

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Высокотемпературные многокомпонентные керамические материалы на основе карбидов: получение, структура, окислительное поведение

УДК 666.3-135:666.792.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б81	Кулагин Николай Дмитриевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Дедова Елена Сергеевна	канд. техн. наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально- гуманитарных наук	Кащук Ирина Вадимовна	канд. техн. наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Черемискина Мария Сергеевна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Ваулина О.Ю.	канд. техн. наук		

Томск – 2022 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов (бакалавриат)

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 реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке (-ах)
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 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)-2	Способен использовать в профессиональной деятельности знания о подходах и методах получения результатов в теоретических и экспериментальных исследованиях
ОПК(У)-3	Готов применять фундаментальные математические, естественнонаучные и общинженерные знания в профессиональной деятельности
ОПК(У)-4	Способен сочетать теорию и практику для решения инженерных задач
ОПК(У)-5	Способен применять в практической деятельности принципы рационального использования природных ресурсов и защиты

	окружающей среды
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской и расчетно-аналитической деятельности в области материаловедения и технологии материалов
ПК(У)-2	Способен осуществлять сбор данных, изучать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию по тематике исследования, разработке и использованию технической документации, основным нормативным документам по вопросам интеллектуальной собственности, подготовке документов к патентованию, оформлению ноу-хау
ПК(У)-3	Готов использовать методы моделирования при прогнозировании и оптимизации технологических процессов и свойств материалов, стандартизации и сертификации материалов и процессов
ПК(У)-4	Способен использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов), физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации
ПК(У)-5	Готов выполнять комплексные исследования и испытания при изучении материалов и изделий, включая стандартные и сертификационные, процессов их производства, обработки и модификации
ПК(У)-6	Способен использовать на практике современные представления о влиянии микро - и нано- структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями
ПК(У)-7	Способен выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов
ПК(У)-8	Готов исполнять основные требования делопроизводства применительно к записям и протоколам; оформлять проектную и рабочую техническую документацию в соответствии с нормативными документами
ПК(У)-9	Готов участвовать в разработке технологических процессов производства и обработки покрытий, материалов и изделий из них, систем управления технологическими процессами
ДПК(У)-1	Способен применять знания об основных типах современных неорганических и органических материалов, принципах выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности, экологических последствий их применения при проектировании высокотехнологичных процессов

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки (специальность) Материаловедение и технологии материалов
Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) О.Ю.Ваулина

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б81	Кулагину Николаю Дмитриевичу

Тема работы:

Высокотемпературные многокомпонентные керамические материалы на основе карбидов: получение, структура, окислительное поведение	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ № _____ от _____

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования данной работы – многокомпонентный керамический материал системы $(\text{Ti}, \text{Zr}, \text{Hf})\text{C}$. В качестве исходных компонентов использовались коммерческие порошки TiC, ZrC, HfC (производство Россия). Порошки карбидов гафния были представлены агломератами со средним размером ~ 15 мкм, сформированные частицами $\langle d \rangle \text{HfC} = (0.3 \pm 0.01)$ мкм. Средний размер частиц порошка карбида гафния составил $(0,4 \pm 0,01)$ мкм, карбида титана – (8.4 ± 0.1) мкм и карбида циркония – (2 ± 0.6) мкм.
--------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Обзор литературы Постановка задачи исследования Материалы и методики исследования Результаты исследования Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Социальная ответственность Заключение по работе
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Кашук Ирина Вадимовна, доцент отделения социально-гуманитарных наук
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна, старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин
Обзор литературы	Дедова Елена Сергеевна, доцент отделения материаловедения
Материалы и методика исследования	Дедова Елена Сергеевна, доцент отделения материаловедения
Результаты исследования	Дедова Елена Сергеевна, доцент отделения материаловедения

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

1. Обзор литературы (русский язык)
2. Материалы и методики (русский язык)
3. Результаты исследования (русский язык)
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение (русский язык)
5. Социальная ответственность (русский язык)

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

Задание выдал руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Дедова Елена Сергеевна	канд. техн. наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б81	Кулагин Николай Дмитриевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО		
4Б81	Кулагину Николаю Дмитриевичу		
Школа	ИШНПТ	Отделение Школа	Материаловедение
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. <i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. <i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)</i>	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИП
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 ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	канд.техн.наук доцент		28.02.22

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б81	Кулагин Николай Дмитриевич		28.02.22

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
4Б81		Кулагину Николаю Дмитриевичу	
Школа	Инновационная школа новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	Отделение материаловедения
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Тема ВКР:

Высокотемпературные многокомпонентные керамические материалы на основе карбидов: получение, структура, окислительное поведение
--

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Введение – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации	<i>Объектом исследования</i> являются многокомпонентные керамические материалы на основе карбидов. <i>Область применения:</i> увеличение надёжности и живучести керамических конструкций, эксплуатируемых в условиях высоких температур и термомеханических нагрузок. <i>Рабочая зона:</i> лаборатория, производственное помещение. <i>Размеры помещения:</i> лаборатория – 60 м²; производственное помещение – 40 м². <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> весы аналитические, весы лабораторные, планетарная мельница-активатор, установка горячего прессования, электронный штангенциркуль. <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> расчёт массы каждого компонента системы; взвешивание компонентов системы на аналитических весах согласно расчётным данным; перемешивание компонентов (получение порошковой смеси); активация порошковой смеси в планетарной мельнице; подготовка пресс-форм с активированной порошковой смесью; спекание порошковой смеси на установке горячего прессования – получение керамического образца; полирование керамического образца с использованием алмазных паст.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ. – ГОСТ 12.0.004-90. Организация обучения безопасности труда. – ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. – ГОСТ 22614-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования. – ГОСТ EN 894-1-2012. Безопасность машин. Эргономические требования к оформлению индикаторов и органов управления. Часть 1. Общие руководящие принципы при взаимодействии оператора с индикаторами и органами управления.
---	---

2. Производственная безопасность при разработке проектного решения: – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов	Вредные и опасные факторы: – Повышенная или пониженная температура на рабочем месте. – Запылённость. – Влажность. – Отсутствие или недостатки естественного света. – Не достаточная освещённость рабочей зоны. – Пожар. – Электробезопасность Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: 1) Инструктаж по технике безопасности; 2) Респиратор; 3) Перчатки; 4) Защитные очки; 5) Рабочий халат; 6) Переносные обогреватели.
3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения.	<i>Воздействие на гидросферу:</i> загрязнение воды смесями карбидных порошков при очистке оборудования. <i>Воздействие на атмосферу:</i> загрязнение воздуха летучими смесями карбидных порошков. <i>Воздействие на литосферу:</i> загрязнение почвы хим. веществами.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения.	Возможные ЧС: пожары, морозы, теракты. Одна из наиболее вероятных чрезвычайных ситуаций – пожар. Данное происшествие может негативно повлиять на весь комплекс проводимых работ.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина Мария Сергеевна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б81	Кулагин Николай Дмитриевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 92 с., 32 рис., 24 табл., 61 источников.

Ключевые слова: многокомпонентные керамические материалы, получение, микроструктура, механические свойства, окислительное поведение, карбиды переходных металлов.

Объектом исследования является многокомпонентная керамика (Ti, Zr, Hf)C.

Цель работы – изучение структурно-фазового состояния и окислительного поведения многокомпонентного керамического материала (Ti, Zr, Hf)C.

В процессе работы проводились рентгенофазовый анализ, *in situ* высокотемпературный рентгеновский анализ, ТГ-ДТА анализ, EDS анализ, морфологические исследования керамического материала и оксидного слоя, сформированного при повышении температуры до 1200 °C.

В результате выполнения работы был получен комплекс экспериментальных данных о структурно-фазовом состоянии и свойствах многокомпонентной керамики (Ti, Zr, Hf)C. Изучено окислительное поведение (Ti, Zr, Hf)C в температурном диапазоне от 25 до 1200 °C со скоростью нагрева 10°C/мин в кислородсодержащей среде.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	12
1 Высокотемпературные керамики переходных металлов.....	14
1.1 Высокотемпературные керамики на основе боридов	14
1.2 Высокотемпературные керамики на основе карбидов.....	21
1.3 Окислительное поведение высокотемпературных керамик, стабилизированных энтропией.....	25
1.4 Методы получения энтропийно-стабилизированных карбидных керамик.....	29
1.5 Тенденции и перспективы развития высокотемпературных керамик.....	34
2 Материалы и методики.....	35
3 Исследование микроструктуры и окислительного поведения высокотемпературного многокомпонентного керамического материала (Ti, Zr, Hf)C	36
3.1 Структурно-фазовое состояние и свойства высокотемпературного многокомпонентного керамического материала (Ti, Zr, Hf)C	36
3.2 Исследование окислительного поведения высокотемпературного многокомпонентного керамического материала (Ti, Zr, Hf)C	40
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	48
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	49
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений	49
4.1.2 SWOT-анализ.....	51
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	56
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	56
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	57
4.2.3 Разработка графика проведения исследования.....	58

4.3 Бюджет научно-исследовательского проекта	62
4.3.1 Расчет материальных затрат научно-исследовательского проекта	62
4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	63
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	65
4.3.4 Дополнительная заработная плата	66
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	67
4.3.6 Накладные расходы	67
4.4 Определение финансовой, бюджетной и экономической эффективности исследования	69
Выводы по разделу	73
5 Социальная ответственность	74
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	75
5.2 Производственная безопасность	76
5.2.1 Анализ опасных и вредных факторов	77
5.3 Экологическая безопасность	81
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	83
Выводы по разделу	84
Заключение	85
Список использованных источников	86

1 Высокотемпературные керамики переходных металлов

1.1 Высокотемпературные керамики на основе боридов

Наиболее известные в наше время керамики на основе Zr, Hf, Si и Ta. Их применяют совместно друг с другом, так как использование однокомпонентной керамики не может удовлетворить всем эксплуатационным условиям, которые ставятся перед изделием из неё. Двух или трёхкомпонентные керамики являются более стабильными при воздействии сверхвысоких температур, более плотными, так как некоторые компоненты ограничивают рост зёрен при спекании, и более устойчивыми к окислению. Примеры многокомпонентных керамик, которые исследовались в рамках американского проекта ATTLAS: $\text{ZrB}_2 - \text{SiC} - \text{TaSi}_2$, $\text{HfB}_2 - \text{SiC} - \text{TaSi}_2$, $\text{ZrB}_2 - \text{SiC}$. Данный проект предполагал исследование многофазных керамик, которые будут использоваться при разработке гиперзвукового пассажирского самолёта, развивающего скорость до 6 махов [2]. В проекте ATTLAS, как можно заметить, использовались в качестве основы боридные керамики ZrB_2 и HfB_2 , которые уже являются хорошо известными науке, но до сих пор остаются актуальными ввиду своих отличных термомеханических свойств: высокой теплопроводностью, что уменьшает растрескивание и расслоение при резком перепаде температур, высокой температурой плавления, стойкостью к окислению и высокой обрабатываемостью. На рисунке 2 представлены основные методы получения керамик на основе боридов [1].

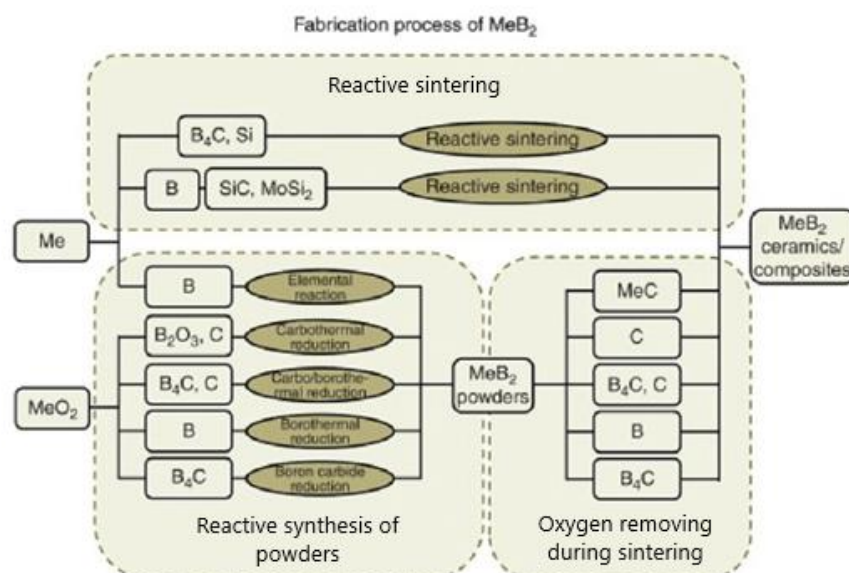


Рисунок 2 – Схема получения боридных керамик различными методами [1]

Самыми распространёнными методами спекания керамик на основе боридов являются: искровое плазменное спекание, горячее прессование и традиционное спекание. На рисунке 3 можно увидеть технологическую схему получения боридной керамики [1], который состоит из двух стадий: изготовление и применение.

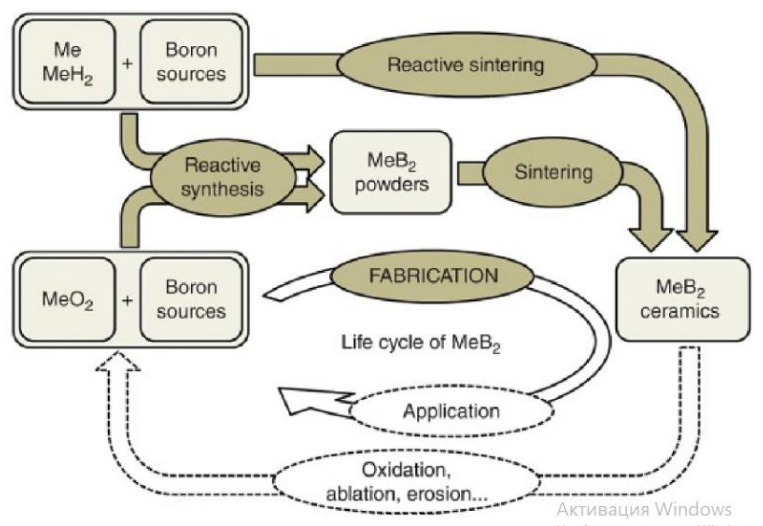


Рисунок 3 – Технологическая схема получения боридных керамик [1]

ATTLAS 2 – логическое продолжение проекта ATTLAS, в котором также изучаются и используются боридные керамики с добавлением карбидов

и силикатов. Также они используются при создании гиперзвуковых двигателей в качестве различных компонентов (тонкие неохлаждаемые форсунки для водорода) или покрытий, чтобы изолировать от высоких температур более легкоплавкие материалы.

В работе [5] изучались различные композитные керамики на основе диборида циркония и карбида кремния, полученные методом горячего прессования: давление прессования составляло около 20 МПа; максимальная температура спекания 1800–1900 °С; выдержка при максимальной температуре – 30 минут. Исходные порошки перед спеканием просеивали через латунное сито, где отбирались рабочие фракции: менее 40 мкм для ZrB_2 и менее 50 мкм для дисилицидов. После просеивания производилось мокрое смешивание порошков в планетарной мельнице в течение 24 часов при 150 об/мин (помолом при выбранных условиях удалось уменьшить размер частиц порошковой смеси $ZrB_2 - SiC$ от 9 мкм до 4 мкм). Далее смесь сушили и протирали через сито с ячейкой в 200 мкм и спекали на установке горячего прессования оригинальной конструкции. На рисунке 4 приведены основные свойства спечённой керамики.

Номер образца	Состав, об. %	ρ_f , г/см ³	ρ_f/ρ_t , %	P , %	w , %	$\sigma_{изг}$, МПа	H_v , ГПа	K_{IC} , МПа·м ^{1/2}	$\alpha_{20-1100}$, 10 ⁻⁶ К ⁻¹	λ , Вт/(м·К)
1	ZrB ₂ -31SiC _w -8Si ₃ N ₄	4,92	99,0	3,1	0,63	525	10,6	3,5	6,4	83,2
2	ZrB ₂ -9Si ₃ N ₄	5,40	92,3	0,3	0,06	—	10,3	3,9	—	—
3	ZrB ₂ -30SiC	5,13	98,0	0,32	0,06	635	14,6	5,4	6,2	90,2
4	ZrB ₂ -29SiC-6TiSi ₂	5,09	98,8	0,28	0,03	400	13,0	5,8	—	—
5a	ZrB ₂ -29SiC-5MoSi ₂	5,14	97,0	0,08	0,02	420	15,3	5,9	—	—
5b	ZrB ₂ -29SiC-5MoSi ₂	5,08	96,0	0,32	0,06	535	14,5	4,8	6,3	53,8
6a	ZrB ₂ -30SiC-5ZrSi ₂	4,49	86,5	11,93	2,65	320	7,3	5,1	—	—
6b	ZrB ₂ -30SiC-5ZrSi ₂	5,03	97,0	0,29	0,05	590	14,3	5,5	—	—

Рисунок 4 – Основные свойства спечённой керамики [5]

По результатам многочисленных испытаний образцов и их сравнений с данными зарубежных авторов были получены диаграммы: наиболее важные из них представлены на рисунках 5 и 6.

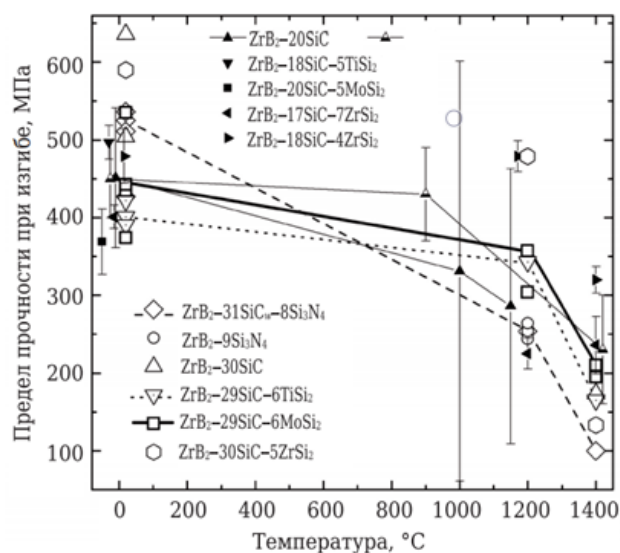


Рисунок 5 – Предел прочности при статическом трёхточечном изгибе (по ГОСТ 24409) образцов керамики на основе $\text{ZrB}_2 - \text{SiC}$: незалитые значки – данные авторов статьи; залитые значки – литературные данные (один значок – одно испытание) [5]

Как можно заметить по рисунку 5, предел прочности всех керамик резко снижается в интервале температур 1200–1400 °C. Это связано с размягчением аморфной фазы по границам зёрен при увеличении температуры.

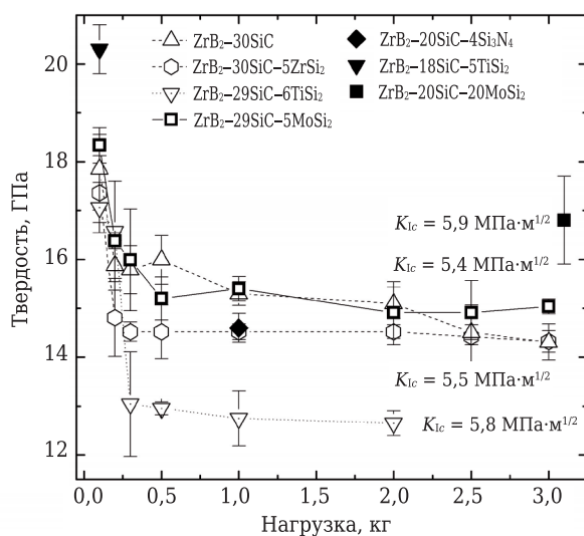


Рисунок 6 – Микротвёрдость по Виккерсу и K_{Ic} образцов керамики на основе $\text{ZrB}_2 - \text{SiC}$ с различными добавками (№3, 6а, 4, 5а) в сравнении с литературными данными [5]

Также в работе [5] проводится сравнение механических свойств между ранее полученными керамиками методом SPS и керамиками, полученными методом ГП в ходе данной работы: счёт увеличения относительной плотности (92–93% для SPS и > 97% для ГП) увеличились показатели микротвёрдости и K_{1c} . Также улучшению свойств, при номинально одинаковом составе, способствовал переход на более тонкий порошок SiC. Также положительно на свойствах керамики сказалось добавление силицидов: $MoSi_2$ и $ZrSi_2$, которые улучшают стойкость к окислению. Дальнейшее увеличение относительной плотности до показателей > 99,5% возможно за счёт уменьшения зёрен образующихся фаз, например, методом реактивного спекания за счёт добавки SiC, который ограничивает рост зёрен [7, 8].

Стабилизированные энтропией высокотемпературные боридные керамики, обладающие одной фазой – твёрдым раствором замещения, составляют конкуренцию уже известным различным однокомпонентным или многокомпонентным боридным керамикам благодаря своим отличным термомеханическим свойствам. В работах [14, 15] производилось получение, изучение и сравнение полученных механических свойств энтропийно-стабилизированной керамики со значениями, полученными другими авторами, и со значениями однофазных керамик. Результаты работы [14] представлены на рисунке 7.

Composition	Sintering temperature (°C)	Relative density (%)	Average grain size (µm)	E (GPa)	K_{1c} (MPa m ^{1/2})	Hardness (GPa)
(Ti _{0.2} Zr _{0.2} Nb _{0.2} Hf _{0.2} Ta _{0.2})B ₂	2000	94.4	6.67 ± 1.20	500	2.83 ± 0.15	25.61 ± 0.83 (HV0.2) 22.44 ± 0.56 (HV1)
(Ti _{0.2} Zr _{0.2} Nb _{0.2} Hf _{0.2} Ta _{0.2})B ₂	2050	97.9	41.2 ± 8.1	527	/	26.82 ± 1.77 (HV0.2)
(Ti _{0.2} Zr _{0.2} Nb _{0.2} Hf _{0.2} Ta _{0.2})B ₂	2000	92.4	/	/	/	17.5 ± 1.2 (HV~1)
(Ti _{0.2} Zr _{0.2} Nb _{0.2} Hf _{0.2} Ta _{0.2})B ₂	2000	96.3	1.59	/	4.06 ± 0.35	21.7 ± 1.1 (HV0.2)
TiB ₂	1800	96.1	/	497 ± 15	4.64 ± 0.45	28.6-32.4 (HV1)
ZrB ₂	2000	99.8	~6	489	3.5 ± 0.3	23 ± 0.9 (HV1)
NbB ₂	1900	97.7	/	539	4.0 ± 0.6	20.3 ± 0.6 (HV0.5) ^a
HfB ₂	1850	98.8	8	/	3.5 ± 0.5	18.1 ± 0.9 (HV1)
TaB ₂	1850	96	5.3	/	5.61 ± 0.17	25.1 ± 0.5 (HV1)

Рисунок 7 – Свойства энтропийно-стабилизированных боридных керамик [14]

Как можно заметить из рисунка 7, механические свойства энтропийно-стабилизированной керамики превосходят механические свойства отдельно взятых диборидов. Данное различие в механических свойствах объясняется уменьшением размера зёрен и структурой кристаллической решётки у энтропийно-стабилизированной керамики.

Одним важнейших факторов, влияющих на механические свойства керамики при продолжительном нагреве в воздушной среде, – окисление. Получение композитных керамик $ZrB_2 - 20\% SiC$ и $HfB_2 - 20\% SiC$, порошки которых предварительно измельчались в планетарной мельнице в течение двух часов при частоте 250 об/мин, производилось методом горячего прессования при давлении 30 МПа, нагреве до 2000 °С и выдержке при данной температуре 30 минут в атмосфере аргона [6, 9]. Образцы данных керамик исследовались в условиях изотермического, постепенного и циклического нагрева. В таблице 1 приведены толщины сформировавшихся слоёв в процессе окисления, а также процентная доля неокисленного материала, при нагреве до 1200 °С или 1300 °С и выдержке 24 ч. или 100 ч.

Таблица 1 – Толщина неокисленного слоя и толщины слоёв продуктов окисления при нагреве до 1200 °С или 1300 °С и выдержке 24 ч. или 100 ч [6]

Композит	Условия воздействия: температура – время	Толщина		
		Неокисленный материал (% от исходной толщины)	Слой $SiO_2 + B_2O_3$ (мкм)	Слой $HfO_2/ZrO_2 + SiC$ (мкм)
ZS	1200 °С – 24 часа	95.5	34 ± 4	56 ± 1
ZS	1200 °С – 100 часов	69.25	233 ± 11	259 ± 9
ZS	1300 °С – 24 часа	91.25	36 ± 2	139 ± 1
ZS	1300 °С – 100 часов	62.73	375 ± 40	389 ± 30
HS	1200 °С – 24 часа	97.95	15 ± 5	26 ± 1
HS	1200 °С – 100 часов	96.93	26.9 ± 5	33.5 ± 7
HS	1300 °С – 24 часа	96.97	25 ± 4	34 ± 1
HS	1300 °С – 100 часов	96.63	29.4 ± 3	35 ± 1.5

Как можно заметить, композиты из $\text{HfB}_2 - 20\% \text{ SiC}$ являются более устойчивыми к окислению в интервале температур $1200^\circ\text{C} - 1300^\circ\text{C}$: толщина оксидного слоя в разы меньше, чем у композитов из $\text{ZrB}_2 - 20\% \text{ SiC}$. Также на рисунке 8 представлен график зависимости изменения массы ZS и HS композитов от времени при изотермическом и циклическом нагревах.

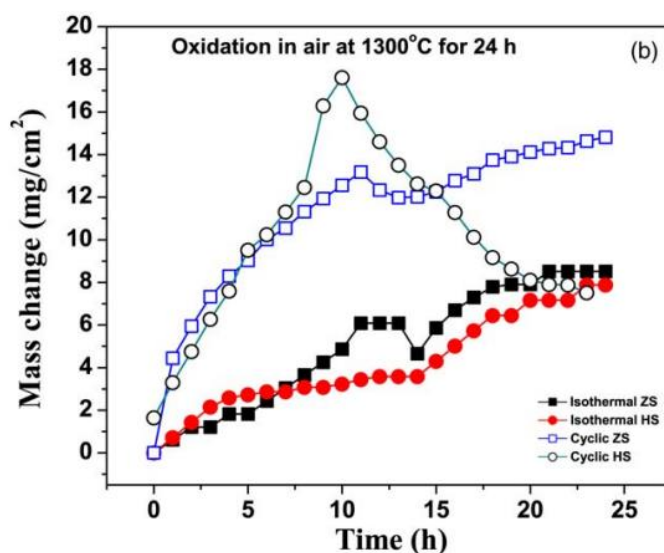


Рисунок 8 – График изменения массы композита от времени термического воздействия в воздушной среде при температуре 1300°C : изотермический и циклический нагрев [6]

1.2 Высокотемпературные керамики на основе карбидов

Соединения переходных металлов с углеродом являются самыми тугоплавкими ныне известными веществами. Как можно заметить на рисунке 1, температура плавления некоторых соединений находится выше 3500°C . Данный вид керамики обладает повышенной стойкостью к окислению, низкой плотностью, низким коэффициентом термического расширения, высокой прочностью и надёжностью и находит широкое применение в аэрокосмической промышленности: изготовление обтекателей на носовую часть корабля и крылья. Также применяются в качестве покрытий в двигателях ракет, где температура может достигать значений в 3000°C .

Наиболее развитыми карбидами, безусловно, являются SiC и ZrC, но в последнее время применяется и HfC, который обладает наивысшей температурой плавления. SiC обладает отличной стойкостью к окислению, так как при взаимодействии с кислородом образует на поверхности изделия стекло из SiO_2 , которое препятствует дальнейшему окислению вглубь материала: перекрывает пути поступления кислорода. Также стоит отметить, что стабильность стекловидной фазы SiO_2 сохраняется при температуре 1600°C и выше, что позволяет изолировать другие фазы керамики от кислорода, которые вступают в реакцию с ним при более низких температурах.

Карбидные керамики находят своё применение в качестве покрытий, которые наносят различными методами. Наиболее распространённые из них [3,11]:

- 1) диффузионное покрытие;
- 2) химическое парофазное осаждение;
- 3) плазменный спрей;
- 4) золь-гель.

В работе [10] рассматривается композит на основе SiC/SiC полученный методом полимерной пропитки и пиролиза, где связывающей частью для матрицы или волокон SiC служит слой из поликарбосилана. Механические

свойства матричной и волокнистой структуры композитов SiC/SiC представлены на рисунке 9.

Heat treatment temperature (°C)	Modulus (GPa)	Hardness (GPa)	Modulus (GPa)	Hardness (GPa)
	Fibre		Matrix	
As-fabricated	106.40	12.03	104.38	11.37
1400	115.06	14.12	187.65	20.03
1600	83.71	5.50	108.71	6.15
1800	45.21	1.31	104.56	7.58

Рисунок 9 – Модуль и твёрдость волокнистой и матричной структур композитов SiC/SiC

В последнее время высокими темпами идёт изучение свойств энтропийно-стабилизированных карбидных керамик, которые способны конкурировать с такими широко известными высокотемпературными керамиками, у которых за основу взяты SiC, ZrC или HfC. Так, например, перспективным для энтропийно-стабилизированных карбидных керамик является направление теплоизоляционных материалов, так как их термомеханические свойства не уступают другим теплоизоляционным материалам. В работе [16] были получены и исследованы энтропийно-стабилизированные керамики на основе карбидов HfC, TaC, TiC, NbC и ZrC в эквимольных соотношениях, разница между которыми была в относительном содержании пор. Результаты исследований приведены на рисунках 10 и 11.

Temp (°C)	Dense (Zr _{0.2} Hf _{0.2} Ti _{0.2} Nb _{0.2} Ta _{0.2})C		
	α (mm ² ·s ⁻¹)	C _p (J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹)	κ (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)
25	–	–	–
29.5	3.6	24.89	6.45
50.7	3.68	20.98	5.56
70.8	3.73	20.19	5.42
100	–	–	–
200	–	–	–

Рисунок 10 – Коэффициент теплопроводности и удельная теплоёмкость плотноспечённой энтропийно-стабилизированной керамики

Temp (°C)	Porous (Zr _{0.2} Hf _{0.2} Ti _{0.2} Nb _{0.2} Ta _{0.2})C		
	α (mm ² ·s ⁻¹)	C_p (J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹)	κ (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)
25	0.74	38.56	0.39
29.5	0.74	38.88	0.40
50.7	0.76	40.28	0.42
70.8	0.76	41.42	0.43
100	0.75	42.60	0.44
200	0.80	44.73	0.49

Рисунок 11 – Коэффициент теплопроводности и удельная теплоёмкость высокопористой (80.99%) энтропийно-стабилизированной керамики

Сравнивая коэффициенты теплопроводности и удельную теплоёмкость высокопористой и обычной плотнospечённой энтропийно-стабилизированных керамик нетрудно заметить, что высокопористая керамика в разы превосходит плотнospечённую, как теплоизоляционный материал. Также стоит отметить, что полученная в данной работе высокопористая керамика обладает низкой плотностью (0.97 г/см³), высокой прочностью на сжатие (3.45 МПа) и отличной стабильностью при температуре 1850 °C, что делает её отличным материалом для применения в качестве теплоизолятора.

Применение энтропийно-стабилизированной карбидной керамики (Hf_{0.2}Zr_{0.2}Ta_{0.2}Nb_{0.2}Ti_{0.2})C в условиях высоких температур (1400-1500 °C) в воздушной атмосфере описано в работе [21]. Высокоэнтропийная керамика обладает уникальным оксидным слоем, который можно разделить на три основных части: внешний, промежуточный (средний) и внутренний, рисунок 14. Фазовый состав оксидного слоя представлен на рисунке 15.

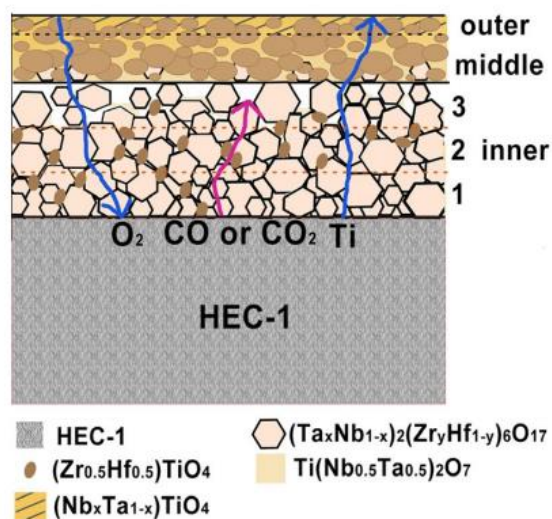


Рисунок 14 – Примерная схема оксидного слоя энтропийно-стабилизированной карбидной керамики $(\text{Hf}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Ta}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Ti}_{0.2})\text{C}$ при температуре 1400 °C

Layers	Major phases	Minor phases
Outer	$(\text{Zr}_{0.5}\text{Hf}_{0.5})\text{TiO}_4$, $(\text{Nb}_x\text{Ta}_{1-x})\text{TiO}_4$	$\text{Ti}(\text{Nb}_{0.5}\text{Ta}_{0.5})_2\text{O}_7$
Middle	$(\text{Zr}_{0.5}\text{Hf}_{0.5})\text{TiO}_4$, $\text{Ti}(\text{Nb}_{0.5}\text{Ta}_{0.5})_2\text{O}_7$	$(\text{Ta}_x\text{Nb}_{1-x})_2(\text{Zr}_y\text{Hf}_{1-y})_6\text{O}_{17}$
Inner	$(\text{Ta}_x\text{Nb}_{1-x})_2(\text{Zr}_y\text{Hf}_{1-y})_6\text{O}_{17}$, $\text{Ti}(\text{Nb}_{0.5}\text{Ta}_{0.5})_2\text{O}_7$	$(\text{Zr}_{0.5}\text{Hf}_{0.5})\text{TiO}_4$

Рисунок 15 – Фазы, присутствующие в каждой части оксидного слоя энтропийно-стабилизированной карбидной керамики $(\text{Hf}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Ta}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Ti}_{0.2})\text{C}$ при температуре 1400 °C

1.3 Окислительное поведение высокотемпературных керамик, стабилизированных энтропией

Перспективным направлением в области изучения керамических материалов является исследование их поведения при нагреве до высоких температур порядка 1200-1600 °С в окислительной атмосфере [21, 23-27, 30]. В ходе данных испытаний фиксируется окислительная стойкость керамических материалов, которая зависит не только от состава и вида керамики, но и от толщины, плотности, состава и структуры образованного оксидного слоя. Так, например, образующийся плотный оксидный слой замедляет диффузию кислорода вглубь керамического материала, что увеличивает его окислительную стойкость. Однако, образование более плотных структур на поверхности керамики может привести к формированию трещин по границе раздела оксидного слоя и керамики, что увеличивает вероятность скола оксидного слоя при механическом воздействии и дальнейшему распространению кислорода вглубь керамики. Также на окислительную стойкость влияет и фазовый состав оксидного слоя: формирование определённых оксидов образует на поверхности всего оксидного слоя защитную структуру (стеклофазу), которая значительно замедляет диффузию кислорода вглубь керамического материала.

В рамках литературного обзора были рассмотрены статьи на тему окислительного поведения многокомпонентных карбидных и боридных керамик.

Наиболее распространены исследования, направленные на изучение окислительного поведения многокомпонентной карбидной керамики ($\text{Hf}_{0.2}\text{Ta}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Ti}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{C}$ (HTZTNC) как в чистом виде, так и с различными добавками [23-27]. В данных статьях большое внимание уделяется структуре образованного оксидного слоя, который в общем виде представлен на рисунке 16.

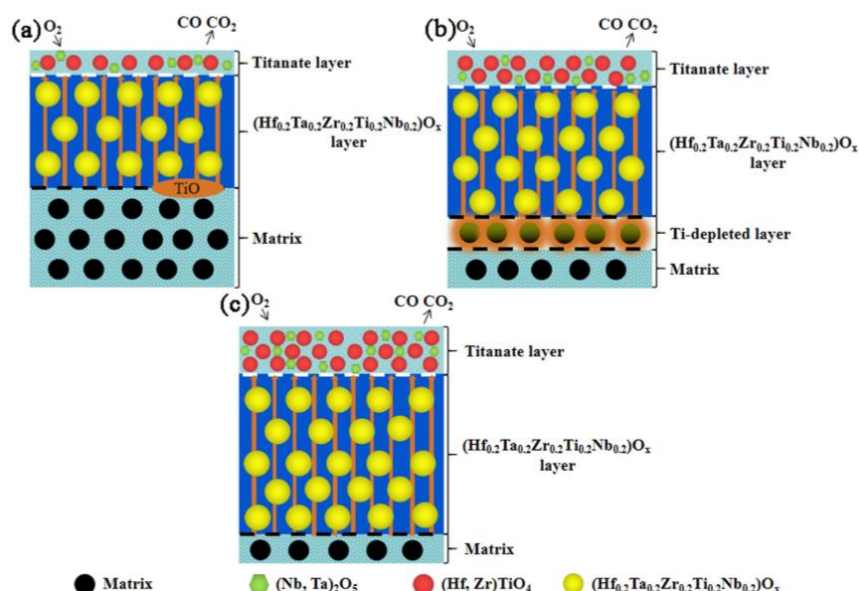


Рисунок 16 – Схематичная структура оксидного слоя HTZTNC керамик

Верхний слой, как видно из рисунка 16, представлен слоем титаната $(\text{Hf,Zr})\text{TiO}_4$, который эффективно препятствует дальнейшей диффузии кислорода вглубь керамики. Однако, по заявлениям авторов статьи [23], при повышении температуры окисления керамики от 800 до 1000 °С и от 1000 до 1200 °С изменяется структура и состав оксидного слоя, который отличается от структуры, представленной на рисунке 16.

На основе анализа фазовых диаграмм и обзора доступных статей в работе [25] собраны все возможные комплексные оксиды, которые могут сформироваться при окислении многокомпонентных карбидных керамик, рисунок 17.

	Hf	Ti	Zr	Nb	Ta
Hf					
Ti	HfTiO ₄ [38]				
Zr		ZrTiO ₄ [23,39,40]			
Nb	Hf ₆ Nb ₂ O ₁₇ [41]	Nb ₂ TiO ₇ [42] Nb ₁₀ Ti ₂ O ₂₉ [42] Nb ₆ Ti ₂ O ₁₉ [42] TiNb ₆ O ₁₇ [43]	Zr ₆ Nb ₂ O ₁₇ [43]		
Ta	Hf ₆ Ta ₂ O ₁₇ [36]	TiTa ₂ O ₇ [21]	ZrTa ₆ O ₁₇ [44] Zr ₆ Ta ₂ O ₁₉ [44]	Nb ₄ Ta ₂ O ₁₅ [45]	
V			ZrV ₂ O ₇ [46]	VNb ₉ O ₂₅ [47]	VTa ₉ O ₂₅ [48,49]
Mo					
W	HfW ₂ O ₈ [50]		ZrW ₂ O ₈ [50]		

Рисунок 17 – Известные комплексные оксиды [25]

Для улучшения стойкости к окислению НТЗТНС керамики в её состав добавляют карбид кремния SiC, который не только замедляет диффузию кислорода за счёт образования силикатов (Hf,Zr)SiO₄, но и способствует измельчению зерна керамики, что значительно повышает её механические свойства. Наиболее эффективной является добавка карбида кремния в количестве 20% от объёма [24]. Помимо SiC в НТЗТНС керамики добавляют графит в виде нанотрубок, мунта или пластинок. Добавление графита в количестве 0,5-1% оказывает положительное влияние на механические и физические свойства карбидной керамики: измельчает зерно, увеличивает ударную вязкость и прочность на изгиб, а также увеличивает чистоту керамики за счёт химических реакций с оксидами при спекании [29].

В работе [30] авторы исследуют окислительное поведение низкоэнтропийной боридной керамики на основе TiB₂ и ZrB₂ в эквимоллярных и неэквимоллярных соотношениях с добавлением GNP (graphene nanoplatelets). Полученные результаты показывают, что добавление одного % GNP в состав керамики не только увеличивает плотность и ударную вязкость спечённых образцов, но и увеличивает их окислительную стойкость: толщина оксидного слоя при одинаковых условиях испытания у образцов с добавлением GNP меньше, чем у образцов без добавки, рисунки 18 и 19.

Sample name	Composition	Relative density (%)	Average grain size (μm)	Vickers hardness (GPa)	Indentation fracture toughness ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)
TiB ₂	Monolithic TiB ₂	95.26	19.7 $\pm$ 5.75	22.71 $\pm$ 0.98	3.93 $\pm$ 0.36
25Zr–75Ti	Zr _{0.25} Ti _{0.75} B ₂	98.90	12.8 $\pm$ 4.21	26.33 $\pm$ 0.95	4.93 $\pm$ 0.19
25Zr–75Ti-G	Zr _{0.25} Ti _{0.75} B ₂ + 1 vol% GNP	99.74	15.2 $\pm$ 5.78	23.52 $\pm$ 0.96	5.04 $\pm$ 0.23
50Zr–50Ti	Zr _{0.5} Ti _{0.5} B ₂	99.02	9.5 $\pm$ 2.82	24.39 $\pm$ 0.42	2.97 $\pm$ 0.32
58Zr–42Ti	Zr _{0.58} Ti _{0.42} B ₂	99.33	15.4 $\pm$ 5.09	23.43 $\pm$ 0.36	2.69 $\pm$ 0.28
58Zr–42Ti-G	Zr _{0.58} Ti _{0.42} B ₂ + 1 vol% GNP	99.32	27.1 $\pm$ 8.51	20.58 $\pm$ 0.73	3.03 $\pm$ 0.42
75Zr–25Ti	Zr _{0.75} Ti _{0.25} B ₂	98.55	17.8 $\pm$ 4.29	18.73 $\pm$ 0.33	2.66 $\pm$ 0.17
ZrB ₂	Monolithic ZrB ₂	98.01	57.2 $\pm$ 9.08	13.16 $\pm$ 0.44	3.08 $\pm$ 0.26

Рисунок 18 – Структура, относительная плотность, средний размер зерна, твёрдость по Виккерсу и ударная вязкость спечённых образцов [30]

Sample	Composition and the thickness of the oxide layer		Total thickness of the oxide layer (μm)		Specific mass change (mg/cm^2)	
	1100 °C	1200 °C	1100 °C	1200 °C	1100 °C	1200 °C
TiB ₂	TiO ₂ + B ₂ O ₃	TiO ₂ + B ₂ O ₃	~60	~95	8.34	12.82
25Zr–75Ti	1) TiO ₂ layer, ~35 μm 2) Ti-depleted ZrO ₂ layer, ~30 μm 3) ZrO ₂ –TiO ₂ layer, ~65 μm	Ti-depleted (~8 μm) ZrO ₂ –TiO ₂ layer	~130	~220	12.43	24.71
25Zr–75Ti-G	1) TiO ₂ layer, ~25 μm 2) Ti-depleted ZrO ₂ layer, ~15 μm 3) ZrO ₂ –TiO ₂ layer, ~60 μm	Ti-depleted (~5 μm) ZrO ₂ –TiO ₂ layer	~100	~200	11.83	20.93
ZrB ₂	ZrO ₂ + B ₂ O ₃	ZrO ₂ + B ₂ O ₃	~40	~65	4.38	5.95

Рисунок 19 – Состав, толщина и изменение массы на единицу площади образцов, подвергнутых испытанию [30]

Дальнейшие исследования в области окислительного поведения многокомпонентных керамик имеют большой потенциал, так как на данный момент невозможно точно предсказать, какой будет структура сформированного оксидного слоя ввиду существования большого числа комплексных оксидов (рисунок 17), закономерность формирования которых очень тяжело установить. Также, по предположению авторов работы [25], для более полного представления об окислительном поведении многокомпонентных керамик необходимо повышать температуры испытаний до 1800 °C и выше, так как при достижении данных температур некоторые оксиды начнут расплавляться, например, оксид титана и оксид тантала. Это приведёт к образованию на поверхности оксидного слоя жидкой фазы, которая, возможно, будет эффективно препятствовать диффузии кислорода вглубь керамического материала.

1.4 Методы получения энтропийно-стабилизированных карбидных керамик

Получение карбидных керамик, стабилизированных энтропией, производится множеством различных методов, которые разделяются на 2 этапа: подготовка порошковых систем и высокотемпературная консолидация.

Подготовка порошковых систем – это процесс по получению смеси порошков карбидов переходных металлов (TiC, NbC, ZrC, HfC и др.) в необходимом соотношении: эквимольном или неэквимольном. От данного этапа значительно зависит формирующаяся структура керамического образца:

1) Соотношение компонентов. Несоблюдение определённого соотношения (эквимольного или неэквимольного) между компонентами системы ведёт к формированию полифазного состояния структуры (присутствие иных кристаллических фаз), оказывающего влияние на механические свойства получаемого керамического образца;

2) Активация порошковых систем. Порошки карбидов переходных металлов в состоянии поставки имеют крупный размер частиц и низкую реакционную способность, ввиду образования оксидных плёнок. Для увеличения реакционной способности порошковых систем их подвергают активации. Активация – уменьшение размеров частиц с целью увеличения их химической, физической и термодинамической активности: при уменьшении размеров частиц возрастает их энергия поверхности и дефектность структуры, что значительно снижает температуры плавления, испарения и начала химических реакций. Активация позволяет снизить температуру образования монофазного состояния структуры на сотни градусов, а также за счёт уменьшения размеров частиц получить более высокие показатели плотности керамических образцов. Активация порошковых систем, в основном, производится в планетарно-шаровых мельницах (ПШМ) или шаровых мельницах (ШМ) [5,6,9,16,17,19-26,28-30].

Готовую смесь карбидных порошков в эквимоллярных соотношениях возможно получить с помощью химических реакций из оксидов переходных металлов: вакуумное карбосиликотермическое восстановление (ВКСТВ) [31] и вакуумное карботермическое восстановление (ВКТВ) [32].

Высокотемпературная консолидация – процесс получения образца энтропийно-стабилизированной карбидной керамики из предварительно подготовленной смеси порошков. Высокотемпературная консолидация образцов может производиться различными способами: искровое плазменное спекание (ИПС), горячее прессование (ГП), пиролитический метод, спекание без давления. Структура и физико-механические свойства получаемых керамических образцов в значительной мере зависят от способа проведения высокотемпературной консолидации [17]. В работах [31-37] производилось получение и изучение механических свойств энтропийно-стабилизированной керамики (Ti, Zr, Hf, Nb, Ta)C. Результаты испытаний в работах сведены в таблицу 2.

Как видно из таблицы 2, механические свойства получаемых образцов высокоэнтропийной керамики значительно зависят от метода их получения. Так наиболее эффективным методом получения высокоэнтропийной керамики по совокупности получаемых механических свойств оказался ВКСТВ + ГП 1750 °С, 40 МПа [31]. Однако выбор наиболее эффективного метода получения сверхвысокотемпературной керамики с высокими показателями механических свойств невозможно сделать без учёта трудоёмкости метода, стоимости и простоты используемого оборудования. ГП и ИПС являются самыми используемыми способами получения сверхвысокотемпературных керамических образцов, однако наиболее универсальный способ – ГП: простота и невысокая стоимость его оборудования, по сравнению с оборудованием для ИПС, низкая трудоёмкость, возможность получения керамических образцов различных размеров с высокими показателями механических свойств [5,6,8,9,17,19,20,21,23,28,31,32,34,35].

Таблица 2 – Сравнение механических свойств высокоэнтропийной карбидной керамики (Ti, Zr, Hf, Nb, Ta)C, полученной различными методами.

Метод получения	Объёмная плотность, г/см ³	Относительная плотность, г/см ³	Прочность на изгиб, МПа	Вязкость разрушения, МПа·м ^{1/2}	Твёрдость по Виккерсу, ГПа	Ссылки
ВКСТВ + ГП 1750 °С, 40 МПа	9,31	99,4	438	4,0*	32,1 ^{HV0,2}	[31]
ВКТВ + ГП 1900 °С, 32 МПа	9,33	> 99	421	3,5**	25,0 ^{HV0,5}	[32]
ВКТВ + ИПС 1900 °С, 50 МПа	-	98,6	332	4,5***	21,9 ^{HV1,0}	[33]
ПШМ + ГП 1800 °С, 30 МПа	9,08	95,3	-	3,0*	21,6 ^{HV0,2}	[34]
ПШМ + ГП 1850 °С, 30 МПа	9,21	99,14	494	2,3*	24,0 ^{HV0,1}	[35]
ПШМ + ИПС 2000 °С, 30 МПа	8,45	94,9	318	4,9***	16,2 ^{HV1,0}	[36]
ПШМ + спекание без давления 2200 °С	-	94,8	404	4,3*	17,7 ^{HV1,0}	[37]

ПШМ – смешивание и активация карбидных порошков в планетарно-шаровой мельнице.

* - измерено методом индентирования по Виккерсу;

** - измерено методом шевронной балки;

*** - измерено методом однолезвийной балки с надрезом

Большое влияние на структуру и свойства получаемой энтропийно-стабилизированной керамики оказывает температура спекания. В работе [18] получение энтропийно-стабилизированной карбидной керамики (Hf-Ta-Ti-Nb-Zr)C производилось методом ИПС при температурах 1500 °C, 1800 °C и 2000 °C. Полученные микротвёрдости составили 15.6, 18.1 и 23.5 ГПа соответственно. Рост значения микротвёрдости связан с увеличением относительной плотности получившихся керамик, которая, в свою очередь, связана со степенью однородности структуры. Как известно, большинство энтропийно-стабилизированных керамик создают твёрдый раствор замещения с ОЦК или ГЦК кристаллическими решётками, рисунок 19. Формирование данной структуры происходит в некотором температурном интервале, при прохождении которого от меньшего значения к большему степень однородности структуры керамики будет увеличиваться. Для энтропийно-стабилизированной керамики на основе карбидов TiC, ZrC, NbC и HfC формирование однофазного твёрдого раствора началось при спекании методом ГП при температуре 1500 °C: на рентгенограмме не были зарегистрированы пики ZrC и TiC. Дальнейшее увеличение температуры до 1700 °C привело к образованию одной фазы – термодинамически устойчивого твёрдого раствора замещения, в котором в качестве матричного материала выступает карбид гафния [19]. Наглядное различие между структурами энтропийно-стабилизированной керамики (Ti-Zr-Hf)C, спечённой при температурах 1400 °C и 1900 °C, представлено на рисунке 20.

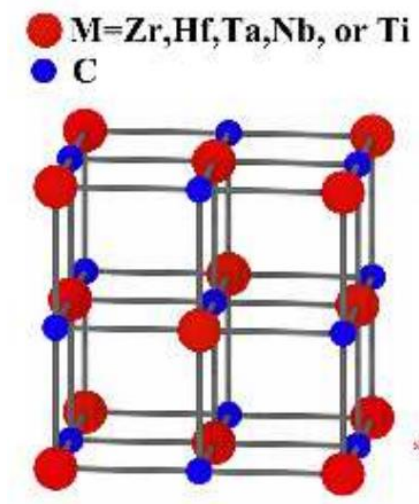


Рисунок 19 – Упрощённая схема кристаллической решётки (ГЦК) энтропийно-стабилизированной керамики на основе карбидов, не учитывающая искажения в кристаллической решётке

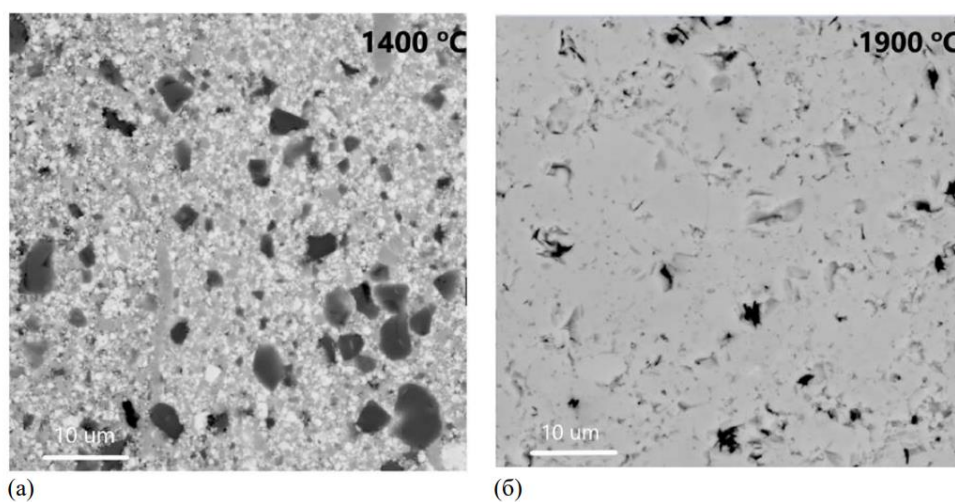


Рисунок 20 – РЭМ-изображения поверхностей образцов (Ti-Zr-Hf)C, спечённых при различных температурах [20]

1.5 Тенденции и перспективы развития высокотемпературных керамик

Наиболее перспективными из классических высокотемпературных керамик являются карбиды, так как они обладают уникальными свойствами при работе в условиях сверхвысоких температур. Широкий спектр технологий нанесения покрытий из карбидов и матричная модификация делают карбидную керамику одной из ведущих ныне и в будущем. Однако не менее перспективной классической керамикой является керамика на основе боридов: ZrB_2 и HfB_2 .

Как упоминалось выше, темпы развития высокоэнтропийных керамик не отстают от темпов развития классических сверхвысокотемпературных, об этом свидетельствует большое количество материала, публикуемого отечественными и зарубежными авторами: за последние 2 года количество опубликованных статей примерно равняется 11.5 тысяч. Как и любое новое направление, тема высокоэнтропийных керамик тщательно исследуется для объяснения всех процессов, происходящих при формировании однофазного твёрдого раствора. Например, совсем недавно зарубежный автор опубликовал свою работу [22], в которой отходит от эквимолярных к неэквимолярным соотношениям элементов в системе, что в будущем может привести к развитию двух направлений исследований высокоэнтропийных керамик.

Основной сферой применения УНТС является аэрокосмическая промышленность, так как условия применения космических летательных аппаратов тесно связаны со сверхвысокими температурами. Однако данный вид керамики применяется и в более приземлённых вещах: карбоно-керамические тормоза в спортивных автомобилях, элементы печей и многое другое.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель работы – получение многокомпонентного керамического материала системы (Ti, Zr, Hf)C, исследование его структуры, свойств и окислительного поведения.

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

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научно-исследовательский проект, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Основными конкурентами многокомпонентных карбидных керамик являются монофазные керамические материалы:

- 1) Монофазные керамические материалы на основе карбида титана (TiC);
- 2) Монофазные керамические материалы на основе карбида гафния (HfC).

Анализ конкурентных технических решений проведен с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 5.

Экспертная оценка производится по техническим характеристикам и экономическим показателям по 5-ти бальной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1.

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Бф	Бк1	Бк2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Окислительная стойкость	0,16	3	3	3	0,48	0,48	0,48
Показатели термомеханических свойств	0,16	5	3	4	0,8	0,48	0,64
Трещиностойкость	0,16	5	3	2	0,8	0,42	0,32
Эксплуатационные характеристики	0,16	5	2	3	0,8	0,32	0,48
Экономические критерии оценки эффективности							
Цена	0,14	2	5	3	0,28	0,7	0,42
Финансирование научно-исследовательского проекта	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
Предполагаемый срок эксплуатации	0,12	4	3	4	0,48	0,36	0,48
Итого	1	28	22	22	4,04	3,06	3,12

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,11 \cdot 5 = 0,55,$$

где K – конкурентоспособность проекта;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

4.1.2 SWOT-анализ

Для комплексной оценки научно-исследовательского проекта применяют SWOT-анализ, результатом которого является описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. SWOT – анализ проекта даёт возможность оценить факторы и явления, помогающие или препятствующие продвижению проекта на рынок.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
С1. Рост потребности рынка в высокотемпературных керамических материалах для реализации новейших проектов.	Сл1. Малое количество информации о процессах окисления многокомпонентных карбидных керамик ввиду их сложности.
С2. Многокомпонентные керамические материалы на основе карбидов значительно превосходят другие монофазные карбидные керамики по показателям термомеханических свойств.	Сл2. Малое количество исследований, направленных на изучение многокомпонентных карбидных керамик выбранной системы.
С3. Исследование окислительного поведения многокомпонентных карбидных керамик является малоизученным и перспективным направлением.	Сл3. Долгое время подготовки образца, используемого при проведении научного исследования.
С4..Наличие квалифицированного научного коллектива, имеющего большой опыт в работе с керамическими материалами.	Сл4. Недостаточно проработаны вопросы выхода на рынок.
Возможности	Угрозы
В1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ и ИФПМ СО РАН.	У1. Появление аналогов и более ранних их выход на рынок.
В2. Использование во многих отраслях промышленности.	У2. Отсутствие интереса к исследованию со стороны потребителей (промышленности) и инвесторов.
В3. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.	
В4. Адаптация исследования под иностранные языки.	

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 7–10.

Таблица 7 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

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

Таблица 8 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	-	+	-
	B2	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-

Таблица 9 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

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

Таблица 10 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	-	+	-
	У2	+	+	-	-

Итоговая матрица SWOT-анализа представлена в таблице 11.

Таблица 11 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Рост потребности рынка в высокотемпературных керамических материалах для реализации новейших проектов; С2. Многокомпонентные керамические материалы на основе карбидов значительно превосходят другие монофазные карбидные керамики по показателям термомеханических свойств; С3. Исследование окислительного поведения многокомпонентных карбидных керамик является малоизученным и перспективным направлением; С4. Наличие квалифицированного научного коллектива, имеющего большой опыт в работе с керамическими материалами.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Малое количество информации о процессах окисления многокомпонентных карбидных керамик ввиду их сложности; Сл2. Малое количество исследований, направленных на изучение многокомпонентных карбидных керамик выбранной системы; Сл3. Долгое время подготовки образца, используемого при проведении научного исследования; Сл4. Недостаточно проработаны вопросы выхода на рынок.
Возможности: В1. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ и ИФПМ СО РАН. В2. Использование во многих отраслях промышленности; В3. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж; В4. Адаптация исследования под иностранные языки.	Направления развития: В2С1С2. Высокие показатели термомеханических свойств керамического материала являются хорошим основанием для внедрения его в различные отрасли промышленности. В4С3С4. Большой опыт научного коллектива в работе с керамическими материалами позволит адаптировать исследования под иностранные языки для привлечения внимания зарубежных инвесторов и покупателей.	Сдерживающие факторы: В1Сл3. Использование новейшего оборудования позволит значительно снизить время подготовки образцов для проведения исследований.
Угрозы: У1. Появление аналогов и более ранний их выход на рынок; У2. Отсутствие интереса к исследованию со стороны потребителей (промышленности) и инвесторов;	Угрозы развития: У2С2. Многокомпонентные карбидные керамики являются более привлекательными для потенциальных покупателей и инвесторов ввиду лучших термомеханических свойств. У1С4. Большой опыт научного коллектива в работе с керамическими материалами позволит получать образцы лучшего качества, чем у конкурентов	Уязвимости: У1Сл3. Риск появления аналогов и более ранний их выход на рынок ввиду длительного процесса подготовки образцов и их исследования. У2Сл1Сл2. Малое количество информации о многокомпонентных керамических материалах на основе карбидов может привести к низкому спросу у потребителей и к малому вниманию инвесторов.

В результате SWOT-анализа показано, что на преимущества разрабатываемой технологии преобладают над ее недостатками. Данные недостатки, которые на данный момент на практике не устранены, но в теории уже есть возможности для их устранения. Результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Комплекс предполагаемых работ включает в себя следующие задачи:

- определить структуру работ в рамках научно-исследовательского проекта;
- определить участников каждой работы;
- установить продолжительность работ;
- построить график проведения отдельных этапов исследования.

Для выполнения данного научно-исследовательского проекта необходимо сформировать рабочую группу, в состав которой входят руководитель и инженер. Для каждой из запланированных работ, необходимо выбрать исполнителя этой работы. Перечень основных этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	2	Изучение преимуществ выбранного керамического состава	Инженер
	3	Изучение процессов окисления многокомпонентных керамик	Инженер
	4	Получение и подготовка образцов	Инженер
	5	Проведение эксперимента	Руководитель Инженер
Обобщение и оценка результатов	6	Обработка полученных результатов	Руководитель Инженер
Контроль и координирование проекта	7	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель
Оформление отчета, НИР	8	Составление отчёта	Инженер

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

В данной работе трудовые затраты образуют основную часть стоимости научно-исследовательского проекта. Поэтому немаловажным является определение трудоемкости работ каждого из участников проекта.

Несмотря на то, что трудоемкость носит стохастический характер, данную величину можно определить экспертным путем в «человеко-днях». Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ож\ i}$ определяется по формуле:

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

где $t_{min\ i}$ – минимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является оптимистичной оценкой: при удачном стечении обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max\ i}$ – максимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является пессимистичной оценкой: при неудачном стечении обстоятельств, чел.-дн.

На основании расчетов ожидаемой трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p :

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i},$$

где $Ч_i$ – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

По всем выполняемым работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице 13.

4.2.3 Разработка графика проведения исследования

Диаграмма Ганта является наиболее удобным и наглядным способом представления графика проведения работ.

Диаграмма состоит из блоков, расположенных на двух осях: по вертикали располагаются задачи, из которых состоит проект, а время, запланированное на их выполнение, служит горизонтальной осью диаграммы Ганта. Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

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

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

где $k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

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

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

где $T_{кал}$ – общее количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – общее количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году.

Расчет трудоемкости и продолжительности работ представлен на примере работы «Получение и подготовка образцов»:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 10}{5} = 8,2 \text{ чел.-дн.},$$

$$T_{\text{pi}} = \frac{t_{\text{ож}i}}{\text{Ч}_i} = \frac{8,2}{1} = 8,2 \text{ раб.дн.}.$$

Расчет трудоемкости и продолжительности работ представлен на примере работы «Составление и утверждение технического задания на ВКР»:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{мин}i} + 2t_{\text{макс}i}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8 \text{ чел.-дн.},$$

$$T_{\text{pi}} = \frac{t_{\text{ож}i}}{\text{Ч}_i} = \frac{2,8}{1} = 2,8 \text{ раб.дн.}.$$

Расчет календарного коэффициента для пятидневной рабочей недели для инженера:

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

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Получение и подготовка образцов»:

$$T_{\text{ки.инж}} = T_{\text{pi}} \cdot k_{\text{кал}} = 8,2 \cdot 1,48 = 12,136 \approx 13 \text{ календ.дн.}$$

Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели руководителя:

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

Расчет календарной продолжительности выполнения работы на примере работы «Составление и утверждение технического задания на ВКР»:

$$T_{\text{ки.рук}} = T_{\text{pi}} \cdot k_{\text{кал}} = 2,8 \cdot 1,28 = 3,584 \approx 4 \text{ календ.дн.}.$$

Все рассчитанные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 13.

Таблица 13 – Временные показатели проведения научно-исследовательского проекта

Название работы	Трудоемкость работ						Длительно сть работ в рабочих днях T_{pi}		Длительно сть работ в календарн ых днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожi}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
Изучение преимуществ выбранного керамического состава	-	4	-	6	-	4,8	-	4,8	-	8
Изучение процессов окисления многокомпонентных керамик	-	6	-	9	-	7,2	-	7,2	-	11
Получение и подготовка образцов	-	15	-	20	-	17	-	17		26
Проведение эксперимента	8	8	16	16	11,2	11,2	5,6	5,6	8	9
Обработка полученных результатов	10	10	15	15	12	12	6	6	8	9
Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	3	-	5	-	3,8	-	3,8	-	5	-
Составление отчёта	-	7	-	9	-	7,8	-	7,8	-	12
Итого:	23	50	40	75	29,8	60	18,2	48,4	25	75

После произведенных расчетов, представленных в таблице 13, строится диаграмма Ганта, представленная в таблице 14.

Таблица 14 –Диаграмма Ганта

№	Вид работы	Исполнители	T _к ,дн	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4					
2	Изучение преимуществ выбранного керамического состава	Инженер	8					
3	Изучение процессов окисления многокомпонентных керамик	Инженер	11					
4	Получение и подготовка образцов	Инженер	26					
5	Проведение эксперимента	Руководитель	8					
		Инженер	9					
6	Обработка полученных результатов	Руководитель	8					
		Инженер	9					
7	Контроль качества выполнения проекта и консультирование исполнителя	Руководитель	4					
8	Составление отчёта	Инженер	12					

4.3 Бюджет научно-исследовательского проекта

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых затрат (расходов), необходимых для его выполнения:

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

4.3.1 Расчет материальных затрат научно-исследовательского проекта

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. Поэтому необходимо учитывать материальные затраты. В данной работе в материальные затраты включаются затраты на порошки, алмазные пасты, спирт и перчатки (таблица 15).

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{расх.}i} = (1 + 0,25) \cdot 44250 = 55312,5 \text{ руб.},$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх.}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (в данной работе принимается равным 25 %).

Таблица 15 – Материальные затраты

Наименование статей	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Итого затраты, руб.
Порошок карбида гафния	кг	0,1	150000	15000
Порошок карбида циркония	кг	0,07	120000	8400
Порошок карбида ниобия	кг	0,04	130000	5200
Порошок карбида титана	кг	0,05	100000	5000
Набор перчаток резиновых	пар	10	100	1000
Алмазная паста	шт.	9	1000	9000
Спирт	л	1	650	650
Итого:				44250

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье заносится в таблице 16.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m,$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

m – время использования, мес.

Таблица 16 – Затраты на оборудование

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во, ед.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	H_A , %	Цены единицы оборудования, руб.	Амортизация,
1	Весы аналитические	1	5	0,87	20	200000	2900
2	Планетарная мельница АГО-2	1	3	0,87	33	120000	2871
3	Установка горячего прессования	1	10	0,87	10	500000	3625
4	Растровый электронный микроскоп «LEO EVO 50»	1	7	0,3	14	1500000	5250
5	Просвечивающий электронный микроскоп JEOL JEM-2100	1	7	0,3	14	2000000	7000
Итого:		21646 руб.					

4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого, необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя) по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51285 \cdot 10,4}{246} = 2168,1 \text{ руб.},$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

– при отпуске в 28 раб. дня – $M=11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

– при отпуске в 48 раб. дней – $M=10,4$ месяца, 6-дневная рабочая неделя;

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.}$$

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_{\text{р}} = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.},$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, принимается равным 0,3;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок, принимается равным 0,2;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, принимается равным 1,3 (для г. Томска).

Таблица 17 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52/14	104/14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени		
- отпуск	48/5	24/10
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы

Исполнители НИП	$З_{\text{тс}}$, руб	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, руб	$З_{\text{дн}}$, руб	$T_{\text{р}}$, раб.дн.	$З_{\text{осн}}$, руб
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2168,1	18,2	39459,4
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	48,4	84366,0
Итого:								123825,4

4.3.4 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{внеб}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 39459,4 = 5918,9 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{внеб}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 84366,0 = 12654,9 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,15).

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}}(З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (39459,4 + 5918,9) = 13613,5 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}}(З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (84366,0 + 12654,9) = 29106,3 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование).

Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ):

22 % – на пенсионное страхование;

5,1 % – на медицинское страхование;

2,9 % – на социальное страхование.

4.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя прочие затраты, такие как: печать и ксерокопирование документов, оплата услуг связи, электроэнергии, размножение материалов и др.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИП по форме, приведенной в таблице 19.

Таблица 19 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
21646	44250	123825,4	18573,8	42719,8	251015

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр},$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «Высокотемпературные многокомпонентные керамические материалы на основе карбидов: получение, структура, окислительное поведение» по форме, приведенной в таблице 20. В таблице также представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 20 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	44250	32300	45730	Пункт 4.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	21646	39560	45380	Пункт 4.3.2

Продолжение таблицы 20

3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	123825,4	123825,4	123825,4	Пункт 4.3.3
---	--	----------	----------	----------	-------------

4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	18573,8	18573,8	18573,8	Пункт 4.3.4
5	Отчисления во внебюджетные фонды	42719,8	42719,8	42719,8	Пункт 4.3.5
6	Накладные расходы	50203	50203	50203	Пункт 4.3.6
Бюджет затрат НИР		301218	307182	326432	Сумма ст. 1- 6

4.4 Определение финансовой, бюджетной и экономической эффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научно-исследовательского проекта.

Для определения интегрального показателя финансовой эффективности наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналога многокомпонентным карбидным керамикам выступают:

- 1) Монофазные керамические материалы на основе карбида титана (TiC);
- 2) Монофазные керамические материалы на основе карбида гафния (HfC).

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

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

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

$\Phi_{\max}$ – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 301218$ руб, $\Phi_{\text{исп.2}} = 307182$ руб, $\Phi_{\text{исп.3}} = 326432$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{301218}{326432} = 0,92;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{307182}{326432} = 0,94;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{326432}{326432} = 1.$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Далее необходимо произвести оценку ресурсоэффективности проекта, определяемую посредством расчета интегрального критерия, по следующей формуле:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – бальная оценка проекта, устанавливаемая опытным путем по выбранной шкале оценивания.

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 21.

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка проекта	Бальная оценка аналога №1	Бальная оценка аналога №2
Окислительная стойкость	0,2	3	3	3
Показатели термомеханических свойств	0,3	5	3	4
Трещиностойкость	0,2	5	3	2
Эксплуатационные характеристики	0,3	5	2	3
Итого:	1	4,6	2,7	3,1

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}}$$

$$I_{тек.пр} = \frac{4,6}{0,92} = 5; \quad I_{исп.2} = \frac{2,7}{0,94} = 2,9; \quad I_{исп.3} = \frac{3,1}{1} = 3,1.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта, таблица 22.

Таблица 22– Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,92	0,94	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	2,7	3,1

Продолжение таблицы 22

3	Интегральный показатель эффективности	5	2,9	3,1
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,58	0,62

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и

ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

Выводы по разделу

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. В результате проведенного анализа конкурентных технических решений оказалось, что разрабатываемый проект является более конкурентноспособным, чем его аналоги. Конкурентными преимуществами разработки являются лучшие термомеханические свойства, которые обуславливают высокие показатели живучести и надёжности конструкций из керамических материалов;

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 83 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 75 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель - 25;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 301218 рублей;

4. По факту оценки эффективности научно-исследовательского проекта, можно сделать следующие выводы:

– значение интегрального финансового показателя НИП составляет 0,92, что является показателем того, что научно-исследовательский проект является финансово выгодным по сравнению с аналогами;

– значение интегрального показателя ресурсоэффективности научно-исследовательского проекта составляет 4,6, а конкурентов составляет 2,7 и 3,1;

– значение интегрального показателя эффективности НИП составляет 5, а конкурентов 2,9 и 3,1, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в НИП, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

5 Социальная ответственность

Темой дипломного исследования является «Высокотемпературные многокомпонентные керамические материалы на основе карбидов: получение, структура, окислительное поведение». Высокотемпературные многокомпонентные керамические материалы на основе карбидов обладают высокими показателями физических и механических свойств при повышенных температурах, что обуславливает их возможное применение в современных проектах атомных электростанций, режущего инструмента и сверхзвуковых транспортных средств.

Рабочая зона находится в ИФПМ СО РАН Академгородка г. Томска и включает в себя лабораторию и производственное помещение. Площадь лаборатории составляет 60 м², производственного помещения 40 м². В оборудование лаборатории входят весы аналитические, весы лабораторные, электронный штангенциркуль. В производственном помещении установлены установка горячего прессования и планетарная мельница-активатор.

Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: расчёт массы каждого компонента системы; взвешивание компонентов системы на аналитических весах согласно расчётным данным; перемешивание компонентов (получение порошковой смеси); активация порошковой смеси в планетарной мельнице; подготовка пресс-форм с активированной порошковой смесью; спекание порошковой смеси на установке горячего прессования – получение керамического образца; полирование керамического образца с использованием алмазных паст.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специальные правовые нормы трудового законодательства.

На производстве необходимо следовать требованиям Трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 1.04.2019). Согласно Приказу Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации от 12 апреля 2011 г, необходимо проводить обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические медицинские осмотры (обследования) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

Лаборатория находится в ИФПМ СО РАН Академгородка г. Томска. Рабочее место в лаборатории максимально приближено к требованиям ГОСТ 12.2.032-78 [45], выполняемая работа в основном происходит в положении сидя. Для предотвращения вредного влияния от малоподвижной работы, согласно МР 2.2.9.2311-07 2.2.9. Состояние здоровья работающих в связи с состоянием производственной среды [46], для 8-ми часовой утренней смены наиболее рациональным является организация двух регламентированных перерывов продолжительностью 5-7 минут и микропауз длительностью 20-40 секунд по мере необходимости.

Виды компенсаций, предусмотренные российским законодательством работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда:

1. Сокращенная продолжительность рабочего времени – не более 36 часов в неделю, устанавливаемая для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

2. Ежегодные дополнительные отпуска, которые устанавливаются работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

3. Оплата труда работников в повышенном размере, занятых на тяжелых работах, работах с вредными и (или) опасными и иными особыми условиями труда.

4. Лечебно-профилактическое питание для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда бесплатно по установленным нормам.

5. Досрочное назначение трудовой пенсии для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, на работах в особых условиях труда.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Расположение оборудования в производственном помещении и лаборатории и компоновка рабочей зоны, проходила в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78. В лаборатории присутствуют выключатели и переключатели, они располагаются в соответствии с ГОСТ 22614-77 [47]. Безопасность оборудования в лаборатории соответствует ГОСТ EN 894-1-2012 [48].

5.2 Производственная безопасность

В данном пункте проанализированы вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при получении образцов в производственном помещении или эксплуатации проектируемого решения.

В настоящей работе предусмотрено взаимодействие с вредными веществами. По этой причине необходимо руководствоваться техническим регламентом от 24 декабря 2009 г. О безопасности средств индивидуальной защиты источником, а также применять меры по минимизации вредных эффектов на организм человека (индивидуальные средства защиты, инструкции к работе и рабочему месту).

Для идентификации потенциальных факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [49]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды, представлен в таблице 23.

Таблица 23 – Возможные вредные и опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Повышенная или пониженная температура на рабочем месте.	СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [50]. СП 60.13330.2020 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха СНиП 41-01-2003 [53].
2. Запылённость.	ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности [51]. ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация [52]. СП 60.13330.2020 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха СНиП 41-01-2003 [53].
3. Влажность.	СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [50].
4. Отсутствие или недостаток естественного света.	СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [54].
5. Не достаточная освещённость рабочей зоны.	СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [54].
6. Пожар.	Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [55].
7. Электробезопасность	ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [56].

Во избежание несчастных случаев следует проводить обучение и проверять знания работников согласно ГОСТ 12.0.004-2015 [57].

5.2.1 Анализ опасных и вредных факторов

Повышенная или пониженная температура на рабочем месте.

Источниками данного вредного фактора могут являться погодные условия, частота и продолжительность проветривания помещения, исправная работа системы теплоснабжения. Данный фактор классифицируется как физический вредный фактор. Такой вредный фактор может повлечь за собой уменьшение работоспособности сотрудников, также может стать катализатором для появления разного рода заболеваний простудного класса. Для минимизации вредоносного влияния этого фактора на работника, применены следующие меры: в каждом рабочем помещении имеется два масляных обогревателя марки BalluBOH/CL – 09 на случай отключения или неисправности системы теплоснабжения, проветривания необходимо проводить в отсутствии рабочих, материалы должны быть убраны в безопасное от попадания потоков воздуха место (во избежание распыления). В рабочих помещениях поддерживается температура воздуха 20 – 23⁰С, что соответствует нормам СанПиН 1.2.3685–21 [50].

Запылённость.

Источником данного вредного фактора является работа с порошками карбида гафния, карбида титана, карбида циркония и карбида ниобия. Данный фактор относится к физическим вредным факторам. Запылённость рабочего места наночастицами соединений переходных металлов может вызывать серьёзные последствия для человека – это болезни дыхательной системы, её внутренние повреждения, повышенная вероятность появления аллергий и раздражений. Для минимизации этого вредного фактора, в рабочих помещениях предусмотрены следующие меры: необходимо аккуратно работать с порошками; при проветривании помещения, необходимо убирать порошки от прямого воздействия поступающего воздуха. Если порошки всё же распылились, необходимо надеть защитную повязку для предотвращения попадания пыли карбидов переходных металлов в организм через органы дыхания. Содержание пыли карбидов переходных металлов для безопасной

работы помещениях составляет 0 г/м^3 , что меньше чем предельно допустимая норма, регламентированная гостом ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ [54] 6 г/м^3 .

Влажность.

Источником данного вредного фактора является тот факт, что лаборатория и производственное помещение расположены в подвальном помещении. Повышенная влажность может оказать такое влияние на работника как: высокая вероятность заболеваний внешнего покрова кожи. Также высокий уровень влажности повышает вероятность прихода в негодность используемого материала, наличие в воздухе большого количества воды может повлечь за собой произвольные фазовые превращения, образование новых соединений которые загрязнят чистый порошок, образование агломератов и обособление некоторых частей материала. Данный фактор классифицируется как физический вредный фактор. В рабочих помещениях средняя влажность составляет порядка 50%. Для рабочих мест производственных помещений, по СанПиН 1.2.3685–21 оптимальная влажность воздуха при холодном климате (работа выполнялась с февраля по май) составляет 60 – 40%.

Отсутствие или недостаток естественного света.

Источником данного фактора является тот факт, что лаборатория и производственное помещение размещены в подвальном помещении, а значит, прямой контакт с естественным светом ограничивается окнами. Данный фактор классифицируется как физический вредный фактор. Отсутствие или недостаток естественного света приводит к чувству дискомфорта, ухудшению самочувствия и усталости глаз. В проводимом типе работ разница освещения естественным или искусственным светом не играет решающей роли.

Недостаточная освещённость рабочей зоны.

Источником данного фактора служат лампы искусственного освещения. Малая освещённость может повлечь за собой ухудшение зрения работника, появление болезней связанных с глазами, например, астигматизм, близорукость. Рассматриваемый вредный фактор может ухудшить состояние и

самого исследования, если речь пойдёт об исследовании поверхности полученных образцов на оптических средствах работы, например, микроскопах. Данный фактор классифицируется как физический вредный фактор. Для работ по изучению структуры материалов очень важно иметь хорошее освещение в помещении. По СП 52.13330.2016 характеристика зрительной работы – очень высокая точность, IIг разряд зрительной работы, оптимальное освещение 400 лк (система общего освещения). Данная норма выполняется в рабочих помещениях.

Пожар.

Источником данного фактора может являться короткое замыкание, неаккуратное обращение с оборудованием. Данный фактор является физическим опасным фактором. В соответствии с Федеральным законом от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ статья 52 в рабочих помещениях приняты следующие меры по обеспечению безопасности рабочего и его ограждения от возможного опасного фактора:

- 1) применение объемно-планировочных решений и средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара за пределы очага;
- 2) устройство эвакуационных путей, удовлетворяющих требованиям безопасной эвакуации людей при пожаре;
- 3) устройство систем обнаружения пожара (установки и системы пожарной сигнализации), оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре;
- 4) применение систем коллективной защиты и средств индивидуальной защиты людей от воздействия опасных факторов пожара;
- 5) применение первичных средств пожаротушения;
- 6) применение автоматических и автономных установок пожаротушения;
- 7) организация деятельности подразделений пожарной охраны.

Электробезопасность.

Источником данного фактора является работа с электроприборами. Данный фактор рассматривается как физический опасный фактор. В соответствии с ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ, в рабочих помещениях приняты следующие меры безопасности:

- защитное заземление;
- защитное отключение;
- изоляцию нетоковедущих частей;
- электрическое разделение сети;
- электроизоляционные средства;
- средства индивидуальной защиты.

5.3 Экологическая безопасность

Целью данной работы является получение многокомпонентных керамических материалов системы $(\text{Hf}_x\text{Zr}_x\text{Ti}_x\text{Nb}_x)\text{C}$, исследование их структуры, свойств и окислительного поведения. В перспективе, созданный материал возможно будет использовать в аэрокосмической и ядерной средах, где необходимы стабильность термомеханических свойств, надёжность и живучесть керамических материалов при высоких температурах.

Производственный цикл керамического материала состоит в смешивании исходных материалов, получении образцов и создании шлифов/

Одним из возможных вредных факторов для окружающей среды при создании керамического материала может быть нежелательное испарение используемых продуктов для создания образцов на основе карбидов переходных металлов. Влияние объекта и процесса исследования на окружающую среду предоставлены в таблице 24.

Таблица 24 – Влияние объекта и процесса исследования на окружающую среду

Атмосфера	Попадание в атмосферу летучих веществ через вытяжные установки, загрязнение воздуха, разрушение озонового слоя, которые оказывают пагубное влияние на здоровье человека.
Гидросфера	Возможность попадания отходов через канализационную систему. Загрязнение воды, оказывающее негативное влияние на человека.
Литосфера	Механическое загрязнение литосферы (утилизационный мусор).

Защита атмосферы.

Ограниченные размеры атмосферы делают ее весьма чувствительной к локальному, региональному и глобальному загрязнениям. В городах и регионах атмосферный воздух загрязняется, прежде всего, выбросами промышленных предприятий, ТЭС и автомобильного транспорта.

Средства защиты атмосферного воздуха от выбросов включают: очистку выбросов от примесей в специальных аппаратах, таких как циклоны, обеспечивающие улавливание частиц крупнее 5 мкм с эффективностью до 0,95; рукавные фильтры – улавливание частиц крупнее 0,1 мкм с эффективностью до 0,999, и устройствах перед поступлением газов в атмосферу; рассеивание очищенных выбросов в атмосферном воздухе.

Защита гидросферы.

При выполнении работы основными отходами в сточную воду был слив воды, в которой омывались приборы после эксперимента. Для создания замкнутых систем водоснабжения промышленные сточные воды подвергаются очистке механическими, химическими, физико-химическими, биологическими и термическими методами до необходимого качества. Для очистки сточных вод от органических растворителей используют методы экстракции, ректификации, абсорбция, обратный осмос и ультрафильтрация и др.

Защита литосферы.

Утилизация отходов должна осуществляться в соответствии с "Санитарными правилами порядка накопления, транспортирования, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов" (N 8180-84

от 28.12.84). Твердые отходы, а также порошковые системы собираются в специальные сборники и увозятся для уничтожения.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Одной из вероятных техногенных чрезвычайных ситуаций в рабочей зоне является возникновение пожара. Источником данной ЧС может послужить короткое замыкание в электроприборах, неаккуратное обращение с огнём.

В соответствии с ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ в лаборатории приняты меры предосторожности для возможности максимально быстро среагировать на возможную чрезвычайную ситуацию. В каждом рабочем помещении установлены два порошковых огнетушителя ОП-5, в здании имеется охранно-пожарная сигнализация, в каждом рабочем помещении расположена схема эвакуации из здания, при невозможности остановить или предотвратить пожар следует покинуть здание как можно быстрее. Также каждые полгода проводятся учения для быстрой эвакуации из здания.

Следующая возможная природная чрезвычайная ситуация – морозы. Источником данной ЧС служит тот факт, что рабочие помещения находятся в Сибири. Для минимизации вероятности возникновения данной ЧС в каждом рабочем помещении предусмотрены два масляных обогревателя марки BalluBOH/CL – 09, которые так же могут быть использованы при неисправностях в обогревательной системе здания или этажа где расположены помещения. При выходе из строя этого оборудования любые запланированные работы переносятся на время стабильной работы отопительной системы.

Выводы по разделу

В процессе выполнения задания по разделу ВКР «Социальная ответственность» был проведён подробный анализ рабочей зоны, в которой происходило выполнение исследовательской работы:

- значения выявленных вредных факторов находятся в пределах норм, установленных нормативными документами;

- в рабочих помещениях приняты меры безопасности для уменьшения влияния выявленных опасных факторов согласно нормативным документам;

- категория рабочих помещений по электробезопасности согласно ПУЭ [58] соответствует первому классу – «помещения без повышенной опасности»;

- согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок [59] была определена группа персонала по электробезопасности: I группа – неэлектротехнический персонал;

- согласно СанПиН 1.2.3685-21 [50] было установлено, что категория выполняемой работы соответствует категории Ib – работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением;

- согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [60] были определены категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности: производственное помещение относится к категории «Г», лаборатория – к категории «Д»;

согласно Постановлению РФ об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий [61] установлено, что рабочая зона отнесена к объекту I категории.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. William G. Fahrenholtz, Eric J. Wuchina, William E. Lee, Yanchun Zhou. Ultra-High Temperature Ceramics: Materials for Extreme Environment Applications // J. Am. Ceram. Soc. – 2017. – P.
2. J.F. Justin, A. Jankowiak. Ultra High Temperature Ceramics : Densification, Properties and Thermal Stability // AerospaceLab, -2011, P. 1-11.
3. Xiaochao Jina, Xueling Fana, Chunsheng Lub, Tiejun Wanga. Advances in oxidation and ablation resistance of high and ultra-high temperature ceramics modified or coated carbon/carbon composites // J. of the Eu. Ceram. Soc. –2018. – №38(1). –P. 1–28.
4. V. Rubio, P. Ramanujam & J. Binner. Ultra-high temperature ceramic composite // Advances in Applied Ceramics. –2018. №117(1). –P. 56-61.
5. П.С. Соколов, А.В. Аракчеев, И.Л. Михальчик, Л.А. Плясункова, А.В. Ткачёв, С.А. Анучин, М.Н. Кородо, А.В. Ланин, А.О. Забежайлов, И.Ю. Келина, М.Ю. Русин. Сверхвысокотемпературная керамика на основе ZrB_2 – SiC : получение и основные свойства // Новые огнеупоры. – 2017. №1. – P. 33-39.
6. Manab Mallik, K.K. Ray, R. Mitra. Oxidation behavior of hot pressed ZrB_2 – SiC and HfB_2 – SiC composites // J. of the Eu. Ceram. Soc. –2011. –№31. –P. 199–215.
7. Manab Mallika, Sabyasachi Roy , K.K. Ray , R. Mitra. Effect of SiC content, additives and process parameters on densification and structure–property relations of pressureless sintered ZrB_2 – SiC composites // Ceramics International. – 2013. №39. –P. 2915-2932.
8. Watts, Jeremy Lee, "Stress measurement and development of zirconium diboride-silicon carbide ceramics" (2011). Doctoral Dissertations. 2010.

9. Manab Mallik, Ansu J. Kailath, K.K. Ray, R. Mitra. Electrical and thermophysical properties of ZrB₂ and HfB₂ based composites // J. of the Eu. Ceram. Soc. –2012. –№32. –P. 2545–2555.
10. Shuang Zhao, Xingui Zhou, Jinshan Yu, Paul Mummery. Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of PIP-SiC/SiC composites // Materials Science and Engineering A. –2013. –№559. –P. 808–811.
11. Xiang Yang, Chen Zhao-hui, Cao Feng. High-temperature protective coatings for C/SiC composites // Journal of Asian Ceramic Societies. –2014. –№2 (4). –P. 305–309.
12. J.W. Yeh, Y.L. Chen, S.J. Lin, S.K. Chen. High-entropy alloys – a new era of exploitation, Mater // Sci. Forum. –2007. –P. 1–9.
13. J.W. Yeh, S.K. Chen, S.J. Lin, J.Y. Gan, T.S. Chin, T.T. Shun, S.Y. Chang, Nanostructured high-entropy alloys with multiple principal elements: novel alloy design concepts and outcomes // Adv. Eng. Mater. –2004. –№6 (5). –P. 299–303.
14. Junfeng Gu, Ji Zou, Shi-Kuan Sun, Hao Wang, Su-Yang Yu, Jinyong Zhang, Weimin Wang and Zhengyi Fu. Dense and pure high-entropy metal diboride ceramics sintered from self-synthesized powders via boro/ carbothermal reduction approach // Science China materials. –2019. –№62 . –P. 1898–1909.
15. Yan Zhang, Wei-Ming Guo, Ze-Bin Jiang, Qi-Qi Zhu, Shi-Kuan Sun, Yang You, Kevin Plucknett, Hua-Tay Lin. Dense high-entropy boride ceramics with ultra-high hardness // Scripta Materialia. –2019. –№164 . –P. 135–139.
16. Heng Chena, Huimin Xiang, Fu-Zhi Dai, Jiachen Liu, Yiming Lei, Jie Zhang, Yanchun Zhou. High porosity and low thermal conductivity high entropy (Zr_{0.2}Hf_{0.2}Ti_{0.2}Nb_{0.2}Ta_{0.2})C // Journal of Materials Science & Technology. – 2019. –№35 . –P. 1700–1705.
17. Ван Дакунь, Бурлаченко А.Г., Мировой Ю.А., Буяков А.С., Дудина Д.В. Есиков М.А., Кульков С.Н., Буякова С.П. Высокоэнтропийная трехкомпонентная керамика (Zr, Hf, Nb)C // Конференция «MULTISCALE

BIOMECHANICS AND TRIBOLOGY OF INORGANIC AND ORGANIC SYSTEMS». –2019. –Р. 387.

18. А. С. Седегов, К. Сиднов, С. Воротыло, Д. О. Московских. Исследование высокоэнтропийной карбидной керамики (Hf, Ta, Ti, Nb, Zr)C₅ // Конференция «Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка». –2020. –Р. 420–422.

19. Дакунь В., Мировой Ю.А, Бурлаченко А.Г., Дедова Е.С., Буякова С.П. Исследование структурообразования высокоэнтропийной керамики (Nb,Ti,Zr,Hf)C // Конференция «Получение, структура и свойства высокоэнтропийных материалов». –2020. –Р. 37.

20. Ван Дакунь, А.Г. Бурлаченко, Ю.А. Мировой, Е.С. Дедова, С.П. Буякова. Исследование формирования структуры трехкомпонентных высокоэнтропийных керамических материалов на основе карбидов // –2020. –Р. 186–187.

21. Beilin Ye, Tongqi Wen, Yanhui Chu. High-temperature oxidation behavior of (Hf_{0.2}Zr_{0.2}Ta_{0.2}Nb_{0.2}Ti_{0.2})C high-entropy ceramics in air // American Ceramic Societi. –2019. –№ 00 . –Р. 1–8.

22. Andrew J. Wrighta, Qingyang Wangb, Chuying Huangc, Andy Nietoc, Renkun Chenb, Jian Luo. From high-entropy ceramics to compositionally-complex ceramics: A case study of fluorite oxides // Journal of the European Ceramic Society. –2020. –№ 40 . –Р. 2120–2129.

23. Ye B. et al. Oxidation behavior of (Hf_{0.2}Zr_{0.2}Ta_{0.2}Nb_{0.2}Ti_{0.2}) C high-entropy ceramics at 1073-1473 K in air //Corrosion Science. – 2019. – Т. 153. – С. 327-332.

24. Wang H. et al. Oxidation behavior of (Hf_{0.2}Ta_{0.2}Zr_{0.2}Ti_{0.2}Nb_{0.2}) C-xSiC ceramics at high temperature //Ceramics International. – 2020. – Т. 46. – №. 8. – С. 11160-11168.

25. Backman L. et al. Part II: Experimental verification of computationally predicted preferential oxidation of refractory high entropy ultra-high temperature ceramics // *Acta Materialia*. – 2020. – T. 197. – C. 81-90.
26. Tan Y. et al. Oxidation behaviours of high-entropy transition metal carbides in 1200° C water vapor // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2020. – T. 816. – C. 152523.
27. Wang H. et al. Oxidation behavior of high-entropy carbide (Hf_{0.2}Ta_{0.2}Zr_{0.2}Ti_{0.2}Nb_{0.2}) C at 1400–1600° C // *Ceramics International*. – 2021. – T. 47. – №. 8. – C. 10848-10854.
28. Sun K. et al. Densification and joining of a (HfTaZrNbTi) C high-entropy ceramic by hot pressing // *Journal of the European Ceramic Society*. – 2021. – T. 41. – №. 6. – C. 3196-3206.
29. Wei X. F. et al. High-entropy carbide ceramics with refined microstructure and enhanced thermal conductivity by the addition of graphite // *Journal of the European Ceramic Society*. – 2021.
30. Akarsu M. K., Akin I. Mechanical properties and oxidation behavior of spark plasma sintered (Zr, Ti) B₂ ceramics with graphene nanoplatelets // *Ceramics International*. – 2020. – T. 46. – №. 16. – C. 26109-26120.
31. Pavel Istomin, Elena Istomina, Aleksandr Nadutkin, Vladislav Grass, Anton Lysenkov, Andrey Kudryavtsev. Preparation of (Ti,Zr,Hf,Nb,Ta)C high-entropy carbide ceramics through carbo-silicothermic reduction of oxides // *Journal of the European Ceramic Society*. – 2021. – №41. – C. 6934–6942.
32. L. Feng, W.T. Chen, W.G. Fahrenholtz, G.E. Hilmas. Strength of single-phase high- entropy carbide ceramics up to 2300°C // *J. Am. Ceram. Soc.* 2021. – №104. – C. 419–427.
33. K. Lu, J.X. Liu, X.F. Wei, W. Bao, Y. Wu, F. Li, F. Xu, G.J. Zhang. Microstructures and mechanical properties of high-entropy (Ti_{0.2}Zr_{0.2}Hf_{0.2}Nb_{0.2}Ta_{0.2})C ceramics with the addition of SiC secondary phase // *J. Eur. Ceram. Soc.* – 2020. – №40. – C. 1839–1847.

34. Ye, T. Wen, K. Huang, C.-Z. Wang, Y. Chu. First-principles study, fabrication, and characterization of $(\text{Hf}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Ta}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Ti}_{0.2})\text{C}$ high-entropy ceramic // J. Am. Ceram. Soc. – 2019. – №102. – C. 4344–4352.
35. K. Sun, Z. Yang, R. Mu, S. Niu, Y. Wang, D. Wang. Densification and joining of a $(\text{HfTaZrNbTi})\text{C}$ high-entropy ceramic by hot pressing // J. Eur. Ceram. Soc. – 2021. – №41. – C. 3196–3206.
36. F. Wang, X. Zhang, X. Yan, Y. Lu, M. Nastasi, Y. Chen, B. Cui. The effect of submicron grain size on thermal stability and mechanical properties of high-entropy carbide ceramics // J. Am. Ceram. Soc. – 2020. – №103. – C. 4463–4472.
37. D. Yu, J. Yin, B. Zhang, X. Liu, M.J. Reece, W. Liu, Z. Huang. Pressureless sintering and properties of $(\text{Hf}_{0.2}\text{Zr}_{0.2}\text{Ta}_{0.2}\text{Nb}_{0.2}\text{Ti}_{0.2})\text{C}$ high-entropy ceramics: the effect of pyrolytic carbon // J. Eur. Ceram. Soc. – 2021. – №41. – C. 3823–3831.
38. Sarkar S. K., Miller A. D., Mueller J. I. // Journal of the American Ceramic Society – 1972. – V.55. – No. 12 – C 628-630.
39. Yu D., Yin J., Zhang B., Liu X., Reece M. J., Liu W., Huang Z. // Journal of the European Ceramic Society. – 2021. – V.41. – No. 6. – C. 3823-3831.
40. Liu H. L., Man Z. Y., Liu J. X., Wang X. G., Zhang G. J. // Journal of Alloys and Compounds. – 2017. – No. 729. – C 492-497.
41. Antou G., Gendre M., Laborde E., Maitre A., Trolliard G. // Materials Science and Engineering. – 2014. – A. 612. – C. 326-334.
42. Gasparini C., Ran, D. S., Le Brun N., Horlait D., Markides C. N., Farnan I., Lee W. E. // Scientific reports. – 2020. – T. 10. – №. 1. – C. 1-12.
43. Golla, B.R.; Mukhopadhyay, A.; Basu, B.; Thimmappa, S.K. Review on Ultra-High Temperature Boride Ceramics. Progress in Materials Science 2020, 111, doi:10.1016/j.pmatsci.2020.100651.
44. Эванс, А. Г. Конструкционная керамика / А. Г. Эванс, Т. Г. Лэнгдон. – М.: Металлургия, 1980. – 256 с.

45. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; введ. 1979 - 01 - 01. — Москва: Издательство стандартов, 2001. — 9с.

46. МР 2.2.9.2311-07 2.2.9. Состояние здоровья работающих в связи с состоянием производственной среды. Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности; введ. 2008 — 03 — 18. — Москва: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. 26с.

47. ГОСТ 22614-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования; введ. 1978 - 07 - 01. — Москва: Издательство стандартов, 1979. — 10с.

48. ГОСТ EN 894-1-2012. Безопасность машин. Эргономические требования к оформлению индикаторов и органов управления. Часть 1. Общие руководящие принципы при взаимодействии оператора с индикаторами и органами управления; введ. 2014 - 01 - 01. — Москва: Стандартинформ, 2014. — 24с.

49. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация; введ. 2017-03-01. — Москва: Стандартинформ, 2019. — 5с.

50. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания; введ. 2021 - 03 - 01. — Официальный интернет-портал правовой информации: 2021. — 469с.

51. ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности; введ. 1977 - 01 - 01. — Москва: Стандартинформ, 2007. — 6с.

52. ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация; введ. 1990 - 07 - 01. — Москва: Издательство стандартов, 2001. — 9с.

53. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха СНиП 41-01-2003; введ. 2021 - 07 - 01. — Москва: Стандартинформ, 2021. — 117с.
54. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95; введ. 2017 - 05 - 08. — Москва: Стандартинформ, 2018. — 121с.
55. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности; введ. 2008 - 07 - 22. — Москва: Кодекс, 2008. — 155с.
56. ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты; введ. 2019 - 01 - 01. — Москва: Стандартинформ, 2019. — 15с.
57. ГОСТ 12.0.004-2015 ССБТ. Организация обучения безопасности труда. Общие положения; введ. 2017 - 03 - 01. — Москва: Стандартинформ, 2019. — 64с.
58. Правила устройства электроустановок (ПУЭ); введ. 2003-01-01. — Москва: Издательство НЦ ЭНАС, 2002. — 330с.
59. Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок; введ. 2021-01-01. — Москва: Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 2020. — 139с.
60. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности; введ. 2009-05-01. — Москва: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. — 31с.
61. Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий; введ. 2021-01-01. — Москва: Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 2021. — 14с.