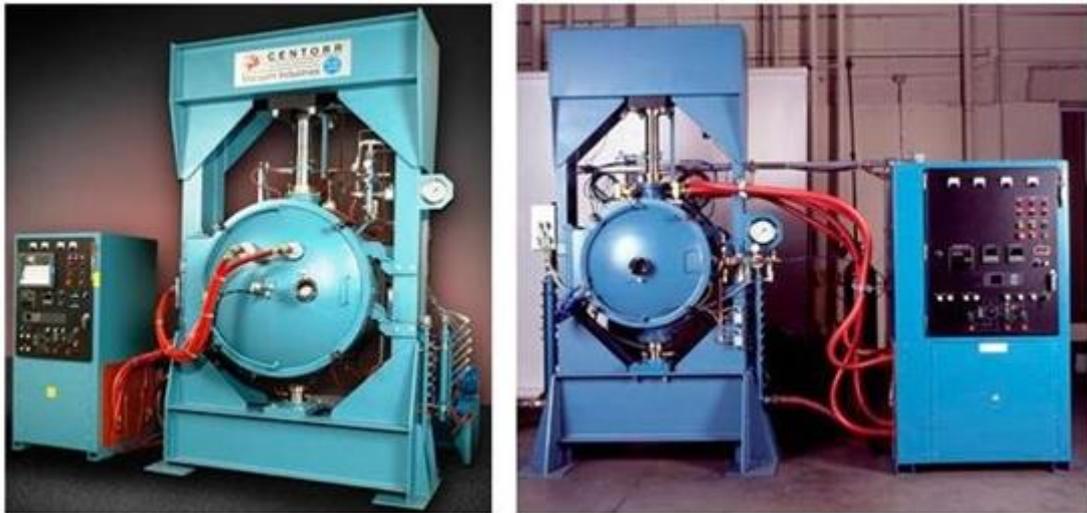


Рисунок 1.5 - Прессы горячего прессования Centorr/Vacuum Industries на основе керамической или металлокерамической матрицы [5]

1.1.2.2 Самораспространяющийся высокотемпературный синтез

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) – процесс характерен созданием в процессе химической реакции твердых веществ. Используется для синтеза новых материалов. СВС представляет реакцию горения, в котором синтез инициируется точечным нагревом небольшой части образца и передается от слоя к слою через теплопередачу. Когда волна горения проходит через образец, она очищает материал и поддерживает его стехиометрию. СВС не требует внешнего давления для проведения спекания. Порошок со смесью исходных веществ закрывают в камере, в котором в свою очередь, находится газ. Затем происходит процесс горения, который оказывает воздействие на исходную смесь, после чего понижается температура и заканчивается процесс синтеза нового вещества [5]. Процесс синтеза представлен на рисунке 1.6.

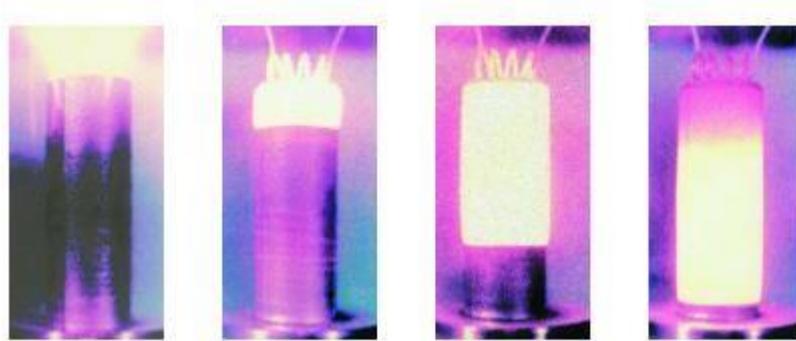


Рисунок 1.6 - Процесс синтеза СВС [5]

Установка для метода самораспространяющегося высокотемпературного синтеза представлена на рисунке 1.7.

Технологические параметры СВС-процесса:

- Скорость горения 0.1-20 см/с
- Температура горения 2350-3850 К
- Скорость нагрева вещества 100-106°С/мин
- Мощность зажигания 10-200 кал/(см² с)
- Задержка зажигания 0.2-1.2 с
- Температура зажигания 800-1150 К



Рисунок 1.7 - Реактор частиц СВС [5]

1.1.2.3 Искровое плазменное спекание (ИПС)

Вначале эта техника нашла применение в основном в Японии и некоторых других странах Дальнего Востока. Распространение в западных странах, главным образом в научно-исследовательских институтах, началось в середине 90-х годов прошлого века. Последнее столетие быстро распространилось и в промышленной среде. Это один из самых распространённых методов спекания. При данном процессе уплотнения, к порошку прикладывается давление одноосного уплотнения вместе с импульсным постоянным током для быстрого нагрева и активации процесса спекания. В процессе спекания смешанные порошки помещаются в камеру, где к ним прикладывается импульсный ток и давление для спекания порошка [5].

По сравнению с другими методами ИПС имеет следующие преимущества: процесс спекания приходит намного быстрее, получение более тонких структур, температуры и давление спекания ниже. Системы на основе ИПС обычно могут работать с использованием скорости нагрева в диапазоне сотен градусов в минуту. Эти значения на три порядка выше, чем при обычном спекании, и позволяют резко сократить продолжительность циклов спекания. Помимо более высоких скоростей нагрева, этот метод также позволяет сократить время спекания. Эти два факта в сочетании позволяют сократить типичные циклы спекания до нескольких минут, что сопоставимо с несколькими часами, обычно используемыми при традиционном спекании. Это повышение эффективности спекания позволяет также снизить температуру спекания, иногда на сотни градусов, особенно в корпус из очень тугоплавких материалов. Такое снижение температуры спекания приводит к общему снижению роста зерен, что приводит к получению материалов, характеризующихся меньшим размером зерен и лучшими механическими свойствами [5]. Из-за быстрого времени спекания, данный метод позволяет получать материалы без фазовых изменений и с более выраженными границами зерен. На рисунке 1.8, представлена схема установки ИПС.

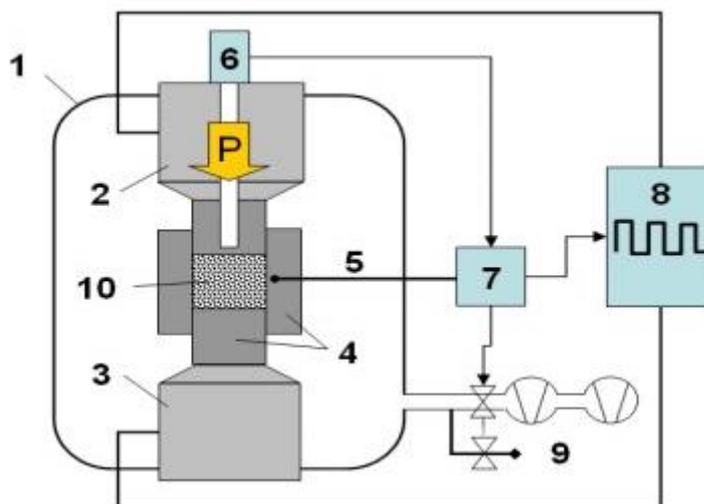


Рисунок 1.8 – 1 – рабочая камера, 2 – верхний (подвижный) пуансон, 3 – нижний пуансон, 4 – графитовая оснастка, 5 – термопара, 6 – пирометр, 7 – контроллер системы, 8 – генератор импульсов постоянного тока, 9 – модули создания печной атмосферы, 10 – спекаемый материал [5]

1.2. Свойства МАх-фаз.

1.2.1 Механические свойства

МАХ-фазы сочетают в себе свойства как металла, так и керамики. Такие материалы довольно стабильны при высоких температурах, обладают уникальными механическими, термическими и химическими свойствами, могут быть использованы в широком спектре различных механизмов. Одними из самых наиболее исследуемым материалом являются системы на основе Ti_3SiC_2/Ti_3AlC_2 из-за их ярко выраженных сочетаний металлических и керамических свойств. К таким свойствам относятся такие как хорошая теплопроводность, устойчивость к тепловому удару и высокотемпературному окислению [6]. Благодаря своим механическим свойствам они могут быть использованы, например, в составе керамической брони для бронетранспортеров, патрульных машин, вертолетов и даже боевых танков. Они также могут быть использованы в качестве матрицы в композитах на основе керамики, армированных ковалентными фазами [6,7]. Такие материалам свойственна превосходная электропроводностью, а их

металлоподобное удельное сопротивление линейно падает с понижением температуры [8]. Известно, что они являются хорошими теплопроводниками, поэтому их можно использовать в качестве нагревательных элементов [8]. Они также имеют стабильны высоких температурах, не плавятся, а разлагаются на обычные карбиды или нитриды. [8]. Системы на основе Ti_3SiC_2/Ti_3AlC_2 также известны своей высокой устойчивостью к тепловому удару. Также благодаря керамическим свойствам материалы сохраняют небольшой вес и стойкость к окислительным процессам.

Потенциальные области применения этих материалов широки и варьируются от упомянутых выше “броневых компонентов”, защитных слоёв, высокотемпературных окислительно-стойких элементов, нагревательных элементов, облицовочных материалов для ядерных установок и др.

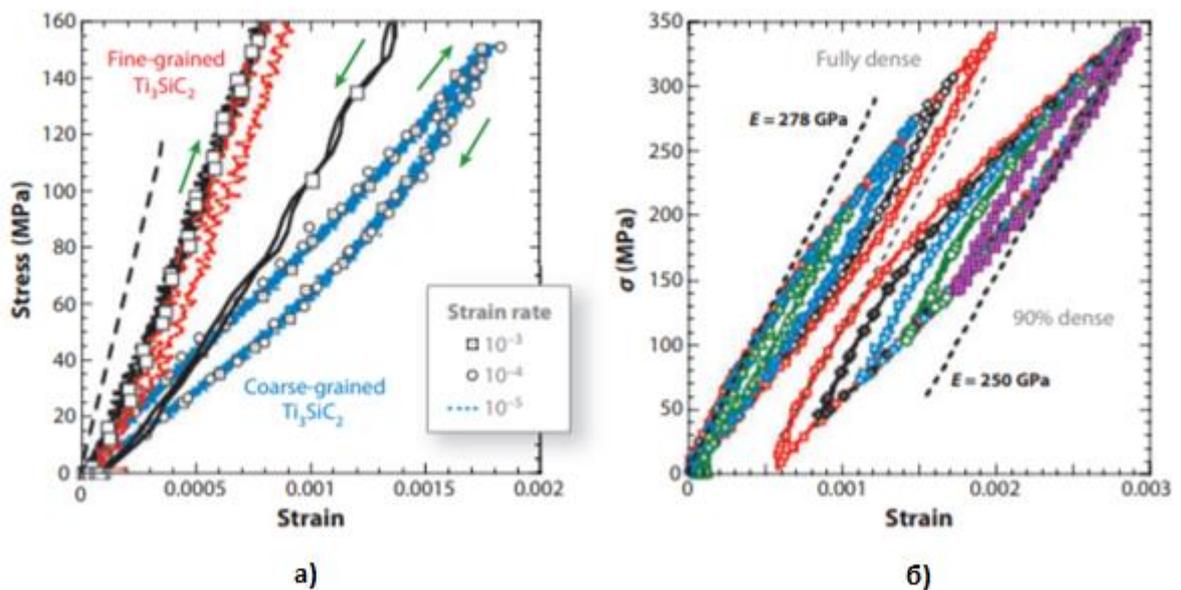


Рисунок 1.9 – Типичные циклы напряжения-деформации. а) Образцы Ti_3SiC_2 , б) Образцы Ti_2AlC_2 [8]

Одним из интересных свойств МАХ-фаз является их нелинейное упругое поведение при сжатии или растяжении, которое не наблюдается для жестких материалов, это продемонстрировано в работе [8] и на рисунке 1.9. Также МАХ-фазам характерны высокая удельная жесткость,

обрабатываемость и обратимая деформация. [8].

МАХ-фазы демонстрируют лучшую устойчивость к повреждениям, чем другие передовые керамические материалы. При деформации МАХ-фазы разрушаются с образованием всевозможных изломов, полос сдвига, расслоений, разрушений зерен, что вызывает упрочнение деформационных механизмов. Такое характерное поведение МАХ-фаз следует из анизотропной структуры самих материалов [8]. В работе [9] проводились испытания на ползучесть для Ti_3AlC_2 , результаты представлены на рисунке 1.10.

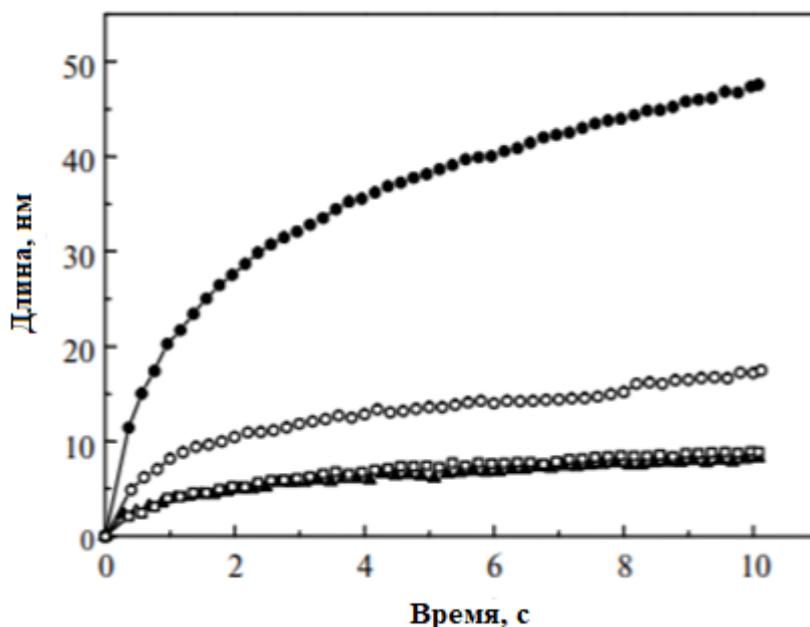


Рисунок 1.10 – Зависимость глубины проникновения индентора от времени при максимальной нагрузке 242 мН [9]

В работе [9] приведена характеристика систем на основе Ti_3AlC_2 , у которых были получены следующие физические характеристики: нанотвердость при нагрузке 242 мН равна 0.2-0.4 ГПа, модуль Юнга при нагрузке 242 мН равен 137 ГПа. При повышении концентрации карбида титана величины нанотвердости и модуля Юнга увеличивается. Материалы на основе систем Ti_3AlC_2 обладают высокой трещиностойкостью с показателями выше, чем 12 МПа. Для любой микроструктуры прочность на изгиб обычно на 50% ниже прочности на сжатие, предел прочности при растяжении варьируются от

менее чем 100 МПа до 300 МПа [9]. Также в работе [9] были получены кривые деформации при изгибе в деформированных образцах (рисунок 1.11).

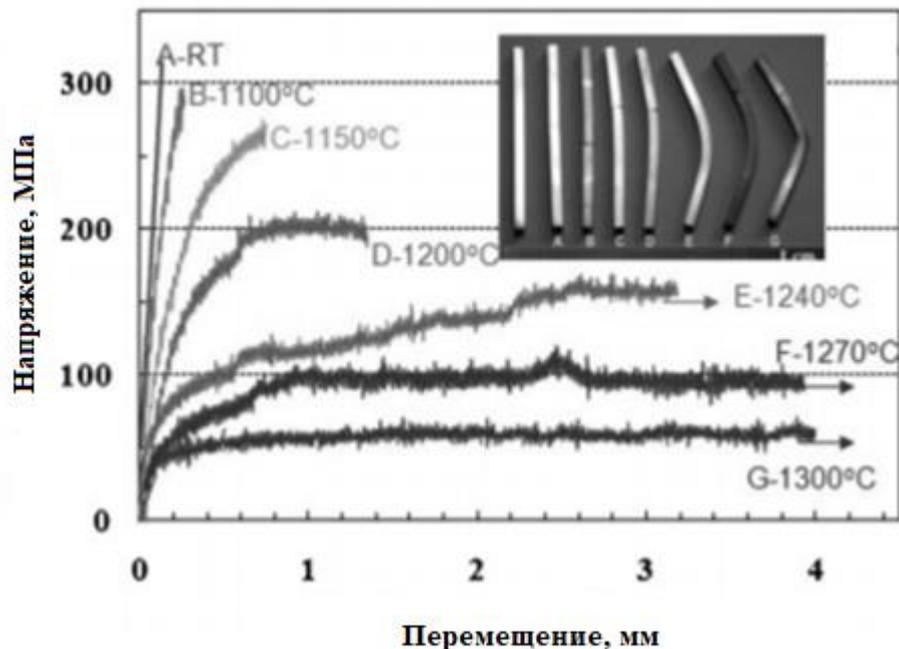


Рисунок 1.11 - Кривые деформации при изгибе. Деформированные образцы при различных температурах [9]

МАХ-фазам на основе Ti_3SiC_2 свойственна термическая стабильность [10]. Стоит отметить, что температура плавления зависит от многих факторов, таких как примеси, входящих в состав, уровень вакуума, среда в которой протекает процесс. Как было показано в работе [11], максимальная температура горения Ti_3SiC_2 составляет 2373 К.

В работе [12] были получены следующие физические характеристики для Ti_3SiC_2 при $t = 20$ °С: модуль упругости 322 ГПа, модуль сдвига 133.6 ГПа, коэффициента Пуассона 0.2, плотность 4.52 г/см³ [13].

1.2.2 Химические свойства

Коррозионная стойкость. Оценка коррозионной стойкости МАХ-фаз на основе композитов Ti_3AlC_2 и Ti_2AlC в различных агрессивных средах показали отличные результаты. Данные композиты подвергались химическому воздействию в расплавленной соли Na_2SO_4 в течение 20 часов при 900 и

1000°C. В результате их коррозионный привес составил 0,15 и 0,45 кг·м⁻² соответственно, в то время как Cr₂AlC показал увеличение привеса лишь на 0,1·10⁻⁴ и 1,5·10⁻³ кг·м⁻² при тех же условиях [14]. В работе [15] металлокерамические соединения Ti₂AlC, Ti₃SiC₂, Cr₂AlC, Nb₄AlC₃, подвергались воздействию в расплавленной соли KNO₃-NaNO₃ в течение 1000 часов при 600°C. В этих условиях не образовывалась глиноземистая окалина, приводящая к значительной коррозии материалов, за исключением Cr₂AlC, который был защищен микрометровым слоем Cr₇C₃. Кроме того, различные МАХ-фазы были подвергнуты испытаниям на предмет их взаимодействия с кислородом в течение не менее 1000 часов при 500°C [15]. Интересно, что выбранные МАХ-фазы обладали лучшей устойчивостью как к коррозии, так и к эрозии по сравнению с нержавеющей стали марки 316L [16].

Как и в случае бинарных соединений МХ, химическая связь в МАХ-фазах представляет собой комбинацию металлической, ковалентной и ионной связи. Но для большинства МАХ-фаз связи М-А слабее, чем связи М-Х. На рисунке 1.12 показаны различные типы орбиталей ковалентной связи в МХ-соединениях [17].

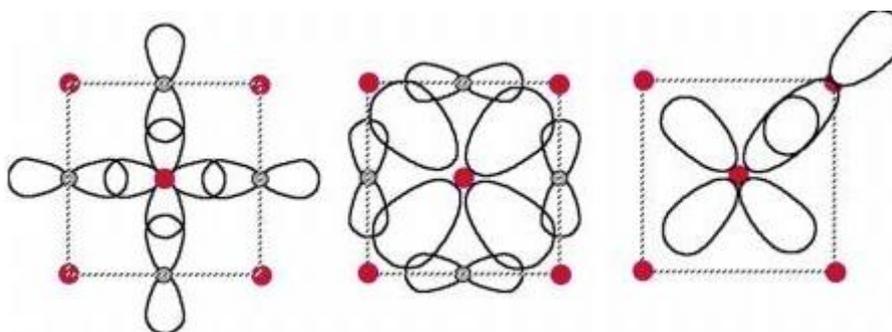


Рисунок 1.12 – Иллюстрация ковалентных связывающих орбиталей в бинарных соединениях МХ [17]

Как и в соединениях TiC, химические связи в МАХ-фазах имеют смешанную ковалентно-ионно-металлическую природу, что приводит к сочетанию керамических и металлических свойств. Керамика обычно характеризуется ковалентными и ионными связями, следствием которых являются такие свойства как: низкая электропроводность, высокая

температура плавления, хрупкость и высокая твердость. Если укладывать слои А-элемента (например, Al, Si, Ge) в последовательность А-Ті_{II}-С-Ті_I-С-Ті_{II}-А в матрице ТіС значительно улучшаются электропроводность, высокотемпературные и другие свойства. Высокая температура плавления связана с сильными ковалентными и ионными связями, в то время как электрическая и теплопроводность обусловлены сильными металлическими связями [17].

Как было замечено раньше, соединения Ті₃SiC₂ являются очень прочными. В работе [18] была изучена стойкость к окислению при 1000-1200 °С на воздухе порошков, пористых компонентов и плотных образцов Ті₃SiC₂, полученных методом горячего прессования. На рисунке 1.13 показаны графики зависимости прироста массы в зависимости от времени окисления для разных исходных образцов. Из анализа данных по окислению можно сделать вывод, что пористость материалов снижает коррозионную стойкость материалов. Пористые композиты, как и порошки обладают низкой стойкостью к коррозии. Плотные образцы показали более высокую стойкость к окислению, в частности, образцы с добавками 20 об. % ТіSi, у которых существенная увеличение массы будет проявляться только при температурах более 1150-1250 °С, что можно объяснить тем, что у данного материала контакт с воздухом на поверхности хуже, так как у него не развитая поверхность и при этом на ней образуется оксидный слой, который и защищает материал от воздействия кислорода в сам материал [18].

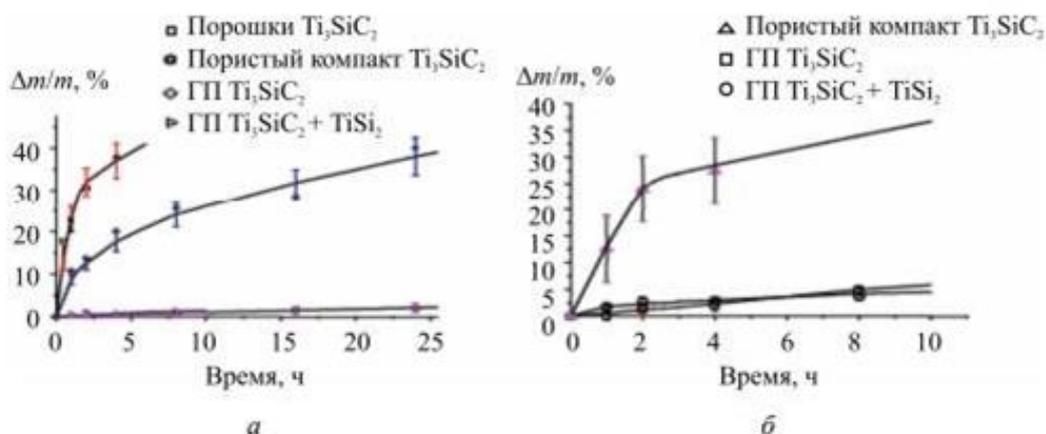


Рисунок 1.13 – Изменение прироста массы для различных образцов на основе Ti_3SiC_2 после окисления: а – при 1100 °С; б – 1200 °С [18]

1.2.3 Электрические свойства

Электрическое сопротивление МАХ-фаз слабое и в целом меньше, чем у соответствующих бинарных карбидов или нитридов переходных металлов. Удельное сопротивление увеличивается с температурой и показывает характерное поведение по аналогии с металлами (линейно возрастает с увеличением температуры). Это поведение может быть описано линейной зависимостью в соответствии с соотношением (1):

$$\rho(T) = \rho_0(1 - \beta(T - T_{RT})) \quad (1)$$

где ρ_0 - удельное сопротивление при комнатной температуре, β - температурный коэффициент удельного сопротивления, выраженный в K^{-1} , T и T_{RT} – искомая и комнатная температура в Кельвинах. [21]

В таблице 1.2 представлены данные удельного сопротивления для некоторых МАХ-фаз, на основе которой можно сделать вывод, что почти все элементы из таблицы показывает хорошую электропроводность, за исключением Ti_4AlN_3 , которая представляет собой самое высокое измеренное удельное сопротивление, это можно связать с тем, что дырочная проводимость в данном соединении более низкая. [21]

Таблица 1.2. Удельное сопротивление некоторых МАХ-фаз

Элемент	Удельное сопротивление, $Om * m * 10^{-7}$
Ti_2AlC	0.36
Ti_2AlN	0.25
Ti_2GeC	0.3
Ti_3SiC_2	0.22
Ti_3GeC_2	0.26
Ti_3AlC_2	0.35
Ti_4AlN_3	2.61

Также можно показать графическую зависимость удельного сопротивления от температуры для некоторых МАХ-фаз (рисунок 1.14).

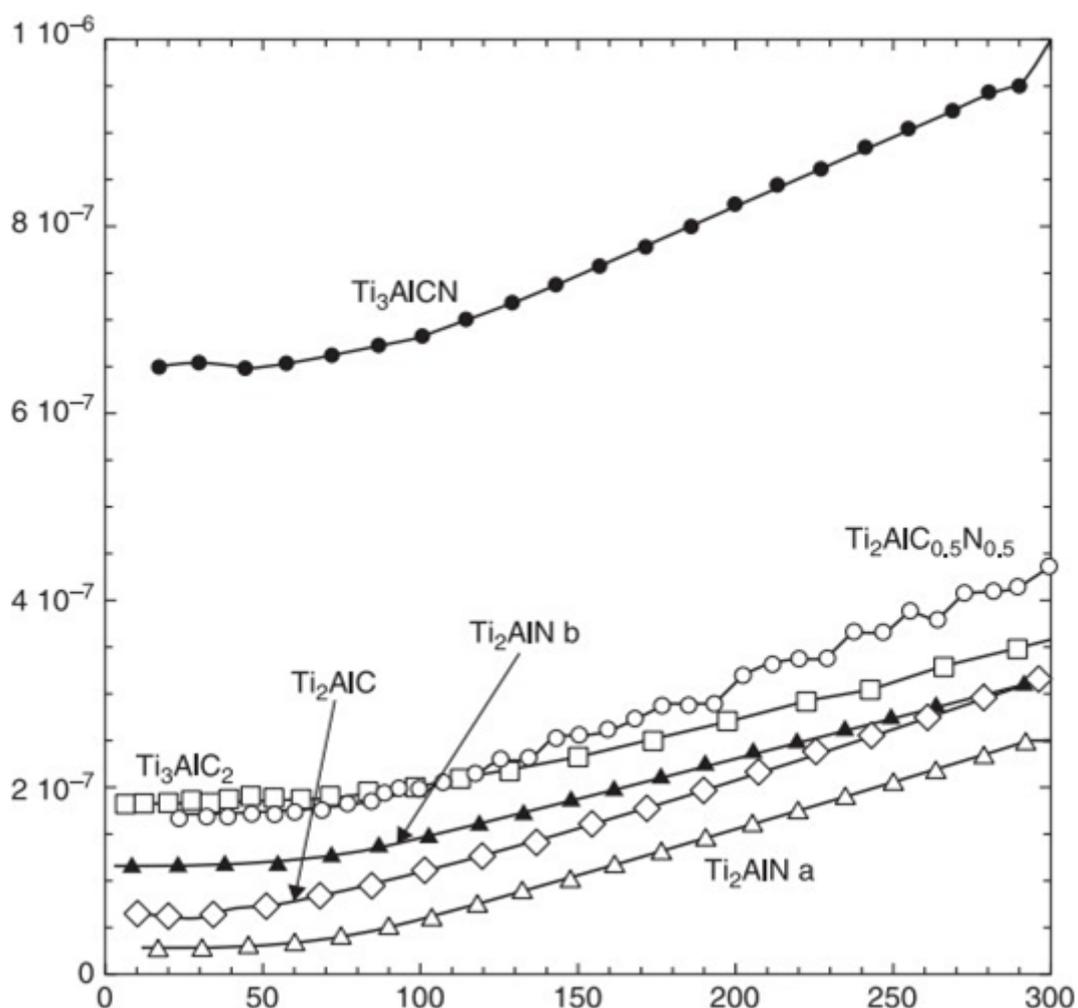


Рисунок 1.14. Зависимость удельного сопротивления от температуры для M_2AX -фаз [21]

MAX-фазы – это хорошие электрические проводники с металлическим удельным сопротивлением. Хорошая проводимость MAX-фаз связана с большим числом носителей заряда и их относительно высокой подвижностью [21].

Для простейшей качественной картины электропроводности в MAX-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 МАХ-фазы, удельное электрическое сопротивление уменьшается на порядок величины. Разницу в проводимости можно объяснить наличием Si или Ge, который ослабляют связи Ti-C и, таким образом, увеличивает относительную прочность металлических связей Ti-Ti 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 МАХ-фазы, 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 МАХ-фазах имеет место на практике. Однако во многих аспектах этот механизм слишком упрощен, поскольку он явно противоречит нитридам. В отличие от TiC, бинарный нитрид TiN является лучшим проводником, чем любая МАХ-фаза. Ti₂AlN является достаточно хорошим проводником, а Ti₄AlN₃ - полуметаллом [22].

МАХ-фазы — это металлические электрические проводники, в которых удельное сопротивление линейно увеличивается с температурой. В большинстве случаев электрическое сопротивление при комнатной температуре колеблется от 0.02 до 2.00 мкОм. Интересно, что некоторые МАХ-фазы имеют более низкое электрическое сопротивление, чем их металлические аналоги, то есть Ti₂AlC и Ti₃AlC₂ (0.20-0.35 мкОм м) и Ti (~0.4 мкОм м). На электропроводность влияет размер частиц и вторичные фазы, и примеси, а также твердые растворы, которые приводят к рассеянию. Электропроводность МАХ-фаз на несколько порядков выше, чем у новейшей керамики, что имеет важное значение для обрабатываемости и открывает новые границы для электрохимических реакций с их участием [23].

1.3. Армирование композитов на основе МАХ-фаз

Армированные композиты состоят из двух частей: матрицы и армированных волокон. В общем случае функция матрицы заключается в том, чтобы удерживать волокна в объеме матрицы, распределять и передавать приложенную нагрузку, защищать волокна в структуре во время обработки, контролировать электрические и химические свойства готового материала [24].

Функции армирования волокон заключаются в повышении механических характеристик и увеличения тепловой и электрической проводимости. Выравнивание волокон в матрице может обеспечить увеличение прочности определенного режима. В композите на основе полимера или металла, армирование предназначено для того, чтобы нести основную часть приложенной нагрузки и непосредственно увеличивать прочность и твердость материала. В случае, когда матрица представляет собой керамический материал, волокна определенной ориентации используются для повышения прочности матрицы в заданном направлении [24]. Микроизображения армированных композитов показаны на рисунке 1.15.

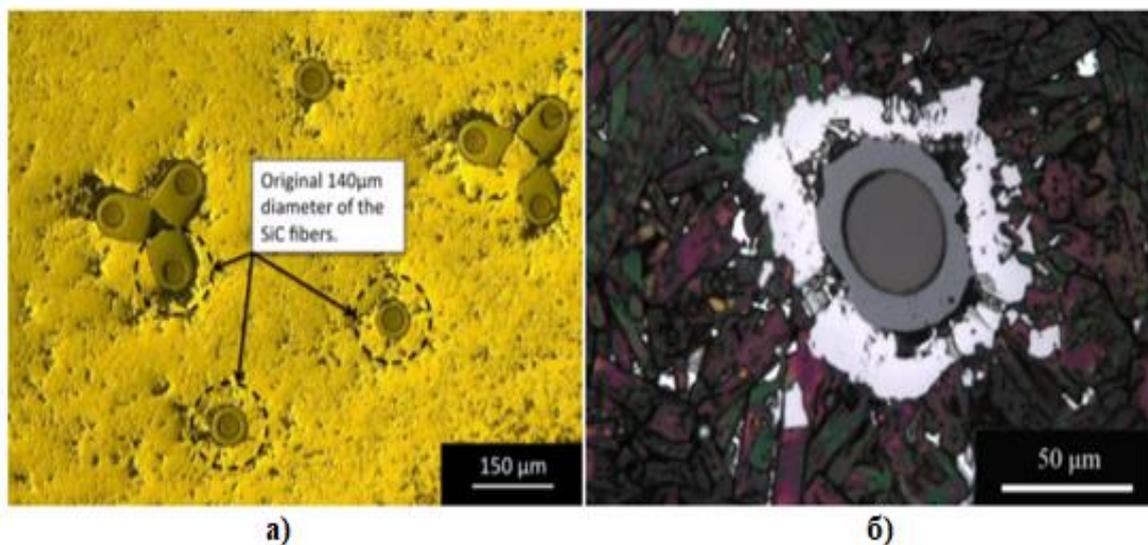


Рисунок 1.15 – Изображение армированных SiC композитов на основе Ti_2AlC : а) при температуре 1300 °C; б) при температуре 1500 °C [24]

Матричные материалы для этих армированных волокнами керамических композитов выбираются исходя из их термостабильности и

условий обработки. Большинство композитов изготавливаются из оксидов, карбидов, нитридов, боридов и силицидов [25]. Основными факторами, которые определяют, какой композит может быть изготовлен, являются химическая и механическая совместимость между матрицей и волокном [25].

Кроме того, большие различия в тепловом расширении между армирующим материалом и матрицей могут привести к остаточным напряжениям во время изготовления, что может привести к ухудшению конечных механических свойств [26].

Обработка керамических композитов может осуществляться с использованием матрицы в одной из трех фаз: твердой, жидкой или паровой. Целью этих процессов является достижение равномерного рассеивания матрицы вокруг волокон. Это должно создать конечный материал с минимальной пористостью, равномерной дисперсией компонентов и контролируемым соединением между матрицей и армирующими волокнами [26].

В смесь волокна и матрицы обычно добавляют органическое связующее, для получения плотного композитного материала, характерная структура представленных таких материалов показана на рисунке 1.16. В работах [24] было показано, что армирование композитов на основе Ti_3AlC_2 по объему Al_2O_3 , повышает их прочность на 10 % [27].

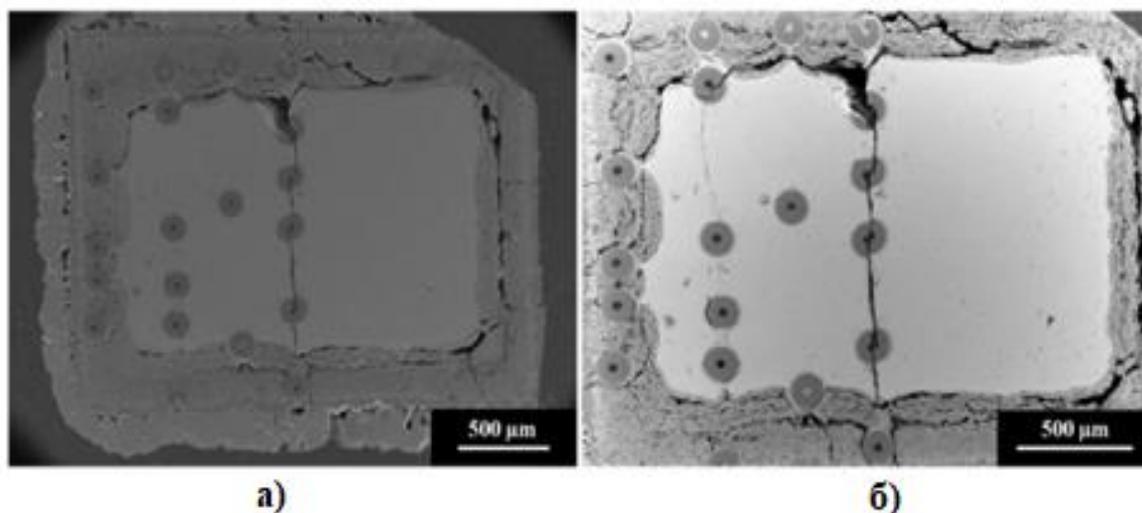


Рисунок 1.16 – а) СЭМ-изображения поперечного скола армированного

композитного материала, б) вторичное электронное СЭМ-изображение всего поперечного сечения с обратным рассеянием [28]

Армированные волокнами керамические материалы обладают многообещающим потенциалом для высокотемпературных применений [29]. При растягивающей нагрузке композита в направлении волокон хрупкая матрица может подвергаться обширному растрескиванию, нормальному к волокнам, но связанное с этим напряжение растрескивания матрицы может быть существенно больше предельного напряжения разрушения неармированной керамики. Кроме того, при неповрежденных волокнах композитный материал может продолжать выдерживать дополнительную нагрузку вплоть до напряжения разрушения пучка волокон [30].

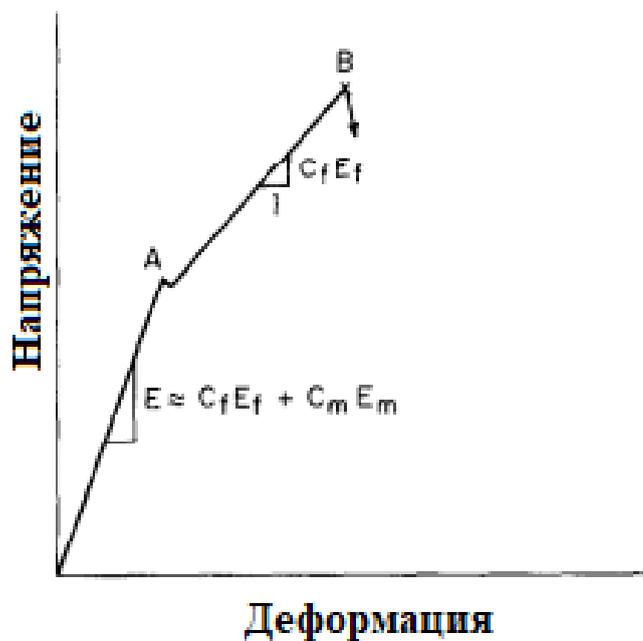


Рисунок 1.17. Кривая напряжения-деформации волокнистого композита с хрупкой матрицей [30]

Это поведение иллюстрируется схематической кривой напряжения-деформации, показанной на рисунке 1.17. Наклон начальной прямой части кривой близко аппроксимируется правилом смесей, основанным на матричных и волоконных модулях. Обширное растрескивание матрицы, часто сопровождающееся небольшим падением напряжения, происходит в точке А, и матрица пронизана множеством более или менее равномерно

расположенных трещин, которые пересекают все поперечное сечение образца. При продолжительной нагрузке только волокна обеспечивают большую часть последующей жесткости. Предел прочности в идеале был бы связан с разрушением равномерно прочных волокон, но на практике он несколько ухудшается, поскольку волокна разрушаются последовательно, а не одновременно, прежде чем будет достигнуто пиковое напряжение в точке В [30].

В области армированных волокнами керамических матричных композитов существует три категории структур для армирования: усы, волокна и моноволокна [30]. Усы имеют размер, примерно 1 микромметр, в диаметре и 200 микромметров в длину. Они находятся вблизи монокристаллов, обладающих прочностными свойствами почти теоретических величин. Хотя усы могут улучшить механические свойства керамических матриц, только благодаря непрерывному армированию волокнами можно получить надежные объемные структуры [30].

Следующими по размеру являются армирующие керамические волокна. Волокна этого типа состоят из вариаций трех систем; Al_2O_3 , SiC и SiN. Они используются из-за их высокотемпературных свойств и способности превращаться в сложные предварительные формы. Эти волокна определяются r_{cr} , их критическим радиусом изгиба, который является наименьшим радиусом, который волокна могут согнуть до разрушения [30].

Моноволокна бывают двух типов: карбид бора и карбид кремния. Эти волокна производятся методом химического осаждения из паровой фазы, CVD, на тонкую подложку из нитей. Преимуществом использования этих волокон по сравнению с волокнами и усами является их способность выдерживать некоторую степень поверхностной реакции с матрицей во время изготовления. Эти волокна, из-за их большого критического радиуса изгиба, ограничены предварительными формами, такими как листы, пластины и цилиндры большого диаметра. Затем матричный материал может проникать в волокна с помощью нескольких методов обработки, таких как спекание

порошка, горячее прессование порошка, плазменное распыление и инфильтрация расплава [30]. Структура образцов армированных микроволокном показана на рисунке 1.18.

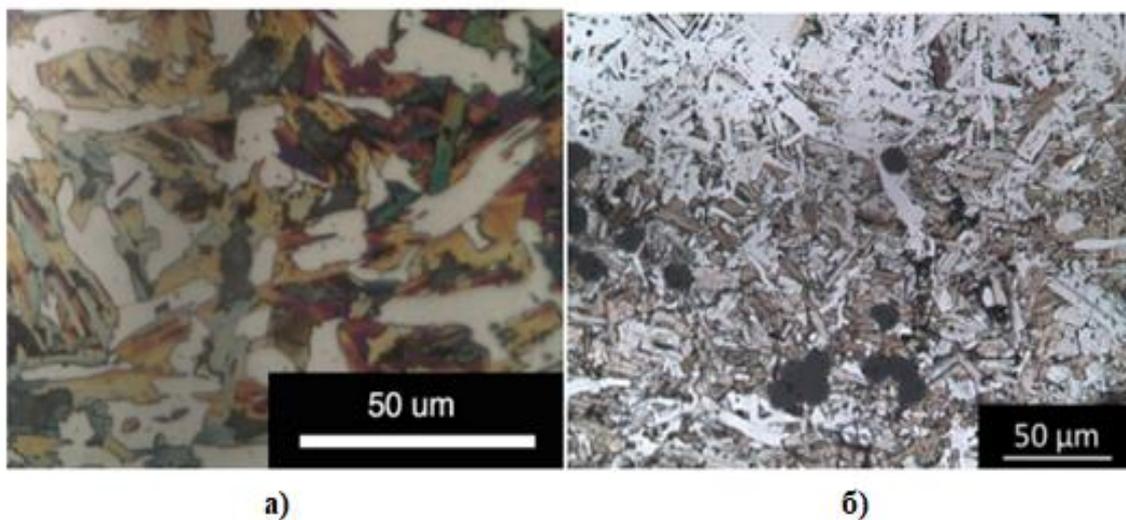


Рисунок 1.18. Микрофотографии образцов а) при температуре 1500 °С, б) при температуре 1300 °С [30].

С помощью метода химического осаждения из газовой фазы, который представляет собой инфильтрацию упрочняющей фазы газом, который разлагается с образованием твердой фазы матрицы [25]. Используя этот метод, были нанесены различные карбиды, нитриды, оксиды и бориды на волокна пряжи на основе карбида кремния, такие как волокна на основе оксида, [25]. Наиболее распространенной матрицей, используемой в этом методе, является SiC. Существует два основных метода химического осаждения из газовой фазы: изотермическая обработка и обработка с принудительным тепловым градиентом. Изотермическая обработка нагревает заготовку волокна излучением от стенок печи или индуктивным нагревом углеродной оправки, на которую помещена заготовка [25]. В любом случае разлагающимся газам разрешается диффундировать через волоконную заготовку. Метод принудительного потока/теплового градиента берет газы-реагенты и пропускает их через предварительную форму волокна, которая удерживается в графитовом держателе с резким тепловым градиентом, поддерживаемым водяным охлаждением. На рисунке 1.19 показана схема метода

принудительного потока теплового градиента.

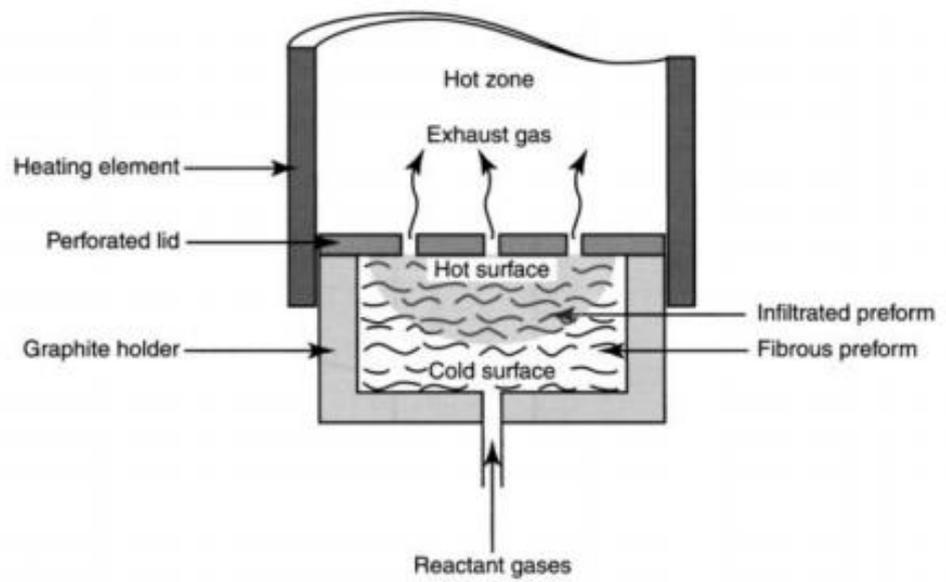


Рисунок 1.19 – Метод теплового градиента принудительного потока для обработки. [24]

2. Материалы и методы исследование

2.1. Получение прекерамической бумаги на основе Ti_3AlC_2

Прекерамическая бумага — это многокомпонентный композитный материал. Изготовление прекерамической бумаги обычно включает использование бумагоделательной машины и основных следующих этапов: приготовление водной суспензии сырья, содержащей наполнитель и целлюлозу, образование прекерамической бумаги [31].

Целлюлозные волокна получают через химическую, физическую и механическую обработку древесины. Волокна имеют следующие размеры: 1-5 мм — длина, 12-29 мкм — ширина. Характерная структура волокон представлена на рисунке 2.1 [31].



Рисунок 2.1 – Структура целлюлозных волокон. [31]

Получение бумаги происходит с помощью бумагоделательной машины. Полученная суспензия поступает на вращающийся барабан с последующим прокатом при температурной обработке. Вода удаляется через отверстия в барабане. Схема бумагоделательной машины представлена на рисунке 2.2 [32].

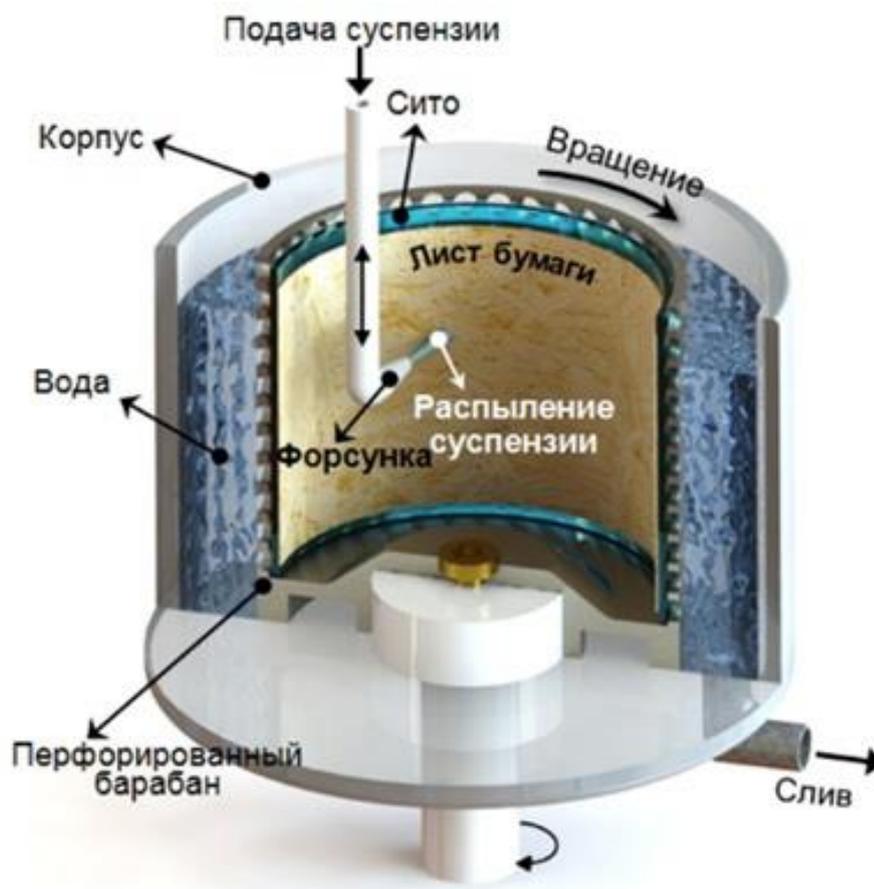


Рисунок 2.2 – Бумагоделательная машина D7

После получения бумаги с составом из МАХ-фазы и органическим связующим, бумага дополнительно высушивается теплым воздухом. В дальнейшем бумага может быть разглажена путем пропускания её через ролики. Схема прокатки представлена на рисунке 2.3 [32].

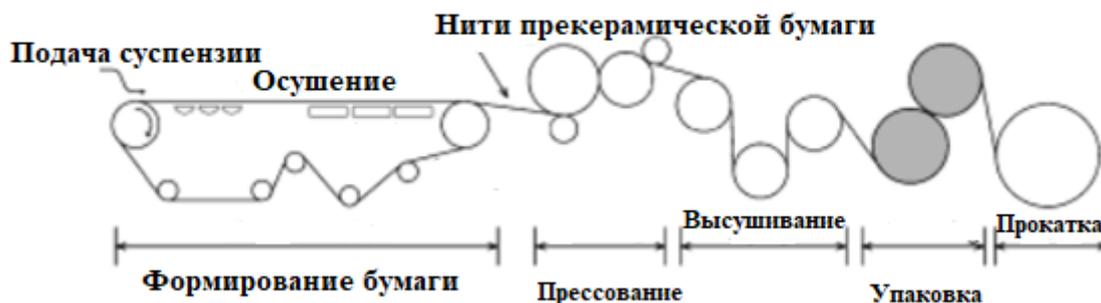


Рисунок 2.3 – Схема производства листов прекерамической бумаги

В данной работе в качестве исходного материала использовалась прекерамическая бумага с различным порошковым наполнителем на основе МАХ-фазы. Бумага была изготовлена на динамическом ручном

листоформирующем станке D7.

Прекерамическая бумага представляет собой основу из порошка МАХ-фазы (90% по массе) и органического связующего. Прекерамические листы бумаги с керамическим наполнителем $Ti_3Al(Si)C_2$ были изготовлены с помощью бумагоделательной машины D7), путем подачи суспензии на вращающийся барабан с последующим прокатом при температуре.

Скорость вращения барабана составляет 1000 об/мин. Суспензия представляет состав из 90 мас.% порошка $TiAl(Si)C_2$, 7 мас.% целлюлозных волокон и мас% целлюлозных волокон и 3 мас.% порошка Al_2O_3 .

2.2. Получение армированных композитов

Одним из наиболее перспективных методов повышения механических свойств материалов на основе МАХ-фаз является добавления в их структуру непрерывных керамических волокон. В данных материалах присутствуют два типа механизма упрочнения: вытягивания волокон и межфазное расслоение, которые приводят к повышению механической свойств, показанных на рисунке 2.4 [33].

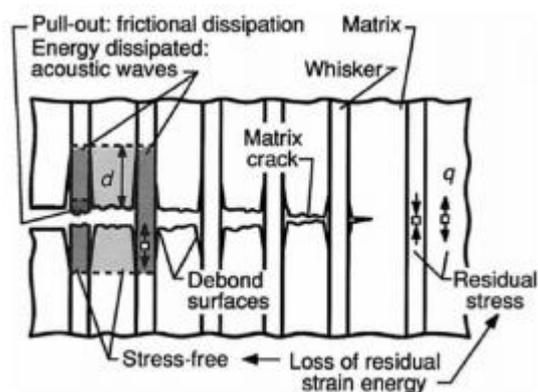


Рисунок 2.4 – Механизмы упрочнения в МАХ-фазах [33]

Основной механизм разрушения керамических материалов – это через образования полос изломов (kink) в матрице, представленные на рисунке 2.5.

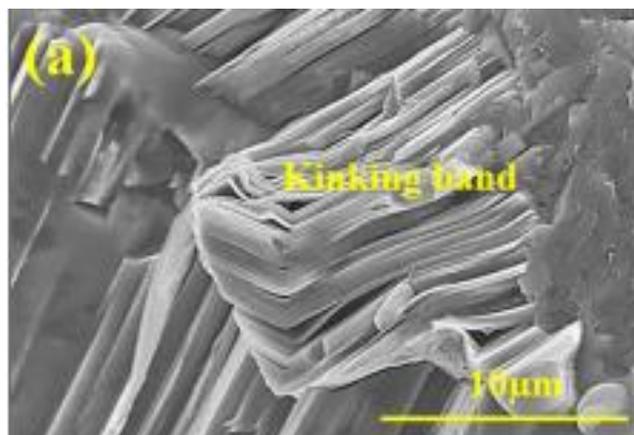


Рисунок 2.5 Механизм деформации МАХ-фаз. [33]

Добавление дополнительных керамических волокон способно повысить прочность за счет механизма вытягивания волокон [33].

В данной работе получение композитов на основе $Ti_3Al(Si)C_2$ проводилось с помощью искрового плазменного спекания. После обезвоживания бумажные листы, покрывались графитовой фольгой для обеспечения хорошего электрического контакта в процессе спекания и помещались в оснастку ИПС. В ходе работы были получены три серии образцов. Бумага укладывалась в стопку из 24 слоев и имела диаметр 20 мм. Искровое плазменное спекание проводилось с помощью установки SPS 10-4. Укладка армирующего волокна производилась через каждые три слоя, меняя ориентацию волокон под углом 90° . Волокна с углеродным покрытием были получены путем химического осаждения из газовой фазы с толщиной примерно 4 мкм.

2.3. Оценка механических свойств

2.3.1 Прочность на изгиб

Тест для малых образцов (SP), первоначально был разработан в США. В данном тесте небольшой полусферический наконечник или шарик пропускают через дискообразный образец вдоль его оси симметрии. Испытания SP могут проводиться либо как испытания на ползучесть, при которых прилагается постоянная сила и измеряется смещение в зависимости от времени, либо как испытания на растяжение/разрушение, при которых постоянное смещение. скорость прикладывается к пуансону, а сила измеряется

в зависимости от времени.

Типичная схема установки для данного метода показана на рисунке 2.6. Дискообразный образец зажат между двумя штампами. При испытании на растяжение пуансон выталкивается с постоянной скоростью перемещения через образец.

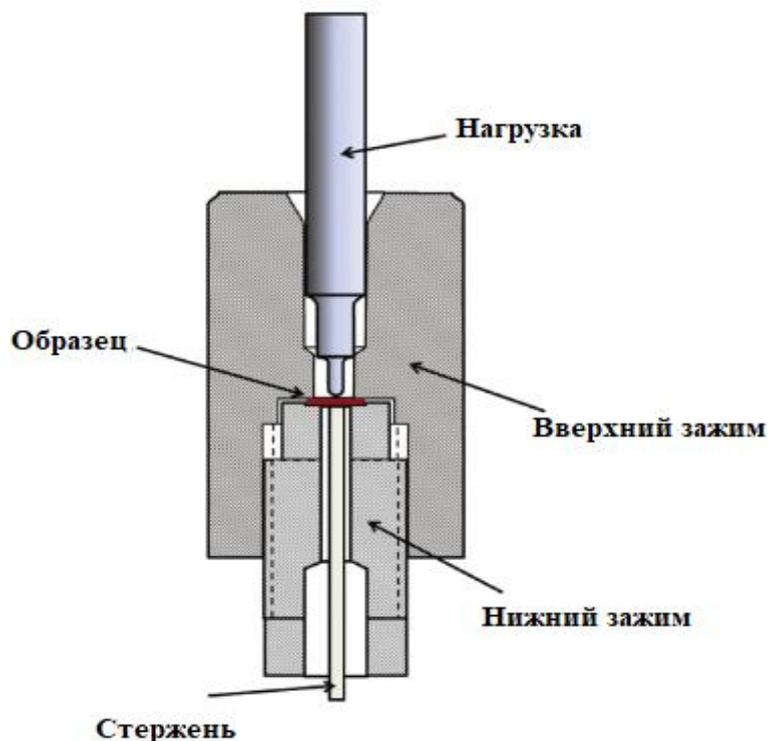


Рисунок 2.6 Схема установки для проведения испытаний на прочность на изгиб [34]

Сила, необходимая для проталкивания пуансона через образец, регистрируется и строится в зависимости от смещения наконечника/шарика. Смещение не может быть измерено непосредственно на кончике пуансона, но должно быть выведено либо непосредственно из смещения поперечной головки, либо из зажимного датчика или аналогичного устройства, прикрепленного к толкателю или пуансону.

В данной работе испытания на прочность на изгиб проводились на установке AI-7000M (GOTECH, Тайвань). Скорость перемещения траверсы составляла 0,1 мм/мин. Образцы для испытаний были подготовлены методом

электроэрозионной резки и имели следующие размеры: диаметр – 7,9 мм, толщина – не более 1 мм. Расчет значения прочности на изгиб проводился по формуле (2):

$$\delta_{max} = \frac{F}{t^2} \{ (1 + \nu) + [0.485 \ln \frac{R_d}{t} + 0.52] + 0.48 \} \quad (2)$$

где ν – коэффициент Пуассона, F – максимальная нагрузка при разрушении образца, t – толщина образца, R_d – радиус образца

2.3.2 Твердость по Виккерсу

Твёрдость – это способность материалов сопротивляться упругой, пластической деформации.

Метод Виккерса заключается в воздействии вершиной алмазной пирамиды с углом 136° на исследуемый материал. Приложенное напряжение выбирается от размера и твердости образца и варьируется от 1 до 90 кгс. Данный метод является универсальным из-за того, что дает возможность производить измерения твердости почти любого образца. Схема метода представлена на рисунке 2.7.

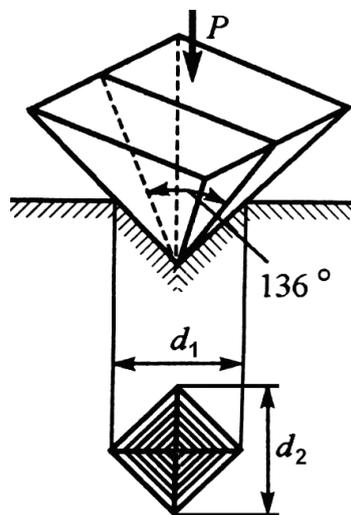


Рисунок 2.7 – Схема исследования образца методом Виккерса на твердость. P – нагрузка на индентор, d_1 и d_2 – диагонали полученного углубления. [35]

В данной работе твердость керамических композитов была измерена по

методу Виккерса на микротвердомере КВ 30S (Pruftechnik, Германия). Расчет твердости производился по результатам не менее 20 индентаций при нагрузке 29,4 Н. Выдержка при индентации составляла 11 с.

2.4. Методы анализа

2.4.1. Рентгеноструктурный анализ.

Рентгеновская дифракция, часто сокращаемая как РСА, является неразрушающим методом контроля, используемым для анализа структуры кристаллических материалов.

Основным условием для дифракции соседних плоскостей будет условие Вульфа-Брегга. При этом условии, когда наблюдаются дифракционные максимумы. Условие Вульфа-Брегга выражается (3):

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (3)$$

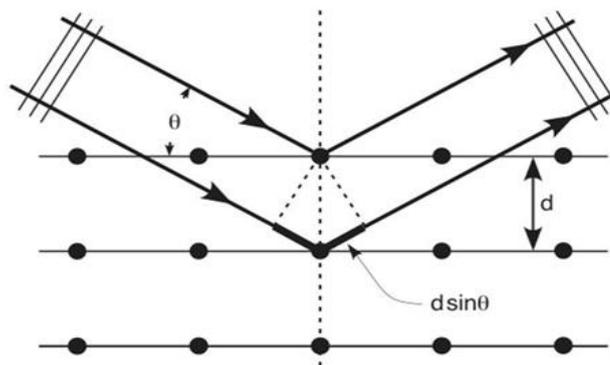


Рисунок 2.8 – Условие дифракционных максимумов

Располагаем исследуемый образец в камеру и закрепляем его. Начинаем проводить эксперимент. В процессе проведения эксперимента в рабочей программе будет идентифицироваться зависимость интенсивности от угла, под которым находится детектор. Дифрактограмма характеризует положение и интенсивность дифракционных максимумов. По оси абсцисс - угол отражения θ (2θ), по оси ординат – интенсивность.

Полученные спектры поступают на персональный компьютер, оснащенный программным специальным обеспечением для их обработки. Определение фазового состава исследуемого композита. Для определения наличия той или иной фазы применяется программа «Crystallographica - Search

Match». Crystallographica-Search Match (CSM) – программа для поиска соответствия, которая используется вместе с базами данных PDF Международного центра дифракционных данных.

1. Полученные данные загружаются в программу, которая по данным строит дифрактограмму.

2. Определение пиков на дифрактограммах.

3. Анализ полученных рефлексов. Он осуществляется с помощью внутренней базы данных 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.

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 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 $1,5410 \text{ \AA}$), оснащенным высокоскоростным 1280 канальным детектором OneSight при ускоряющем напряжении 40 кВ и токе 30 мА. Дифрактограммы регистрировались при следующих параметрах: угол по 2θ – $5-80^\circ$, скорость сканирования – $10,0^\circ/\text{мин}$, шагом сканирования – $0,0143^\circ$ и время экспозиции – 21,49 с. Дифракционные данные анализировали с использованием программы Slevе +. В качестве эталона для дифракционных картин Ti_3AlC_2 , TiC и Al_2O_3 использовались базы данных ICDD PDF-4 +: # 00-059-0189, # 00-031-1400 и # 03-065-2522, соответственно.

2.4.2. Сканирующая электронная микроскопия

Для изучения поверхностей и сколов исследуемых образцов применяется сканирующая электронная микроскопия. Сканирующий электронный микроскоп — это прибор, использующийся для получения изображения поверхности образца с большим разрешением, которое может достигать нескольких нанометров. Принцип работы сканирующего электронного микроскопа представлен на рисунке 2.9.

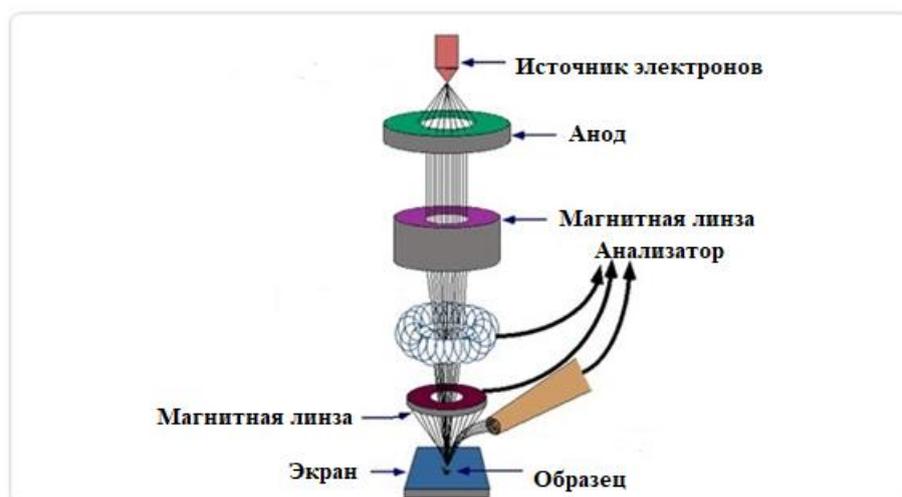


Рисунок 2.9 – Схема работы СЭМ

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. Микроструктуру и элементный состав исследовали с помощью сканирующей электронной микроскопии с использованием микроскопа Vega 3 (Tescan, Брно, Чешская Республика).

2.4.3. Компьютерная томография

Простейшими общими элементами рентгенографии являются источник рентгеновского излучения, объект, через который проходят рентгеновские лучи, и ряд детекторов, которые измеряют степень ослабления рентгеновского сигнала объектом (рисунок 2.10). Фундаментальный принцип, лежащий в основе компьютерной томографии, заключается в получении нескольких видов объекта в диапазоне угловых ориентаций. Таким образом, получают дополнительные размерные данные по сравнению с обычной рентгенографией, в которой имеется только один вид. Системы компьютерной томографии первого - четвертого поколения используют только лучи в одной плоскости: плоскости сканирования. В компьютерной томографии первого поколения (рисунок 2.10 а) это делается путем направления пучка через объект к одному детектору, взаимное перемещение источника и детектора через весь объём объекта в плоскости сканирования, а затем повторения процедуры для нескольких угловых ориентаций. КТ второго поколения (рисунок 2.10 б) использует ту же процедуру сканирования, но один детектор заменяется дугообразной серией детекторов, что приводит для более высокой скорости сбора данных.

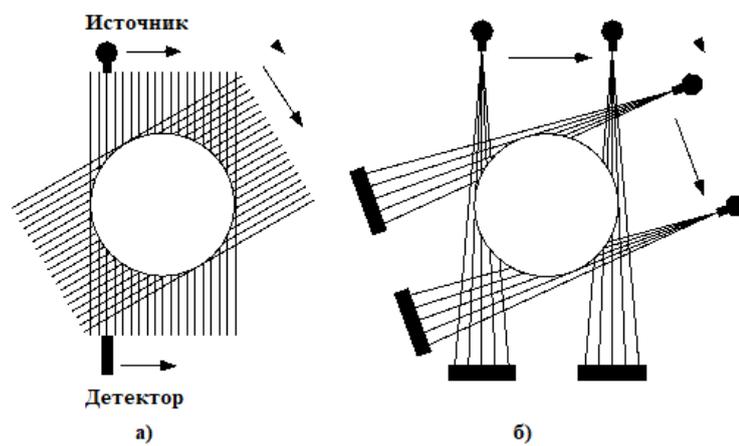


Рисунок 2.10 – Принцип работы компьютерного томографа

В настоящей работе были подготовлены образцы цилиндрической формы диаметром 5 мм и высотой 4 мм.

4 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:

Оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований:

- провести SWOT – анализ для выявления сильных и слабых сторон проекта;
- провести планирование научно – исследовательской работы;
- определить бюджет научного проекта;
- 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 выгода данного метода.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов исследований являются организации в сфере авиастроения, нефтепереработки и медицины. В каждой сфере необходимо изготовление материалов менее затратными способами, добиваясь новых свойств и качеств. Это означает, что потребители – крупные коммерческие и некоммерческие организации отраслевой принадлежности.

Для определения группы потребителей, которых может заинтересовать результаты данных научных исследований, необходимо провести сегментирование рынка.

Выбранные основные характеристики потребителей сегмента:

Месторасположение – регионы с развитыми отраслями тяжелой промышленности (авиастроение, машиностроение и ядерная энергетика).

Отношение к услуге – готовность внедрять новые технологии в технологический процесс.

Закупочные принципы – компании, проводящие централизованный закуп услуг.

Так как исследования представленных в работе представлены технологии получения новых композиционных материалов, которые ранее никем не производились, результаты будут интересны большинству организаций, вне зависимости от их месторасположения. Для определения группы потребителей, которых может заинтересовать данные композиционные материалы, необходимо провести сегментирование рынка. Карта сегментирования рынка по модификации поверхностей представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка услуг в области АТ

		Вид услуги		
		Использование материала для деталей оборудования	Использование материала в качестве медицинских имплантов	Использование материала в качестве емкости для хранения нефтепродуктов
Сфера услуг	Нефтедобывающая промышленность			
	Авиастроение			
	Медицинская промышленность			
	ЗАО «Импланта»		ПАО «Сибур»	
				ПАО «Авиадвигатель»

В качестве конкурентных компаний были рассмотрены: ЗАО «Импланта», ПАО «Сибур», ПАО «Авиадвигатель».

Компания «Импланта» производит медицинские импланты.

ПАО «ПАО «Авиадвигатель» - разработка газотурбинных технологий и двигателей.

ПАО «Сибур» - Добыча и переработка нефти.

Исходя из карты сегментирования рынка услуг в области использовании композиционных материалов, применение композиционных материалов востребованы в следующих областях: Нефтедобывающая, авиастроительная и медицина.

4.2 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научного исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

4.2.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Продукт: керамический композит $Ti_3AlC_2(B\phi)$, созданный на основе прекерамической бумаги и обладающий свойствами характерными и

металлам, и керамикам.

Целевой рынок: предприятия высокотехнологичной электроники и конструкторские компании.

Детальный анализ конструктивного исполнения необходим, т.к. каждый тип конструктивного исполнения имеет свои достоинства и недостатки. Данный анализ производится с применением оценочной карты. Экспертная оценка производится по техническим характеристикам и экономическим показателям по 5 бальной шкале, где 1 – наиболее низкая оценка, а 5 – наиболее сильная. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, для этого были отобраны 2 конкурентные разработки. Расчет показателя конкурентоспособности производился по формуле:

$$K = \sum_i B_i \cdot V_i, \quad (7)$$

где B_i – бал i -го показателя, V_i – вес показателя (в долях единицы).

Таблица 4.2 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _Ф	Б _{К1}	Б _{К2}	К _Ф	К _{К1}	К _{К2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Классы материалов для использования	0,2	5	4	3	1	0,8	0,6
2. Удобство в эксплуатации	0,25	5	5	3	1,25	1,25	0,75
3. Уровень шума работы установки	0,1	4	4	2	0,4	0,4	0,2
4. Качество изделий	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
5. Простота в эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
6. Скорость создания изделий	0,1	5	4	2	0,5	0,4	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена изготавливаемой продукции	0,15	4	3	2	0,6	0,45	0,3

Итого:	1	31	28	17	4,55	4,1	2,75
--------	---	----	----	----	------	-----	------

$$K_{\Phi} = 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 = 4,55$$

$$K_{K1} = 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 = 4,1$$

$$K_{K2} = 0,2 \cdot 3 + 0,25 \cdot 3 + 0,1 \cdot 2 + 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 2 + 0,15 \cdot 2 = 2,75$$

Где, конкурентами является K_1 – композитный материал на основе Ti_3SiC_2 , а K_2 – композитный материал на основе Ti_2AlC . Соответственно B_{K1} – это балльная оценка конкурентоспособности по заявленным критериям Ti_3SiC_2 и B_{K2} — это балльная оценка конкурентоспособности по заявленным критериям Ti_2AlC .

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что вариант №1 является предпочтительным.

4.2.2 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 4.3 – SWOT – анализ

	<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 самогокомполита 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>Угрозы У1 Наличие других исследовательских групп, занимающихся 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 привести необходимые корректировки в научно – исследовательский проект

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица сильных сторон с учетом возможностей

Сильные стороны проекта						
Возможнос типроекта		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 4.5 – Интерактивная матрица слабых сторон с учетом возможностей

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

При проведении анализа таблицы учета слабых сторон и возможностей, можно выделить следующие коррелирующие

комбинации: В1Сл1Сл2Сл3, В2Сл1Сл3, В3Сл2.

Таблица 4.6 – 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 4.7 – 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 4.8 – Итоговая матрица SWOT - анализа

	<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>
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Продолжение таблицы 6

<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>
<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.

4.3 Планирование научно-технического 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 4.9.

Таблица 4.9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя	Трудовой вклад
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение задания	Руководитель	НР – 100%
Выбор направления исследования	2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Инженер	И – 100%
	3	Выбор методов исследования	Руководитель	НР – 50%
			Инженер	И – 50%
4	Календарное планирование работ	Инженер	И – 100%	
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Подготовка образцов для исследования	Инженер	И – 100%
	6	Проведение синтеза материалов из исходных составляющих и проведение исследования с помощью лабораторного оборудования	Руководитель	НР – 20%
Инженер			И – 80%	
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов, выводы	Руководитель	НР – 40%
			Инженер	И – 60%
	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	НР – 60%
			Инженер	И – 40%

Продолжение таблицы 4.9

Разработка технической документации и проектирование	9	Составление пояснительной записки	Инженер	И – 100%
Итоговый вклад			НР – 29%, И – 71%	

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

4.3.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож}$ используем следующую формулу:

$$t_{ож} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (8)$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой

работы, чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой

работы, чел.-дн.

Проведем расчет ожидаемой трудоемкости для научного руководителя:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 20 + 2 \cdot 30}{5} = 24 \text{ чел. - дн.}, \quad (9)$$

И для инженера:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot 70 + 2 \cdot 155}{5} = 88 \text{ чел. - дн.}, \quad (10)$$

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяем продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ожи}}}{\text{Ч}_i} \quad (11)$$

где T_{p_i} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{\text{ожи}}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

Произведём расчёт продолжительности работы выполнения научного исследования для научного руководителя:

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ожи}}}{\text{Ч}_i} = 24 \text{ раб. дн.}$$

Произведём расчёт продолжительности работы выполнения научного исследования для инженера:

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ожи}}}{\text{Ч}_i} = 88 \text{ раб. дн.}$$

4.3.2 Разработка графика проведения научного исследования

Для определения календарных дней выполнения работы необходимо воспользоваться следующей формулой

$$T_{k_i} = T_{p_i} * k_{\text{кал}}, \quad (12)$$

где T_{k_i} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{p_i} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Для построения графика проектных работ необходимо рассчитать коэффициент календарности по следующей формуле:

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48$$

$$k_{\text{кал.рук}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66 - 14} = 1,28$$

Предполагается что и руководитель, и инженер работают по 6-дневной рабочей неделе. По производственному календарю на 2021 год суммарное количество выходных и праздничных дней составляет: при шестидневной рабочей неделе – 66 дней.

где $T_{\text{кал}}$ – число календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – число выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – число праздничных дней в году.

$$T_{k_i} = T_{p_i} * k_{\text{кал}} = 3,72 \approx 4 \text{ кал. дн.}$$

Календарный план-график проведения НИОКР по теме представлен в таблице 4.10.

Таблица 4.10. Распределение исполнителей и этапы выполняемых работ

№	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ													
				Январь			Февраль			Март			Апрель			Май	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	■	■												
		Инженер	4	■	■												
2	Изучение поставленной задачи и поиск материалов по теме	Инженер	27		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3	Выбор методов исследования	Руководитель,	7								■	■	■				
		Инженер	8								■	■	■	■	■	■	
	Календарное планирование	Руководитель	6					■	■	■	■	■	■				

4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

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

Таблица 4.12 – 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

4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату. Расчет основной заработной платы:

$$З_{ЗП} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (13)$$

где $З_{осн}$ - основная заработная плата;

$З_{доп}$ - дополнительная заработная плата (20 % от $З_{осн}$).

$$З_{осн} = З_{дн} + Т_p, \quad (14)$$

где $З_{дн}$ - среднедневная заработная плата работника;

$Т_p$ - продолжительность работ.

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d} \quad (15)$$

где $З_m$ - месячный должностной оклад работника;

M - количество месяцев работы без отпуска в течение года (при шестидневной неделе $M = 10,1$);

F_d - действительный годовой фонд рабочего времени ($F_d = 1794$).

$$З_{осн} = З_{тс} + k_p, \quad (16)$$

где $З_{тс}$ - заработная плата согласно Положению по оплате труда;

k_p - районный коэффициент ($k_p = 1,3$ для Томска).

Месячный должностной оклад

$$Z_m = Z_6(1 + k_{пр} + k_d)k_p, \quad (17)$$

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.

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 11.

Таблица 4.13. Расчет 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	76 050	3 151	24	59 869
Студент	1750	-	-	1,3	2 275	111	88	9 102
Итого $Z_{осн}$								68 971

4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Данные расходы включают обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС(2.9%)), пенсионного фонда (ПФ(22%)) и медицинского страхования (ФФОМС(5.1%)), и отчисления в фонд обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве (0.2%), от затрат на оплату труда работников. Таким образом коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составляет 30.2 % от заработной платы.

Отчисления во внебюджетные фонды:

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

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

4.4.8 Формирование бюджета затрат НТИ

Расчет бюджета затрат в результате проведения НТИ представлен в таблице 4.14.

Таблица 4.14. Бюджет затрат

Наименование статьи	Сумма, руб
Материальные затраты	300
Затраты на специальное оборудование для научных работ	35 000
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	68 971
Затраты по доп. заработной плате исполнителей темы	0
Отчисления во внебюджетные фонды	20 829,3
Накладные расходы	3 163
Бюджет затрат	128 263,3

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: «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.

4.5 Ресурсоэффективность

С помощью интегрального критерия ресурсоэффективности определим ресурсоэффективность автоматизированной системы. Формула для его определения имеет следующий вид:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (18)$$

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

Таблица 4.15. Оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки
1. Безопасность	0,25	5
2. Надежность	0,25	5
3. Удобство в эксплуатации	0,20	4

Продолжение таблицы № 4.15

4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,20	4
5. Ремонтопригодность	0,10	3
Итого:	1,00	4,4

Для разрабатываемого проекта интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,20 \cdot 4 + 0,20 \cdot 4 + 0,10 \cdot 3 = 4,4$$

Полученное значение интегрального показателя свидетельствует о достаточно хорошей эффективности реализации технического проекта.

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

5. Социальная ответственность

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 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 МАХ-фазы Ti_3AlC_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 [38]. 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.

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 [38], 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

[39,40]. 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 [38].

Пособия по временной нетрудоспособности, размеры пособий по временной нетрудоспособности и условия их выплаты устанавливаются [38, 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 [39]

5.2 Производственная безопасность

В ходе анализа рабочего места при проведении исследований было выявлено, что в лаборатории возможно наличие таких вредных и опасных факторов, как: отклонение показателей микроклимата; повышение уровня шума; недостаточная освещенность рабочей зоны; опасность электрического тока. Все вышеописанные факторы объединены в таблице 5.1 и классифицированы в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015.

Таблица 5.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
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 [41]
2. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПин 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [44]
3.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СанПиН 1.2.3685-21 Читайте внимательно мои сообщения в форуме!
4.Опасность электрического тока	+	+	+	ГОСТ 12.1.030 – 81 «ССВТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление» [47]

Рассмотрим факторы, представленные в данной таблице по отдельности.

5.2.1 Превышение 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. При работе форвакуумного и турбомолекулярного насоса возникают шумы. Согласно [41] предельный уровень шума для научной

деятельности не должен превышать 75 дБ

Таблица 5.2. 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» [42] – 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 [43].

Согласно [44] выполняемые работы относятся к Iб 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 таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений для категории работ Iб

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 5.4 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений для категории работ Iб

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°C, 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. 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. Актуализированная редакция СанПиН 1.2.3685-21 [45]. 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.

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 [46].

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. 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 [47] и [48] 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.

5.3 Экологическая безопасность

5.3.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

Вопрос об охране окружающей среды является 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 $Ti_3Al(Si)C_2$.

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. Среди основных методов уничтожения, которые применяются на сегодняшний день для бумажных документов, следует отметить следующие: сжигание, 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 возникнуть на рабочем месте при проведении 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 действия 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. 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 °С до +50 °С. Таким образом, состояние помещения соответствует нормам пожаробезопасности.

В случае, если пожар не удастся устранить своими силами, персонал необходимо эвакуировать из здания. Помещение, в котором находится установка, оснащено аварийными выходами, обеспечено средствами пожаротушения, сигнализацией оповещения пожара. План эвакуации представлен на рисунке 5.1.

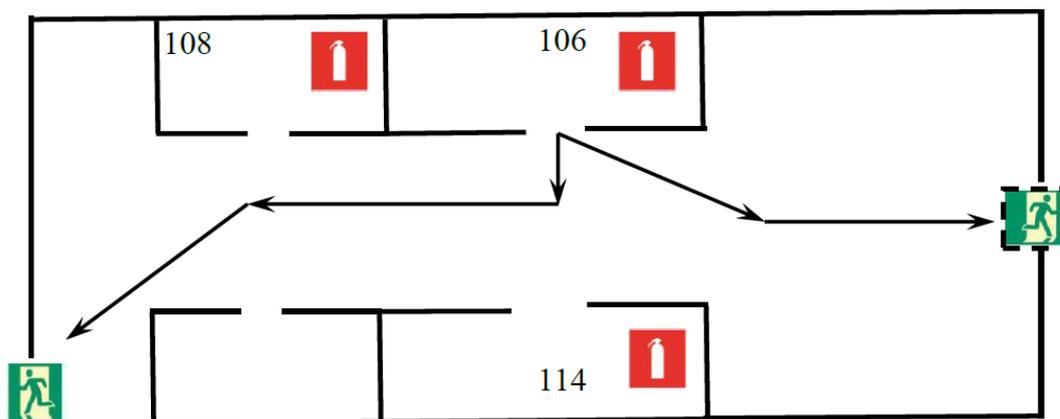


Рисунок 5.1. План эвакуации рабочих помещений.

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.

Заключение

В ходе проделанной работы было показано, что метод искрового плазменного спекания может быть успешно использован для синтеза керамических композитов на основе $Ti_3Al(Si)C_2$ из прекерамической бумаги. Были получены три серии образцов: армированные без углеродного покрытия, армированные с углеродным покрытием и без армирования. По результатам рентгенофазового анализа было установлено, что композит на основе $Ti_3Al(Si)C_2$ имеет многофазную структуру, состоящую из фаз $Ti_3Al(Si)C_2$, TiC и Al_2O_3 . Данные компьютерной томографии показали, что волокна равномерно расположены в матрице композита. Фаза $Ti_3Al(Si)C_2$ является преобладающей, фазы TiC и Al_2O_3 являются вторичными. Оценка твердости по Виккерсу показала, что средние значения твердости не зависят от армирования, значения твердости составляют 9 ± 1 ГПа. Результаты твердости на изгиб для армированных композитов с углеродным покрытием на 20 % больше, чем для образцов без углеродного волокна. Это связано с взаимодействием матрицы композита и волокном SiC . Использование углеродного покрытия позволяет предотвратить взаимодействие волокна с матрицей что ведет к повышению прочностных характеристик композитов за счет эффекта квазипрочности. Структура спеченных композитов представлена в виде ламелей микронного размера фазы $Ti_3Al(Si)C_2$, а также глобулярными вторичными фазами TiC и Al_2O_3 .

Список литературы

1. Ковалев Д. Ю. и др. МАХ ФАЗА В СИСТЕМЕ Ti-Zr-Al-C: СИНТЕЗ И КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА //Труды ежегодной научной конференции ИСМАН. – 2016. – С. 48-54.
2. Zhang Y. et al. The role of Hume-Rothery's rules play in the MAX phases formability //Materialia. – 2020. – Т. 12. – С. 100810.
3. Sun Z. M. Progress in research and development on MAX phases—a family of metallic ceramics //Int Mater Rev. – 2011. – Т. 56. – №. 3. – С. 143-166.
4. Barsoum M. W. The $MN_{n+1}AX_n$ phases: A new class of solids: Thermodynamically stable nanolaminates //Progress in solid state chemistry. – 2000. – Т. 28. – №. 1-4. – С. 201-281.
5. Авраменко В. А. и др. Искровое плазменное спекание как инновационный подход в создании наноструктурированных керамик нового поколения //НАНОМАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ-VI. – 2016. – С. 82-90.
6. Chlubny L. et al. Processing and properties of MAX phases–based materials using SHS technique //Archives of Metallurgy and Materials. – 2015. – Т. 60.
7. Kashkarov E. B. et al. Fabrication of paper-derived Ti_3SiC_2 -based materials by spark plasma sintering //Advanced Engineering Materials. – 2020. – Т. 22. – №. 6. – С. 2000136.
8. Barsoum M. W. MAX phases: properties of machinable ternary carbides and nitrides. – John Wiley & Sons, 2013.
9. Prikhna T. A. et al. Mechanical properties of materials based on MAX phases of the Ti-Al-C system //Journal of superhard materials. – 2012. – Т. 34. – №. 2. – С. 102-109.
10. Радишевский В. Л., ЛепакOVA О. К., Афанасьев Н. И. Синтез, структура и свойства МАХ-фаз Ti_3SiC_2 и Nb_2AlC //Вестник Томского государственного университета. Химия. – 2015. – №. 1.

11. Sun Z. M. Progress in research and development on MAX phases: a family of layered ternary compounds //International Materials Reviews. – 2011. – T. 56. – №. 3. – C. 143-166.
12. Zhang Y. et al. The role of Hume-Rothery's rules play in the MAX phases formability //Materialia. – 2020. – T. 12. – C. 100810.
13. Ali M. A. et al. Ternary boride Hf₃PB₄: Insights into the physical properties of the hardest possible boride MAX phase //Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – T. 857. – C. 158264.
14. Barsoum M. W., Radovic M. Elastic and mechanical properties of the MAX phases //Annual review of materials research. – 2011. – T. 41. – C. 195-227.
15. Gonzalez-Julian J. Processing of MAX phases: From synthesis to applications //Journal of the American Ceramic Society. – 2021. – T. 104. – №. 2. – C. 659-690.
16. Magnuson M., Mattesini M. Chemical bonding and electronic-structure in MAX phases as viewed by X-ray spectroscopy and density functional theory //Thin Solid Films. – 2017. – T. 621. – C. 108-130.
17. Bei G. P. Synthesis, microstructural characterization and mechanical properties of nanolaminated Ti₃Al_xSn (1-x) C₂ MAX phases: дис. – Poitiers, 2011.
18. Smetkin A. A., Mayorova J. Properties of Materials Based on MAX-Phases //Vestnik PNIPU, Machinostoenie, Materialovedenie. – 2015. – T. 17. – №. 4. – C. 120-138.
19. El-Raghy T. et al. Processing and mechanical properties of Ti₃SiC₂: II, effect of grain size and deformation temperature //Journal of the American ceramic society. – 1999. – T. 82. – №. 10. – C. 2855-2860.
20. Cologna M. Use of Field Assisted Sintering for Innovation in Nuclear Ceramics Manufacturing. – 2020.
21. Du Y. L. et al. First-principles study on electronic structure and elastic properties of Ti₂SC //Physics Letters A. – 2008. – T. 372. – №. 31. – C. 5220-5223.

22. Zhang Y. et al. The role of Hume-Rothery's rules play in the MAX phases formability //Materialia. – 2020. – T. 12. – C. 100810.
23. Levin M. W., Hu J., Odell M. Max-pressure signal control with cyclical phase structure //Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2020. – T. 120. – C. 102828.
24. Spencer C. B. Fiber-reinforced Ti_3SiC_2 and Ti_2AlC mAX phase composites. – 2010.
25. Peters S. T. Handbook of composites, Champan & Hall //London. – 1998. – T. 839. – C. 855.
26. Kragness E. D. Processing and mechanical behavior of tape cast and laminated silicon carbide whisker/alumina composites: дис. – Pennsylvania State University, 1988.
27. Chen J. et al. Failure-mode dependence of the strengthening effect in $Ti_3AlC_2/10$ vol.% Al_2O_3 composite //International journal of materials research. – 2006. – T. 97. – №. 8. – C. 1115-1118.
28. Barsoum M. W. et al. Long time oxidation study of Ti_3SiC_2 , Ti_3SiC_2/SiC , and Ti_3SiC_2/TiC composites in air //Journal of the electrochemical society. – 2003. – T. 150. – №. 4. – C. B166.
29. Prewo K. M., Brennan J. J. Silicon carbide yarn reinforced glass matrix composites //Journal of Materials Science. – 1982. – T. 17. – №. 4. – C. 1201-1206.
30. Budiansky B., Hutchinson J. W., Evans A. G. Matrix fracture in fiber-reinforced ceramics //Journal of the Mechanics and Physics of Solids. – 1986. – T. 34. – №. 2. – C. 167-189.
31. Pfeiffer S. et al. $Al_2O_3/Cu-O$ composites fabricated by pressureless infiltration of paper-derived Al_2O_3 porous preforms //Ceramics International. – 2018. – T. 44. – №. 17. – C. 20835-20840.
32. Travitzky N. et al. Preceramic Paper-Derived Ceramics //Journal of the American Ceramic Society. – 2008. – T. 91. – №. 11. – C. 3477-3492.
33. Fan X., Yin X. Progress in research and development on matrix modification

- of continuous fiber-reinforced silicon carbide matrix composites //Advanced Composites and Hybrid Materials. – 2018. – Т. 1. – №. 4. – С. 685-695.
34. Ali M. A. et al. Ternary boride Hf₃PB₄: Insights into the physical properties of the hardest possible boride MAX phase //Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – Т. 857. – С. 158264.
 35. Т.В. Ларина. Сборник описаний лабораторных работ по дисциплине «материаловедение и технология конструкционных материалов». – СГГА. – 2013. – 127 с.
 36. Krotkevich D. G. et al. Preceramic paper-derived Ti₃Al (Si) C₂-based composites obtained by spark plasma sintering //Ceramics International. – 2021. – Т. 47. – №. 9. – С. 12221-12227.
 37. Zhang Y. et al. The role of Hume-Rothery's rules play in the MAX phases formability //Materialia. – 2020. – Т. 12. – С. 100810.
 38. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.04.2021).
 39. Федеральный закон «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» от 24.07.1998 N 165-ФЗ (последняя редакция).
 40. Федеральный закон «Об основах обязательного социального страхования» от 16.07.1999 N 165-ФЗ (последняя редакция).
 41. 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
 42. ГОСТ 12.4.318-2019 (ISO 4869-3:2007) Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органа слуха. Упрощенный метод измерения акустической эффективности противозумных наушников для оценки качества.
 43. 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;

- 740MB). - 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. 4040.
44. СанПин 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
 45. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*(с Изменением N1)
 46. ГОСТ 12.1.019-2017 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».
 47. ГОСТ 12.1.030 – 81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление».
 48. ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.