

Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 03.03.02 Физика
 ООП/ОПОП Физика
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
<i>Получение и свойства сверхвысоко-температурных керамических углерод-углеродных композитов</i>

УДК 666.762.92.056.5:669.784

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б91	Чжан Тяньшу		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Лаптев Р.С.	К.Т.Н.		

Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Ломыгин А.Д.			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Верховская М.В.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Сечин А.И.	Д.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры	Лидер А.М.	Д.Т.Н., профессор		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений.
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовать свою роль в команде.
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке.
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах.
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций.
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи.
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен применять естественно-научные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов
ОПК(У)-2	Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, интеллектуально правовых, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов и процессов
ОПК(У)-3	Способен использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.
ОПК(У)-4	Способен понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, осознавать опасность и угрозу, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности.
ОПК(У)-5	Способен использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией.

ОПК(У)-6	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.
ОПК(У)-7	Способен использовать в своей профессиональной деятельности знание иностранного языка.
ОПК(У)-8	Способен критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости направление своей деятельности.
ОПК(У)-9	Способен получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах и других малых коллективах исполнителей.
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин
ПК(У)-2	Способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта
ПК(У)-3	Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований
ПК(У)-4	Способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин
ПК(У)-5	Способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований
ПК(У)-6	Способность понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований
ПК(У)-7	Способность участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме
ПК(У)-8	Способность 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)

Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки (ООП/ОПОП) 03.03.02 Физика
Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП/ОПОП
_____ Лидер А.М.
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
150Б91	Чжан Тяньшу

Тема работы:

<i>Получение и свойства сверхвысоко-температурных керамических углерод-углеродных композитов</i>	
<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i>	22.05.2023, 142-41/с

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	06.06.2023
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<p>Композитные порошки HfB₂-HfC/Cfs, ZrB₂-ZrC-C/C, высокотемпературное прессование, сканирующая электронная микроскопия, испытание скорости абляции.</p>
<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Обзор литературных источников; – Подготовка композитов HfB₂-HfC/Cfs, ZrB₂-ZrC-C/C; – Спекание в высокотемпературной печи композитов HfB₂-HfC/Cfs, ZrB₂-ZrC-C/C; – Анализ дифрактограмм композитов HfB₂-HfC/Cfs, ZrB₂-ZrC-C/C; – Анализ плотность композитов HfB₂-HfC/Cfs, ZrB₂-ZrC-C/C; – Анализ твердости композитов HfB₂-HfC/Cfs, ZrB₂-ZrC-C/C; – Анализ микроструктуры композитов HfB₂-HfC/Cfs, ZrB₂-ZrC-C/C;

	<ul style="list-style-type: none"> – Испытание скорости абляции композитов HfB₂-HfC/Cfs, ZrB₂-ZrC-C/C; – Анализ полученных результатов; – Социальная ответственность; – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; – Заключение.
--	---

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	-
---	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Сечин А.И.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М.В.

Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:
-

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Ломыгин А.Д.			

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б91	Чжан Тяньшу		

Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (ООП/ОПОП) 03.03.02 Физика
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2022/2023 учебного года)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
150Б91	Чжан Тяньшу

Тема работы:

<i>Получение и свойства сверхвысоко-температурных керамических углерод-углеродных композитов</i>
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	06.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.11.2022	Литературный обзор по теме ВКР	15
30.04.2023	Методы исследования	5
01.06.2023	Результаты экспериментальных исследований. Обработка результатов.	50
01.06.2023	Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение	15
01.06.2023	Социальная ответственность	15

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Лаптев Р.С.	К.Т.Н.		

Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Ломыгин А.Д.			

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры	Лидер А.М.	Д.Т.Н., профессор		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б91	Чжан Тяньшу		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа включает 98 страниц, 22 рисунка, 20 таблиц, 53 источника.

Ключевые слова: сверхвысокотемпературная керамика, композитная керамика, борид циркония, борид гафния, карбид циркония, карбид гафния, углеродные нанотрубки, углеродные композиты, рентгеновская дифрактометрия, сканирующая электронная микроскопия, микротвердость.

Объектом исследования являются порошковые композитные материалы $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$ и $\text{ZrB}_2\text{-ZrC-C/C}$ изготовленные высокотемпературным спеканием под высоким давлением.

Цель работы – исследование влияния параметров синтеза композитных материалов $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$ на их свойства и микроструктуру.

В ходе работы проводился рентгеноструктурный анализ композитов $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$ и $\text{ZrB}_2\text{-ZrC-C/C}$, анализировалась плотность композитов с использованием денситометра. Исследовалась твердость композитов с помощью микротвердомера, также была исследована микроструктура и скорость абляции композитов $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$ и $\text{ZrB}_2\text{-ZrC-C/C}$.

В результате можно сделать следующее заключение, изменяя массовое соотношение композитов, давление спекания, время инфильтрации можно изменять плотность, твердость и другие физические характеристики материала добиваясь необходимых результатов.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: композиты $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$ смешивались с углеродным волокном, а композиты $\text{ZrB}_2\text{-ZrC-C/C}$ с композитом, состоящим из углеродных волокон C/C .

Степень внедрения: на данном этапе работа является фундаментальным исследованием.

Область применения: результаты исследований могут применяться в сверхскоростных транспортных средствах, в воздушной и космической сферах

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в создании более долговечных материалов, используемых в экономически значимых отраслях

В будущем планируется оптимизация массового соотношения и параметров синтеза керамических композитов.

Оглавление

Введение.....	12
Глава 1. Сверхвысокотемпературные керамические композиты.....	13
1.1 Предпосылки к изучению сверхвысокотемпературных керамических матричных композитов	13
1.2 Физические свойства борида циркония и борида гафния.....	15
1.3 Физические свойства карбида циркония и карбида гафния	19
1.4 Физические свойства углеродных волокон и углерод-углеродных материалов	22
1.5 Методы синтеза сверхвысокотемпературных керамических матричных композитов	23
1.5.2 Спекание сверхвысокотемпературных керамических матричных композитов горячим прессованием	24
1.5.3 Синтез при высокой температуре и высоком давлении	25
1.5.4 Метод реактивной плавкой инфльтрации.....	26
Глава 2. Материалы и методы	27
2.1 Экспериментальные материалы.....	27
2.2 Приборы, необходимые для синтеза материалов.....	28
2.2.1 Приборы для смешивания порошков	28
2.2.2 Двухступенчатый бустер типа 6-8 на основе двухстороннего верхнего пресса.....	28
2.2.3 Оборудование для проникновения расплава	30
2.3 Методы определения характеристик испытаний	31
2.3.1 Дифракция рентгеновских лучей.....	32
2.3.2 Плотность.....	33
2.3.3 Микротвердость по Виккерсу	34
2.3.4 Сканирующая электронная микроскопия	35
2.3.5 Испытание скорости абляции	36

2.4 Синтез композитных материалов	37
2.4.1 Синтез композитов HfB ₂ -HfC/Cfs	37
2.4.2 Синтез композитов ZrB ₂ -ZrC-C/C	38
Глава 3. Результаты и обсуждения	39
3.1 Характеристика и анализ композитов HfB ₂ -HfC/Cfs	39
3.1.1 Структура образца и микроскопическая морфология	39
3.1.2 Абляционные свойства материала	44
3.2 Характеристика и анализ композитов ZrB ₂ -ZrC-C/C	49
3.2.1 Влияние времени синтеза на композиты ZrB ₂ -ZrC-C/C	49
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ	МЕНЕДЖМЕНТ,
РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	53
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и	ресурсосбережение
	54
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения	научных исследований с позиции ресурсоэффективности и
	ресурсосбережения
	54
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	54
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений	55
4.1.3 SWOT-анализ	57
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	58
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	58
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	59
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	60
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	64
4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ	65
4.3.2 Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ	65
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	66
4.3.4 Расчет дополнительной заработной платы	67
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	68

4.3.5 Накладные расходы.....	69
4.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта ...	69
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	73
Глава 5. Социальная ответственность.....	75
5.1 Вредные факторы проектируемой производственной среды.....	75
5.1.1 Производственный шум	75
5.1.2 Промышленная санитария.....	76
5.1.3 Микроклимат	76
5.1.4 Расчет искусственной освещенности.....	77
5.2 Электробезопасность	80
5.3 Пожаровзрывобезопасность.....	84
5.4 Охрана окружающей среды	87
5.4.1 Защита в чрезвычайных ситуациях	88
5.4.2 Правовые вопросы обеспечения безопасности.....	89
Заключение.....	91
Список использованных источников.....	93

Введение

Бориды и карбиды тугоплавких металлов обладают такими преимуществами, как высокая твердость, низкий коэффициент теплового расширения и низкое удельное сопротивление, и широко используются в сверхскоростных транспортных средствах, в воздушной и космической сферах, но их недостатки, такие как низкая прочность, плохая устойчивость к тепловому удару, низкая устойчивость к повреждениям и высокая плотность, препятствуют их дальнейшему применению и продвижению.

В данной работе исследуется получение композитных сверхвысокотемпературных керамических материалов из углеродных волокон путем легирования углеродных волокон боридами и карбидами металлов, а также путем плавления и инфильтрации боридов металлов в углерод-углеродные композиты двумя способами для улучшения их плотности, вязкости и устойчивости к высокотемпературной абляции. Следовательно, целью данной работы является исследование влияния параметров синтеза композитных материалов $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$ на их свойства и микроструктуру.

Для достижения поставленной задачи были поставлены следующие задачи:

1. синтез композитов $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$ при высокой температуре и высоком давлении для изучения влияния давления синтеза и соотношения материала на свойства композитов $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$;
2. высокотемпературная абляция композитов $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$, тестирование и определение характеристик образцов для понимания устойчивости композитов $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$ к абляции;
3. получение композитов $\text{ZrB}_2\text{-ZrC-C/C}$ методом высокотемпературного реактивного плавления и инфильтрации, исследование влияния различных времен плавления и инфильтрации на свойства композитов $\text{ZrB}_2\text{-ZrC-C/C}$.

Глава 1. Сверхвысокотемпературные керамические композиты

1.1 Предпосылки к изучению сверхвысокотемпературных керамических матричных композитов

С 2021 года ведущие мировые державы, такие как США и Россия, продолжают разрабатывать гиперзвуковые аппараты и связанные с ними технологии и методы испытаний. В то же время все больше стран стали уделять внимание исследованиям по применению гиперзвуковых технологий в области вооружений [1]. Во время высокоскоростного полета гиперзвуковых аппаратов головная часть, поверхности управления и передние кромки крыльев летательного аппарата подвергаются интенсивному трению с воздухом, что приводит к чрезвычайно высоким температурам. Для разработки будущих гиперзвуковых аппаратов необходимо учитывать исследования и разработку материалов и структурных технологий. Поэтому разработка материалов для тепловой защиты при экстремальных температурах является основой для исследований гиперзвуковых транспортных средств и связанных с ними технологий [2].

Сверхвысокотемпературная керамика (УНТС) - специальный материал, который может сохранять химическую стабильность при высоких температурах (выше 2000°C) и в реактивной атмосфере (например, в среде атомарного кислорода), устойчив к высоким температурам и абляции и включает бориды, карбиды и нитриды переходных металлов. УНТС обычно имеют температуру плавления выше 3000°C , например, карбид циркония (ZrC), карбид гафния (HfC), карбид тантала (TaC), карбид титана (TiC), борид циркония (ZrB_2), борид гафния (HfB_2), нитрид тантала (TaN), нитрид гафния (HfN) и т.д. [3].

На рисунке 1 показано сравнение точек плавления различных сверхвысокотемпературных керамик. На рисунке 1 «Melting temperature/ $^{\circ}\text{C}$ » –

«Температура плавления/ °C», «Material family» – «Класс материалов», «Metals» – «Металлы», «Oxides» – «Оксиды», «Borides» – «Бориды», «Carbides» – «Карбиды», «Nitrides» – «Нитриды».

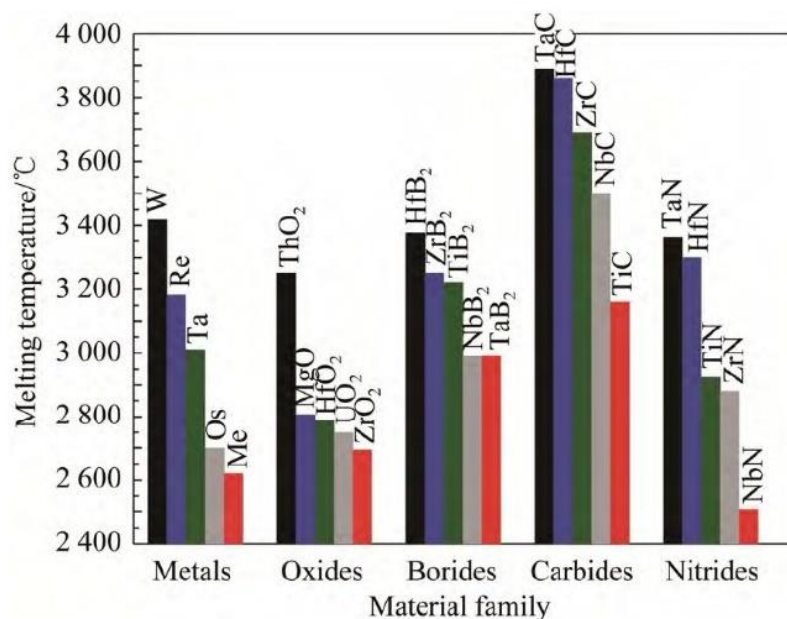


Рисунок 1 – Сравнение точек плавления различных керамик [2]

Высокая температура плавления, устойчивость к абляции, высокая теплопроводность и химическая стабильность сверхвысокотемпературной керамики делают ее перспективной для использования в высокотемпературных экстремальных средах [3, 4]. Однако недостатки сверхвысокотемпературной керамики, такие как низкая вязкость разрушения, плохая стойкость к тепловому удару и низкая устойчивость к повреждениям, препятствуют ее применению и продвижению [5]. Более того, высокая плотность и высокая цена сверхвысокотемпературной керамики не способствуют облегчению конструкции гиперзвукового оружия и транспортных средств.

Ультравысокотемпературные керамические матричные композиты (УНТСМС) представляют собой новый тип материалов, изготовленных из комбинации материалов УНТС и углеродных или карбидокремниевых волокон

[6]. Работа Sayir A. по созданию матричных композитов УНТС, армированных углеродными волокнами (С/УНТС), показала значительное увеличение вязкости и значительное улучшение сопротивления тепловому удару композитов из углеродных волокон и металлического карбида бора [7].

1.2 Физические свойства борида циркония и борида гафния

ZrB_2 имеет плотность $6,1 \text{ г/см}^3$ и принадлежит к гексагональной кристаллической системе с пространственной группой $R6/mmm$. Константа решетки ZrB_2 $a = 3,169 \text{ \AA}$ и $c = 3,53 \text{ \AA}$. В кристаллах ZrB_2 существует три типа химических связей, а именно металлические связи $Zr-Zr$, ионные связи $Zr-B$ и ковалентные связи $B-B$ [2]. Одна из них – металлическая связь $Zr-Zr$, при которой свободные электроны перемещаются через атомные слои Zr , придавая ZrB_2 металлические свойства и хорошую теплопроводность [8].

HfB_2 имеет плотность $10,5 \text{ г/см}^3$ и постоянные решетки $a = 3,142 \text{ \AA}$ и $c = 3,476 \text{ \AA}$. HfB_2 имеет ту же кристаллическую структуру, что и ZrB_2 , и обладает превосходными физическими свойствами, такими как высокая температура плавления, высокая твердость, высокий модуль упругости, высокая электро- и теплопроводность. Свойства HfB_2 аналогичны свойствам ZrB_2 , поскольку Hf и Zr находятся в одной главной группе периодической таблицы, а HfB_2 и ZrB_2 имеют ту же кристаллическую структуру, что и ZrB_2 , при этом Hf заменяет Zr в кристаллической ячейке.

HM:P 6/m m m #191
a=3.169Å
b=3.169Å
c=3.530Å
 $\alpha=90.000^\circ$
 $\beta=90.000^\circ$
 $\gamma=120.000^\circ$

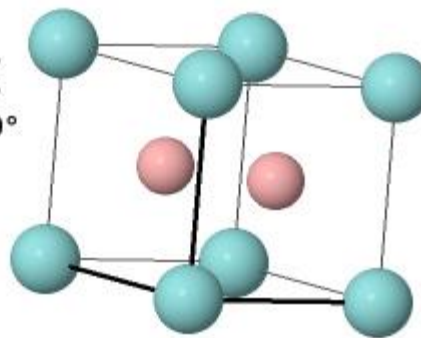


Рисунок 2 – Кристаллическая структура ZrB_2 [2]

Материалы с высокой теплопроводностью имеют быстрое локальное рассеивание тепла при повышении температуры, при этом температура в разных местах остается одинаковой, поэтому материалы с высокой теплопроводностью имеют меньшие внутренние тепловые напряжения и более высокую температурную стабильность материала [10]. На рисунке 3 «Temperature K» – «Температура К», «Temperature °C» – «Температура °C», «Thermal Conductivity Watts/cm-deg» – «Теплопроводность Ватт/см×град».

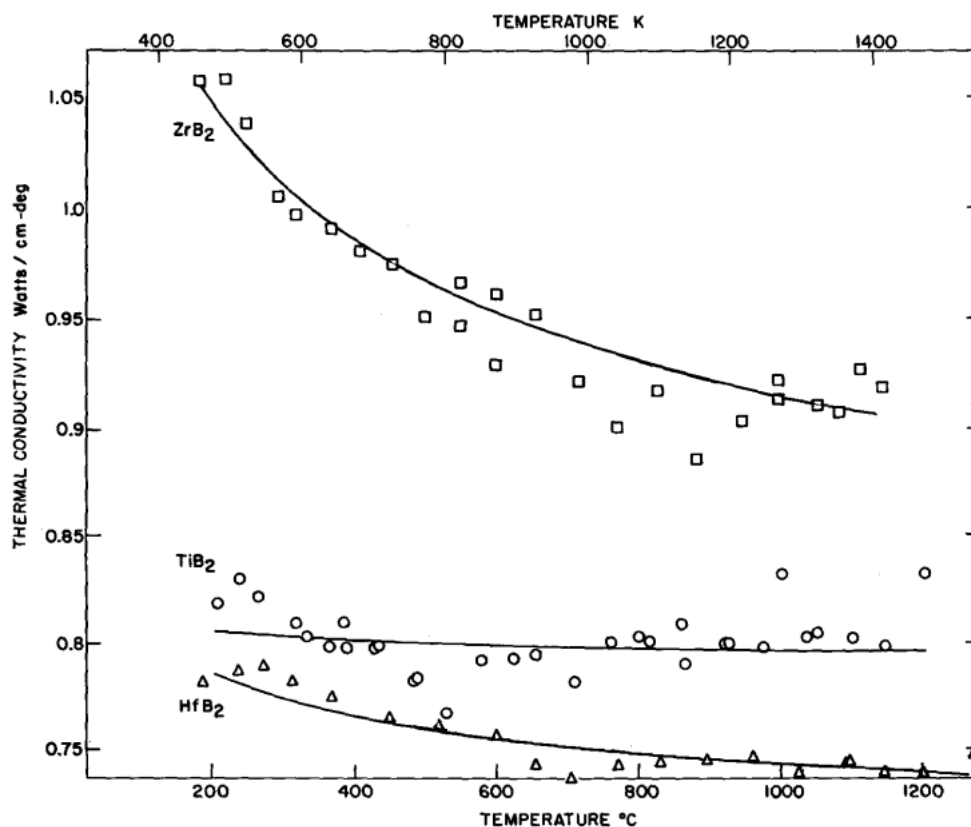


Рисунок 3 – Теплопроводность и аппроксимирующие кривые ZrB₂, HfB₂ и TiB₂ при 200°C – 1200°C [11]

Как видно из рисунка 3, теплопроводность ZrB₂ значительно выше, чем у HfB₂; с увеличением температуры теплопроводность ZrB₂ и HfB₂ уменьшается, а наклон аппроксимирующей кривой уменьшается с увеличением температуры. На рисунке 4 «Electrical resistivity, μΩ cm» – «Электрическое сопротивление, мкОм × см», «Temperature K» – «Температура К», «A» – «а», «B» – «б».

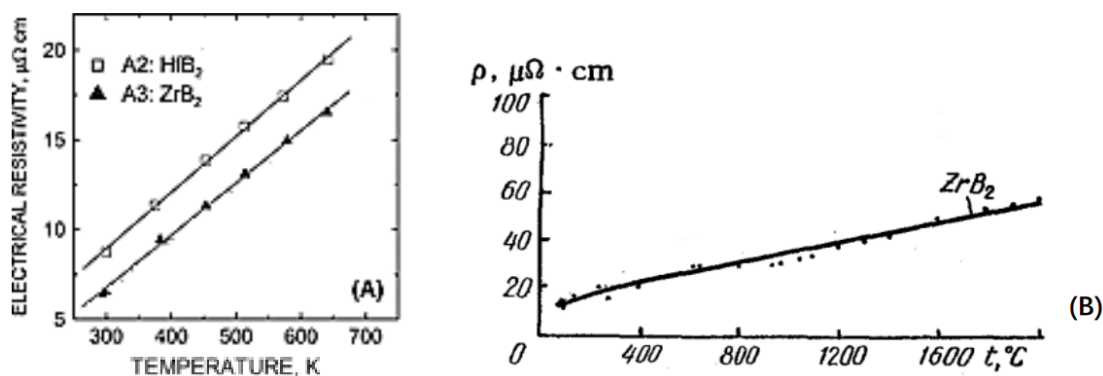
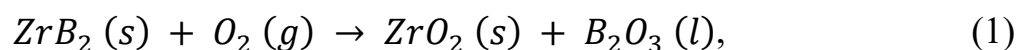


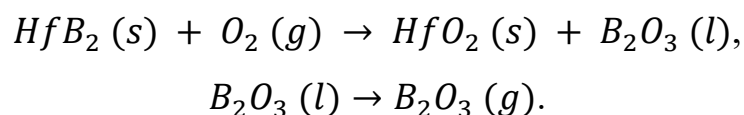
Рисунок 4 – Удельное сопротивление ZrB_2 и HfB_2 при различных температурах и аппроксимирующие кривые: (а) удельное сопротивление ZrB_2 и HfB_2 при 300-700 К [12], (б) удельное сопротивление ZrB_2 при 200-1800 $^{\circ}\text{C}$ [13]

Как видно из рисунка 4, удельное сопротивление HfB_2 выше, чем у ZrB_2 ; скорость изменения удельного сопротивления HfB_2 с температурой в основном такая же, как у ZrB_2 . И HfB_2 , и ZrB_2 являются хорошими проводниками от комнатной температуры до 1800 $^{\circ}\text{C}$, и удельное сопротивление линейно зависит от температуры.

Norihiko L с соавторами [14] измерил синтетический монокристаллический образец ZrB_2 и получил коэффициент теплового расширения $7,28 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ по оси а и $7,19 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ по оси с при 1000 $^{\circ}\text{C}$. Manny Gonzales и с соавторами [15] рассчитал по первым принципам, что коэффициент теплового расширения HfB_2 при 1000 $^{\circ}\text{C}$ составляет $9,29 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ по оси а и $1,03 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$ по оси с. Коэффициент теплового расширения HfB_2 вдоль оси а составляет $9,29 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ и $1,03 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$ по оси с; при 1927 $^{\circ}\text{C}$ коэффициент теплового расширения составляет $1,37 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$ по оси а и $1,29 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$ по оси с.

При высоких температурах ZrB_2 и HfB_2 реагируют с кислородом, образуя оксиды металлов и B_2O_3 . химические формулы выглядят следующим образом:





При комнатной температуре B_2O_3 представляет собой белое воскообразное твердое вещество, которое чрезвычайно трудно кристаллизовать. При температуре ниже 1300°C B_2O_3 покрывает поверхность образца в расплавленном состоянии, блокируя доступ кислорода к образцу, тем самым повышая стойкость образца к абляции; при температуре выше 1300°C расплавленный B_2O_3 , покрывающий поверхность образца, испаряется в газообразное состояние, образец теряет свой защитный слой и стойкость к абляции снижается [16, 17, 18].

Таблица 1 – Физические свойства ZrB_2 и HfB_2

Материал	ZrB_2	HfB_2
Кристаллическая структура	Гексагональная	Гексагональная
Константы решетки (Å)	a=3,169 c=3,530	a=3,142 c=3,476
Плотность (г/см ³)	6,1	10,5
Температура плавления (°C)	3250	3380
Микротвердость (ГПа)	22,1	28,0

1.3 Физические свойства карбида циркония и карбида гафния

ZrC имеет плотность $6,73 \text{ г/см}^3$ и представляет собой гранцентрированную кубическую структуру с пространственной группой Fm-3m . Постоянная решетки ZrC $a = 4,693 \text{ Å}$. Наличие ковалентных связей Zr-C в кубической структуре ZrC придает ему хорошие механические свойства и высокую температуру плавления. Напротив, металлические связи образуются между соседними атомами Zr-Zr , что придает ему металличность, высокую теплопроводность и низкое удельное сопротивление.

HfC имеет плотность $12,7 \text{ г/см}^3$ и постоянную решетки $a = 4,637 \text{ Å}$. HfC имеет такую же кристаллическую структуру, как и ZrC , и обладает

превосходными физическими свойствами, такими как высокая температура плавления, высокая твердость, высокий модуль упругости, высокая электро- и теплопроводность и т.д. Свойства HfC аналогичны свойствам ZrC, поскольку Hf и Zr находятся в одной главной группе периодической таблицы, и HfC имеет ту же кристаллическую структуру, что и ZrC, при этом Hf заменяет Zr в кристаллической ячейке.

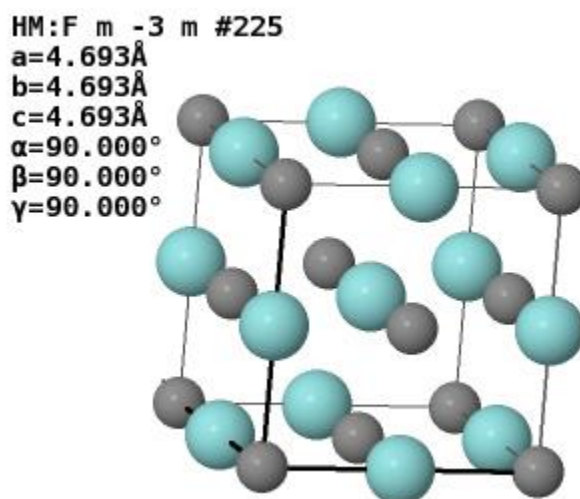


Рисунок 5 – Кристаллической структура ZrC [19]

На рисунке 6 показано удельное сопротивление карбидов металлов в зависимости от температуры. Мы видим, что удельное сопротивление HfC и ZrC практически линейно с температурой от комнатной температуры до 2000 °C. Удельное сопротивление HfC изменяется с температурой быстрее, чем ZrC, но оба имеют низкое удельное сопротивление и являются хорошими проводниками до 2000 °C.

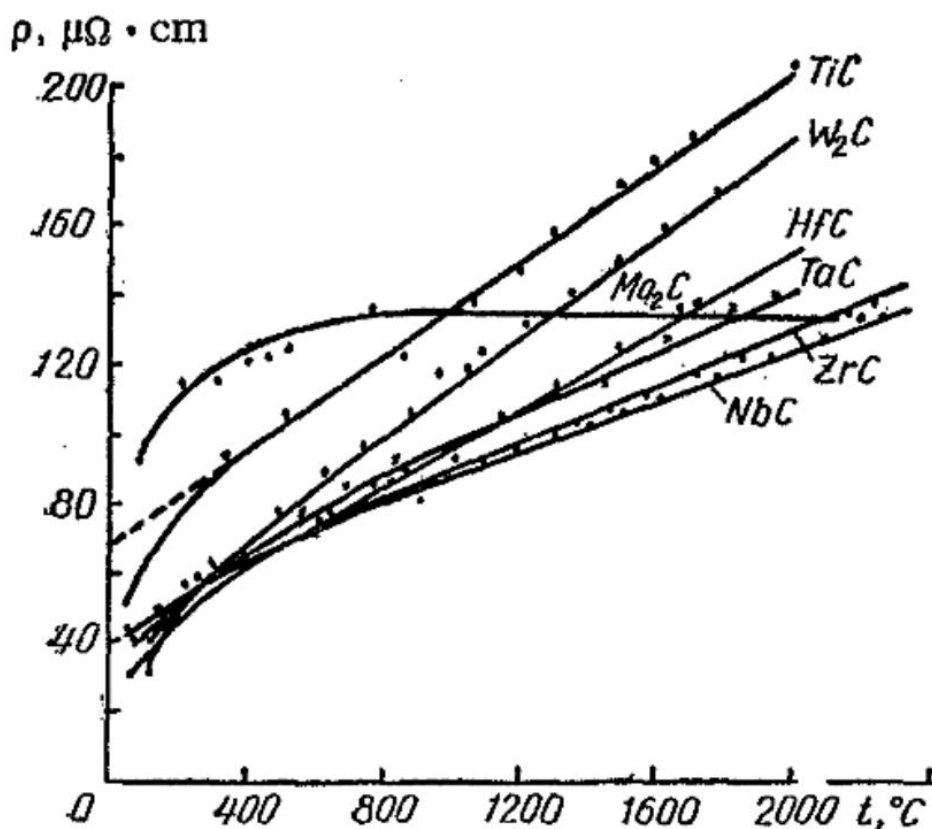
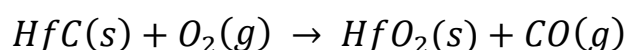
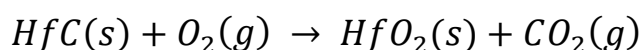
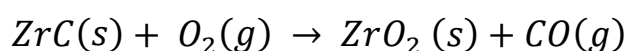
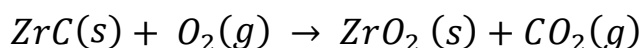


Рисунок 6 – Температурная зависимость удельного сопротивления карбидов металлов [13]

Touloukian Y. S. с соавторами [20] измерил синтетические HfC и ZrC и получил коэффициент теплового расширения для HfC около $2,2 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$ при 2000 $^{\circ}\text{C}$. Используя расчеты из первых принципов Zhu Bo с соавторами [21] рассчитал, что коэффициент теплового расширения ZrC был менее $3,2 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$ при 2000 $^{\circ}\text{C}$. Коэффициенты теплового расширения ZrC и HfC увеличиваются с температурой, но в целом оба коэффициента теплового расширения очень низкие.

Твердость HfC и ZrC уменьшается с температурой. М. С. Ковальченко с соавторами [22] измерили твердость синтезированных HfC и ZrC и обнаружили, что при 1600 $^{\circ}\text{C}$ твердость как HfC, так и ZrC составляет одну десятую от твердости при комнатной температуре. Твердость HfC и ZrC при 1600 $^{\circ}\text{C}$ составила одну десятую от их твердости при комнатной температуре.

Поверхность образца ZrC окисляется при высокой температуре, образуя ZrO₂ с CO₂ и CO. ZrO₂ покрывает поверхность образца и предотвращает контакт ZrC с кислородом и реакцию с ним; в то время как CO₂ и CO, образующиеся в виде газа, образуют поры на поверхности образца, увеличивая площадь контакта между ZrC и кислородом, тем самым ускоряя скорость окисления. процесс окисления HfC при высокой температуре аналогичен процессу окисления ZrC.



(2)

Таблица 2 – Физические свойства ZrC и HfC

Материал	ZrC	HfC
Кристаллическая структура	ГЦК	ГЦК
Константы решетки (Å)	4,693	4,637
Плотность (г/см ³)	6,73	12,7
Температура плавления (°C)	3540	3890
Микротвердость (ГПа)	29,3	29,1

1.4 Физические свойства углеродных волокон и углерод-углеродных материалов

Плотность углеродного волокна (Cfs) составляет приблизительно 1,7 г/см³, оно представляет собой новый волокнистый материал с содержанием углерода более 95%, высокой прочностью и высоким модулем упругости [23]. Углеродные волокна имеют ряд преимуществ в физических свойствах, таких

как высокая прочность, высокий модуль упругости, низкая плотность и низкий коэффициент теплового расширения [24]. По сравнению с металлами и их соединениями, углеродные волокна обладают уникальным преимуществом – почти неизменной твердостью в атмосфере инертного газа при температуре ниже 2000 °С [25]. Это привело к широкому использованию углеродных волокон в воздушном и космическом секторе.

Углерод-углеродные материалы, также известные как композиты C/C, имеют плотность около 1,75 г/см³ и являются композитами с высокой удельной теплоемкостью, высокой термостойкостью и низким коэффициентом теплового расширения [26]. Основные методы получения композитов C/C делятся на две основные категории: химическая инфильтрация паров (CVI) и жидкофазная пропитка (LPI) [27].

1.5 Методы синтеза сверхвысокотемпературных керамических матричных композитов

Бориды и карбиды тугоплавких металлов часто трудно спекаются из-за их сильной внутренней химической связи, а чрезвычайно низкая порошкообразующая способность углеродных волокон делает спекание композитов еще более трудным. Поэтому в данной работе для синтеза композитов HfB₂-HfC/Cfs используется метод синтеза при высокой температуре и высоком давлении.

Реактивная инфильтрация плавлением является распространенным методом получения композитов на основе C/C. В данной работе композиты ZrB₂-ZrC-C/C были синтезированы методом реактивной инфильтрации расплава [38].

1.5.1 Спекание сверхвысокотемпературных керамических матричных композитов без давления

Спекание без давления – это метод синтеза керамики, при котором материал спекается при атмосферном давлении только за счет повышения температуры. Спекание ZrB_2 без давления требует высоких температур, и ранние исследования даже предполагали, что керамические материалы, полученные спеканием без давления, не могут быть плотными [28]. M. Brochu с соавторами [29] синтезировали ZrB_2 без давления при температуре 2200 °С и времени выдержки 1 ч. Adam L. Chamberlain с соавторами [30] синтезировали ZrB_2 без давления при температуре 2150 °С и времени выдержки 6 ч, при этом плотность составила 98%.

Zhang с соавторами обобщили принципы выбора средств спекания в системе ZrB_2 , включая следующие три пункта: (1) способность реагировать с ZrO_2 при умеренных температурах; (2) продукты, полученные в результате реакции, представляют собой газы или твердые вещества, которые легко испаряются и стабильны при высоких температурах; и (3) сами средства спекания имеют высокие температуры плавления и высокую температурную стабильность [31].

1.5.2 Спекание сверхвысокотемпературных керамических матричных композитов горячим прессованием

Спекание под горячим прессом – это метод спекания, при котором процесс формования и спекания осуществляется одновременно, путем добавления порошка сырья и приложения давления от нескольких до нескольких сотен мегапаскалей в одном направлении, при этом спекание завершается при более низкой температуре, чем при спекании без давления. Преимуществами спекания в горячем прессе по сравнению со спеканием без давления являются более низкая температура спекания, более короткое время спекания и более высокая плотность [32, 33, 34].

Z. Guojun с соавторами [35] синтезировали материалы $\text{HfB}_2\text{-SiC}$ методом горячего прессования при температуре $2000\text{ }^\circ\text{C}$, одноосном давлении 30 МПа и времени выдержки 1 час , с плотностью $99,2\%$; Vafa N. P. с соавторами [36] синтезировали композиты, содержащие $7,5\text{ масс.}\% \text{ Gr}$, методом горячего прессования при температуре $1800\text{ }^\circ\text{C}$, одноосном давлении 40 МПа и времени выдержки 1 час . Композиты были синтезированы с теоретической плотностью 100% .

1.5.3 Синтез при высокой температуре и высоком давлении

В данной работе керамические матричные композиты $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$ были синтезированы методом высокотемпературного прессования под высоким давлением с использованием двухстороннего верхнего пресса на основе двухступенчатого бустера 6-8.

Синтез при высокой температуре и высоком давлении – это метод синтеза материалов, позволяющий проводить синтез в короткие сроки при температуре выше $900\text{ }^\circ\text{C}$ и давлении выше 2 ГПа , используя двухсторонний или шестисторонний верхний пресс и основанное на нем устройство для нагнетания давления. В конкретных экспериментах образцы механически измельчаются до получения однородной смеси, затем подвергаются холодному прессованию и формованию с помощью верхнего пресса, а затем синтезируются при высокой температуре и давлении. Высокое давление увеличивает активацию твердофазной реакции, снижает энергию активации и ускоряет твердофазную реакцию, тем самым значительно снижая температуру реакции композитного керамического материала. По сравнению со спеканием под горячим давлением и спеканием без давления, метод синтеза при высокой температуре и высоком давлении может значительно способствовать перегруппировке частиц образца, снизить температуру спекания, улучшить плотность образца и сократить время синтеза. Yang J. [37] синтезировал

композиты ZrB_2-ZrC при высокой температуре и давлении 950 °С; 2,6; 2,9; 3,2 ГПа, соответственно, и пришел к выводу, что более высокое давление синтеза благоприятно влияет на плотность материала.

1.5.4 Метод реактивной плавкой инфильтрации

В данной работе композиты $ZrB_2-ZrC-C/C$ были синтезированы методом реактивной плавкой инфильтрации с использованием высокотемпературной трубчатой печи.

Реактивная инфильтрация плавлением – это быстрый и недорогой метод получения керамических матричных композитов. Реакция подходящего сплава, инфильтрованного в пористую преформу композита C/C , с пиролитическим углеродом при высокой температуре позволяет получить высокотемпературную устойчивую керамическую фазу для модификации композитов C/C на месте реактивной высокотемпературной устойчивой керамической фазой и улучшения стойкости композитов C/C к окислению и абляции [38, 39].

Zou L. Н. с соавторами [40] измерили линейную скорость абляции $0,002 \pm 0,001$ мм/с и массовую скорость абляции $0,004 \pm 0,001$ г/с для композитов $ZrC-C/C$, полученных методом реактивной инфильтрации плавлением.

Глава 2. Материалы и методы

Основными этапами подготовки композитов $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$ в данной работе являются шаровой размол и измельчение смеси, холодное прессование, синтез при высокой температуре и высоком давлении, а также испытания и определение характеристик.

Основными этапами подготовки композитов $\text{ZrB}_2\text{-ZrC-C/C}$ в данной работе являются смешивание и шаровой помол, реакционная инфильтрация плавлением, испытания и определение характеристик.

В следующем разделе описаны экспериментальные материалы, экспериментальное оборудование и методы, необходимые для осуществления синтеза.

2.1 Экспериментальные материалы

Основные материалы, использованные в данном исследовании – порошок борида циркония (кристаллический ZrB_2 , Shanghai Aladdin Biochemical Technology Co., Ltd., чистота 99,5 %, размер частиц 0,5-1 мкм) и порошок карбида циркония (кристаллический ZrC , Shanghai Aladdin Biochemical Technology Co., Ltd., чистота 99 %, размер частиц 1-3 мкм), порошок борида гафния (кристаллический HfB_2 , Beijing Inokai Co., Ltd., чистота 99 %, размер частиц 1-3 мкм) и порошок карбида гафния (кристаллический HfC , Anhui Zesheng Technology Co., Ltd., размер частиц 1-3 мкм), порошок коротковолокнистого углерода (Cfs, Jilin Polyenergy New Carbon Materials Co., Ltd., плотность 1,75 г/см³) и блоки углерод-углеродного материала (C/C материал, приготовленный методом CVI, плотность 1,725 г/см³).

2.2 Приборы, необходимые для синтеза материалов

2.2.1 Приборы для смешивания порошков

В эксперименте использовалась шаровая мельница Pulverisette 6 (P6) фирмы Fetscher, Германия. Барабаны и шары, используемые во время эксперимента, были из одного и того же материала, что уменьшает внесение примесей. В данном эксперименте использовались два типа банок шаровой мельницы и соответствующих шаров: из нержавеющей стали и из нитрида кремния; барабан шаровой мельницы из нержавеющей стали использовалась для смеси ZrB_2 - ZrC , что заняло меньше времени, но внесло небольшое количество примесей Fe; барабан шаровой мельницы из SiC использовалась для смеси HfB_2 - HfC , что практически не внесло примесей, но заняло больше времени для эксперимента.

Для небольших количеств сырья больше подходит метод измельчения. Ингредиенты смешивают и добавляют безводный этанол для содействия однородному смешиванию ингредиентов. Затем сырье, содержащее безводный этанол, высушивают в сушильном шкафу для получения смеси сырья.

2.2.2 Двухступенчатый бустер типа 6-8 на основе двухстороннего верхнего пресса

Двухступенчатый бустер типа 6-8 представляет собой двухсторонний пресс. Двухступенчатый бустер типа 6-8 обеспечивает условия синтеза при 2000 °C и десятков ГПа [41]. В двухстороннем прессе двухсторонняя верхняя камера прессования трансформируется в шестистороннюю верхнюю камеру прессования с помощью узла типа ползуна, при этом шестисторонняя верхняя камера прессования имеет квадратную форму внутри, как показано на рисунке 7. Внутри квадрата находится восьмисторонний узел верхнего прессования,

состоящий из восьми головок молота из карбида вольфрама и восьмигранного узла на основе оксида магния, который сверлится на поверхности октаэдра из оксида магния и собирается с сырьем, таким как молибденовые трубки, графит и нитрид бора, способом, показанным на рисунке 8.

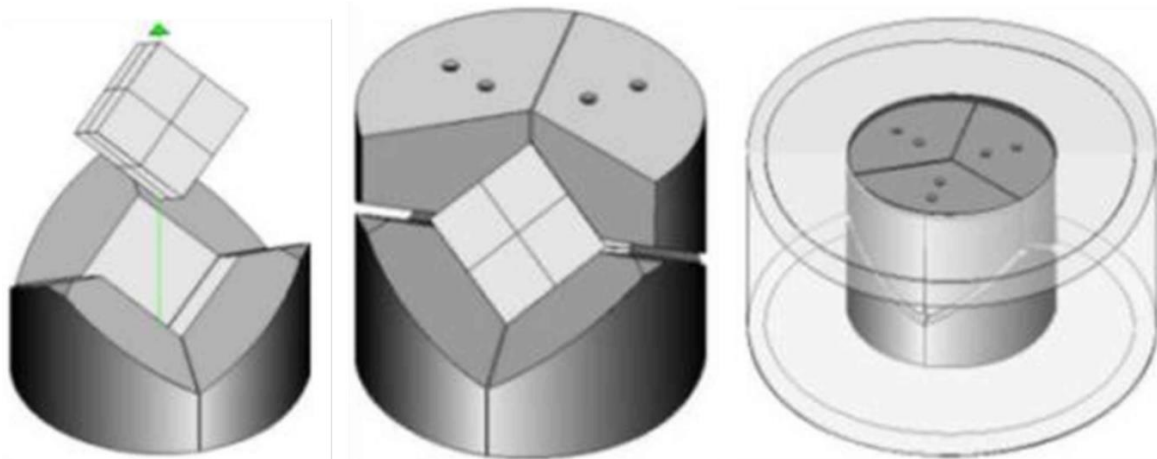


Рисунок 7 – Двухступенчатый бустер типа 6-8 на основе двухстороннего верхнего пресса

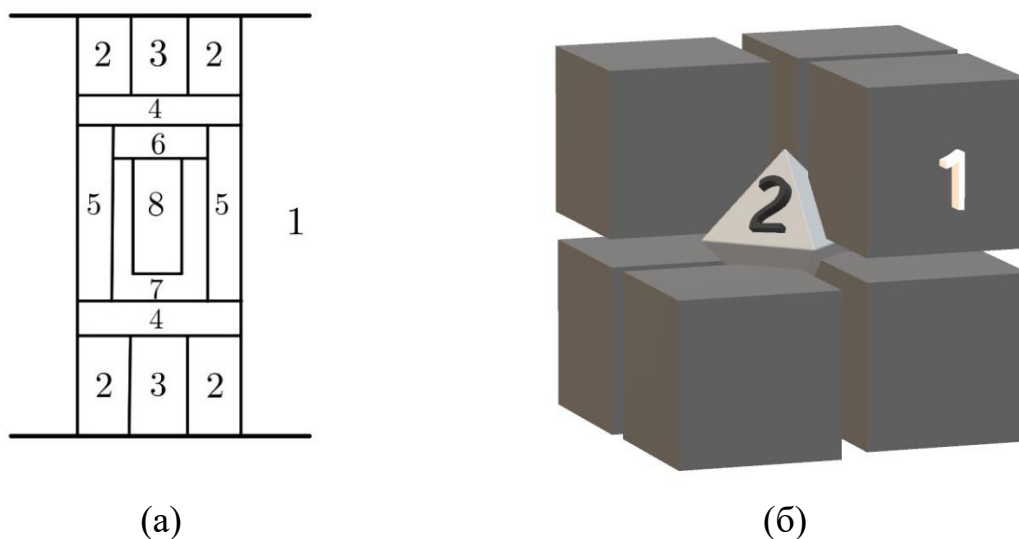


Рисунок 8 – Схема сборки под высоким давлением: (а) (1) октаэдр MgO; (2) цилиндр MgO; (3) молибденовая трубка; (4) графитовый лист; (5) графитовая трубка; (6) лист BN; (7) тигель BN; (8) образец; (б) (1) головка молотка из карбида вольфрама; (2) октаэдр MgO



Рисунок 9 – Внешний вид двухстороннего верхнего пресса

В работе используется двухступенчатая бустерная установка типа 6-8 двухстороннего верхнего пресса ZSM-10G 500T производства Zhengzhou Abrasives Grinding Institute Co., как показано на рисунке 9.

Гидравлическое масло закачивается в цилиндры масляным насосом, и гидравлическое давление в цилиндрах используется в качестве давления, оказываемого на образец головкой молота, расположенной ниже. При достижении заданного давления пресс подает электрический ток на верхнюю и нижнюю головки молота, образуя путь через молибденовую трубку и графит, где электрическая энергия на графите преобразуется в тепло, тем самым нагревая образец. Мощность нагрева соответствует температуре в камере, давлению, приложенному к головкам молота, и давлению, приложенному к головкам молота, когда сборки имеют одинаковый размер и собраны одинаковым образом.

2.2.3 Оборудование для проникновения расплава

В данной работе используется двухтемпературная зонная трубчатая печь OTF-1100X-II компании Hefei Kejing при температуре 1200 °C.



Рисунок 10 – Внешний вид трубчатой печи

Смешанный порошок укладывали плашмя в графитовый тигель, помещали композит C/C, а затем весь графитовый тигель помещали в трубку непрерывной плавильной печи. Образцы были защищены атмосферой аргона и подвергнуты синтезу реактивной плавкой инфильтрации в высокотемпературной среде.

2.3 Методы определения характеристик испытаний

В данной работе используется рентгеновская дифракция (XRD) для определения кристаллической структуры образцов; принцип Архимеда для определения плотности образцов; микротвердость по Виккерсу для определения твердости образцов; и сканирующая электронная микроскопия (СЭМ, SEM) для определения микроскопической морфологии поверхности образцов.

2.3.1 Дифракция рентгеновских лучей

XRD (X-Ray Powder Diffractometer – Рентгеновский дифрактометр) – это фундаментальный инструмент для определения состава и кристаллической структуры материалов.

Работа XRD состоит в основном из следующих пунктов:

1. генерация рентгеновского излучения: рентгеновское излучение генерируется с помощью рентгеновской трубки, обычно с использованием медной мишени для генерации двух основных спектральных линий $\text{CuK}_{\alpha 1}$ и $\text{CuK}_{\alpha 2}$;
2. поддержка образца: порошкообразный образец прессуется в тонкие ломтики и фиксируется на столе для образцов;
3. фокусировка рентгеновских лучей: рентгеновские лучи фокусируются на одной длине волны и направлении с помощью монохроматора рассеивающего чипа;
4. дифракция рентгеновских лучей: когда рентгеновские лучи проходят через образец, они взаимодействуют с ядрами и электронами в образце и подвергаются упругому рассеянию, в результате чего возникает дифрагированный свет. Сильные дифракционные пики образуются под определенными углами, которые удовлетворяют закону Брэгга;
5. обнаружение дифрагированного света: дифрагированный свет регистрируется с помощью детектора, который содержит информацию о структуре образца;
6. анализ информации: на основе угла и интенсивности обнаруженного дифрагированного света можно рассчитать параметры кристаллической структуры образца, такие как постоянная решетки, размер зерна, пространственная группа и т.д. Затем можно определить тип и состав соединения.

XRD является важным методом для определения характеристик материалов и широко используется в минералах, керамике, металлах, фармацевтике и полупроводниках. Дифрактограммы также могут быть использованы для расчета размера зерна по формуле Дебая-Шеррера. Размер зерна отражает рост зерен в процессе синтеза материала, а значит, отношение пор и относительную теоретическую плотность образца. Формула Дебая-Шеррера выглядит следующим образом:

$$D = \frac{K\lambda}{B \cos \theta}, \quad (3)$$

где K – постоянная Шеррера, равная 0,89; D – размер зерна (нм), B – полуширина дифракционного пика, которая при расчете переводится в радианы, а θ – угол дифракции.

Характеристика XRD в данной работе была проведена с использованием рентгеновского дифрактометра Dandong Naoyuan DX-2700 в Китае с длиной волны рентгеновского излучения $\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$ и медной мишенью.

2.3.2 Плотность

Плотность – это общая физическая величина, которая отражает количество вещества, содержащегося в единице объема материала. Один и тот же материал может иметь различную плотность при различных давлениях и температурах синтеза. Плотность может быть использована для расчета относительной теоретической плотности образца по следующей формуле:

$$d = \frac{\rho_{\text{Измерение}}}{\rho_{\text{Теория}}} \times 100\%, \quad (4)$$

где d – относительная теоретическая плотность, $\rho_{\text{измерение}}$ – значение плотности, измеренное денситометром, а $\rho_{\text{теория}}$ – теоретически рассчитанное значение плотности.

В данной работе используется денситометр DK3005, который использует метод Архимедова дренажа для измерения плотности. Плотность измеряется

путем взвешивания массы объекта сначала в воздухе, а затем в воде. Денситометр рассчитывает плотность объекта по принципу Архимеда на основе массы двух взвешиваний.

2.3.3 Микротвердость по Виккерсу

Твердость – это мера способности материала сопротивляться местной деформации. Распространенными видами твердости являются твердость по Виккерсу, Роквеллу, Бринеллю, Рихтеру и т.д. В данной статье используется микроскопическая твердость по Виккерсу. Твердость по Виккерсу – это значение, полученное путем деления силы F (Н) на площадь контакта S (мм²) между стандартным образцом и индентором, которая рассчитывается по длине диагонали d (мм, среднее значение длины в обоих направлениях) следов вдавливания, образованных на стандартном образце индентором (алмаз с квадратным конусом, относительный угол наклона грани = 136°) под действием силы F (Н). То есть, формула выглядит следующим образом:

$$HV = \frac{F}{S} = \frac{2F \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d^2} = 1854 \frac{F}{d^2}, \quad (5)$$

где HV – твердость по Виккерсу, F – испытательная сила, S – площадь поверхности прямоугольника вдавливания, d – средняя длина диагонали вдавливания, т.е. $d = (d_1 + d_2) / 2$ и α – угол между двумя противоположными сторонами индентора, т.е. 136 градусов.

В данной работе используется микротвердомер Виккерса HV-1000 с 5 нагрузками, тестирование 5 точек при каждой нагрузке и усреднение 5 точек для получения значения твердости при данной нагрузке. Многократные измерения могут уменьшить погрешность, вызванную неравномерностью измерений и образцов, и каждая точка удерживается в течение 15 с после вдавливания головки измерительного молотка, чтобы убедиться, что вдавливание полное и четкое.

Важно отметить, что твердость по Виккерсу керамических материалов характеризуется значительным влиянием размера вдавливания. Связь между размером вдавливания керамических материалов и нагрузкой при вдавливании может быть хорошо описана классическим эмпирическим уравнением Майера 42.

2.3.4 Сканирующая электронная микроскопия

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ, SEM) – это инструмент для характеристики микроскопической формы поверхности материала, который может использоваться для получения изображений трехмерной структуры образца с помощью электронной оптики и сканирующих систем для достижения высокого увеличения. В основном он используется для изучения морфологических характеристик различных материалов, анализа структуры тканей и свойств материалов и является важным средством для характеристики микроструктуры материалов.

Принципы работы и процессы СЭМ включают следующее:

1. источник электронов: обычно используется источник электронов с горячей эмиссией поля или источник электронов с холодной эмиссией поля для генерации высокоэнергетических электронов;
2. электронная линза: электромагнитная линза используется для сбора и сокращения электронного пучка в электронные линии определенного диаметра для сканирования поверхности объекта;
3. серия сканирования: сканирование поверхности образца электронными линиями в линейной или вращающейся схеме;
4. держатель образца: образец закрепляется на держателе и может сканироваться и позиционироваться в различных ориентациях и углах наклона;

5. обнаружение сигналов: когда высокоэнергетическая электронная линия сканирует поверхность образца, генерируются различные сигналы, такие как вторичные электроны, обратно рассеянные электроны, характеристические рентгеновские лучи и т.д. Эти сигналы регистрируются соответствующими детекторами;

б. вывод изображения: яркость трубки изображения регулируется в зависимости от силы обнаруженного сигнала, и форма поверхности объекта воспроизводится на экране с целью увеличенного наблюдения.

В данной работе использовался полевой эмиссионный сканирующий электронный микроскоп HITACHI regulus-8100.

2.3.5 Испытание скорости абляции

Абляция относится к явлению бурного окисления, плавления, испарения, растворения, деформации, скалывания и исчезновения материала поверхности, когда поверхность объекта, движущегося с высокой скоростью, трется о воздух, создавая бурный тепловой поток. Скорость абляции – это уменьшение толщины или потеря массы материала в результате абляции за единицу времени. Скорость абляции рассчитывается по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \text{скорость массовой абляции } R_m &= \frac{m_1 - m_2}{t}, \\ \text{скорость линейной абляции } R_l &= \frac{l_1 - l_2}{t}, \end{aligned} \quad (6)$$

где R_m – скорость массовой абляции, R_l – скорость линейной абляции, m_1 – масса до абляции, m_2 – масса после абляции, l_1 – толщина образца до абляции, l_2 – толщина образца после абляции и t – время абляции.

В данной работе используется пламя бутана для моделирования абляции материалов, подвергающихся воздействию высоких температур. Пламя бутана может достигать температуры до 1500 °С. Для контроля температуры абляции

температура поверхности образца может контролироваться с помощью инфракрасного термометра.

2.4 Синтез композитных материалов

2.4.1 Синтез композитов $\text{HfV}_2\text{-HfC/Cfs}$

Порошок HfV_2 и порошок HfC были смешаны в молярном соотношении 4:1, 5 г смешанного материала были взвешены на электронных весах вместе с 50 г шаров из нитрида кремния (соотношение шаров и материала 10:1) и соответствующим количеством безводного этанола (около одной трети объема барабана шаровой мельницы) в барабан шаровой мельницы, и материал был механически измельчен с помощью планетарной шаровой мельницы Р6 при скорости вращения барабана 300 об/мин в течение 3 часов. Смешанная суспензия шарового помола была высушена в сушильном шкафу. Смешанную суспензию сушили в сушильном шкафу при 100 °С в течение 12 часов для получения порошка смешанного материала $\text{HfV}_2\text{-HfC}$.

Смешанный материал $\text{HfV}_2\text{-HfC}$ и порошок углеродного волокна взвешивали в массовом соотношении 9:1 и 7:3, соответственно, смешивали и измельчали вместе с безводным этанолом в ступке.

Определенное количество смеси $\text{HfV}_2\text{-HfC/Cfs}$ было взвешено и подвергнуто холодному прессованию при давлении 2 МПа с использованием пресса для получения цилиндров размером $\Phi 3 \times 2$ мм. Цилиндры были собраны в сборки и помещены в двухступенчатый бустер типа 6-8 для прессования на установке ZSM-10G 500T с двусторонним верхним прессом сверхвысокого давления при температуре 1200 °С и давлении 3 и 5 ГПа соответственно. Образцы были синтезированы при высокой температуре и давлении.

2.4.2 Синтез композитов $ZrB_2-ZrC-C/C$

Материалы ZrB_2 и порошок ZrC были взвешены и смешаны в молярном соотношении 8:1, 5 г смешанного материала были взвешены с 50 г шаров из нержавеющей стали (соотношение шаров к материалу 10:1) и безводным этанолом (одна треть объема барабанов шаровой мельницы) в барабан шаровой мельницы из нержавеющей стали с использованием планетарной шаровой мельницы Р6 при скорости вращения барабана 300 об/мин для механического шарового измельчения в течение 3 часов. После шарового измельчения смешанная суспензия была высушена в сушильном шкафу. Смешанную суспензию сушили в сушильном шкафу при 100 °С в течение 12 часов для получения высушенного смешанного порошка ZrB_2-ZrC .

Смешанная порошковая смесь ZrB_2-ZrC была уложена в графитовый тигель, в него был помещен композит C/C, а затем весь графитовый тигель был помещен в трубку непрерывного плавления двухтемпературной зонной трубчатой печи типа OTF-1100X-II при температуре 1200 °С. Образцы были защищены атмосферой аргона и синтезированы методом реактивного плавления при 1600 °С в течение 1, 3 и 5 часов, соответственно.

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

Студенту:

Группа 150Б91	ФИО Чжан Тяньшу		
Школа Уровень образования	ИЯТШ Бакалавриат	Отделение (НОЦ) Направление/специальность	ОЭФ 03.03.02 Физика

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Затраты на сырьё, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование, основную и дополнительную заработную плату исполнителей, отчисления на социальные нужды, накладные расходы
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	1. Налоговый кодекс Российской Федерации 2. ФЗ №212 от 24.07.2009 в ред. от 19.12.2016

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Определение потенциальных потребителей результатов исследования, анализ конкурентных технических решений.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Сравнительный анализ интегральных показателей эффективности, формирование бюджета НИ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет уравнений эффективности НИИ. Расчет уравнений сравнительной эффективности НИИ.

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИР
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Верховская Марина Витальевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б91	Чжан Тяньшу		

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности (потенциала) разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса. Целью данной главы является расчет затрат, необходимых для проведения НИОКР.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальными потребителями результатов НИР являются военная промышленность, аэрокосмические компании.

Области приложений: военная промышленность.

Основная часть этого рынка - производство гиперскоростных аппаратов.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Необходимо систематически проводить детальный анализ конкурентного развития на рынке, поскольку рынок постоянно меняется. Такой анализ помогает корректировать научные исследования, чтобы более успешно противостоять конкурентам. Очень важно реалистично оценить преимущества и недостатки развития конкурентов.

В этой связи вся имеющаяся информация о развитии конкуренции может быть использована:

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

Анализ конкурентоспособных технических решений с точки зрения эффективности ресурсов и экономии ресурсов дает нам возможность оценить относительную эффективность научного развития и определить направление его будущих усовершенствований.

Рекомендуется использовать оценочную карту для анализа, приведенного в таблице опций б. Для этого необходимо выбрать как минимум 3-4 конкурентоспособных продукта и разработать.

Критерии для сравнения и оценки эффективности ресурсов и экономии ресурсов представлены в картах опций б, сравнение на основе выбора объекта, в то же время учитывает технические и экономические особенности его разработки, создания и эксплуатации.

Позиции разработчиков и конкурентов оцениваются по каждому показателю с помощью экспертных средств, Один из которых является

наиболее слабым, а пять — наиболее сильным. Суммарный вес индикаторов, установленный с помощью методов экспертов, должен составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (9)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Основываясь на знаниях о конкурентах, следует объяснить:

- чем обусловлена уязвимость позиции конкурентов и возможно занять свою нишу и увеличить определенную долю рынка;
- в чем конкурентное преимущество разработки.

Результат этого анализа, партнер и инвестор интерес, может быть конкурентно преимуществ развит, это поможет создать продукт, завоевать клиентское доверие, качество уровень и разнообразить товар, групп уверененность, что стандартно параметр, ил групп нестандартно свойств покупатель заинтересован свойств.

Таблица 6 — Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение срока эксплуатации	0,10	3	4	4	0,30	0,40	0,40
2. Удобство в эксплуатации	0,10	3	4	3	0,30	0,40	0,30
3. Сопротивление абляции	0,15	4	5	3	0,60	0,75	0,45
4. Плотность и практичность	0,15	5	3	3	0,75	0,45	0,45
5. Надежность	0,15	4	3	3	0,60	0,45	0,45
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,06	5	4	3	0,30	0,24	0,18
2. Уровень проникновения на рынок	0,06	5	2	4	0,30	0,12	0,24
3. Цена	0,06	5	2	3	0,30	0,12	0,18
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	4	5	4	0,24	0,30	0,24
5. Финансирование научной	0,06	4	4	4	0,24	0,24	0,24

разработки							
6. Срок выхода на рынок	0,05	4	4	5	0,20	0,20	0,25
Итого	1	46	40	39	4,13	3,67	3,38

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 7 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Заявленная экономичность и надежность технологии</p> <p>С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С3. Обилие финансовых ресурсов</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Большое количество конкурентов</p> <p>Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Оптимизации свойств материалов</p>	<p>1. Введение углеродных волокон в композит помогает уменьшить плотность при сохранении определенной степени жесткости.</p>	<p>1.Использование оборудования в Цзилиньском университете для имитации методов тестирования в реальных условиях</p> <p>2. Привлечение новых заказчиков</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Развитая конкуренция технологий производства</p>	<p>1. Стандартизация обработки индексов</p>	<p>1. Результаты исследований отзывы обработка продуктов</p> <p>2. Создание уникального преимущества продукта</p>

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

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В таблице 8 предвидены перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и распределение исполнителей по видам работ.

Таблица 8 — Перечень этапов, работ и распределение пользователей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Определите направление вашей диссертации и конкретную тему исследования	Руководитель
	3	Календарное планирование работ по теме	Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Исследование и освоение высокотемпературного и высоконапорного синтеза	Инженер

		композиционных материалов	
	5	Знание методов измерения свойств образцов	Инженер
	6	Изучение и определение соотношения HfB ₂ , HfC и Cfs к сырью образцов	Инженер
	7	Проведение подготовительных экспериментов для экспериментов при высоких температурах и давлениях	Инженер
	8	Проведение экспериментов при высокой температуре и высоком давлении на HfB ₂ -HfC/углеродных волокнах	Инженер
	9	Исследование и определение соотношения ZrB ₂ и ZrC к материалу образца и экспериментальной температуре	Руководитель Инженер
	10	Проведение экспериментов по плавлению и инфильтрации с ZrB ₂ -ZrC и углерод-углеродными композитами	Инженер
	11	Определение характеристик HfB ₂ -HfC/углеродных волокон, ZrB ₂ -ZrC и углерод-углеродных композитов, включая XRD, SEM и другие измерения физических свойств	Инженер
	12	Эксперименты по абляции материалов HfB ₂ -HfC/углеродных волокон, измерение и расчет скорости абляции	Инженер
	13	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
Обобщение и оценка результатов	14	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель
	15	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Инженер
Оформление отчета	16	Написание отчета	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

В большинстве случаев затраты на рабочую силу составляют большую часть расходов на развитие, поэтому важным моментом является определение интенсивности труда каждого участника научных исследований.

Трудность проведения научных исследований оценивается экспертами в единицах дня человека и, по существу, вероятностна, поскольку она зависит от многих факторов, которые трудно принять во внимание. Чтобы определить

ожидаемое (среднее) значение интенсивности труда, используйте следующую формулу:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (10)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; $t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (11)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн. $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Разработка графика проведения научного исследования. Продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях T_{ki} рассчитывается по формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (12)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (13)$$

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

В таблице 9 приведены временные показатели проведения научного исследования.

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Исп.	Трудоёмкость						Длит-сть в рабочих днях, T_{pi}		Длит-сть в календарных днях, T_{ki}	
		t_{min} , чел.-дн.		t_{max} , чел.-дн.		$t_{ож}$, чел.-дн.		Руковод.	Инженер	Руковод.	Инженер
		Руковод.	Инженер	Руковод.	Инженер	Руковод.	Инженер				
Составление и утверждение технического задания	Р	2	-	10	-	7	-	7	-	9	-
Определите направление вашей диссертации и конкретную тему исследования	Р	12	-	16	-	14	-	14	-	18	-
Календарное планирование работ по теме	С	-	2	-	4	-	3	-	3	-	5
Исследование и освоение высокотемпературного и высоконапорного синтеза композиционных материалов	С	8	-	12	-	10	-	10	-	18	-
Знание методов измерения свойств образцов	С	-	4	-	6	-	5	-	5	-	7

Изучение и определение соотношения HfB ₂ , HfC и Cfs к сырью образцов	С	-	2	-	4	-	3	-	3	-	3
Проведение подготовительных экспериментов для экспериментов при высоких температурах и давлениях	С	-	7	-	9	-	8	-	10	-	10
Проведение экспериментов при высокой температуре и высоком давлении на HfB ₂ -HfC/углеродных волокнах	С	-	10	-	16	-	13	-	13	-	17
Исследование и определение соотношения ZrB ₂ и ZrC к материалу образца и экспериментальной температуре	P+C	5	5	7	7	6	6	6	6	8	8
Проведение экспериментов по плавлению и инфильтрации с ZrB ₂ -ZrC и углерод-углеродными композитами	С	-	7	-	9	-	8	-	8	-	10
Определение характеристик HfB ₂ -HfC/углеродных волокон, ZrB ₂ -ZrC и углерод-углеродных композитов, включая XRD, SEM и другие измерения физических свойств	С	-	20	-	30	-	25	-	25	-	33
Эксперименты по абляции материалов HfB ₂ -HfC/углеродных волокон, измерение и расчет скорости абляции	С	-	16	-	20	-	18	-	18	-	24
Оценка эффективности полученных	С	-	4	-	6	-	5	-	5	-	7

результатов											
Определение целесообразности проведения ОКР	P	2	-	6	-	4	-	4	-	6	-
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	C	-	4	-	6	-	5	-	5	-	7
Написание отчета	P+C	40	55	60	75	50	65	50	20	30	38
Подготовка ВКР	C	-	15	-	25	-	20	-	20	-	25

Диаграмма Ганта строится в виде таблицы 10 с разбивкой по месяцам за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 10 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Название работ	Исполнители	T _{каль} , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ																	
			фев.		мар.		апр.		май.		июн.									
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2								
Составление и утверждение технического задания	P	9	■																	
Определите направление вашей диссертации и конкретную тему исследования	P	8	■																	
Календарное планирование работ по теме	C	5	■																	
Исследование и освоение высокотемпературного и высоконапорного синтеза композиционных материалов	C	18		■																
Знание методов измерения свойств образцов	C	7			■															
Изучение и определение соотношения HfB ₂ , HfC и Cfs к сырью образцов	C	3																		

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- накладные расходы.

4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Таблица 11 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Спирт	100 мл (90%)	2	45	90
Углеродное волокно	20 г	1	50	50
Углерод-углеродные материалы	50 г	1	800	800
Порошок борида гафния	2 г	1	1280	1280
Порошок карбида гафния	1 г	1	560	560
Порошок борида циркония	5 г	1	570	570
Порошок карбида циркония	5 г	1	760	760
Порошок оксида магния	250 г	1	460	460
Всего за материалы				4670
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				228
Итого по статье C_m				4898

4.3.2 Расчет затрат на оборудование для научно-экспериментальных работ

Для оборудования нужно рассчитать величину годовой амортизации по следующей формуле (12):

$$A_{\text{год}} = \frac{C_{\text{перв}}}{T_{\text{пи}}}, \quad (13)$$

где $C_{\text{перв}}$ – первоначальная стоимость, руб; $T_{\text{пи}}$ – время полезного использования, год.

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии и доплаты) и дополнительную заработную плату. Также включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (14)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата; $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (15)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника; T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (формула 16); $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (16)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$

месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 12).

В таблице 12 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер	Консультант
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней <ul style="list-style-type: none"> • выходные дни: • праздничные дни: 	52/14	104/14	52/14
Потери рабочего времени <ul style="list-style-type: none"> • отпуск: • невыходы по болезни: 	48/5	24/10	48/5
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213	246

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot k_p, \quad (17)$$

где Z_{tc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.; k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Z_{tc}	k_p	Z_m , руб	Z_d , руб	T_p , день	$Z_{осн}$, руб
Магистрант	22 000	1,3	51 480	2194	109	239 171
Научный руководитель	37 000		86 580	3690	3	11 071
Консультант	37 000		86 580	3690	3	11 071
ИТОГО						261 313

4.3.4 Расчет дополнительной заработной платы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (18)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, равный 0,15.

Общая заработная исполнителей работы представлена в таблице 14.

Таблица 14 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{\text{осн}}$, руб	$Z_{\text{доп}}$, руб	$Z_{\text{зп}}$, руб
Инженер	239 171	35 876	275 047
Научный руководитель	11 071	1 661	12 732
Консультант	11 071	1 661	12 732
ИТОГО	261 313	39 197	300 510

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (19)$$

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

В соответствии с положениями подпункта 7 пункта 1 и подпункта 3 пункта 2 статьи 427 Налогового кодекса Российской Федерации для некоммерческих организаций (за исключением государственных (муниципальных) учреждений), зарегистрированных в установленном законодательством Российской Федерации порядке, применяющих упрощенную систему налогообложения и осуществляющих в соответствии с учредительными документами деятельность в области социального обслуживания граждан, научных исследований и разработок, образования, здравоохранения, культуры и искусства (деятельность театров, библиотек, музеев и архивов) и массового спорта (за исключением профессионального) применяются пониженные тарифы страховых взносов в совокупном размере 30% в течение 2017-2024 годов

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	З _{осн} , руб	З _{доп} , руб	З _{внеб} , руб
Инженер	93 044	13 957	31 400
Научный руководитель	3 028	454	997
Консультант	3 028	454	997
ИТОГО			33 793

4.3.5 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}), \quad (20)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16 %. Накладные расходы представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Накладные расходы

Основная заработная плата	99 101
Дополнительная заработная плата	14 865
Отчисления во внебюджетные фонды	33 793
Накладные расходы	21 882

4.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма	Примечание
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	99 101	Таблица 13
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	14 865	Таблица 14
3. Отчисления во внебюджетные фонды	33 793	Таблица 15
4. Накладные расходы	21 882	16 % от суммы ст. 1-3
5. Материальные затраты	4898	Таблица 11
5. Бюджет затрат НИИ	175 539	Сумма ст. 1-5

Как видно из таблицы 17 основные затраты НИИ приходятся на основную заработную плату исполнителей.

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (21)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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

$$I_{pi} = \sum a_i b_i, \quad (22)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки; a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки; устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания; n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблице 18.

Таблица 18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2
1 Простота выполнения исследований	0,20	3	4
2 Удобство в эксплуатации	0,15	4	4
3 Энергосбережение	0,15	4	3
4 Надежность	0,10	3	5
5 Экономика материалов	0,20	5	2
6 Воспроизводимость результатов	0,20	4	4
ИТОГО	1	3,90	3,55

Сравнив значения интегральных показателей ресурсоэффективности, можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом для выполнения работы.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \quad (23)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность

проекта (см. таблицу 18) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (24)$$

Из приведенных расчетов выявлено, что текущий проект по интегральному показателю ресурсоэффективности вариантов является выгодным и превосходит аналоги. Так как данный проект является только научной разработкой и началом исследования, то интегральный финансовый показатель разработки рассчитать не представляется возможным. Этот проект предлагает возможность разработки продукции в массовом производстве при снижении стоимости в будущем за счет использования более дешевого сырья.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
150Б91	Чжан Тяньшу

ШКОЛА	ИЯТШ	Отделение	
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 Физика

Тема дипломной работы: «Получение и свойства сверхвысоко-температурных керамических углерод-углеродных композитов»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<ul style="list-style-type: none"> • Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения) <li style="text-align: center;">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. 	<p style="text-align: center;">Объект исследования – Сверхвысоко-температурные керамические композиционные углерод-углеродные композиты.</p> <p style="text-align: center;">Область применения – Высокотемпературные и устойчивые к абляции поверхностные материалы.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p style="text-align: center;">1. Производственная безопасность</p> <ul style="list-style-type: none"> • производственный шум • промышленная санитария • микроклимат • расчет искусственной освещенности • электробезопасность 	<p>СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Минздрав России. – Москва. – 1996.</p> <p>СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Минздрав России. – Москва. – 1997.</p> <p>ГОСТ 12.1.002-84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. Издательство стандартов. – Москва. – 1984.</p>
<p style="text-align: center;">2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> • защита селитебной зоны • анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); • анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); • анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); • разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Во время эксперимента необходимо правильно утилизировать экспериментальные отходы.</p> <p>Во время экспериментов возникают следовые количества теплового излучения.</p>
<p style="text-align: center;">3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> • перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; • выбор наиболее типичной ЧС; • разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; • разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Были рассмотрены два типа чрезвычайных ситуаций:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) чрезвычайно холодная погода 2) несанкционированный доступ на предприятие <p>Необходимо предусмотреть меры по обеспечению стабильной работы производства в обоих случаях.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	23.05.2023г.
---	--------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доктор технических наук	Сечин Александр Иванович	д.т.н.		24.05.2023г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б91	Чжан Тяньшу		23.05.2023г.

Глава 5. Социальная ответственность

В связи с различными чрезвычайными ситуациями, происходящими на предприятии, соответственно очень важным является обеспечение безопасности рабочих мест на предприятии, и предотвращение возможных опасных ситуаций.

5.1 Вредные факторы проектируемой производственной среды

При проведении работ на установке возможно воздействие вредных факторов таких, как [43]:

- 1) Производственный шум.
- 2) Микроклимат.
- 3) Освещенность.

5.1.1 Производственный шум

Материал HfB₂-HfC/Cfs проводится на двухстороннем верхнем прессе. Насос давления масла является одним из источников шума при его производстве. Воздействие шума в первую очередь влияет на органы слуха, нервную и сердечно-сосудистую системы [44]. В соответствии с ГОСТ 12.1.003-83 допустимый уровень шума при сосредоточенной умственной работе составляет 75 дБА. Зоны с уровнем звука или эквивалентным уровнем звука выше 80 дБА обозначены знаками безопасности по ГОСТ 12.4.026 [45]. Рекомендуется использовать следующие средства коллективной защиты: акустические экраны, выгородки, объемные поглотители звука, виброизолирующие опоры; средства индивидуальной защиты: специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумные каски.

В качестве материалов для шумозащитных экранов применяют

минеральную вату, композитные материалы, пластмассы, поликарбонаты, древесина, металлы, кирпичную кладку, бетон.

5.1.2 Промышленная санитария

В данной диссертации была проведена работа по синтезу инфильтрата сплава $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$ и $\text{ZrB}_2\text{-ZrC-C/C}$.

По ГОСТу 12.1.007-76 ССБТ существует определенная классификация по степени воздействия на организм вредные вещества подразделяют на четыре класса опасности:

- 1-й - вещества чрезвычайно опасные;
- 2-й - вещества высокоопасные;
- 3-й - вещества умеренно опасные;
- 4-й - вещества малоопасные.

Необходимо использовать индивидуальные средства защиты (перчатки, очки, защитный рабочий халат).

5.1.3 Микроклимат

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 [46]:

1. температура воздуха;
2. относительная влажность воздуха;
3. скорость движения воздуха.

Выполняемые работы относятся к Іб 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 45 °С.

Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

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

Для создания оптимальных метеорологических условий применяется кондиционер, который поддерживает оптимальные параметры микроклимата автоматически, независимо от меняющихся условий. В холодное время года для поддержания в помещении оптимальной температуры воздуха применяется отопление.

5.1.4 Расчет искусственной освещенности

Согласно СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

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.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки на должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 5,7$ м, ширина $B = 4,3$ м, высота = $3,7$ м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 150 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S = A \times B, \quad (25)$$

где A – длина, м; B – ширина, м.

$$S = 5,7 \times 4,3 = 24,51 \text{ м}^2 \quad (26)$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c = 50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{II} = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_z = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу дневного света OSRAM DULUX L 32W/840 2G11, световой поток которой равен $\Phi_{лд} = 2900$ Лм.

Выбираем светильники ССП-158 32Вт 4000К IP65 LLT 4690612008950 Этот светильник имеет одну лампу мощностью 32 Вт, длина светильника равна 1150 мм, ширина – 60 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda=1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,3$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p, \quad (27)$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса, h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Высота светильника над полом, высота подвеса:

$$h_n = H - h_c = 3700 - 300 = 3400. \quad (28)$$

Высота рабочей поверхности над полом: $h_{pp} = 800$.

Расчетная высота, высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = h_n - h_{pp} = 3400 - 800 = 2600 = 2,6 \text{ м}. \quad (29)$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2,6 = 2,86 \text{ м}. \quad (30)$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{4,3}{2,86} = 1,5 \approx 2. \quad (31)$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{5,7}{2,86} = 1,99 \approx 2. \quad (32)$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 2 \cdot 2 = 4. \quad (33)$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,86}{3} = 0,953 \text{ м}. \quad (34)$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке изображен план

помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Однако необходимо провести дополнительные расчеты:

$$\begin{aligned}4300 &= L_2 + \frac{2}{3}L_3 + 2 \cdot 1150, \\ L_2 &= \frac{(4300 - 2300) \cdot 3}{5} = 1200, \\ l &= \frac{L_2}{3} = \frac{1200}{3} = 400.\end{aligned}\tag{35}$$

Аналогичные расчеты проводим для длины комнаты:

$$\begin{aligned}5700 &= L_1 + \frac{2}{3}L_1 + 2 \cdot 60, \\ L &= \frac{(5700 - 120) \cdot 3}{5} = 3348, \\ l &= \frac{L_1}{3} = \frac{3348}{3} = 1116.\end{aligned}\tag{36}$$

5.2 Электробезопасность

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 (6–16 мА). Защита от воздействия электрического тока осуществляется путем проведения организационных, инженерно-технических и лечебно-профилактических мероприятий [47].

Электробезопасность должна обеспечиваться конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты. Электроустановки и их части выполнены таким образом, чтобы работающие не подвергались опасным и вредным воздействиям электрического тока и электромагнитных полей, и соответствовать требованиям электробезопасности.

Согласно [48] помещения разделяются на три класса опасности.

1. Помещение без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18—20°, с

влажностью 40—50%, $U < 1000$ В).

2. Помещение с повышенной опасностью (где имеется один из следующих признаков: повышенная температура, влажность 70—80%, токопроводящие полы, металлическая пыль, наличие заземления, большого к-ва оборудования, $U < 1000$ В,).

3. Помещения особо опасные, в которых имеется наличие двух признаков из второй группы или имеются в помещении едкие или ядовитые взрывоопасные вещества, $U > 1000$ В.

Используемое помещение относится к классу с повышенной опасностью, так как в данном помещении возможно одновременное прикосновения человека к имеющей соединение с землей металлоконструкцией здания с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования с другой стороны. Граничные значения напряжений, при повышении которых требуется выполнение защиты от косвенного прикосновения для помещений с повышенной опасностью составляет >25 В переменного тока и >60 В постоянного тока [49].

Для предотвращения поражения электрическим током следует проводить следующие мероприятия:

1. содержать оборудование в работоспособном состоянии и эксплуатировать его в соответствии с нормативно-техническими документами;
2. своевременно проводить техническое обслуживание;
3. соблюдать технику безопасности при работе с оборудованием;
4. проводить инструктаж для работников.

В качестве мероприятий по обеспечению безопасности работы с электрооборудованием могут быть использованы:

1. изоляция токоведущих частей;
2. малое напряжение в электрических цепях;
3. защитное заземление, зануление, защитное отключение;
4. применение разделяющих трансформаторов;

5. использование оболочек и блокировок для предотвращения возможности случайного прикосновения к токоведущим частям и ошибочных действий или операций;

6. защитные средства и предохранительные приспособления.

Индивидуальные защитные средства подразделяются на основные и дополнительные. К основным защитным изолирующим средствам в установке до 1000 В относятся изолирующие штанги, клещи изолирующие и электроизмерительные указатели напряжения, диэлектрические перчатки, слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками. К 85 дополнительным изолирующим защитным средствам относятся средства, которые дополняют основные средства защиты, а также могут служить для защиты от напряжения прикосновения и шагового напряжения. Дополнительными защитными средствами в установках до 1000 В служат диэлектрические галоши, диэлектрические коврики, изолирующие подставки [50].

Безопасным для организма человека можно считать переменный ток силой не выше 0,05 А ток силой более 0,05 - 0,1 А опасен и может вызвать смертельный исход.

Безопасным напряжением для человека считается напряжение 42 В в нормальных условиях и 12 В в условиях повышенной опасности (сырость, высокая температура, металлические полы и др.).

Величина измерения сопротивления заземления - Ом и оно должно быть минимально низким по значению. Идеальным случаем считается, если величина будет нулевая, это означает при пропускании "вредных" электротоков какое-либо сопротивление отсутствует, что гарантирует полное поглощение их землей. Так как достигнуть идеала практически невозможно, то вся электроника и электрооборудование создаются на основе некоторых нормированных величин сопротивления заземления равно 60, 30, 15, 10, 8, 4, 2, 1 и 0,5 Ом. Исходя из ПУЭ 1.7.101, требуется не более чем 2, 4 и 8 Ом

сопротивление заземления для источника тока (генератора или трансформатора).

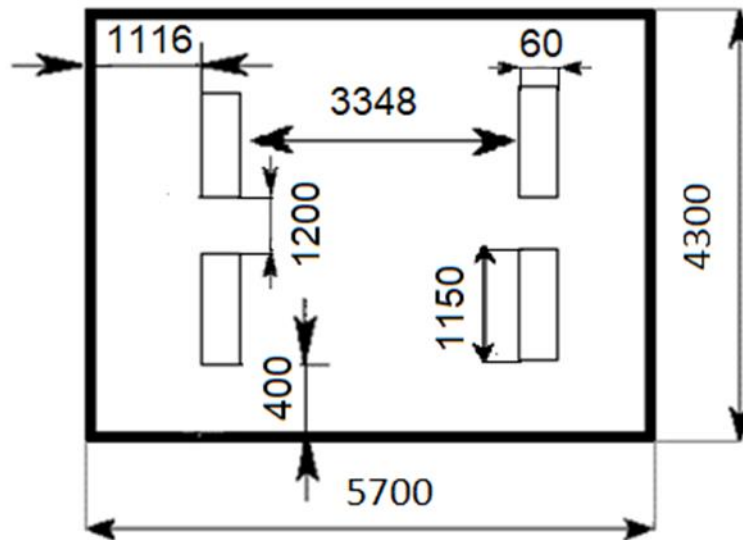


Рисунок 22 – Схема размещения светильников в помещении

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)} = \frac{5,7 \cdot 4,3}{2,6 \cdot (5,7+4,3)} = 0,94. \quad (37)$$

Для коэффициентов отражения берутся приблизительные значения:

= 50% и потолка = 30%. Значения коэффициента использования светового потока светильников с люминесцентными лампами примем равным 53 %.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 5,7 \cdot 4,3 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{4 \cdot 0,53} = 2861,42 \text{ лм.} \quad (38)$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% \leq 20\%; \quad (39)$$

$$\frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% = \frac{2900 - 2861,42}{2900} \cdot 100\% = 1,3\%.$$

Таким образом: $-10\% \leq 1,3\% \leq 20\%$, необходимый световой поток

светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

5.3 Пожаровзрывобезопасность

Используемое помещение относится к категории Б по пожарной и взрывопожарной опасности, так в данном помещении расположены горючие легковоспламеняемые материалы, также баллоны с газами. Помещение, в котором находится установка, оснащено аварийными выходами, обеспечено средствами пожаротушения, сигнализацией оповещения пожара.

Работники допускаются к работе только после прохождения инструктажа о мерах пожарной безопасности, во всех помещениях вывешены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны и таблички с направлением пути эвакуации и план эвакуации.

В лаборатории расположены огнетушители порошковые ОП-4(з)-АВСЕ-02 (предназначен для тушения твердых, жидких и газообразных веществ и электроустановок до 1000 вольт) [51, 52].

Причинами возникновения пожара могут быть:

1. Нарушение правил эксплуатации электрического оборудования;
2. Курение в неустановленных местах;
3. Перегрузка электрических сетей;
4. Нарушение правил пожарной безопасности;
5. Неправильное хранение возгорающихся веществ.

При работе на установке используются баллоны с аргоном и азотом. Эксплуатация баллонов связана с рядом опасных факторов. Наполненный сжатым газом баллон обладает большой энергией, и если в нем образуется отверстие, то газ истекает из него с критической скоростью.

Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, находящихся под высоким давлением описаны. В целях безопасности, выполнены общие правила эксплуатации баллонов:

1. Баллоны установлены вертикально и надежно закреплены в таком положении металлическим хомутом, а также защищены от падения на них сверху каких-либо предметов.

2. Баллоны с газом, устанавливаемые в помещении, находятся от радиаторов отопления и других отопительных приборов на расстоянии не менее 1 метра и от печей и других источников тепла с открытым огнем не менее 5 метров. При невозможности выдержать необходимое расстояние, необходимо применять защитные экраны, предохраняющие баллоны от местного разогрева, располагая баллон не ближе 0.1 м от экрана. Установленные баллоны также необходимо предохранять от действия солнечных лучей [53].

3. Выпуск газов из баллона производится через редуктор, предназначенный исключительно для данного газа и окрашенный в соответствующий цвет.

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности:

А — повышенная взрывопожароопасность. Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 килопаскалей, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа.

Б — взрывопожароопасность. Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.

В1 — В4 — пожароопасность. Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к категории А или Б.

Г — умеренная пожароопасность. Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.

Д — пониженная пожароопасность. Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Используемое помещение относится к категории Б по пожарной и взрывопожарной опасности, так в данном помещении расположены горючие легковоспламеняемые материалы, также баллоны с газами.

Таблица 20– Типы огнетушителей и их назначение

Тип	Жидкостные	Порошковые	Углекислотные	Аэрозольные	Воздушно-пенные
Огнетушители	ОВ-1(3) ОВ-8	ОП-5 ОП-8 ОП-2	ОУ-5 ОУ-3 ОУ-10	ВВПА-500 ВВПА-400	ОВП-4 ОВП-8 ОВП-40 (ОВП-50)
Описание	Огнетушащее средство представлено водой и водными растворами и химически активных веществ. Также используются	Порошки общего и спец. назначения. Основа порошка – минеральные соли. Добавляют также вещества для предотвращения увлажнения	Горящее вещество углекислота. При распылении она расширяется в 400 раз, образуя газ. При этом температура понижается до -70 градусов	Горящее вещество представляет собой галогенированные углеводороды, которые образуют при распылении бромистый этил, хладон.	Огнетушащее вещество – пена, которая образуется во время химической или механической реакции водных растворов.

	поверхностно активные вещества.	и комкования порошка.	Цельсия.		
Область применения	Используются только при плюсовых температурах. Назначены для тушения горящих твердых веществ	Наиболее универсальны используются во всех типах пожаров.	При тушении пожаров в помещении, где нежелательно использовать воду.	Хорошо тушат твердые вещества, электрические установки под напряжением. Исключение щелочи и вещества, содержащие кислород.	Предназначены для тушения средних пожаров. Не рекомендуется использовать при тушении веществ, поддерживающих горение без кислорода
Класс пожара	А, В	А,В,С,Е	В,С	В,С,Е	А,В,С

5.4 Охрана окружающей среды

В настоящее время одним из важных вопросов в любой сфере деятельности является вопрос экологичности. Экологичность отхода представляет собой способность отхода не оказывать отрицательного воздействия на окружающую среду за пределами допустимых значений.

В настоящий момент ведутся активные работы по переработке отходов, их утилизации или обеспечения повторного использования. Переработка является процессом деятельности, направленным на изменение физического, химического состояния отхода для дальнейшего обращения с отходами.

В данной работе в качестве отходов используется графитовый порошок, оставшийся после обработки собранных деталей.

Конкретные методы утилизации включают:

1. сбор каменного шлифовального порошка с помощью специального пылесоса.
2. транспортировка на мусороперерабатывающий завод через специальный экспериментальный канал переработки отходов.

3. идентификация экспериментальных отходов на предмет радиоактивности и других загрязнений.

5.4.1 Защита в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей. ЧС бывают техногенные и природные. Техногенные ЧС вызваны производственной деятельностью человека, в то время как природные ЧС возникают по причине природных явлений и процессов. Так, к техногенным чрезвычайным ситуациям относятся пожары и взрывы на производстве, аварии с выбросом химически опасных или радиоактивных веществ и т.д. Природные ЧС могут возникнуть ввиду наводнения, заморозка, урагана и т.д. Рассмотрим две наиболее типичных чрезвычайных ситуации, которые могут произойти на предприятии.

Первый случай: остановка производства в результате сильных морозов.

Меры по предупреждению ЧС:

1. Повышение устойчивости системы электроснабжения. В первую очередь целесообразно заменить воздушные линии электропередач на кабельные (подземные) сети, использовать резервные сети для запитки потребителей, предусмотреть автономные резервные источники электропитания объекта (передвижные электрогенераторы).

2. Использование запасных автономных источников теплоснабжения, заглубления теплотрасс.

3. Обеспечение устойчивости систем водоснабжения (устройство дублирования водопитания, кольцевание системы, заглубление водопроводов,

обустройство резервных емкостей и водохранилищ, очистка воды от вредных веществ и т.п.).

4. Обеспечение устойчивости системы водоотведения. Повышение устойчивости системы канализации достигается созданием резервной сети труб, по которым может отводиться загрязненная вода при аварии основной сети. Насосы, используемые для перекачки загрязненной воды, комплектуются надежными источниками электропитания.

Второй случай: диверсия. Для обеспечения безопасности работника, предотвращения хищений и проникновения посторонних лиц на предприятие следует использовать ряд мер безопасности:

1. Организовать контрольно-пропускной пункт.
2. Установить системы видеонаблюдения в производственных цехах, а также на всех входах и выходах из здания.
3. Установить оповещающие системы безопасности при несанкционированном проникновении на предприятие в нерабочее время.

5.4.2 Правовые вопросы обеспечения безопасности

К работе на установке «Радуга-спектр» допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний, прошедшие обучение безопасности труда и инструктаж на рабочем месте. К самостоятельной работе допускаются работники после специального обучения и проверки 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.

В данной главе рассмотрены условия работы с установкой, выделены опасные и вредные производственные факторы, а также существующие средства и методы защиты, описаны организационные и технические мероприятия, проводимые перед началом работы. Проведен расчет освещенности помещения, который удовлетворяет требуемым нормам общего равномерного освещения.

Заключение

В данной работе композиты $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$, приготовленные методом высокой температуры и высокого давления, были использованы для синтеза композитов $\text{ZrB}_2\text{-ZrC-C/C}$ методом реактивной инфильтрации плавлением. Анализировалось влияние различных массовых долей образцов на композиты $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$ при различных давлениях; анализировались различия в свойствах композитов $\text{ZrB}_2\text{-ZrC-C/C}$ при различных временах плавления и инфильтрации. Основные результаты исследования заключаются в следующем:

1. метод дозирования углеродных волокон в материалы $\text{HfB}_2\text{-HfC}$ для повышения вязкости и снижения плотности осуществим, и композиты $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$, синтезированные при высокой температуре и давлении, в основном достигли необходимой плотности;

2. различные массовые доли $\text{HfB}_2\text{-HfC}$ и Cfs влияют на физические свойства композитов $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$. Массовое соотношение $\text{HfB}_2\text{-HfC}$ и Cfs 7:3 дает преимущество более низкой плотности образцов композитов $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$, но ценой более низкой твердости и меньшей устойчивости к абляции; массовое соотношение $\text{HfB}_2\text{-HfC}$ и Cfs 9:1 дает преимущество более низкой плотности образцов композитов $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$. Композитный образец $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$ имеет большую плотность при массовом соотношении 9:1, но в то же время образец более плотный и более устойчив к абляции;

3. различные давления синтеза влияют на физические свойства композитов $\text{HfB}_2\text{-HfC/Cfs}$. Физические свойства образцов с более высоким давлением синтеза, как правило, лучше с точки зрения размера зерна, относительной теоретической плотности, твердости, сопротивления абляции и т.д. При массовом соотношении $\text{HfB}_2\text{-HfC}$ и Cfs 9:1 и давлении синтеза 5 ГПа образцы имеют размер зерна 38 нм для HfB_2 и 25 нм для HfC , относительную теоретическую плотность 95,8%, твердость 4,131 ГПа при нагрузке 9,8 Н, со

скоростью линейной и массовой абляции 2,5 мкм/с и 46,7 мкг/с, соответственно;

4. время плавления реакции имеет важное влияние на проведение плавления и инфильтрации. Короткое время плавления приводит к незначительному плавлению или его отсутствию; увеличение времени плавления в определенном диапазоне способствует более полному процессу плавления;

5. увеличение времени плавления благоприятно сказывается на твердости композитного материала. Измерения твердости образцов, полученных при различном времени плавления, показывают, что более длительное время плавления благоприятно сказывается на твердости материала при плавлении от образца высокой твердости к образцу низкой твердости. При нагрузке 4,8 Н твердость образцов, полученных при плавлении в течение 5 часов, составила 3,643 ГПа, в течение 3 часов - 3,127 ГПа и в течение 1 часа - 2,749 ГПа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Han H., Shang X., Xia w., Chen Y.. Review of foreign hypersonic technology development in 2021 // *International Space*. – 2021. – №. 4. – P. 38-42 (In China)
2. W. G. Fahrenholtz, G. E. Hilmas. Refractory diborides of zirconium and hafnium // *The American ceramic society*. – 2007. – Vol. 90 (5). – P. 1347-1364
3. C. Wang, J. M. Yang, W. P. Hoffman. Thermal stability of refractory Carbide/Boride composites // *Materials chemistry and physics*. – 2007. – Vol. 74. – P. 272-281
4. M. M. Opeka, I. G. Talmy, J. A. Zaykoski. Oxidation-based materials selection for 2000 °C hypersonic aerosurfaces: Theoretical considerations and historical experience // *Journal of materials science*. – 2004. – Vol. 39. – P. 5887-5904.
5. Sufang Tang, Chenglong Hu. Design,Preparation and Properties of Carbon Fiber Reinforced Ultra-High Temperature Ceramic Composites for Aerospace Applications:A Review // *Journal of Materials Science & Technology*. – 2017. – Vol. 33(02). – P. 117-130
6. Zoli,L,Vinci,A.,Galizia,P.etal. On the thermal shock resistance and mechanical properties of novel unidirectional UHTCMCs for extreme environments // *SciRep*8,9148(2018)
7. Sayir A. Carbon fiber reinforced hafnium carbide composite // *Journal of Materials Science*. – 2004. – Vol. 39(19). – 5995-6003.
8. F. G. Johnson, B. Ankit, K. Vimal. Effect of additives on the thermal conductivity of zirconium diboride based composites - A review // *Journal of the European ceramic society*. – 2021. – Vol. 41 – P. 1-23
9. Filippi, A.M. Stability of reactive and refractory metal borides in ternary chromium-base alloys // *Journal of the Less-Common Metals*. – 1970. – Vol. 30(1). – P. 153-158

10. J. F. Guria, A. Bansal, V. Kumar. Effect of additives on the thermal conductivity of zirconium diboride based composites - A review // Journal of the European ceramic society. – 2021. – Vol. 41. – P. 1-23
11. T. M. Branscom. Improved thermal diffusivity method applied to TiB₂, ZrB₂ and HfB₂ from 2000-1300 °C // Journal of applied physics. – 1971. – Vol. 42. – P. 2309
12. L. Zhang. Thermal and electrical transport properties of spark plasma-sintered HfB₂ and ZrB₂ ceramics // Journal of the American ceramic society. – 2011. – Vol. 94. – P. 2562-2570
13. G. V. Samsonov. The resistivity of refractory compounds at high temperatures // Soviet powder metallurgy and metal ceramics. – 1962. – Vol. 4. – P. 59-62
14. N. L. Okamoto. Temperature dependence of thermal expansion and elastic constants of single crystals of ZrB₂ and the suitability of ZrB₂ as a substrate for GaN film // Journal of applied physics. – 2003. – Vol. 93(1). – P. 88-93
15. G. Manny, J. Chessa, C. V. Ramana. An ab initio study of the elastic behavior of single crystal group (IV) diborides at elevated temperatures // Applied physics letters. – 2010. – Vol. 97. – 211908
16. Z. Li. A study of internal energy relaxation in shocks using molecular dynamics based models // The journal of chemical physics. – 2015. – Vol. 143(14). – 144501
17. W. C. Tripp, H. C. Graham. Thermogravimetric study of the oxidation of ZrB₂ in the temperature range of 800 to 1500 °C // Journal of the electrochemical society. – 1971. – Vol. 118(7)
18. W. G. Fahrenholtz, G. E. Hilmas. Oxidation of ultra-high temperature transition metal diboride ceramics // International materials reviews. – 2012. – Vol. 57(1). – P. 61-72

19. Stuart, H.; Ridley, N.. Thermal expansions of some carbides and tessellated stresses in steel // Journal of the Iron and Steel Institute, London. – 1970. – Vol. 208
20. Y. S. Touloukian, C. Y. Ho. Thermal expansion of metallic elements and alloys // New York: IFI/Plenum. – 1970
21. Zhu B., Zhu J., Zhai J., Gou Q., Chen F.. First-principles calculations of thermodynamic properties of zirconium carbide under high pressure // Journal of Chinese Science. – 2009. – Vol. 39(6) (In China)
22. M. S. Koval'chenko, V. V. Dzhemelinskii, V. A. Borisenko. Temperature dependence of hardness of titanium, zirconium, and hafnium carbides // Strength of materials. – 1969. – Vol. 5. – P. 63-66
23. Huang C., Yu L., Liu Y., Chen Sh., Yang L.. Status of domestic and international applications of carbon fiber composites for automotive lightweighting // Auto time. – 2022. – Vol. 375(03). – P. 21-22 (In China)
24. Tan Y., Han X., Qi X.. Research progress in the application of carbon fiber materials // Shandong Journal of Chemical Industry. – 2021. – Vol.50(13). – P. 46-47 (In China)
25. Li J., Zhang X., Zhang Y., Wang H., Zhao L.. The development status and application of carbon fiber // Journal of Chengdu Textile College. – 2016. – Vol. 33(02). – P. 158-164 (In China)
26. Cheng H., Xue N., Hou W., Li R., Tang F.. Application and development of C/C composites in braking system // Carbon. – 2020. – Vol. 184(03). – P. 30-33+29 (In China)
27. Zhao H.. Process and properties of MAX phase modified C/C composites prepared by reaction melt infiltration // Chang'an University. – 2022 (In China)
28. Zou J., Zhang G., Fu Zh.. Pressure-free sintering densification and microstructure modulation of ultra-high temperature ceramics // Journal of Rare Metals. – 2019. – Vol. 43(11) (In China)

29. E. W. Neuman, G. E. Hilmas, W. G. Fahrenholtz. Ultra-High temperature mechanical properties of a zirconium diboride–zirconium carbide ceramic // *Journal of the American ceramic society*. – 2016. – Vol. 99. – P. 597-603
30. A. L. Chamberlain, W. G. Fahrenholtz, G. E. Hilmas. Pressureless sintering of zirconium diboride // *Journal of the American ceramic society*. – 2006. – Vol. 89(2). – P. 450-456
31. Zhang S C, Hilmas G E, Fahrenholtz W G. Pressureless densification of zirconium diboride with boron carbide additions // *J. Am. Ceram. Soc.* – 2006. – Vol. 89(5)
32. F. Monteverde, A. Bellosi, L. Scatteia, et. al. Processing and properties of ultrahigh temperature ceramics for space applications // *Materials science and engineering: A*. – 2008. – Vol. 485(1-2). – P. 415-421
33. A. Rezaie, W. G. Fahrenholtz, G. E. Hilmas. Effect of hot pressing time and temperature on the microstructure and mechanical properties of ZrB₂-SiC // *Journal of materials science*. – 2007. – Vol. 42(8)
34. A. Rezaie, W. G. Fahrenholtz, G. E. Hilmas. Effect of hot pressing time and temperature on the microstructure and mechanical properties of ZrB₂-SiC // *Journal of materials science*. – 2016. – Vol. 670. – P. 196-204
35. Z. Guojun, N. Dewei, K. Yanmei, et.al. Hot pressed HfB₂ and HfB₂–20 vol% SiC ceramics based on HfB₂ powder synthesized by borothermal reduction of HfO₂ // *Ceramics international*. – 2018. – Vol. 44
36. Technology - Ceramics; Studies Conducted at University of Tabriz on Ceramics Recently Reported (Advantages and Disadvantages of Graphite Addition On the Characteristics of Hot-pressed Zrb₂-sic Composites) // *Technology News Focus*. – 2020
37. Yang J.. Preparation and performance study of transition metal boride based ultra-high temperature ceramic materials // *Jilin University*. – 2022. – 004578 (In China)

38. E.O.Einset, Analysis of reactive melt infiltration in the processing of ceramics and ceramic composites // Chem. Eng.Sci. – 1998. – Vol. 53(5)
39. Zhang P. Microstructure and Ablation Resistance of C/C-HfC Composites Prepared by Alloy Reactive Melt Infiltration // Journal of Chinese Ceramics. – 2015. – Vol. 51(01) (In China)
40. ZOU L H,WALI N.Microstructural development of a C-C/ZrC composite manufactured by reactive melt infiltration // Journal of the European Ceramic Society. – 2010. – Vol. 30(6)
41. Wang H., He D.. Two-stage 6-8 type large cavity static high pressure device based on domestic six-sided top press // Journal of Superabrasives Engineering. – 2015. – Vol. 27(02). – P. 6-10 (In China)
42. Gong J., Zhao Zh.,Wu J., Guan Zh.. Indentation size effect of Vickers hardness of ceramic materials // Journal of Silicates. – 1999 – №. 6. – P. 693-700 (In China)
43. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 28.12.2013).
44. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Минздрав России. – Москва. – 1996.
45. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Минздрав России. – Москва. – 1997.
46. ГОСТ12.1.002-84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. Издательство стандартов. – Москва. – 1984.
47. ГОСТ 12.1.006-84. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. Издательство стандартов. – Москва. – 1984.
48. ПУЭ-7 Правила устройства электроустановок 2009 г.

49. ГОСТ 12.1.045-84. Система стандартов безопасности труда. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. Издательство стандартов. – Москва.-1984. 106.

50. Федеральный закон Российской Федерации от 21.12.1994 N 69-ФЗ (ред. от 12.03.2014) "О пожарной безопасности".

51. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

52. ПБ 03-576-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением».

53. ГОСТ 12.2.085-2002 «Сосуды, работающие под давлением. Клапаны предохранительные. Требования безопасности».